УДК 581.5:582.998.1

АККУМУЛЯЦИЯ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА И НИКЕЛЯ В ПОДЗЕМНЫХ И НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ INULA HELENIUM L. В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

Янтурин И.Ш., Аминева А.А.

Сибайский институт (филиал) ФГОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Сибай, e-mail: janturin1985@mail.ru

Почвы Южного Урала характеризуются высоким содержанием металлов в силу того, что здесь природные и техногенные загрязнения, накладываясь друг на друга, обостряют экологическую ситуацию. Содержание железа в почвах зависит от многих факторов, но основным условием для региона является обеспеченность почв водой. Максимальное количество элемента обнаружено в ценопопуляции, находящийся на сыром лугу. Здесь его содержание превышает норму в 4 раза. Распределение железа по органам показало барьерную роль подземных органов, концентрирующих в себе основную часть металла. По содержанию марганца в почвах территорию Южного Урала можно разделить на две части: Предуралье, характеризуется нормальным и избыточным содержанием элемента, Зауралье – его дефицитом. Марганец в организм растения поступает в основном фолиарным путем. Коэффициент биологического накопления показал, что *Inula helenium* L. относится к растениям слабого захвата железа и марганца. Содержание никеля в почвах находится в пределах ПДК, его больше в почвах Предуралья, чем в Зауралье. Никель и железо поступают через листья при наличии рядом транспортных путей. В Зауралье, где соединение никеля в почвах низкое, *I. helenium* L. выступает как концентратор элемента. В Предуралье с повышенным содержанием металла в почвах растение не накапливает элемент в своем организме.

Ключевые слова: тяжелые металлы, коэффициент биологического накопления, предельно допустимая концентрация, железо, марганец, никель, отношение Fe/Mn

ACCUMULATION OF IRON, MANGANESE AND NICKEL IN UNDERGROUND AND ABOVEGROUND ORGANS INULA HELENIUM L. IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN URAL

Yanturin I.S., Amineva A.A.

Sibay Institute (branch) of FGOU VPO «Bashkir State University», Sibai, e-mail: janturin1985@mail.ru

The Soil Of The Southern Urals are characterized by a high content of metals due to the fact that here the natural and technogenic pollution, superimposed on each other, exacerbating the ecological situation. The content of iron in soils depends on many factors, but the main condition for the region is the availability of soil water. The maximum number of elements found in coenopopulations, located in a wet meadow. Here its content exceeds norm by 4 times. Distribution of iron in the bodies showed a barrier role of underground organs which concentrating in itself the basic part of metal. The content of manganese in the soils of the area of the Southern Urals can be divided into two parts: the Urals, is characterized by normal and excessive content of the element, in Trans-Urals – the shortage. Manganese in organism of plants comes mainly foliarn by. Coefficient of biological accumulation showed that *I. helenium* L. refers to the plants of low capture of iron and manganese. The Nickel content in soils is within the maximum allowable concentration, the more of it in the soils of the Urals, than in the Trans-Urals. Nickel and iron are delivered through the leaves in the presence nearby transport ways. In Trans-Urals where the Nickel compounds in soils low, *I. helenium* L. acts as concentrator of the element. In the Urals region with a high metal content in soils of the plant does not accumulate element in the organism.

Keywords: heavy metals, the coefficient of biological accumulation, maximum permissible concentration, iron, manganese, nickel, the ratio Fe/Mn

В рельефе Урала отчетливо выделяются две полосы предгорий – западных и восточных – и расположенная между ними система горных хребтов, вытянутых параллельно друг другу в субмеридиональном направлении соответственно простиранию тектонических зон. Западный район Южного Урала (Предуралье) представлен восточной окраиной Восточно-Европейской платформы, сложен в основном осадочными горными породами и характеризуется равнинной территорией.

Зауральский регион Южного Урала – специфическая биогеохимическая провинция, для которой характерно уникальное сочетание территорий различной степени антропогенной нарушенности с разнообразным спектром полиметаллического оруднения [15].

