

УДК [546.76]:582/475.4(574.42)

СОДЕРЖАНИЕ Cd В ТРАВАХ СОСНОВОГО БОРА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Сибиркина А.Р.

ФГБОУ ВПО Челябинский государственный университет,

Челябинск, Россия (454001, г. Челябинск, ул. Бр. Кашириных, 129) E-mail: sibirkina_alfira@mail.ru

Большинство травянистых растений дикой флоры, в том числе и сосновых боров, являются лекарственными и используются человеком. Однако часто отсутствует достоверная информация о химическом составе растений конкретных географических регионов. В данной работе изучено содержание кадмия в травах соснового бора Семипалатинского Прииртышья. Кадмий не входит в число необходимых для растений элементов, однако он эффективно поглощается как корневой системой, так и листьями. Рассчитанные коэффициенты накопления и перераспределения свидетельствуют о том, что, произрастая даже на фоновых, незагрязненных почвах, травянистые растения, вследствие нарушения или ослабления барьерной функции корня по отношению к соединениям кадмия, способны накапливать его в значительных количествах. Установлено, что кадмий для травянистых растений является элементом энергичного накопления.

Ключевые слова: кадмий, травы, сосновый бор, Семипалатинское Прииртышье.

THE MAINTENANCE OF CD IN THE GRASS OF PINE FORESTS NEAR THE IRTISH RIVER IN SEMEY IN KAZAKHSTAN REPUBLIC

Sibirkina A.R.

FSBEIVT Chelyabinskii state university,

Chelyabinsk, Russia (454001, Chelyabinsk, street Br. Kashirinyh, 129) E-mail: sibirkina_alfira@mail.ru

The Majority rubbed wild flora, including of pine forests, are medicinal and are used person. However, often is absent reliable information on chemical composition of the plants concrete geographical region. In work learn contents cadmium in the grass of pine forests near the Irtysh River in Semey. The Cadmium does not rank along required for plants element, however he is effectively absorbed both root system, and sheet. The Calculated factors of the accumulation and redistributions are indicative of that the barrier at, sprouting even on background ground, herbs, in consequence of breach or weakening to functions root to join cadmium, capable to accumulate him(it) in quite a numbers. It Is Installed that cadmium for rubbed is an element of the eager accumulation.

Keywords: cadmium, grass, pine forests, the Irtysh River in Semey.

Организмы различных трофических уровней, в том числе и травянистые растения, активно участвуют в стабилизации экосистем, выступая как в роли геохимических барьеров, так и в качестве природных депо химических элементов [3]. Считается, что кадмий не входит в число необходимых для растений элементов, однако он эффективно поглощается как корневой системой, так и листьями. Химический состав растений определяется той средой, в которой они произрастают [2]. Кадмий можно отнести к числу приоритетных загрязнителей окружающей среды Семипалатинского Прииртышья Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан, является биотоксичным, высоко мобильным в почвах и доступным для

растений элементом. Большинство растений дикой флоры, в том числе и соснового леса Семипалатинского Прииртышья, являются лекарственными. Данных по содержанию кадмия и других тяжелых металлов в растениях соснового бора Семипалатинского Прииртышья очень мало, хотя они служат основой для оценки региональных биологических ресурсов и масштабов их нарушенности. Высокая токсичность кадмия и слабая изученность его содержания в травянистых растениях, произрастающих в реликтовом сосновом бору Семипалатинского Прииртышья, послужили основанием для проведения данного исследования.

Отбор проб проводили в летне-осенний период (август – сентябрь) 2007 года на различных участках семипалатинского равнинного и бугристого песчаных лесных районов: в окрестностях г. Семей с углублением в лес на 500–1500 м к западу и северо-западу от города, в Бескарагайском районе (в районах сел Бегень и Сосновка), в Бородулихинском районе.

Всего в исследуемых районах было обнаружено 52 вида травянистых растений из 18 семейств. При отборе, транспортировке, хранении и подготовке растительных проб для анализа были использованы методические указания, инструкции, опубликованные во многих научных работах и утвержденные в стандартах. Латинские названия растений даны по Арыстангалиеву С.А. и др. [1].

В пределах ленточных боров располагаются равнинные и бугристые боровые пески, своеобразные лесостепные осолоделые слабогумусированные рыхлопесчаные почвы, промытые от карбонатов на большую глубину. Почвообразующими породами являются древнеаллювиальные песчаные отложения, перевеянные в районах с бугристым рельефом. Были определены валовое содержание кадмия в почве и его подвижные формы: кислоторастворимая (1н. раствор HCl), обменная (ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8), водорастворимая (бидистиллированная вода). Всего проанализировано 78 почвенных и 417 растительных проб.

