

для существования *P.virginalis* складываются в водоемах с высоким уровнем термального загрязнения. В Беларуси такими водоемами являются озера Белое и Лукомское – водоемы-охладители Березовский ГРЭС (Березовский р-н Брестской обл.) и Лукомльской ГРЭС (Чашникский р-н Витебской обл.). В этой связи, необходимо установить четкий контроль за распространением *P.virginalis* в сопредельных государствах, а также принять все необходимые меры по недопущению его попадания в природные водоемы Беларуси из любительских аквариумов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vogt, G. The dimension of biological change caused by autotripleidy: A meta-analysis with triploid crayfish *Procambarus virginalis* and its diploid parent *Procambarus fallax* / G. Vogt, N.J. Dorn, M. Pfeiffer, C. Lukhaup, B.W. Williams, R. Schulz, A. Schrimpf // Zoologischer Anzeiger. – 2019. № 281. – P. 53–67.
2. Chucholl, C. The clones are coming – strong increase in Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*] records from Europe/ C. Chucholl, K. Morawetz, H. Groß // Aquatic Invasions. – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. 511–519.
3. Novitsky, R. A. The first records of Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*] (Crustacea, Decapoda, Cambaridae) in Ukraine / R.A. Novitsky, M.O. Son // Ecologia Montenegrina. – 2016. № 5. – P. 44 – 46.
4. Faulkes, Z. Establishment and care of a colony of parthenogenetic marbled crayfish, Marmorkrebs / Z. Faulkes, S.A. Jimenez // Invertebrate Rearing. – 2010. – Vol. 1, № 1. – P. 10–18.
5. Andriantsoa, R. Ecological plasticity and commercial impact of invasive marbled crayfish populations in Madagascar / R. Andriantsoa, S. Tönges, J. Panteleit, K. Theissing, V.C. Carneiro, J. Rasamy, F. Lyko // BMC Ecology. – 2019. – Vol. 19, № 8. – Mode of access: <https://doi.org/10.1186/s12898-019-0224-1>.

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. ЖОДИНО)

PHYTOREMEDIATION OF SOIL COVER OF URBAN AREAS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF ZHODINO)

Е. В. Журавков, Р. О. Бондарчик, Н. В. Гончарова
Y. Zhuravkov, R. Bondarchik, N. Goncharova

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
goncharova@iseu.by

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Изучены способности представителей сорных растений к накоплению тяжелых металлов (далее – ТМ) в условиях г. Жодино. В ходе исследования рассчитаны коэффициенты накопления цинка, меди, свинца и кадмия, а также их концентрация в сыром растительном материале.

The ability of representatives of weeds to accumulate heavy metals in the conditions of Zhodino was studied. The study calculated the accumulation coefficients of zinc, copper, lead, and cadmium, as well as their concentration in raw plant material.

Ключевые слова: загрязнение почв, тяжелые металлы, урбоэкосистема, фиторемедиация, сорные растения.

Keywords: soil pollution, heavy metals, urban ecosystem, phytoremediation, weed plants.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-244-247>

Современные почвы городских территорий подвержены интенсивным техногенным нагрузкам. Они представляют отдельную группу почв, явно отличающихся от фоновых почв. Для почв городов характерны: сдвиг реакции среды в сторону подщелачивания, пониженный окислительно-восстановительный потенциал, повышенное содержание органического вещества, общего азота, калия и фосфора, а также аккумуляция загрязняющих веществ, включая и тяжелые металлы. Почвы города содержат большое количество чужеродного субстрата, чужеродных образований, включений и артефактов. Применение противогололедных солевых средств в городах приводит к засолению почв весной, что вызывает стресс у растений, включая их гибель.

Городские почвы выполняют значимые экологические функции. Они являются мощным комплексным геохимическим барьером с большой емкостью накопления антропогенных поллютантов, хотя предел этой емкости пока не определен. К малоизученным в городских почвах относятся процессы сорбции, десорбции, трансформации и миграции веществ. Следует учесть, что эти процессы усложняются и другими антропогенными факторами, такими как привнос карбонатной пыли, применение противогололедных средств, кислотными дождями

и др., поэтому экологический мониторинг почв города актуален. К актуальным задачам относится и поиск закономерностей перехода элементов ТМ из неподвижного состояния в легкодоступные для растений и микроорганизмов формы. Этой проблемой занимались многие отечественные и зарубежные исследователи. Однако и в настоящее время нет единого мнения по этому вопросу. С одной стороны, отмечаются пропорциональные связи между валовыми и подвижными формами некоторых ТМ, с другой стороны не обнаружено пропорциональных связей для никеля и хрома.