Недра Южного Урала богаты разными полезными ископаемыми. Более 20 месторождений содержат железную руду (Магнитогорское, Бакальское и др.) Месторождения никеля и кобальта сосредоточены в районе Верхнего Уфалея. Есть алюминий, золото, тальк, каолин, графит, магнезит, мраморы, доломиты, фосфориты, колчеданы, соли, мергели, известняки, пески. Развитие горнодобывающей промышленности, а также активное функционирование горнообогатительных комбинатов привело к техногенному загрязнению почв региона тяжелыми металлами [11].

Тяжелые металлы (ТМ) относятся к стойким загрязнителям, но многие из них крайне необходимы живым организмам. Являясь микроэлементами, они активно участвуют в важнейших биохимических процессах. В естественных условиях и почвы, и растения в обязательном порядке содержат определенное количество тяжелых металлов. Но чрезмерное их накопление может оказаться причиной разрушения целостности природного комплекса; ТМ, передаваясь по цепи питания до человеческого организма, могут вызывать различные заболевания, вплоть до злокачественных [12]. Содержащиеся в почвах Южного Урала тяжелые металлы в количестве, превышающем предельно допустимые концентрации, представляют опасность загрязнения ими лекарственных трав [13].

Inula helenium L. – девясил высокий, многолетнее травянистое растение из семейства *Asteraceae*. Согласно Красной книге Республики Башкортостан, исследуемый вид не внесен в список редких, однако нуждается в особом внимании к состоянию в природной среде и мониторинге [4]. Препараты из *I. helenium* L. обладают многосторонним действием: отхаркивающим, кровоостанавливающим, противовоспалительным, бактерицидным, глистогонным, противоаллергическим, противогрибковым, спазмолитическим. Настои и отвары усиливают образование желчи, возбуждают секрецию желудка, кишечника и поджелудочной железы, улучшают пищеварение, снижают проницаемость капилляров и повышают тромбопластическую функцию крови, стимулируют функцию яичников и матки [5].

Широкое применение *I. helenium* L. делает актуальным его исследование с целью определения экологической чистоты сырья, а также выяснения характера накопления специфических загрязнителей Южного Урала в данном лекарственном растении.

Цель настоящей работы – изучение особенностей распределения железа, марганца и никеля по органам *I. helenium* L. в условиях Южного Урала.

Научная новизна исследований заключается в том, что впервые для территорий, характеризующихся насыщенностью (Зауралье) и дефицитом (Предуралье) элементов, определено содержание и накопление ряда ТМ (Fe, Mn, Ni) в почвогрунтах и в подземных и надземных частях *I. helenium* L. Изучены особенности их накопления в вегетативных (корневищах, стеблях, листьях) и генеративных органах (соцветиях, семенах).

Для достижения поставленной цели в 9 ценопопуляциях на территории Республики Башкортостан (Хайбуллинский (ЦП 3), Баймакский (ЦП 4), Зианчуринский (ЦП 5), Ишимбайский (ЦП 6), Гафурийский (ЦП 7, 8), Кармаскалинский (ЦП 9) районы) и Оренбургской области (Гайский район (ЦП 1, 2)) были собраны образцы *I. helenium* L., находящиеся в среднем генеративном состоянии.

Растения были разделены на органы и высушены отдельно по требованию Государственной фармакопеи [1]. В каждой ЦП одновременно были также отобраны почвенные образцы; они были высушены до воздушно-сухого состояния, измельчены и пропущены через сито с размерами ячеек 1 мм. Содержание железа, марганца и никеля в почвенных образцах, а также отдельно в корневищах, стеблях, листьях, соцветиях и семенах растения определяли атомно-абсорбционным методом в центральной лаборатории Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001515358).

Нами использованы величины предельно допустимого содержания подвижной формы тяжелых металлов в почве, мг/кг экстрагент 1 н. HCl, предложенные Х. Чулджияном с соавторами [14] и И.В. Болговой с соавторами [10]. В нормативно-технической документации, регламентирующей качество лекарственного растительного сырья, отсутствуют показатели ПДК, поэтому мы воспользовались в качестве предельно допустимого содержания железа, марганца и никеля в органах исследуемого вида показателями, предложенными В.Б. Ильиным [3].

