

УДК 615.322

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ СИНАНТРОПНОЙ ФЛОРЫ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

© *Н.А. Дьякова*

*Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,
Воронеж, 394006 (Россия), e-mail: Ninochka_V89@mail.ru*

Проведены фундаментальные региональные эколого-фармакогностические 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 высокие концентрации свинца отмечаются в корнях одуванчика лекарственного и лопуха обыкновенного, траве горца птичьего, листьях подорожника. Содержание ртути во всех изучаемых образцах в целом низкое, не превышает 10% от ПДК. Более высокие концентрации кадмия выявлены в травах полыни горькой и пустырника пятилопастного, корнях лопуха обыкновенного и одуванчика лекарственного, листьях подорожника большого. Содержание мышьяка в ряде образцов травы полыни горькой и тысячелистника обыкновенного, листьев подорожника большого, корней лопуха обыкновенного превышало ПДК. 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. Определены кларки изучаемых элементов в растениях синантропной флоры Воронежской области, что наряду с ПДК является важным эколого-геохимическим показателем для ЛРС, отражающим совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в определенном временном срезе.

Ключевые слова: лекарственное растительное сырье, Воронежская область, тяжелые металлы, мышьяк, кларки.

Введение

Оценка качества среды приобретает в настоящее время исключительно важное значение. Усиление антропогенной нагрузки диктует необходимость контроля и своевременного выявления деградации природных экосистем, устанавливать долгосрочные тенденции и буферную способность биологических систем в отношении разнообразных и большей частью одновременно действующих нарушающих факторов. Растения как нельзя лучше подходят на роль индикатора состояния загрязненности среды [1–3].

В последние годы как в нашей стране, так и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция роста использования лекарственных препаратов и биологически активных добавок природного происхождения, особенно растительного. Так, в настоящее время фармацевтический рынок РФ насчитывает около 20 тыс. только лекарственных средств, из которых 30% – препараты растительного происхождения и почти 8 тыс. БАД – на основе лекарственного растительного сырья (ЛРС). С учетом дороговизны большинства зарубежных лекарственных средств в РФ отмечается увеличение спроса на отечественные препараты, в числе которых ведущее место по объемам продаж в количественном выражении занимают препараты растительного происхождения. Такой высокий интерес к препаратам из лекарственного растительного сырья связан прежде всего с мягкостью и широтой терапевтического действия, возможностью минимизации побочных действий и аллергизации, возможностью длительного приема фитопрепаратов, что особенно актуально при хронических заболеваниях, а также значительной эффективностью и относительной безопасностью. Однако вследствие роста городов, расширения производственных площадей, увеличения количества автотранспорта, освоения новых химических веществ в сельском хозяйстве, различных природных и техногенных

Дьякова Нина Алексеевна – ассистент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

катастроф последнее преимущество фитотерапии оказывается под вопросом. Причина в том, что с началом рыночных реформ в РФ произошло резкое

ухудшение товарной структуры в пользу дикорастущего лекарственного сырья, удельный вес которого увеличился с 51.8% в советское время до 83.2% в наши дни. При этом большинство эксплуатируемых ресурсов дикорастущих лекарственных растений расположено в зоне активной хозяйственной деятельности человека, на доступных в транспортном отношении территориях. К ним относятся зоны, прилегающие к населенным пунктам, автомобильным и железным дорогам, сельскохозяйственным полям и фермам, промышленным предприятиям. Экосистемы этих территорий подвержены высокому уровню загрязняющих веществ. Произрастая в неблагоприятных экологических условиях, растения накапливают не свойственные для них химические вещества, либо вещества в не свойственных растениям концентрациях. Загрязненное лекарственное растительное сырье и фитопрепараты, полученные из такого сырья, являются одним из источников поступления поллютантов в организм человека [4–6].

В настоящее время накоплен богатый фактический материал о высокой биологической активности различных химических элементов, а также об индивидуальной способности растений к их кумуляции. Токсичные элементы, прежде всего, металлической природы, связываясь в ЛРС с органическими соединениями, значительно повышают биодоступность и усвояемость организмом человека. Это порождает проблему эколого-гигиенического контроля ЛРС и мониторинга территорий его заготовки на предмет загрязнения сырья токсичными элементами. В связи с историческими и технологическими особенностями хозяйственной деятельности и инфраструктуры отдельных субъектов РФ данная проблема носит выраженный региональный характер [7–9].

