

5. ФР. 1.31.2007.03683. Методика выполнения измерения массовых долей металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. М., 2007. 13 с.

6. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНЛО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.

7. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов, 1992. 6 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.

*Е. В. Товстик*¹, *А. Е. Липатников*¹, *М. В. Зивенко*¹, *Т. Я. Ашихмина*^{1,2}

¹*Вятский государственный университет, tovstik2006@inbox.ru,*

²*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН*

Проблема распространения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на территории Европейской части России, а также некоторых стран Европы в последние годы вызывает все большее опасение [1–7]. Прежде всего, это связано с угрозой биологическому разнообразию естественных экосистем, а также высокой опасностью борщевика для человека.

Эффективный контроль над распространением борщевика Сосновского, возможен только при рациональном подходе, учитывающем его эколого-биологические особенности и отношения с другими компонентами сообществ. К числу факторов, ограничивающих распространение борщевика, относят наличие микро- и мезодепрессий в агроэкосистемах; плотный стеблестой и войлок засохшей травянисто-бурьянистой растительности, затрудняющей попадание плодов на поверхность почвы; способность борщевика к самоизреживанию; загрязнение почвы некоторыми химическими веществами [8].

Среди многих техногенных загрязняющих веществ, тяжёлые металлы (ТМ) занимают особое положение, поскольку, не подвергаются физико-химической деградаци в почве и способны накапливаться в её поверхностном слое. К числу ТМ относят элементы как жизненно необходимые для живых систем, но переходящие в разряд токсичных при повышении некоторых пределов их содержания в биологических объектах, так и элементы, проявляющие токсический эффект уже при относительно низких концентрациях.

Целью данной работы являлось определение содержания ТМ в системе почва – растения борщевика Сосновского.

Для исследования был выбран участок массового роста растений *H. sosnowskyi* на дерново-подзолистых почвах в Фалённом районе Кировской области (N 58°21,558' E 051°33,533'). Контролем служили образцы почв под многовидовыми луговыми сообществами, за пределами участков роста борщевика. Отбор проб почвы для химического анализа производили в летний период на глубину 0–20 см. Определение подвижных и валовых форм ТМ в почве осуществляли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Спектр-5-4» [9]. Химический анализ почв, наряду с определением содержа-

ния ТМ, включал исследование таких агрохимических характеристик почвы, как кислотность солевой вытяжки методом потенциометрии [10], содержание органического вещества методом Тюрина в модификации ЦИНАО [11].

Отбор проб растений борщевика производили одновременно с отбором проб почвы. Для химического анализа растений использовали их надземную (стебли, семена) и подземную (корни) части. После предварительной подготовки проб растений путем сухой минерализации проводили определение в них валового содержания ТМ методом атомно-абсорбционной спектроскопии [9].

В пробах почвы и растений определяли содержание пяти тяжелых металлов: Pb, Zn, Cd, Cu, Ni.

Интенсивность поглощения тяжелых металлов растениями борщевика оценивали по коэффициенту биологического поглощения (КБП). КБП рассчитывали как отношение среднего содержания ТМ в золе растений к среднему содержанию ТМ в корнеобитаемом слое почвы. По интенсивности биологического поглощения все элементы делили на группы: 1 – элементы энергичного поглощения (КБП = 10–100); 2 – сильного поглощения (КБП = 1–10); 3 – слабого поглощения и среднего захвата (КБП = 0,1–1); 4 – элементы слабого захвата (КБП = 0,01–0,1); 5 – очень слабого захвата (КБП = 0,001–0,01) [12].

По данным химического анализа почв, величина обменной кислотности почвы под моносообществами борщевика составила 4,6, в почве контрольного участка – 4,4, что соответствовало среднекислой реакции среды. Содержание органического вещества в почве составило 6,5 и 14,2 % соответственно.

При анализе проб почвы методом атомно-абсорбционной спектроскопии было установлено наличие в них ТМ. При этом содержание их валовых форм, характеризующее общую загрязненность почвы, не превышало ОДК (табл. 1).

Таблица 1

Содержание валовых форм ТМ в почве, мг/кг

Описание участка	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
Моносообщества борщевика	5,74±1,43	0,180±0,054	34,50±6,24	18,65±4,29	17,49±4,89
Многовидовые луговые сообщества	6,36±1,59	0,140±0,042	34,00±14,62	18,28±4,20	17,01±4,76
ОДК	65	1	110	66	40

Почвы под моносообществами борщевика по содержанию в них валовых форм тяжелых металлов, достоверно не отличались от почв под многовидовыми луговыми сообществами. При этом элементный ряд: Zn>Cu>Ni>Pb>Cd, построенный для почв исследуемых участков, отличался от элементарного ряда ОДК: Zn>Cu>Pb>Ni>Cd, расположением никеля и свинца.

Известно, что доступность элементов для питания растений определяется их подвижными формами. Исследование содержания подвижных форм ТМ в почве исследуемых участков, не выявило их превышения относительно ПДК (табл. 2).