Для выявления особенностей аккумуляции металлов в органах растения вычислен коэффициент биологического накопления (КБН) по формуле:

$$\text{КБН} = \frac{\text{содержание элемента в растении}}{\text{содержание элемента в почве}}.$$

Считается, что если КБН > 10, вид является концентратором изучаемого элемента. Если 10 > КБН ≥ 1, металл относится к элементам слабого накопления, если 1 > КБН ≥ 0,1 – к элементам слабого захвата [2].

Статистическую обработку данных осуществляли общепринятыми методами с помощью пакета компьютерных программ Microsoft Exsel 2003, Statistica 6,0. При оценке статистической достоверности полученных данных использовали t-критерий Стьюдента.

Железо необходимо для образования зеленых листьев. Недостаток железа тормозит фотосинтез и дыхание и вызывает глубокий хлороз развивающихся листьев. Дефицит железа наблюдается как при его фактическом недостатке в растворе или

субстрате, так и при слишком высоком pH (> 6,0), при холодном и слишком влажном грунте и высоком содержании фосфора в зоне корней. Для травянистых растений считается нормальным содержание железа от 50,0 до 240,0 мг/кг сухого вещества. ПДК железа для трав не установлена, критической является 750,0 мг/кг сухого вещества [3]. Фоновое содержание железа в почвах принято в качестве контроля, оцененного В.А. Черниковым с соавторами [7] в количестве 3800,0 мг/кг.

Реакция растений как на токсическое воздействие железа, так и на его недостаточность весьма изменчива и зависит от их генотипа и вида [8].

Концентрация железа во всех изученных нами ЦП не достигает фонового содержания, кроме ЦП 1, где содержание элемента достигает 12951,9 мг/кг. Данная ЦП расположена в Гайском районе Оренбургский области, на заливном лугу, рядом с сельскохозяйственными угодьями и грунтовой дорогой. Растворимость, подвижность и перемещение железа по профилю почв, наиболее сильно выраженные в плохо дренированных подзолистых почвах зоны высокого увлажнения, связаны с действием органического вещества почвы и продуктов его разложения. В исследованных нами ЦП вида концентрация железа в семенах растения не превышает норму за исключением ЦП 1 и 7, а в остальных органах выше нормы. Более высокое содержание железа характерно для подземных органов и листьев. Содержание железа в органах *I. helenium* L. уменьшается в ряду: подземные органы → листья → соцветия → стебель → семена. Подземные органы растения являются концентратором железа и выполняют барьерную функцию (рис. 1).

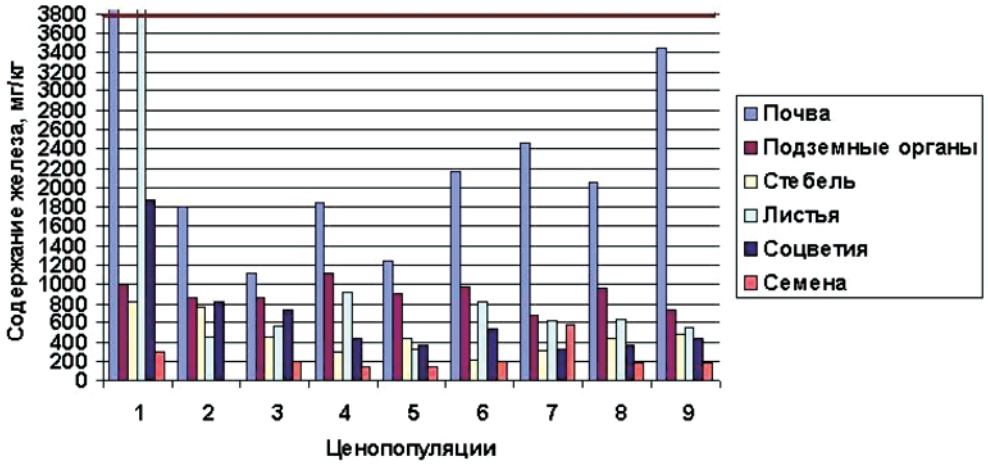

Рис. 1. Содержание железа в органах I. helenium L. и в почвах (—— – фоновое содержание в почве, мг/кг)

Среди ценопопуляций выделяется ЦП 1, характеризующаяся максимальным содержанием железа в почвах, в то же время основное количество металла здесь накапливается в листьях растения, т.е. преобладает фолиарный путь поступления элемента. Причина кроется в загрязненности воздуха пылью из-за проезжающих по грунтовой дороге транспортных средств (рис. 1).