Были вычислены коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение концентрации химического элемента в живом организме растений (в золе) к концентрации его в среде (валовое содержание в почве) [Ильин, Степанова, 1982], показатель биотичности элементов (ПБЭ) – отношение содержания элемента в растениях к кларку земной коры. По аналогии с КБП элементы со значениями ПБЭ, равными 0,3 и выше, играют наиболее существенную роль в биологическом круговороте веществ в экосистеме [Глазовский, 1987]. Для характеристики распределения элементов между живым веществом и окружающей средой были вычислены коэффициенты накопления ($K_{н1}$) [Глазовский, 1987] и ($K_{н2}$) [4]. Коэффициент накопления ($K_{н1}$) – отношение концентрации элемента в воздушно-сухой массе органов растения (мг/кг) к концентрации валовой и подвижных форм соединений элемента в почве (мг/кг). $K_{н1}$ близок к КБП, но поглощение является физиологическим процессом, а накопле-

ние – результат как поглощения, так и внутреннего перераспределения химических элементов. Если $K_{н1}$ меньше 1, то превалирует загрязнение растений из почвы, если больше – 1, то кроме поступления в растительную продукцию металлов из почвы имеет место загрязнение из атмосферы. Коэффициент накопления ($K_{н2}$) выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почве: $K_{н2} = C_{корни} : C_{почва}$, где $C_{корни}$ – содержание элемента в корнях, $C_{почва}$ – содержание элемента в почве. Коэффициенты накопления были рассчитаны относительно валового содержания кадмия в почвах и его подвижных форм.

Для характеристики процессов перехода кадмия из корней в надземную часть растений рассчитывали коэффициент перехода ($K_{п}$), равный отношению содержания кадмия в надземной фитомассе к таковому в корнях [4]: $K_{п} = C_{листья} : C_{корни}$, где $C_{листья}$ – содержание элемента в листьях, $C_{корни}$ – содержание элемента в корнях.

Полученные экспериментальные данные были обработаны вариационно-статистическими методами, которые описаны в руководстве Плохинского Н.А. с помощью программы Microsoft Excel [8].

В растительном покрове соснового бора преобладают осоковые, степные дерновинные злаки и разнотравье. Все живые организмы выполняют концентрационную функцию, которая неразрывно связана с нахождением элементов в среде обитания. Данные о содержании кадмия в травах соснового бора представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание кадмия в травах соснового бора Семипалатинского Прииртышья по пунктам отбора, мг/кг

Пункты отбора	$\bar{x} \pm m \bar{x} (Cv, \%)$ min-max	
	в сухом в-ве	в золе
1	2	3
В районе с. Бегень, n = 90	<u>0,130±0,007 (169,10)</u> 0,003-0,983	<u>1,132±0,066 (121,47)</u> 0,050-4,500
В районе с. Бегень, n = 45 (горельник 2007 г.)	<u>0,097±0,005 (278,55)</u> 0,015-0,197	<u>1,435±0,083 (65,41)</u> 0,100-3,100

1	2	3
В районе с. Сосновка, n = 108	<u>0,179±0,010 (118,55)</u> сл.-0,663	<u>2,155±0,125 (127,14)</u> сл.-13,000
В районе г. Семей, n = 120	<u>0,200±0,011(184,53)</u> сл.-2,173	<u>2,971±0,172 (135,67)</u> сл.-14,000
Бородулихинском районе, n = 54	<u>0,165±0,009 (223,64)</u> сл.-1,148	<u>2,18±0,126 (169,82)</u> сл. – 11,000
Среднее	<u>0,154±0,008 (194,87)</u> сл.– 2,173	<u>1,914±0,111 (123,90)</u> сл. – 14,000