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, 10, 11].

Многочисленные экологические исследования накопления токсичных элементов в ЛРС из различных регионов РФ, стран СНГ и ближнего зарубежья выявили значительное варьирование их концентраций в сырье и фитопрепаратах. Зачастую такие элементы являются важными компонентами нормальных биохимических и физиологических процессов в растительных организмах, но при увеличении их концентраций становятся токсичны и приводят к нарушению обмена веществ. При этом рядом исследователей показана физиологическая и биохимическая возможность ряда высших растений избирательно накапливать биогенные элементы в необходимых концентрациях и тормозить избыточную аккумуляцию фитотоксичных веществ [12–14].

Использование различных вариантов предельно допустимых концентраций элементов достаточно сложно, так как они (ПДК, ОДК и т.п.) устанавливаются довольно произвольно и весьма различны в разных странах. Довольно часто для этих целей в геохимических исследованиях окружающей среды используются кларковые содержания. Установленные кларки для объектов окружающей среды являются их геохимической (эколого-геохимической) характеристикой, отражающей совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в определенном временном срезе. С развитием науки и техники значения приводимых кларков могут постепенно изменяться. Скорость таких изменений пока невозможно предсказать. Установление кларков обусловлено необходимостью применять некие «отправные точки» отсчета содержания для последующих выводов о загрязнении объекта окружающей среды, в том числе растительных ресурсов. 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 [15–17].

Центральное Черноземье – один из важнейших районов растениеводства и земледелия. Широкое освоение минеральных ресурсов, активная химизация сельского хозяйства, расширение производственных площадей и транспортной инфраструктуры, последствия Чернобыльской аварии актуализировали вопрос снабжения различных отраслей промышленности безопасным и эффективным растительным сырьем [11, 13, 18].

Цель настоящего исследования – изучение особенностей накопления наиболее опасных тяжелых металлов и мышьяка в ЛРС, произрастающем как в традиционных местах заготовки, так и в антропогенно нарушенных экотопах, а также установление кларков данных элементов в ЛРС синатропной флоры Воронежской области.

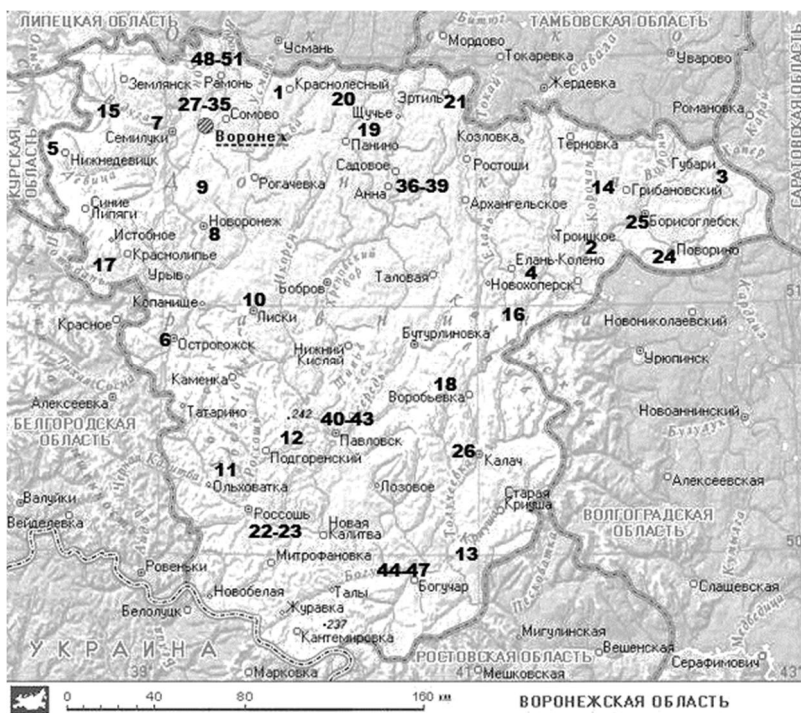
Экспериментальная часть

Выбор территорий для заготовки ЛРС объясняется особенностями антропогенного воздействия. Места сбора образцов показаны цифрами от 1 до 51 на рисунке. ЛРС собирали в Воронежской области на следующих территориях:

- чистые районы заповедной зоны (контрольные образцы): Воронежский биосферный заповедник (1), Хоперский государственный природный заповедник в Новохоперском районе (2), Борисоглебский район (3);
- зона предполагаемой добычи никеля (4);
- зоны, подвергшиеся радионуклидному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Нижедевицкий (5), Острогжский (6), Семилукский (7) районы);
- Нововоронежская атомная электростанция (АЭС) (8);
- высоковольтные линии электропередачи (ВЛЭ) (9);
- зоны с активной сельскохозяйственной деятельностью и внесением большого количества удобрений (Лискинский (10), Ольховатский (11), Подгоренский (12), Петропавловский (13), Грибановский (14), Хохольский (15), Новохоперский (16), Репьевский (17), Воробьевский (18), Панинский (19), Эртильский (20), Верхнехавский (21), Россошанский (22) районы);
- антропогенно загрязненные места: химические предприятия ОАО «Минудобрения» (23), ООО «Бормаш» (24), ООО «Сибур» (28);
- города с развитой легкой промышленностью (Борисоглебск (25), Калач (26));
- Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) «ВОГРЭС» (27);
- Воронежское водохранилище (29);
- Воронежский аэропорт (30);
- улица города (улица Ленинградская) (31);
- вдоль и на удалении от дорог разной степени загруженности и в разных природных зонах: лесная зона (Рамонский район) (32–35) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (Аннинский район (36–39)) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (Павловский район) (40–43) – трасса М4 «Дон», нескоростная автомобильная дорога (Богучарский район) (44–47) и железная дорога (Рамонский район) (48–51)).

В качестве объектов исследования использовали фармакопейные виды ЛРС: листья крапивы двудомной (*Urtica dioica* L. (syn. *Urtica tibetica* W.T.Wang, *Urtica galeopsifolia* Wierzb. ex Opiz)), листья подорожника большого (*Plantago major* L.), цветки пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L. (syn. *Tanacetum boreale* Fisch. ex DC., *Chrysanthemum vulgare* (L.) Bernh.)), цветки липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill. (syn. *Tilia parvifolia* Ehrh. ex Hoffm)), траву пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib. (syn. *Leonurus cardiaca* K.Koch, *Cardiaca quinquelobata* Gilib., *Leonurus villosus* Desf. ex D'Urv.)), траву полыни горькой (*Artemisia absinthium* L. (syn. *Absinthium majus* Garsault nom. inval., *Artemisia kulbadica* Boiss. & Buhse, *Artemisia baldaccii* Degen, *Absinthium vulgare* (L.) Lam., *Absinthium bipedale* Gilib. nom. inval., *Artemisia pendula* Salisb., *Artemisia absinthia* St.-Lag., *Artemisia doonense* Royle, *Absinthium officinale* Brot., *Artemisia inodora* Mill., *Artemisia rehan* Chiov.)), траву тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L. (syn. *Achillea ambigua* Pollini, *Achillea ceretanica* Sennen, *Achillea compacta* Lam., *Achillea coronopifolia* Willd. и др.)), траву горца птичьего (*Polygonum aviculare* L. (syn. *Polygonum monspeliense* C.Thiébaud ex Pers., *Polygonum heterophyllum* L.)), корни лопуха обыкновенного (*Arctium lappa* L. (syn. *Lappa edulis* Siebold ex Miq., *Lappa officinalis* All., *Lappa major* Gaertn., *Arctium majus* Bernh., *Arctium edule* Beger, *Lappa vulgaris* Hill.)), корни одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg (syn. *Taraxacum vulgare* Schrank, *Taraxacum dens-leonis* Desf., *Leontodon taraxacum* L.)) [19, 20]. В исследовании представлены разные виды ЛРС, включающие в себя различные органы или группы органов растений (листья, цветки, трава, корни), от разных форм производящих растений – травянистые и древесные формы растительности. Образцы отбирались на каждой учетной площадке. Травы, листья и цветки заготавливали в июле, а корни – в сентябре 2015–2020 гг.

Взвешивание проводили на аналитических весах «A&D GH-202» («AND», Япония). Изучение содержания в ЛРС тяжелых металлов и мышьяка вели по методике ОФС.1.2.2.2.0012.15 «Тяжелые металлы» на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД («Люмекс», Россия) [21]. В ЛРС определяли содержание нормируемых ГФ XIV элементов – ртути, кадмия, свинца, мышьяка, а также наиболее токсичных ненормируемых в настоящее время металлов – цинк (элемент 1 класса опасности), никель, кобальт, хром и медь (элементы 2 класса опасности).