Марганец участвует в биосинтезе хлорофилла и повышает интенсивность фотосинтеза. Он положительно влияет на образование и накопление терпеноидов, в том числе эфирных масел, стероидных и тритерпеновых сапонинов, а также сердечных гликозидов, гликоалкалоидов [9]. Играет важную роль в регулировании генетической функции растений. Марганец выполняет ключевую функцию в биосинтезе и поддержании структуры ДНК в ядре. Избыток марганца на первый взгляд похож на дефицит железа – пожелтение тканей листа между жилками, которые остаются зелеными (межжилковый хлороз). Главное отличие в том, что при недостатке марганца хлороз проявляется в верхней части растения, а дефицит железа начинает проявляться на более старых листьях. Нормальным содержанием марганца для травянистых растений считается концентрация от 25,0 до 250 мг/кг сухого вещества. Токсическим считается содержание больше 500 мг/кг сухого вещества [3].

Месторождения марганцевых руд распространены на западном склоне Южного Урала. Здесь рудопроявления марганцевых руд встречаются в Дуванском, Иглинском, Архангельском, Зианчуринском районах. В Зауралье – в Баймакском, Учалинском и Абзелиловском районах.

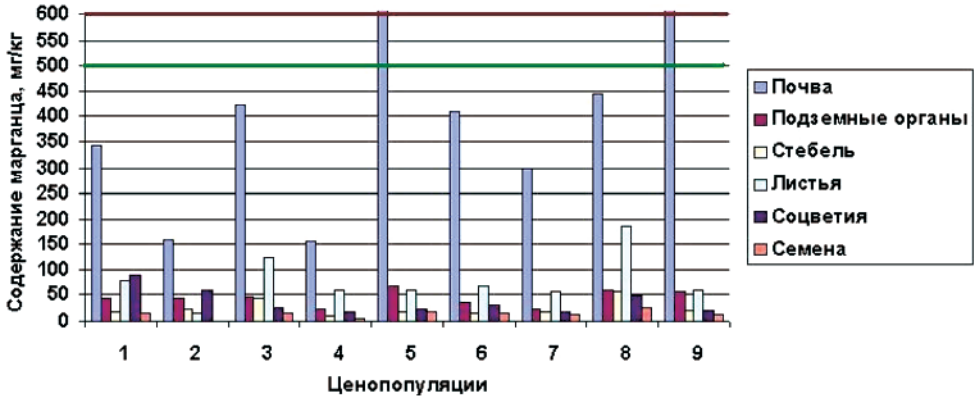

Рис. 2. Содержание марганца в органах I. helenium L. и в почвах (—— – ПДК в растениях, мг/кг; —— – ПДК в почве, мг/кг)

Содержание марганца в почвах ЦП 5 (1356,3 мг/кг) и 9 (705,4 мг/кг) превышает ПДК, установленную в пределах 600 мг/кг [14]. В остальных ЦП содержание марганца не выше ПДК. В сырье *I. helenium* L. содержание марганца находится в пределах ПДК, установленной для травянистых растений в пределах 500 мг/кг [3]. Растение испытывает дефицит марганца, т.к. его содержание в органах находится в пределах от 6 до 186 мг/кг. Для марганца характерен фолиарный тип поступления в организм растений, поэтому наблюдается следующий ряд содержания элемента в органах *I. helenium* L.: листья → подземные органы → стебли → соцветия → семена (рис. 2).

Соотношение Fe/Mn в органах *I. helenium* L.