Максимально высокие концентрации кадмия были обнаружены в травах, произрастающих в сосновом бору в окрестностях г. Семей и в районе с. Сосновка (Бескарагайский район), что находится в 170 км к западу от г. Семей по преобладающей розе ветров. Как показали исследования, фитоценоз соснового бора в данных пунктах отбора, отличается максимально высокими концентрациями не только кадмия, но и других элементов, что может быть следствием влияния антропогенных факторов. В частности, сосновые леса Бескарагайского района в конце 1990–х начале 2000 годов подверглись воздействию мощных пожаров. По данным космической съемки только за период с 1995 по 2002 гг. пожарами в борах Прииртышья уничтожено 162 тыс. га сосновых лесов, что составляет 34 % их площади [10]. Пожары являются одним из наиболее существенных факторов, вносящих коренные изменения в лесные экосистемы [6]. Кроме того, следует отметить, что ВКО, в состав которого входит и Семипалатинское Прииртышье, в силу исторически сложившегося экономического развития, связанного с преобладанием цветной металлургии и горнодобывающей промышленности, является одним из наиболее неблагоприятных регионов в Казахстане, что, несомненно, нашло отражение в формировании химического состава лесных фитоценозов. Содержание кадмия в травах по всей исследуемой территории составляет примерно 2,0–4,0 его ПДК (0,05–0,1 мг/кг), приведенного в работе Н. В. Лукиной и В. В. Никонова [7]. Химический состав среды формирует и химический состав организмов, закрепляя его в генетическом аппарате, что позволяет говорить о видоспецифичности накопления металлов в живых организмах. Растения, отражая видовые особенности содержания химических элементов, несут, вместе с тем, локальную окраску состава среды их обитания. Уровни содержания кадмия в травянистых растениях, относящихся к различным семействам, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Содержание кадмия в травянистых растениях из различных семейств, мг/кг сухого вещества

Семейства	$\bar{x} \pm m \bar{x} (Cv, \%)$ min-max		
	растение в целом	корни	надземная часть
1	2	3	4
Осоковые, n=9 Syringaceae J. St. Hill.	<u>0,079±0,005 (80,06)</u> 0,007-0,194	<u>0,085±0,005 (111,62)</u> 0,007-0,194	<u>0,073±0,004 (104,78)</u> 0,050-0,098
Злаковые, n=33 Gramineae Juzz.	<u>0,395±0,008(144,61)</u> 0,003-2,410	<u>0,366±0,020 (130,12)</u> 0,098-0,538	<u>0,421±0,024 (170,14)</u> 0,003-2,410
Лилейные, n=9 Liliaceae Hall.	<u>0,032±0,002(77,62)</u> 0,009-0,062	<u>0,009±0,0005 (4,12)</u> 0,009-0,010	<u>0,051±0,003 (5,19)</u> 0,048-0,053
Маревые, n=12 Chenopodiaceae Less.	<u>0,265±0,015(58,48)</u> 0,119-0,458	<u>0,166±0,010 (58,72)</u> 0,110-0,178	<u>0,298±0,017 (57,17)</u> 0,119-0,458
Гвоздичные, n=12 Caryophyllaceae Juzz.	<u>0,165±0,009(98,87)</u> 0,019-0,627	<u>0,131±0,007 (43,19)</u> 0,089-0,0193	<u>0,176±0,010 (106,33)</u> 0,019-0,627
Лютиковые, n=15 Ranunculaceae Juzz.	<u>0,211±0,012(146,17)</u> сл.-0,471	<u>0,006±0,0003 (4810,37)</u> 0,059-0,471	<u>0,239±0,014 (151,57)</u> сл.-1,148
Крестоцветные, n=36 Crucifera Juzz.	<u>0,134±0,008(56,35)</u> 0,024-0,164	<u>0,094±0,005 (23,19)</u> 0,070-0,112	<u>0,147±0,008 (56,64)</u> 0,024-0,164
Розоцветные, n=21 Rosaceae Juzz.	<u>0,469±0,027(87,82)</u> 0,031-0,983	<u>0,430±0,023 (76,61)</u> 0,050-0,625	<u>0,499±0,027(102,84)</u> 0,031-0,983
Бобовые, n=30 Leguminosae Juzz.	<u>0,042±0,002(84,25)</u> 0,005-0,096	<u>0,031±0,016 (95,31)</u> 0,006-0,067	<u>0,050±0,003 (77,46)</u> 0,005-0,096
Зонтичные, n=12 Umbelliferae Moris.	<u>0,129±0,007(51,70)</u> 0,073-0,223	<u>0,092±0,005 (13,64)</u> 0,087-0,112	<u>0,141±0,007 (4,08)</u> 0,073-0,223
Сложноцветные, n=132 Compositae (Vaill.) Adans.	<u>0,194±0,011(200,45)</u> 0,001-2,173	<u>0,309±0,017 (210,48)</u> 0,006-2,173	<u>0,156±0,009 (163,50)</u> 0,001-0,980
Ворсянниковые, n=12 Dipsacaceae Lindl.	<u>0,035±0,002(16,31)</u> 0,025-0,040	<u>0,040±0,002 (31,78)</u> 0,025-0,045	<u>0,033±0,002 (17,28)</u> 0,027-0,038
Мареновые, n=12 Rubiaceae Juzz.	<u>0,063±0,004(182,38)</u> 0,005-0,235	<u>0,006±0,0003 (5,14)</u> 0,003-0,007	<u>0,082±0,004 (160,88)</u> 0,005-0,235

