

УДК 550.47

АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ- ДОМИНАНТАХ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2014 Л.П. Гашкова, Е.С. Иванова

ГНУ СибНИИСХиТ Россельхозакадемии, г. Томск

Поступила в редакцию 15.05.2014

Сравнивается накопление тяжёлых металлов доминантами растительных сообществ на участках болот с различной антропогенной нагрузкой. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения. Выявлено, что наибольшее накопление тяжёлых металлов концентрируется на участках торфодобычи, расположенных рядом с автодорогами и в зоне влияния промышленных предприятий городов Томска и Северска.

Ключевые слова: *загрязнение, окружающая среда, тяжёлые металлы, болото, осушение, торфодобыча*

Болотные биогеоценозы отличаются устойчивостью и способностью к самовосстановлению, но различные виды антропогенного воздействия способны кардинально влиять на биохимические процессы в растениях. Миграция химических элементов в биогеоценозах всё больше трансформируется благодаря резко возрастающему глобальному росту промышленного производства, развитию автотранспорта. Основными индикаторами загрязнения окружающей среды являются тяжёлые металлы (ТМ). Поступление этих веществ в атмосферу из природных источников существенно уступает промышленным выбросам [1, 2]. Растения обладают способностью аккумулировать их в своих тканях, отражая, таким образом, изменения химического состава среды [3, 4]. Выявление особенностей накопления ТМ в растениях позволяет разработать критерии оценки антропогенного воздействия и проводить мониторинг ненарушенных ландшафтов [5].

Цель работы: воздействие различных видов антропогенных факторов на аккумуляцию Zn, Cu, Cd и Pb в растениях.

Объекты и методика исследований. Для определения содержания ТМ отбирались пробы торфа и наземной части растений-доминантов травяно-кустарничково яруса на 12 участках торфяных болот с различной степенью антропогенной нарушенности в юго-западной части

Томской области (табл. 1) Степень нарушенности участков определялась по [6]. Концентрация ТМ определялась методом инверсионной вольтамперометрии. Для оценки интенсивности накопления растениями ТМ применялся коэффициент биологического поглощения, который определялся по соотношению содержания микроэлемента в золе растения и в корнеобитаемом слое торфяной залежи [7]. Для расчетов использовались результаты определения содержания тяжёлых металлов в слое 0-10 см торфяной залежи ключевых участков болот. Вычислена биогеохимическая активность видов [8] по отношению к ТМ, которая является суммой коэффициентов биологического поглощения отдельных элементов. Растения определялись по [9]. Статистический анализ результатов проведён с использованием программ Excel 7.0 и Statistica 8.0.

Результаты и их обсуждение. Интенсивность биологического накопления микроэлементов зависит не только от свойств, присущих им как химическим элементам, а является функцией большого числа независимых факторов, среди которых обычно выделяются две – экологическая (внешняя) и физиологическая (внутренняя) [10]. Среди экологических факторов важнейшее значение имеет концентрация химических элементов в среде питания, доступность элементов для растений, климатические, ландшафтно-геохимические и другие условия их произрастания. Физиологические факторы, во-первых, предполагают, что у некоторых растений могут быть развиты специфические барьеры поглощения, защищающие их от избыточного накопления токсичных микроэлементов. Во-вторых, поглощение микроэлементов растениями зависит от их видовой принадлежности, фазы вегетации и ряда других факторов [10].

Гашкова Людмила Павловна, младший научный сотрудник лаборатории торфа и экологии. E-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Иванова Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории торфа и экологии. E-mail: ivanova_e_s@bk.ru

Таблица 1. Характеристика участков в пунктах отбора проб

№	Вид антропогенного воздействия	Степень нарушения	Доминант травяно-кустарничкового яруса	Тип водного питания болота	Географическое положение
1	осушение, пожар	высокая	<i>Carex rostrata</i>	переходное	бассейн р. Икса
2	осушение, торфодобыча, промышленные предприятия	очень высокая	<i>Carex rostrata</i>	низинное	терраса р. Томь
3	осушение, автодорога, промышленные предприятия	высокая	<i>Carex rostrata</i>	низинное	терраса р. Томь
4	осушение	высокая	<i>Carex rostrata</i>	низинное	пойма р. Томь
5	осушение	средняя	<i>Carex rostrata</i>	низинное	пойма р. Томь
6	осушение, торфодобыча	очень высокая	<i>Urtica dioica</i>	низинное	терраса р. Обь
7	осушение, торфодобыча	очень высокая	<i>Urtica dioica</i>	низинное	терраса р. Обь
8	осушение, торфодобыча	очень высокая	<i>Urtica dioica</i>	низинное	терраса р. Обь
9	осушение, пожар	высокая	<i>Chamaedaphne calyculata</i>	верховое	бассейн р. Икса
10	осушение, пожар	средняя	<i>Chamaedaphne calyculata</i>	верховое	бассейн р. Икса
11	осушение, пожар, автодорога	высокая	<i>Chamaedaphne calyculata</i>	верховое	бассейн р. Икса
12	осушение, автодорога, промышленные предприятия	очень высокая	<i>Chamaedaphne calyculata</i>	переходное	терраса р. Томь