ЦП	Fe/Mn (мг/кг) в подземных органах	Fe/Mn (мг/кг) в стеблях	Fe/Mn (мг/кг) в листьях	Fe/Mn (мг/кг) в соцветиях	Fe/Mn (мг/кг) в семенах
1	21,9	45,5	159,7	21,0	22,0
2	19,0	33,1	30,6	13,9	-
3	17,7	10,4	4,5	28,3	14,3
4	43,4	34,4	15,5	24,9	22,7
5	13,3	26,4	5,5	15,5	8,6
6	26,9	14,9	12,1	18,3	12,1
7	26,8	18,3	10,7	20,0	53,1
8	15,4	7,7	3,4	7,0	6,7
9	12,4	21,9	9,1	21,7	16,3

Химические элементы в почве действуют на растения комплексно и при этом ослабляют или усиливают действие друг друга. При оценке устойчивости растений к железистой токсичности величина Fe/Mn имеет решающее значение: для нормального развития растений соотношение Fe/Mn должен быть не выше 1,5–2,5, т.к. при более высоких показателях растения испытывают марганцевое голодание [6]. В условиях Южного Урала это соотношение во всех органах превышает данный показатель (таблица)

Биологическая роль никеля заключается в участии в структурной организации и функционировании ДНК, РНК и белка. Также он присутствует и в гормональной регуляции организма. В избытке никель в растениях подавляет процессы фотосинтеза и транспирации, появляются признаки хлороза листьев. Для животных организмов токсический эффект элемента сопровождается снижением активности ряда металлоферментов, нарушением синтеза белка, РНК и ДНК, развитием выраженных повреждений во многих органах и тканях. ПДК никеля в почвах России – 85 мг/кг [10].

Содержание никеля в почве и в органах растения не превышает ПДК, установленную в пределах 85 и 80 мг/кг соответственно [3;10] (рис. 3).

Исследование величин $КБН_{Fe}$ и $КБН_{Mn}$ показало, что *I. helenium* L. не является концентратором данных элементов (рис. 4).

Исследование величины $КБН_{Ni}$ показало, что никель накапливается в органах *I. helenium* L. при дефиците элемента в по-

чвах. В ЦП 3 и 4 КБН$_{Ni}$ в некоторых органах выше 1. При высокой концентрации металла в субстрате наблюдается обратная картина, и вид характеризуется как слабый захватчик никеля: в ЦП 5, 6, 7, 8 и 9 КБН$_{Ni}$ < 1 (рис. 4).

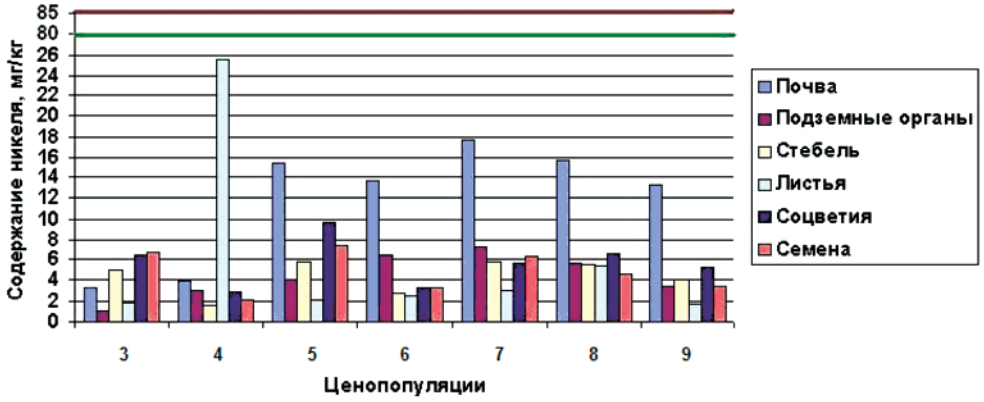

Рис. 3. Содержание никеля в органах I. helenium L. и в почвах (—— – ПДК в растениях, мг/кг; —— – ПДК в почве, мг/кг)