Карта заготовки ЛРС в рамках Воронежской области (расшифровка в тексте)

Обсуждение результатов

Результаты исследования особенностей накопления наиболее опасных тяжелых металлов и мышьяка в ЛРС, произрастающем в различных экотопах Воронежской области, приведены в таблице 1.

Трава горца птичьего, листья крапивы двудомной, цветки липы сердцевидной и пижмы обыкновенной оказались наименее подвержены антропогенному загрязнению тяжелыми металлами и мышьяком: все отобранные образцы соответствовали требованиям ГФ XIV. По содержанию мышьяка не соответствовали требованиям 24% образцов травы полыни горькой, по 12% образцов травы тысячелистника обыкновенного и листьев подорожника большого, 8% образцов корней лопуха большого, 5% образцов травы пустырника пятилопастного, 4% образцов одуванчика лекарственного. Можно отметить следующие виды ЛРС, отличающегося высокой способностью к накоплению мышьяка: трава полыни горькой, листья подорожника большого, трава тысячелистника обыкновенного, а также корни лопуха обыкновенного. Минимальная концентрирующая способность в отношении мышьяка, как и для остальных нормируемых элементов, выявлена у цветков липы сердцевидной и пижмы обыкновенной, для которых максимальные концентрации этого неметалла не превышает 20% от ПДК. Ряд убывания аккумулирующей способности анализируемыми видами ЛРС для мышьяка можно построить следующим образом: трава полыни горькой → листья подорожника большого → трава тысячелистника обыкновенного → корни лопуха большого → трава пустырника пятилопастного → корни одуванчика лекарственного → листья крапивы двудомной → трава горца птичьего → цветки пижмы обыкновенной → цветки липы сердцевидной.

Наиболее высокие концентрации свинца отмечены в корнях одуванчика лекарственного, корнях лопуха обыкновенного, траве горца птичьего, листьях подорожника большого. Общий ряд убывания концентрирующей способности свинца можно построить следующим образом: корни одуванчика лекарственного → корни лопуха обыкновенного → трава горца птичьего → листья подорожника большого → трава полыни горькой, трава тысячелистника обыкновенного, трава пустырника пятилопастного, листья крапивы двудомной → цветки пижмы обыкновенной → цветки липы сердцевидной.

Содержание ртути во всех изучаемых образцах не превышает и 10% от ПДК (не более 0.01 мг/кг), при этом наиболее низкие концентрации элемента выявлены в цветках липы сердцевидной и цветках пижмы обыкновенной, для большинства образцов которых характерно содержание ртути ниже предела обнаружения. Относительно более высокий уровень накопления ртути выявлен в листьях крапивы двудомной, листьях подорожника большого и травы полыни горькой. Ряд убывания аккумулирующей способности из почв анализируемых видов ЛРС в отношении ртути выглядит следующим образом: листья крапивы двудомной → трава полыни горькой → листья подорожника большого → трава пустырника пятилопастного, корни одуванчика лекарственного, корни лопуха обыкновенного → трава тысячелистника обыкновенного → трава горца птичьего → цветки пижмы обыкновенной → цветки липы сердцевидной.

Таблица 1. Изучение содержания тяжелых металлов и мышьяка в ЛРС синантропной флоры Воронежской области (в числителе – диапазон варьирования в антропогенно нарушенных экотопах, в знаменателе – диапазон варьирования на контрольных территориях)