С методической точки зрения наибольшие затруднения связаны с определением источников поступления химических элементов в растения, так как часто питание бывает смешанным. По мнению В.В. Ковальского [11] в природных ситуациях говорить о почвенном питании можно в тех случаях, когда корневая система не имеет контакта с водоносным горизонтом или его капиллярной каймой. При наличии такового контакта растение получает почвенно-водное питание. Оба эти источника предполагают корневое поглощение и являются основными поставщиками большинства химических элементов в растение. Большое значение для торфяных болот, особенно для верховых, имеет атмосферное питание, которое является основным источником накопления элементов в растениях [12].

Анализ полученных результатов по содержанию ТМ в растениях *Carex rostrata* Stokes

показал, что наибольшее накопление Cd и Pb наблюдается на низинном болоте, подвергнутом торфодобыче (участок 2), находящемся в зоне влияния промышленных предприятий. На этом участке растения активно накапливают и биогенные микроэлементы. Cu и Pb здесь содержится чуть больше, чем в среднем для растений незагрязнённых территорий [13]. Примерно такое же содержание Cu и Zn наблюдается в *C. rostrata* на осушенном низинном болоте (участок 5), при этом содержание Cd и Pb на нём гораздо ниже, что свидетельствует о меньшей антропогенной нагрузке. Коэффициент биологического поглощения для биогенных элементов примерно одинаков в этих двух точках, однако для Cd и Pb он гораздо выше на участке 2 с более сильным атмосферным загрязнением.

Таблица 2. Содержание тяжёлых металлов (Iх), коэффициент биологического поглощения (Ах) и биогеохимическая активность вида (БХА) *Carex rostrata*

№ участка	Zn		Cd		Pb		Cu		БХА
	Iх (мг/кг)	Ах	Iх (мг/кг)	Ах	Iх (мг/кг)	Ах	Iх (мг/кг)	Ах	
1	5,90 ± 1,18	2,21	0,17 ± 0,05	0,013	0,26 ± 0,08	0,035	1,37 ± 0,41	0,386	2,64
2	28,85 ± 8,65	1,02	0,45 ± 0,14	4,50	1,85 ± 0,56	0,30	11,25 ± 3,37	1,26	7,08
3	10,28 ± 3,08	3,45	0,31 ± 0,09	3,80	0,45 ± 0,14	0,07	2,21 ± 0,66	3,82	11,14
4	17,6 ± 5,28	4,23	0,19 ± 0,06	0,012	0,19 ± 0,06	0,023	1,71 ± 0,51	0,735	5,00
5	28,88 ± 8,66	1,29	0,17 ± 0,44	0,019	0,15 ± 0,05	0,060	9,68 ± 2,90	1,107	2,54

Биогеохимическая активность вида наибольшая на участке 3, находящемся под влиянием автодороги и промышленных предприятий за счёт активного накопления всех элементов, кроме Pb. На всех участках в *C. rostrata* Zn является элементом биологического накопления ($A_x > 1$), и поглощается активнее других элементов (табл. 2). По интенсивности поглощения элементы располагаются в следующей последовательности: $Zn > Cd > Cu > Pb$.

Исследования содержания тяжелых металлов в *Urtica dioica* L. показали, что на участках 6 и 7, где проводилась более интенсивная торфодобыча, Cd содержится примерно в 2 раза, а Pb в 4 раза больше. Биогеохимическая активность вида на этих участках выше почти в 3 раза по сравнению с менее нарушенным участком 8, в основном за счёт интенсивного поглощения Pb. В ряду интенсивности биологического поглощения у *U. dioica* на первое место выходит Cd: $Cd > Zn > Cu > Pb$ (табл. 3).

Таблица 3. Содержание тяжёлых металлов (Ix), коэффициент биологического поглощения (Ax) и биогеохимическая активность вида (БХА) *Urtica dioica*

№ участка	Zn		Cd		Pb		Cu		БХА
	Ix (мг/кг)	Ax	Ix (мг/кг)	Ax	Ix (мг/кг)	Ax	Ix (мг/кг)	Ax	
6	16,42 ± 4,93	1,36	0,38 ± 0,11	3,17	0,55 ± 0,17	0,31	2,58 ± 0,77	0,98	5,82
7	10,30 ± 3,09	0,48	0,47 ± 0,12	3,92	0,39 ± 2,50	0,20	1,51 ± 0,45	0,27	4,87
8	8,9 ± 2,65	0,75	0,2 ± 0,06	0,59	0,11 ± 0,03	0,07	1,13 ± 0,34	0,31	1,72