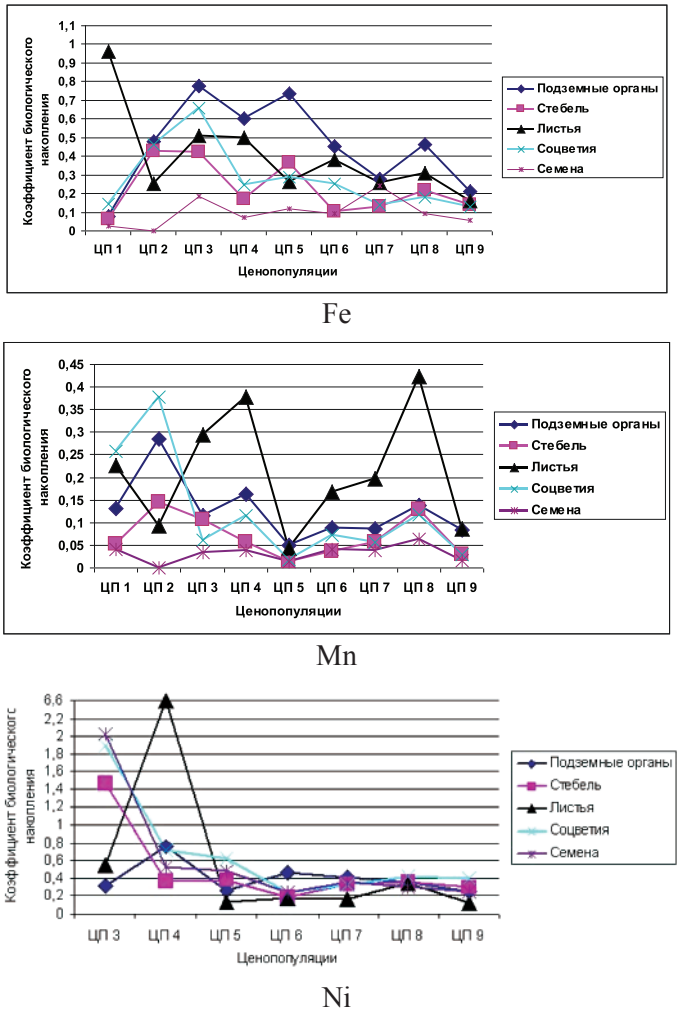

Рис. 4. Коэффициент биологического накопления железа марганца и никеля в органах I. helenium L.

Таким образом, содержание токсического металла – никеля – во всех органах растения соответствует требуемым нормам. Высокое содержание биогенных металлов – железа и марганца – характерно в основном для листьев. Подземные органы, используе-

мые в медицине в качестве лекарственного сырья и в кулинарии как пряность, содержат значительно низкое количество исследуемых элементов. На территории Южного Урала следует рекомендовать заготовку сырья *I. helenium* L. для лекарственных и пищевых целей в отдаленных от деятельности человека местах обитания.

Список литературы

1. Государственная фармакопея СССР. – М.: Медицина, 1990. – 573 с.

2. Ивлев А.М. Биогеохимия. – М.: Высшая школа, 1986. – 127 с.

3. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

4. Красная книга Республики Башкортостан: в 2 т. Т. 1: Растения и грибы / под ред. д-ра. биол. наук, проф. Б.М. Миркина. – 2-е изд., доп. и переработ. – Уфа: Медиа-Принт, 2011. – 384 с.

5. Лекарственные растения. Энциклопедия / сост. И.Н. Путырский, В.Н. Прохоров. – Минск: Книжный Дом, 2003. – 655 с.

6. Старова Н. В. Проблемы экологии: Принципы их решения на примере Южного Урала. – М.: Наука, 2003. – 287 с.

7. Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

8. Шеуджен А. Х. Биогеохимия. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.

9. Экологическая оценка лекарственного сырья растений рода Achillea L. в условиях геохимической провинции Южного Урала: монография / Г.А. Ягафарова, Г.Г. Бускунова, А.А. Аминева, С.И. Янтурин. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2012. – 194 с.

10. Болгова И.В. Таблица Менделеева в живых организмах / И.В. Болгова, М.А. Шапошникова, Р.А. Фандо // Биология. – М., 2008. – № 11. – С. 22–25.

11. Тяжелые металлы в почвах и растениях Южного Урала. II. Экологическое состояние антропогенно нарушенных территорий / М.Г. Опекунова, Н.В. Алексеева-Попова, И.Ю. Арестова, О.В. Грибалев, Д.А. Краснов, Д.Г. Бобров, О.А. Осипенко, Н.И. Соловьева // Вестник СПБГУ. Сер. 7. – 2002. – Вып. 1 (№ 7). – С. 63–71.

12. Сингизова Г.Ш. Тяжелые металлы в системе почва – растениеводческая продукция в условиях техногенного воздействия (на примере г. Сибай): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Оренбург, 2009. – 20 с.