ЛРС	Концентрация, мг/кг								
	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Трава горца птичьего (<i>Polygonum aviculare</i> L.)	<u>0.31–4.95</u> 0.24–0.52	<u>0.002–0.004</u> 0.002–0.003	<u>0.00–0.05</u> 0.00–0.01	<u>0.05–0.27</u> 0.04–0.06	<u>1.23–7.47</u> 1.75–2.75	<u>0.68–6.17</u> 0.85–2.3	<u>0.63–1.45</u> 0.75–0.91	<u>5.71–32.64</u> 4.37–9.35	<u>19.37–76.48</u> 24.48–38.1
Трава полыни горькой (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	<u>0.21–2.04</u> 0.26–0.32	<u>0.004–0.009</u> 0.004–0.005	<u>0.04–0.56</u> 0.02–0.04	<u>0.31–1.20</u> 0.20–0.34	<u>0.65–5.24</u> 0.72–1.32	<u>0.23–3.98</u> 0.58–0.87	<u>0.15–1.16</u> 0.20–0.31	<u>12.94–45.37</u> 12.69–19.1	<u>16.98–115.36</u> 23.75–28.05
Трава тысячелистника обыкновенного (<i>Achillea millefolium</i> L.)	<u>0.40–2.37</u> 0.22–0.32	<u>0.002–0.005</u> 0.002–0.003	<u>0.02–0.11</u> 0.01–0.03	<u>0.17–0.78</u> 0.18–0.24	<u>0.77–4.93</u> 0.56–1.08	<u>0.16–2.39</u> 0.19–0.32	<u>0.20–1.62</u> 0.16–0.21	<u>7.25–34.71</u> 6.69–8.26	<u>15.82–55.85</u> 19.63–26.17
Трава пустырника пятилопастного (<i>Leonurus quinquelobatus</i> Gilib.)	<u>0.35–2.59</u> 0.17–0.34	<u>0.002–0.006</u> 0.002–0.004	<u>0.04–0.48</u> 0.02–0.03	<u>0.12–0.53</u> 0.10–0.16	<u>1.04–8.46</u> 1.31–3.19	<u>0.41–4.51</u> 0.26–0.44	<u>0.43–2.29</u> 0.48–0.62	<u>7.52–27.37</u> 6.23–8.32	<u>21.97–89.42</u> 22.98–32.65
Листья подорожника большого (<i>Plantago major</i> L.)	<u>0.37–3.23</u> 0.46–0.67	<u>0.005–0.009</u> 0.005–0.007	<u>0.01–0.27</u> 0.02–0.04	<u>0.21–0.87</u> 0.20–0.32	<u>0.96–8.90</u> 1.29–2.53	<u>1.35–11.41</u> 1.20–2.22	<u>0.44–3.05</u> 0.27–0.51	<u>3.89–12.67</u> 3.24–5.11	<u>11.54–66.96</u> 18.50–26.11
Листья крапивы двудомной (<i>Urtica dioica</i> L.)	<u>0.29–2.76</u> 0.37–0.40	<u>0.005–0.009</u> 0.003–0.007	<u>0.00–0.03</u> 0.00–0.01	<u>0.08–0.36</u> 0.05–0.09	<u>1.03–8.89</u> 1.58–2.56	<u>0.85–13.80</u> 1.03–2.21	<u>0.06–3.51</u> 0.08–0.34	<u>5.99–14.20</u> 5.13–7.78	<u>18.76–57.98</u> 17.83–32.75
Цветки липы сердцевидной (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	<u>0.09–0.24</u> 0.07–0.13	<u>0.000–0.003</u> 0.000	<u>0.00–0.05</u> 0.00	<u>0.01–0.03</u> 0.00–0.01	<u>0.47–1.56</u> 0.56–0.87	<u>0.04–1.18</u> 0.05–0.19	<u>0.05–1.32</u> 0.08–0.21	<u>0.69–9.89</u> 1.53–3.28	<u>10.53–81.36</u> 12.53–21.63
Цветки пижмы обыкновенной (<i>Tanacetum vulgare</i> L.)	<u>0.11–0.33</u> 0.10–0.12	<u>0.000–0.003</u> 0.000	<u>0.02–0.08</u> 0.01–0.03	<u>0.03–0.12</u> 0.02–0.03	<u>1.64–4.07</u> 1.49–2.02	<u>0.11–0.94</u> 0.06–0.25	<u>0.11–0.58</u> 0.16–0.24	<u>3.40–13.92</u> 3.74–5.36	<u>18.40–55.72</u> 18.50–24.1
Корни одуванчика лекарственного (<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg.)	<u>0.95–4.83</u> 1.49–1.87	<u>0.003–0.006</u> 0.003–0.004	<u>0.03–0.18</u> 0.02–0.04	<u>0.10–0.68</u> 0.09–0.12	<u>0.86–4.14</u> 0.67–0.93	<u>3.13–14.04</u> 3.40–4.5	<u>4.90–14.81</u> 4.28–5.26	<u>4.17–14.63</u> 4.62–6.43	<u>20.17–97.45</u> 23.66–35.19
Корни лопуха обыкновенного (<i>Arctium lappa</i> L.)	<u>0.78–4.88</u> 0.59–0.88	<u>0.003–0.006</u> 0.003–0.004	<u>0.04–0.28</u> 0.02–0.04	<u>0.19–0.81</u> 0.14–0.26	<u>1.05–5.94</u> 2.08–2.76	<u>2.78–13.36</u> 2.32–3.09	<u>2.59–13.85</u> 2.17–3.53	<u>5.31–16.62</u> 7.84–9.52	<u>21.04–76.37</u> 29.08–35.74
ПДК	6.0	0.1	1.0	0.5	–	–	–	–	–