В почвах городов исследователи постоянно фиксируют превышения предельно допустимых концентраций (далее – ПДК) по таким металлам, как свинец, кадмий, цинк, ртуть и др.

В настоящее время актуальность мониторинговых исследований городских почв обусловлена появлением новых малоизученных свойств, как например, абиотическая каталитическая активность, связанная с высокими концентрациями ТМ и их комплексов с органическими соединениями почвы. Высокая плотность населения в городах позволяет рассматривать почвы мегаполисов как один из природных факторов риска здоровью населения. Поэтому мониторинговые исследования необходимы для разработки практических рекомендаций, технологий и моделей их детоксикации для формирования комфортной городской среды и предупреждения экологических катастроф.

Почва является одним из основных компонентов биосферы и аккумулирует в себе большое количество тяжелых металлов. К числу наиболее перспективных методов очистки почв и грунтов от тяжелых металлов является фиторемедиация. В настоящее время перспективным направлением в выявлении растений ремедиаторов является подбор среди культурных и местных дикорастущих растений видов, производящих большую биомассу и максимально аккумулирующих тяжелые металлы в наземной биомассе [1-4].

В ранее проведенных исследованиях, в условиях почвенной культуры нам удалось: установить фиторемедиационные свойства пастушьей сумки и люцерны синей; показать, что при выращивании гипераккумуляторов на дерново-подзолистых почвах (супесчаной и суглинистой), никель накапливается в больших количествах в ризосфере (для обоих вариантов); обнаружить, что вынос никеля из суглинистой почвы изученными видами растений происходит более эффективно, чем из супесчаной.

Было установлено, что при совместном выращивании пастушьей сумки с бобовыми растениями (синтезирующими полисахариды), повышается доступность тяжелых металлов в ризосфере и их экстракция из почвы, что представляет большой интерес при подготовке будущих специалистов аграрной отрасли по применению технологий очистки загрязненных земель с целью повышения качества сельскохозяйственной продукции, экономической и социальной эффективности производства. Особенно это актуально для территорий, прилегающих к крупным животноводческим комплексам.

Цель данной работы заключалась в проведении анализа современного состояния флоры г. Жодино среди аборигенов и выявления видов, приспособившихся к условиям урбанизированной среды, которые могут быть рекомендованы для оптимизации растительного покрова и улучшения гигиенического состояния урбанизированных территорий, а также в изучении интенсивности поглощения цинка, свинца, меди и кадмия изученными видами растений в условиях города Жодино.

Объектом исследования послужил почвенно-растительный покров города Жодино (4 контрольных участка). Исследования были проведены в 2017-2019 гг. С каждого участка были отобраны образцы почв методом конверта. Параллельно с обследованием почв в местах отбора проб почвы произвели сбор вегетативных частей растений (в середине вегетационного периода), когда накопление тяжелых металлов в вегетативной массе растений достигает своего максимума. Пробы растительности и почвенного покрова отбирались на учетных площадках, размером 1 м на 1 м, расположенных в зоне воздействия Жодинской ТЭЦ. Отобранные растения разбирали по видам, определяли принадлежность к семействам и видам с использованием определителя.

Определение концентраций подвижных форм тяжелых металлов в почвах и растениях проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Спектр» СП-115 в соответствии с методическими указаниями по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озelenения.

Исследования, проведенные показали, что биологическое разнообразие растений в зоне воздействия Жодинской ТЭЦ представлено 45 видами аборигенных растений, относящимися к 21 семейству (таблица 1) [5].

Установлено, что наиболее широко представлены виды растений, относящиеся к семействам астровых, бобовых, гречишных и злаковых. Семейство астровые представлено 11 видами, среди них чаще встречается ромашка непахучая, полынь обыкновенная, тысячелистник обыкновенный; в семействе бобовых выделено 4 вида, которые представлены клевером розовым, клевером пашенным, люпином многолетним и горошком мышиным; гречишных – 4 вида: щавель конский, горец вьюнковый, горец развесистый, горец птичий; пырей ползучий, мятлик луговой и просо куриное – 3 вида семейства злаковых.