13. Ягафарова Г.А. Экологические особенности тысячелистника азиатского в условиях природного загрязнения тяжелыми металлами: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тольятти: Институт экологии Волжского бассейна, 2006. – 18 с.

14. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Х. Чулджиян и др. // Экологическая конференция. – Братислава, 1988. – Вып 1. – С. 5–24.

15. Шагиева Ю.А., Суюндуков Я.Т. Техногенез и проблема экологической безопасности в Башкирском Зауралье // Создание высокопродуктивных агроэкосистем на основе новой парадигмы природопользования: Сб. докл. в науч.-практич. конф., посвященной 95-летию со дня рождения профессора С.Н. Тайчинова. – Уфа: БГАУ, 2001. – С. 63–65.

References

1. State Pharmacopoeia of the USSR. Moscow: Medicine, 1990. 573 p.

2. Ivlev A.M. Biogeochemistry. M: Higher School, 1986. 127 p.

3. Ilyin V.B. Heavy metals in the soil-plant system. Novosibirsk: Nauka, 1991. 151 p.

4. Red Book of the Republic of Bashkortostan in 2 t. T.1: Plants and Mushrooms / ed. Dr. biol. Sci. Prof. B. M. Mirkin. – 2nd ed., exp. and redesigned. Ufa MediaPrint, 2011. 384 p.

5. Medicinal plants. Encyclopedia / comp. I.N. Putyrsky, V.N. Prokhorov. Mn.: Book House, 2003. 656 p.

6. Starova N.V. Environmental issues: The principles of their solutions to the example of the Southern Urals. Moscow: Nauka, 2003. 287 p.

7. Chernikov V.A., Alexakhin R.M., Golubev A.V. and etc. Agroecology / Ed. V.A. Chernikova, A.I. Chekeresa. Moscow: Kolos, 2000. 536.

8. Sheudzhen A.K., Biogeochemistry. – Maikop: GURIPP «Adygeya», 2003. 1028 p.

9. Ecological assessment of medicinal plants of the genus *Achillea* L. geochemical conditions in the province of Southern Urals: monograph / G.A. Yagafarova, G.G. Buskunova, A.A. Amineva, S.I. Yanturin. Ufa: RITS BashGU, 2012. 194 p.

10. Bolgova I.V. Periodic Table in living organisms / I.V. Bolgova, M.A. Shaposhnikova, R.A. Fando // Biology. Moscow, 2008. no. 11. pp. 22–25.

11. Opekunova M.G., Alekseeva-Popova N.V., Arestova I.Y., Gribalev O.V., Krasnov D.A., Bobrov D.G., Osipenko O.A., Solovieva N.I. Heavy metals in soils and plants of the Southern Urals. II. Ecological state of anthropogenically disturbed areas // Herald SPBGU. Ser. 7. 2002. Issue 1 (no. 7). pp. 63–71.

12. Singizova G.S. Heavy metals in soil – crop production under conditions of anthropogenic impact (on the example of Sibai) // Abstract. Candidate. biol. Science. Orenburg, 2009. 20 p.

13. Yagafarova G.A. Ecological features of yarrow Asian in the conditions of natural pollution with heavy metals. Author. diss. Candidate. biol. Science. Togliatti Institute of Ecology of the Volga Basin, 2006. 18 p.

14. Chuldzhiyan K. and etc. Heavy metals in soils and plants. Environmental Conference. – Bratislava, 1988, no. 1, p. 5–24.

15. Shagieva Y.A., Suyundukov Y.T. Technogenesis and the problem of environmental safety in the Bashkir Trans-Urals // the Creation of highly productive agro-ecosystems on the basis of a new paradigm of natural resources: // Sat reports. in scientific-practical. conf. dedicated to the 95th anniversary of Professor S.N. Taychinova. Ufa BGAU, 2001. pp. 63–65.

Рецензенты:

Суюндуков Я.Т., д.б.н., профессор, член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, директор Зауральского филиала Башкирского государственного аграрного университета, г. Сибай;

Мазгаров И.Р., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой «Физиология человека и животных» Сибайского института (филиал), ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», г. Сибай.

Работа поступила в редакцию 22.05.2013.