1	2	3	4
Норичниковые, n=36 Scrophulariaceae Lindl.	<u>0,047±0,003(73,71)</u> 0,001-0,092	<u>0,002±0,0001 (29,81)</u> 0,0015-0,002	<u>0,062±0,003 (41,87)</u> 0,027-0,092
Тутовые, n=12 Moraceae Lindl.	<u>0,033±0,002(23,86)</u> 0,024-0,051	<u>0,041±0,002 (26,32)</u> 0,035-0,051	<u>0,030±0,002 (22,24)</u> 0,024-0,037
Хвощовые, n=6 Equisetaceae Rich.	<u>0,147±0,008(54,85)</u> 0,058-0,236	<u>0,067±0,004 (2,14)</u> 0,058-0,071	<u>0,228±0,012 (4,54)</u> 0,117-0,236
Заразиховые, n=6 Orobanchaceae Lindl.	<u>0,066±0,004(57,50)</u> 0,054-0,078	-	<u>0,066±0,004(57,50)</u> 0,054-0,078
Подорожниковые, n=12 Plantaginaceae Lindl.	<u>0,036±0,002(27,00)</u> 0,025-0,046	<u>0,044±0,002 (5,64)</u> 0,028-0,46	<u>0,032±0,002 (7,85)</u> 0,025-0,036
Среднее для 18 семейств, n=417	<u>0,141±0,007 (84,56)</u> сл.-2,410	<u>0,113±0,007 (334,01)</u> 0,0015-2,173	<u>0,155±0,009 (72,88)</u> сл.- 2,410

В настоящее время имеются многочисленные данные, свидетельствующие о том, что разные виды растений проявляют различную устойчивость к действию загрязняющих веществ [5]. Среднее содержание кадмия в изученных 18 семействах травянистых растениях не превысило его фонового значения (0,4 мг/кг), представленного в работе М.С. Панина [Панин, 2000]. Содержание кадмия выше фона, отмечено для трав из семейства Розоцветные, примерно на 17,2%, концентрации, близкие к аномальным значениям кадмия в растениях (2,3 мг/кг) [Панин, 2000], выявлены у представителей семейства Злаковые и Сложноцветные. О способности растений семейства Сложноцветные концентрировать соединения тяжелых металлов указывается и в работах В.С. Безеля с соавторами [4]. Растения семейства сложноцветные, являясь эволюционно более продвинутыми, обладают широкой нормой реакции, что способствует их более полной адаптации к условиям химического стресса. Очевидно, растения семейства Злаковые также можно отнести к растениям сверхконцентраторам. Толерантность и адаптация некоторых растительных видов к повышенным содержаниям кадмия, хотя они и возможны с точки зрения охраны окружающей среды, представляют угрозу для здоровья человека. На основании санитарно-гигиенических показателей (мутагенность, канцерогенность) кадмий относится к элементам I класса опасности (высокотоксичные) [Методические рекомендации..., 1982] и оказывает исключительно негативное воздействие на живые организмы. Основная причина токсичности связана с нарушением у растений энзиматической активности, подавлением образование хлорофилловых пигментов. Видимые симптомы заражения – это задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев, красно-бурая окраска их краёв или прожилков. Химические элементы через клеточные мембраны

входят в органические соединения клеток, образуя биоконплексы, либо могут связываться на поверхности клеток в концентрациях, в десятки и сотни раз превышающих их содержание в среде. Адаптация к высоким концентрациям элементов приводит к появлению видов – концентраторов (и сверхконцентраторов) отдельных элементов. Среднее содержание кадмия в изученных семействах травянистых растений превышает ПДК в 1,4–2,8 раза (ПДК Cd = 0,05–0,10 мг/кг сухого вещества) [7].

Основным звеном в круговороте химических элементов в биосфере является почвенный покров, сведения о содержании кадмия в борových песках представлены в таблице 3.