Почвенный покров города в пределах контрольных участков исследования представлен дерново-подзолистой почвой. На этих почвах максимально сохранилась естественная растительность.

Для оценки интенсивности поглощения и аккумуляции вегетативной массой растений цинка, меди, свинца и кадмия был рассчитан коэффициент накопления (далее – КН).

Для выявления растений-накопителей были рассчитаны средние концентрации содержания химических элементов по различным видам растений, результаты представлены в таблице 2.

Количественным выражением общей способности вида к накоплению тяжелых металлов является показатель их концентрации в вегетативной массе, который позволяет оценить величину реального массопереноса из почвы в растения.

Таблица 1 – Видовой состав растений вблизи Жодинской ТЭЦ

Вид растений
Пырей ползучий (<i>Elytrigi arepens</i> L.)
Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)
Просо куриное (<i>Echinochloa crus-galli</i> L.)
Хвощ полевой (<i>Equisetum ravense</i> L.)
Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> Webb.)
Тысячелистник обыкновенный (<i>Achilléa millefólium</i> L.)
Ромашка непахучая (<i>Matricaria perforate</i> L.)
Пижма обыкновенная (<i>Tanacétum vulgáre</i> L.)
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgáris</i> L.)
Василёк синий (<i>Centaurea cyánu</i> s L.)
Осот желтый (<i>Sonchus arvensis</i> L.)
Сушеница топяная (<i>Gnaphálium uliginósum</i> L.)
Цикорий обыкновенный (<i>Cichórium íntybus</i> L.)
Мелколепестник канадский (<i>Erigeron canadensis</i> L.)
Лопух большой (<i>Arctium láppa</i> L.)
Марь белая (<i>Chenopodium album</i> L.)
Подорожник большой (<i>Plantago major</i> L.)
Вероника персидская (<i>Veronica persica</i> L.)
Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)
Дрема белая (<i>Melandrium album</i> Garcke)
Торица полевая (<i>Spérgula arvénsis</i> L.)
Звездчатка средняя (<i>Stellária média</i> L.)
Подмаренник цепкий (<i>Galium aparine</i> L.)
Зверобой продырявленный (<i>Hypericum perforatum</i> L.)
Горец вьюнковый (<i>Polýgonum convólulus</i> L.)
Горец птичий (<i>Polýgonum aviculáre</i> L.)
Горец развесистый (<i>Polýgonum lapathifólia</i> L.)
Щавель конский (<i>Rúmex confértuas</i> Willd.)
Фиалка полевая (<i>Viola arvénsis</i> Murr.)
Фиалка трёхцветная (<i>Viola tricolor</i> L.)
Дымянка лекарственная (<i>Fumária officinális</i> L.)
Сныть обыкновенная (<i>Aegopódium podagrária</i> L.)
Крапива жгучая (<i>Urtíca úrens</i> L.)
Тимьян ползучий (<i>Thymus serpyllum</i> L.)
Аистник цикутный (<i>Erodium cicutarium</i> L.)
Семейство розовые (<i>Rosáceae</i>)
Земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.)
Костяника каменистая (<i>Rúbus saxátilis</i> L.)
Семейство гиполеписовые (<i>Hypolepidaceae</i>)
Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> L.)
Семейство спаржевые (<i>Asparagaceae</i>)
Ландыш майский (<i>Convallária majális</i> L.)
Семейство кипрейные (<i>Onagraceae</i>)
Кипрей узколистный (<i>Epilobium angustifólium</i> L.)
Семейство вересковые (<i>Ericaceae</i>)
Черника обыкновенная (<i>Vaccinium Myrtillu</i> L.)