Почвы исследуемых участков, по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов, характеризовались следующим элементным рядом: Zn>Pb>Ni>Cu>Cd.

Таблица 2

Содержание подвижных форм ТМ в почве, мг/кг

Описание участка	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
Моносообщества борщевика	1,03±0,26	0,070±0,021	2,60±0,86	0,15±0,04	0,365±0,153
Многовидовые луговые сообщества	1,34±0,34	0,060±0,018	3,48±1,15	0,15±0,04	0,350±0,147
ПДК	6,0	0,2	23,0	3,0	4,0

По интенсивности биологического поглощения борщевиком Сосновского, медь и цинк входили в группу элементов энергичного поглощения; кадмий, свинец и никель – сильного поглощения (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициент биологического поглощения ТМ борщевиком Сосновского

	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni
Корень	5,3	17,7	9,0	71,2	8,1
Стебель	2,6	0,2	10,1	133,1	7,9
Семена	2,2	3,5	22,6	59,7	6,8

Согласно данным литературы, накопление тяжёлых металлов различными органами растений уменьшается в ряду корень > стебель > листья > соцветия. По результатам наших исследований данная зависимость сохранялась для свинца и никеля, частично для кадмия. В случае меди и цинка, данной зависимости не выявлено. В большей степени медь аккумулировалась в стеблях растений борщевика Сосновского, а цинк – в его семенах.

В целом суммарное содержание тяжёлых металлов в подземных органах растений борщевика было ниже – 43,5 мг/кг, чем в надземных органах – 51,2 мг/кг и семенах – 72,4 мг/кг. Значительный вклад в увеличение содержания ТМ в надземных органах вносили медь и цинк. Среди исследуемых тяжелых металлов, КБП меди в стеблях растений борщевика, по сравнению с другими органами, был выше на один, а в некоторых случаях и два порядка.

Таким образом, в результате проведенного исследования, установлен элементный ряд содержания валовых (Zn > Cu > Ni > Pb > Cd) и подвижных (Zn > Pb > Ni > Cu > Cd) форм тяжелых металлов в почвах под моносообществами борщевика, который не отличался от почв под другими многовидовыми луговыми сообществами. Выявлено, что подземные части растений борщевика накапливают тяжелые металлы в большей степени, чем надземные, за исключением цинка и меди, что отражается на суммарном поглощении тяжелых металлов растениями. По интенсивности биологического поглощения, кадмий, свинец и никель относятся к элементам сильного поглощения и аккумулируются преимущественно в корнях растений. Медь и цинк входят в

группу элементов энергичного поглощения и в наибольшей степени аккумулируются в надземных органах: стеблях и семенах растений борщевика.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-2880.2018.5).

Литература

1. Sołtysiak J., Brej T., Tomczyk M. Invasion of the Sosnowsky hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) in Siechnice commune (South-western Poland) and prospects of its eradication // *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu - Biologia i Hodowla Zwierząt*. 2015. V. 78. № 610. P. 73–86.

2. Chadin I., Dalke I., Zakhozhiy I., Malyshev R., Madi E., Kuzivanova O., Kirillov D., Elsakov V. Distribution of the invasive plant species *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Komi Republic (Russia) // *PhytoKeys*. 2017. № 77. P. 71–80.

3. Stojanović V., Petrović S., Kovačević J., Stojanović D., Vjedov I. *Heracleum sosnowskyi* Manden. (Apiaceae): A new invasive species in the flora of Serbia // *Glasnik Šumarskog fakulteta*. 2017. № 116. P. 215–220.

4. Озерова Н. А., Широкова В. А., Кривошеина М. Г., Петросян В. Г. Пространственное распределение борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) в долинах больших и средних рек восточно-европейской равнины (по материалам экспедиционных исследований 2008–2016 гг.) // *Российский журнал биологических инвазий*. 2017. № 3. С. 38–63.

5. Баранова О. Г., Брэлгина Е. Н. Инвазивные виды растений в трех городах Удмуртской Республики // *Российский журнал биологических инвазий*. 2015. № 4. С. 14–21.

6. Boršić I., Borovečki-Voska L., Kutleša P., Šemnički P. New localities of *Heracleum mantegazzianum* Sommier et Levier (Apiaceae) in Croatia and control measures taken // *Periodicum biologorum*. 2015. V. 117. №. 3. P. 449–452.

7. Панасенко Н. Н., Харин А. В., Ивенкова И. М., Зайцев С. А. Распространение инвазионных видов растений на территории Брянской области: *Heracleum sosnowskyi* // *Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований*. 2014. № 1 (5). С. 48–50.

8. Кондратьев М. Н., Бударин С. Н., Ларилова Ю. С. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в неиспользуемые агроэкосистемы // *Известия ТСХА*. 2015. № 2. С. 36–49.

9. ФР.1.31.2007.03683. Методика выполнения измерений массовых долей токсичных металлов в пробах природных, питьевых и сточных вод атомно-абсорбционным методом. М., 2007. 13 с.

10. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.

11. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 6 с.

12. Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1991. 294 с.