Таблица 3. Валовое содержание и подвижные формы кадмия в борových песках соснового бора Семипалатинского Прииртышья (глубина 1–20 см, n=78), мг/кг

Валовое содержание	Подвижные формы		
	Кислоторастворимая	Обменная	Водорастворимая
<u>0,167±0,008</u>	<u>0,032±0,0017</u>	<u>0,006±0,0018</u>	<u>0,006±0,0002</u>
0,002 - 1,82	0,0015-0,115	0,003-0,028	0,002-0,059

Примечание. В таблице в числителе - $\bar{x} \pm m_x$, в знаменателе – min-max.

Содержание кадмия в борových песках в 3,0 раза ниже его ПДК (0,5 мг/кг) для почв Казахстана [9]. Исходя из соотношения подвижных форм кадмия к его валовому содержанию, установлено, что доступность его для растений невелика (всего 8,98 %), а по отношению кислоторастворимая форма: валовое содержание изученные пески относятся к категории фоновых почв ($Cd_{\text{кислот. форма}}/\text{валовое сод.} = 19,16 \%$). Растения суши способны к селективной концентрации – повышенному накоплению отдельных элементов в определенных органах и тканях. Более высокие концентрации кадмия в корнях по сравнению с надземной частью зафиксированы для растений семейств Осоковые, Сложноцветные, Ворсянниковые и Подорожниковые, для остальных изученных растений – максимальные концентрации характерны для надземной части (таблица 2). У этих растений наблюдается нарушение или ослабление барьерной функции корня по отношению к соединениям кадмия, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты накопления ($K_{n1} = 0,8; 4,4-23,5; K_{n2} = 0,7; 3,5-18,8$ для валового содержания и подвижных форм, соответственно) и коэффициент перераспределения ($K_{п} = 1,4$). Загрязнение травянистых растений кадмием происходит не только из почвы, но и из атмосферы. По показателю КБП (11,46) кадмий, согласно рядам биологического поглощения, разработанным А.И. Перельманом [Перельман, 1989], является элементом энергичного накопления и играет существенную роль в общем круговороте веществ в лесной экосистеме ($ПБЭ_{Cd} = 1,1$).

ВЫВОДЫ

1. Рассчитанные коэффициенты накопления и перераспределения свидетельствуют о том, что, произрастая даже на фоновых, незагрязненных почвах, травянистые растения, вследствие нарушения или ослабления барьерной функции корня по отношению к соединениям кадмия, способны накапливать его в значительных количествах.
2. Содержание кадмия в травянистых растениях, произрастающих в сосновом бору Семипалатинского Прииртышья, составляет примерно 2,0–4,0 раза его ПДК, но не превышает его фоновых значений для Восточно-Казахстанского региона.
3. Растения семейств Осоковые, Сложноцветные, Ворсянниковые и Подорожниковые характеризуются акропетальным типом накопления кадмия, для остальных растений изученных семейств выявлен базипетальный тип накопления.

Список литературы

1. Арыстангалиев С.А., Рамазанов Е.Р. Растения Казахстана. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1977. – 288 с.
2. Бабкин В.В., Завалин А.А. Физиолого-биохимические особенности аспекта действия тяжёлых металлов на растения // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С.17-21.
3. Безель В.С., Жуйкова Т.В. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности // Экология. – 2007. – № 4. – С. 259-267.
4. Безель В.С., Жуйкова Т.В., Позолотина В.Н. Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // Экология. – 1998. – № 5. – С. 376-382.
5. Калимова И.Б. Токсическое действие тяжелых металлов и устойчивость к ним проростков: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – СПб., 2009. – 17 с.
6. Куценогий К.П., Чанкина О.В. и др. Постпирогенные изменения элементного состава лесных горючих материалов и почв в сосновых лесах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. – 2003. – № 6. – С. 735-742.
7. Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. – 1993. – № 6. – С. 34-41.
8. Плохинский Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во Моск. университет, 1975. – 367 с.
9. Совместный приказ Министерства здравоохранения (№ 99 от 30.01.2004 г.) и Министерства охраны окружающей среды (№ 21-п от 27.01.2004 г.).
10. Устемиров К.Ж. Лесокультурная оценка гарей в Прииртышье и разработка мер по улучшению условий их обсеменения с целью восстановления сосновых насаждений: автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. – Алматы, 2010. – 22 с.

Рецензенты:

Гетманец И.А., д.б.н., зав. кафедрой общей экологии Челябинского государственного университета, г. Челябинск;

Сагаева А.Р., д.б.н., профессор, зав. кафедрой экологии и защиты окружающей среды Семипалатинского государственного университета имени Шакарима, г. Семей.