Превышения содержания кадмия в изучаемых образцах ЛРС также не отмечено. Более высокие концентрации кадмия выявлены в траве полыни горькой, корнях лопуха обыкновенного, траве пустырника пятилопастного, листьях подорожника большого, корнях одуванчика. Построен ряд убывания концентрирующей способности анализируемых видов ЛРС для кадмия: трава полыни горькой → корни лопуха обыкновенного → листья подорожника большого → трава пустырника пятилопастного → корни одуванчика лекарственного → трава тысячелистника обыкновенного → цветки пижмы обыкновенной → трава горца птичьего → цветки липы сердцевидной → листья крапивы двудомной.

Наиболее активно накапливают никель листья подорожника большого, листья крапивы двудомной, трава пустырника пятилопастного, трава горца птичьего. Построен ряд убывания концентрирующей способности в ЛРС никеля: листья подорожника большого → листья крапивы двудомной → трава полыни горькой → трава горца птичьего, трава пустырника пятилопастного → корни лопуха обыкновенного → трава полыни горькой → трава тысячелистника обыкновенного, цветки пижмы обыкновенной → корни одуванчика лекарственного → цветки липы сердцевидной.

Наиболее активными концентраторами хрома являются корни одуванчика лекарственного, корни лопуха обыкновенного, листья подорожника большого, листья крапивы двудомной. В наименьшей степени хром аккумулируется в цветках липы сердцевидной и пижмы обыкновенной. Построен ряд убывания аккумулирующей способности ЛРС для хрома: корни одуванчика лекарственного → корни лопуха обыкновенного → листья подорожника большого → листья крапивы двудомной → трава горца птичьего → трава полыни горькой, трава пустырника пятилопастного → трава тысячелистника обыкновенного → цветки пижмы обыкновенной → цветки липы сердцевидной.

Кобальт наиболее активно накапливается в подземных органах растений – корнях одуванчика лекарственного и корнях лопуха обыкновенного, 8–10 раз эффективнее, чем в других анализируемых видах ЛРС. Построен ряд убывания концентрирующей способности для кобальта в ЛРС: корни одуванчика лекарствен-

ного → корни лопуха обыкновенного → листья подорожника большого, трава горца птичьего → трава пустырника пятилопастного → листья крапивы двудомной → трава тысячелистника обыкновенного → трава полыни горькой, цветки липы сердцевидной → цветки пижмы обыкновенной.

Наибольшим накоплением меди среди анализируемых образцов ЛРС отличались травы полыни горькой, тысячелистника обыкновенного, пустырника пятилопастного, горца птичьего. Ряд убывания аккумулирующей способности ЛРС для меди можно построить следующим образом: трава полыни горькой → трава тысячелистника обыкновенного → трава пустырника пятилопастного → трава горца птичьего → корни лопуха обыкновенного → листья крапивы двудомной → цветки пижмы обыкновенной → корни одуванчика лекарственного → листья подорожника большого → цветки липы сердцевидной.

Цинк, в силу высокой биологической потребности в нем растений, активно аккумулируется во всех видах изучаемого ЛРС, но в наибольшей степени – в корнях одуванчика лекарственного и лопуха обыкновенного и травах полыни горькой, горца птичьего, пустырника пятилопастного. Общий ряд убывания концентрирующей способности из почв анализируемых видов ЛРС в отношении цинка можно построить следующим образом: корни одуванчика лекарственного → трава полыни горькой → трава горца птичьего → трава пустырника пятилопастного → корни лопуха обыкновенного → листья крапивы двудомной, цветки липы сердцевидной → листья подорожника большого → трава тысячелистника обыкновенного → цветки пижмы обыкновенной.