Результаты анализа содержания ТМ в *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. показали, что наименьшая концентрация Pb наблюдается у растений, обитающих на максимальном удалении от автодороги и других загрязнителей, на осушенном верховом болоте (участок 10), и примерно в 3 раза возрастает его содержание в растениях осушенного верхового болота после пожара, расположенного в 20м от автотрассы и переходного болота, расположенного в зоне влияния промышленных предприятий и автодороги (участки 11, 12). Незначительно увеличивается содержание Pb, и примерно в 4 и 6 раз,

соответственно Zn и Cu на участках после пожара. На всех участках, за исключением наименее нарушенного, интенсивно накапливается цинк. Коэффициент биологического поглощения всех исследуемых элементов выше на наиболее близких к автодороге участках. Биогеохимическая активность вида наиболее высока на участке 11, где накладывается влияние осушения, пожара и автодороги. (табл. 4). По результатам можно построить следующий ряд элементов по убывающей энергии их биологического поглощения для *C. calyculata*: $Zn > Cd > Cu > Pb$.

Таблица 4. Содержание тяжёлых металлов (Ix), коэффициент биологического поглощения (Ax) и биогеохимическая активность вида (БХА) *Chamaedaphne calyculata*

№ участка	Zn		Cd		Pb		Cu		БХА
	Ix (мг/кг)	Ax	Ix (мг/кг)	Ax	Ix (мг/кг)	Ax	Ix (мг/кг)	Ax	
9	13,58 ± 4,07	1,71	0,21 ± 0,06	0,022	0,28 ± 0,08	0,027	4,87 ± 1,46	0,529	2,29
10	4,6 ± 1,38	0,39	0,27 ± 0,08	0,033	0,17 ± 0,05	0,019	0,48 ± 0,14	0,087	0,53
11	14,44 ± 4,33	4,64	0,27 ± 0,08	0,033	0,55 ± 0,16	0,045	4,04 ± 1,21	0,877	5,60
12	16,06 ± 4,81	1,25	0,23 ± 0,07	1,92	0,69 ± 0,21	0,36	4,86 ± 1,46	0,84	4,37

Выводы: сравнительный анализ накопления ТМ в растениях на торфяных почвах показал, что наибольшая их концентрация наблюдается на участках, находящихся в зоне влияния промышленных предприятий городов и автомобильных дорог. На тех участках, где проводилась добыча торфа, активнее всего аккумулируется Cd. Биогеохимическая активность вида варьирует на разных участках, но в среднем она выше у *C. rostrata*. Коэффициент биологического поглощения исследованных нами элементов выше на участках болот с высокой степенью нарушенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Беспамятнов, Г.П.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / *Г.П. Беспамятнов, Ю.А. Кротов.* – Л.: Химия, 1985. 528 с.
2. *Cheng, Shuiping.* Heavy Metal Pollution in China: Origin, Pattern and Control / *Shuiping Cheng* // A State-of-the-Art Report with Special Reference to Literature Published in Chinese Journals *ESPR - Environ Sci & Pollut Res* 10 (3), 2003. P. 192-198.
3. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях. Монография. Пер. с англ. / *А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас.* – М.: Мир, 1989. 439 с.

4. Кудряшова, В.И. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями / автореферат ... канд. биол. наук. – Саранск, 2003. 144 с.
5. Сутормина, Э.Н. Пространственные геохимические особенности ландшафтов Тебердинского государственного природного заповедника / автореферат ... канд. геогр. наук. – Ставрополь, 2010. 22 с.
6. Евсеева, Н.С. Ландшафты болот Томской области. Монография / Н.С. Евсеева, А.А. Синюткина, Ю.А. Харанжевская и др. – Томск: изд-во НТЛ, 2012. 400 с.
7. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Изд-во МГУ, 1999. 610 с.
8. Айвазян, А.Д. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая. Монография. – М.: Изд-во МГУ, 1974. 155 с.
9. Вылцан, Н.Ф. Определитель растений Томской области. – Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 301 с.
10. Летувнинкас, А.И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. 290 с.
11. Ковальский, В.В. Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.И. Раецкая, Т.И. Грачева. – М.: Колос, 1971. 235 с.
12. Глазовская, М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Монография. – М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
13. Ильин, В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва – растение. Монография. – Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

ACCUMULATION THE HEAVY METALS IN PLANTS- DOMINANTS OF ANTHROPOGENICALLY DAMAGED AREAS OF WETLANDS AT THE TERRITORY OF TOMSK OBLAST

© 2014 L.P. Gashkova, E.S. Ivanova

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk

It was compared the accumulation of heavy metals by dominant species of plants communities at the areas of bogs with different anthropogenic loading. The coefficients of biological absorption were calculated. Established that the highest accumulation of heavy metals is concentrated at the areas of peat mining sites located near roads and in the zone of influence of Tomsk and Seversk industrial enterprises.

Key words: *pollution, environment, heavy metals, bog, draining, peat mining*

Lyudmila Gashkova, Minor Research Fellow at the Laboratory of Peat and Ecology. E-mail: gashkova-lp@rambler.ru
Ekaterina Ivanova, Minor Research Fellow at the Laboratory of Peat and Ecology. E-mail: ivanova_e_s@bk.ru