Комплекс проведенных исследований на примере Воронежского региона позволил предложить кларки изучаемых элементов в ЛРС синантропной флоры, что является важным эколого-геохимическим показателем, отражающим совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в данном временном срезе [9] (табл. 2). Кларки рассчитывались как среднее содержания токсичных элементов в антропогенно ненарушенных экотопах, что актуально для оценки степени загрязнения ЛРС данными экотоксикантами, выявления региональной геохимической специализации фоновых ландшафтов и техногенной геохимической трансформации химического состава природных сред [9, 15].

Таблица 2. Кларки тяжелых металлов и мышьяка в ЛРС синантропной флоры Воронежской области

Элемент	Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn
Кларк, мг/кг	1.04	0.004	0.08	0.22	2.94	2.77	1.85	11.37	40.23

Выводы

Проведены фундаментальные региональные эколого-фармакогностические 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 высокие концентрации свинца отмечаются в корнях одуванчика лекарственного и лопуха обыкновенного, траве горца птичьего, листьях подорожника. Содержание ртути во всех изучаемых образцах в целом низкое, не превышает 10% от ПДК. Более высокие концентрации кадмия выявлены в травах полыни горькой и пустырника пятилопастного, корнях лопуха обыкновенного и одуванчика лекарственного, листьях подорожника большого. Содержание мышьяка в ряде образцов травы полыни горькой и тысячелистника обыкновенного, листьев подорожника большого, корней лопуха обыкновенного превышало ПДК. 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. Определены кларки изучаемых элементов в растениях синантропной флоры Воронежской области, что наряду с ПДК является важным эколого-геохимическим показателем для ЛРС, отражающим совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в определенном временном срезе.

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. 2015. №2. С. 550.

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. 2015. №6. С. 598.
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. 2014. №6. С. 1373.
4. Арзамасцев А.П., Коваленко Л.И., Родионова Г.М., Чумакова З.В., Зрелова Л.В. Основы экологии и охраны природы. М., 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, 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, 2022. 264 с.
10. Великанова Н.А. Экологическая оценка состояния лекарственного растительного сырья (на примере *Polygonum aviculare* L. и *Plantago major* L.) в урбоусловиях города Воронежа и его окрестностей: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2013. 21 с.
11. 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.
12. 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. №4. С. 478–487. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487.
13. Дьякова Н.А. Анализ накопления тяжелых металлов и мышьяка травой *Leonurus quinquelobatus* Gilib. // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2021. №2(54). С. 48–56. DOI: 10.36906/2311-4444/21-2/06.
14. Дьякова Н.А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка травой полыни // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20. №4. С. 445–453. DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453.
15. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. №2. С. 7–17.
16. Власов Д.В., Кукушкина О.В., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С. Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции РМ10 в западном округе Москвы // Почвоведение. 2022. №5. С. 538–555. DOI: 10.31857/S0032180X22050112.
17. Власов Д.В., Касимов Н.С. Геохимические аномалии металлов и металлоидов в компонентах ландшафтов в восточной части Москвы: парагенезисы элементов и типология // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. №3. С. 50–57.
18. 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. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224.
19. Путьрский И.Н., Прохоров В.Н. Универсальная энциклопедия лекарственных растений. М., 2000. 656 с.
20. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара, 2004. 1180 с.
21. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. М., 2018. Т. 2. С. 267–288.

Поступила в редакцию 22 июля 2022 г.

После переработки 23 сентября 2022 г.

Принята к публикации 13 января 2023 г.

Для цитирования: Дьякова Н.А. Изучение особенностей накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье синантропной флоры Воронежской области // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 163–170. DOI: 10.14258/jcprm.20230211725.

Dyakova N.A. STUDY OF PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND ARSENIC IN MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS OF SYNANTHROPIC FLORA OF VORONEZH REGION

Voronezh State University, Universitetskaya pl., 1, Voronezh, 394006 (Russia), e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

Fundamental regional ecological and pharmacognostic studies of the quality of LRS were carried out on the example of the Voronezh region, the peculiarities of the accumulation of the most dangerous heavy metals and arsenic in LRS growing both in traditional places of harvesting and in anthropogenic disturbed ecotopes were studied. The highest concentrations of lead are observed in the roots of medicinal dandelion and common burdock, bird's mountain grass, plantain leaves. The mercury content in all the studied samples is generally low, does not exceed 10% of the MAC. Higher concentrations of cadmium were found in herbs of bitter wormwood and five-lobed motherwort, roots of common burdock and medicinal dandelion, leaves of large plantain. The arsenic content in a number of samples of bitter wormwood grass and common yarrow, big plantain leaves, common burdock roots exceeded the MAC. Nickel is intensively accumulated by the leaves of the plantain of the great and nettle of the dioecious, by the herbs of the motherwort of the five-lobed and the mountain of the bird. The most active concentrators of chromium and cobalt are the roots; chromium also actively accumulates in the leaves of the plants under study. High accumulation of copper was distinguished by herbs. Zinc accumulates to the greatest extent in the studied roots and herbs of plants. Clars of the studied elements in plants of the synanthropic flora of the Voronezh region have been identified, which, along with the MAC, is an important ecological and geochemical indicator for LRS, reflecting the combined impact of technogenic and natural processes occurring in a certain time slice.

Keywords: medicinal herbal raw materials, Voronezh region, heavy metals, arsenic, clarks.

References

1. Yegorova I.N., Kolmogorova Ye.Yu. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2, p. 550. (in Russ.).
2. Yegorova I.N., Neverova O.A., Grigor'yeva T.I. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 6, p. 598. (in Russ.).
3. Yegorova I.N., Neverova O.A. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 6, p. 1373. (in Russ.).
4. Arzamastsev A.P., Kovalenko L.I., Rodionova G.M., Chumakova Z.V., Zrelova L.V. *Osnovy ekologii i okhrany prirody*. [Fundamentals of ecology and nature conservation]. Moscow, 2008, 416 p. (in Russ.).
5. Popov A.I., Yegorova I.N. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 1992, vol. 26, no. 3, pp. 71–73. (in Russ.).
6. Nechayeva Ye.G., Belozertseva I.A., Naprasnikova Ye.V. *Monitoring i prognozirovaniye veshchestvenno-dinamicheskogo sostoyaniya geosistem sibirskikh regionov*. [Monitoring and forecasting of the material-dynamic state of ecosystems in Siberian regions]. Novosibirsk, 2010, 315 p. (in Russ.).
7. D'yakova N.A., Samylina I.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P., Myndra A.A. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2018, vol. 52, no. 3, pp. 32–35. (in Russ.).
8. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2017, no. 1, pp. 148–154. (in Russ.).
9. D'yakova N.A. *Ekologicheskaya otsenka syr'yevykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoy oblasti*. [Ecological assessment of raw materials of medicinal plants in the Voronezh region]. Voronezh, 2022, 264 p. (in Russ.).
10. Velikanova N.A. *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya (na primere Polygonum aviculare L. i Plantago major L.) v urbousloviyakh goroda Voronezha i yego okrestnostey: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk*. [Ecological assessment of the state of medicinal plant raw materials (on the example of Polygonum aviculare L. and Plantago major L.) in the urban conditions of the city of Voronezh and its environs: author. dis. ... cand. biol. Sciences]. Voronezh, 2013, 21 p. (in Russ.).
11. D'yakova N.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. *Vestnik Kamchatskogo tekhnicheskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, no. 48, pp. 71–77. (in Russ.).
12. D'yakova N.A. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 478–487. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487. (in Russ.).
13. D'yakova N.A. *Vestnik Nizhneartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, no. 2(54), pp. 48–56. DOI: 10.36906/2311-4444/21-2/06. (in Russ.).
14. D'yakova N.A. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 445–453. DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453. (in Russ.).
15. Kasimov N.S., Vlasov D.V. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2015, no. 2, pp. 7–17. (in Russ.).
16. Vlasov D.V., Kukushkina O.V., Kosheleva N.Ye., Kasimov N.S. *Pochvovedeniye*, 2022, no. 5, pp. 538–555. DOI: 10.31857/S0032180X22050112. (in Russ.).
17. Vlasov D.V., Kasimov N.S. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2016, no. 3, pp. 50–57. (in Russ.).
18. D'yakova N.A. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 213–224. DOI: 10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224. (in Russ.).
19. Putyrskiy I.N., Prokhorov V.N. *Universal'naya entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy*. [Universal encyclopedia of medicinal plants]. Moscow, 2000, 656 p.
20. Kurkin V.A. *Farmakognosiya*. [Pharmacognosy]. Samara, 2004, 1180 p. (in Russ.).
21. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 2, pp. 267–288. (in Russ.).

Received July 22, 2022

Revised September 23, 2022

Accepted January 13, 2023

For citing: Dyakova N.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 163–170. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230211725.