В ходе проведения полевых исследований было выделено 45 видов рудеральных растений, относящихся к 24 семействам. Наиболее часто встречаемыми являются семейства астровых, гвоздичных, бобовых, гречишных и злаковых.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в растительности (мг/кг возд. сух. в-ва)

Вид растения	2		3		4		5	
	Cu		Zn		Cd		Pb	
	min-max	\bar{x}	min-max	\bar{x}	min-max	\bar{x}	min-max	\bar{x}
Пырей ползучий	1,7-6,8	3,9	9-37	24,6	6-35	15,9	0,84-1,4	1,0
Мятлик луговой		2,4		29,9		5,2		1,0
Просо куриное		10,5		40,9		39,4		2,8
Ромашка непахучая	3,4-11,1	7,0	17-38	29,7	15-67	33,0	0,96-1,6	1,2
Подорожник большой	7,4-7,6	7,5	49-80	64,4	40-55	46,0	1,6-2,0	1,8
Подмаренник цепкий	3,4-4,9	4,2	35-42	38,6	20-27	23,3	1,1-1,4	1,3
Хвощ полевой	2,3-3,9	3,1	25-31	28,2	31-33	31,8	1,1-1,3	1,2
Сныть обыкновенная	4,1-6,0	5,1	39-42	40,5	33-35	33,8	2,0-2,2	2,1
Люпин многолетний	4,0-7,4	5,2	16-37	24,6	55-81	71,1	1,16-1,2	1,2
Аистник цикутный		7,8		52,7		45,8		1,5
Орляк обыкновенный	2,3-4,7	3,2	13-30	20,2	17-102	41,1	0,8-2,0	1,9
Клевер пашенный	3,9-6,6	5,3	63-110	46,0	21-39	30,2	1,0-2,0	1,5
Ландыш майский	2,3-3,4	3,0	17-32	26,8	35-56	42,9	1,1-1,2	1,2
Земляника лесная	3,8-7,6	5,5	25-42	31,3	29-49	35,9	1,02-1,1	1,1
Фиалка трехцветная	12-24	16,6	146-394	238	58-79	65,3	1,2-1,6	1,3
Тимьян ползучий		4,9		42,7		46,1		1,1
Полынь обыкн.	5,6-14,2	10,1	37-63	50,4	12-28	18,8	1,0-1,9	1,4
Клевер розовый	5,4-12,4	8,9	15-36	25,6	21-28	24,5	0,9-1,1	1,0
Черника обыкн.	3,5-4,7	4,1	16-27	21,6	13-14	13,3	0,8-1,1	1,0
Звездчатка средняя	4,0-9,2	6,6	17-95	56,1	45-57	61,1	1,6-2,7	2,2
Торица полевая		4,6		42,0		31,8		1,4
Василек синий	5,6-6,8	6,2	20-22	20,0	45-66	55,5	1,2-1,3	1,3
Марь белая	5,1-9,4	7,4	32-61	47,1	68-184	122	1,7-2,0	1,9
Тысячелистник обыкн.	7,0-11,5	10,8	17-37	34,2	13-42	27,6	1,0-1,4	1,2

В наших исследованиях предпринята попытка изучить возможность использования аборигенной растительности в качестве растений, для естественной очистки почвы от тяжелых металлов.

Выявлены растения-накопители, которые можно использовать, в целях фиторемедиации для очистки почв от таких химических элементов, как Cu, Cd, Pb и Zn.

Выделены следующие рудеральные растения-накопители:

для Cu – фиалка трехцветная, тысячелистник обыкновенный, полынь обыкновенная;

для Cd – звездчатка средняя, горец вьюнковый, сушеница топяная;

для Pb – звездчатка средняя, лопух большой, сныть обыкновенная;

для Zn – фиалка трехцветная и зверобой продырявленный.

Предложен метод экспресс-контроля с использованием растительных тест-объектов для оценки состояния окружающей среды урбанизированных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончарова, Н. В., Журавков, Е. В. Фиторемедиация как инновационная стратегия использования растений для рекультивации урбанизированного почвенного покрова // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий. Материалы Международной научно-практической конференции (22-23 марта 2018 года, г. Рязань). – С.89-93.

2. Гончарова, Н. В., Журавков, Е. В. Инвентаризация и рекультивация почвенного покрова агроландшафтов, загрязненного тяжелыми металлами. 18-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI-го века» 17-18 мая 2018 г., Минск. – Минск, 2018. – С. 32 – 33.

3. Гончарова, Н. В. Растения и антропогенные стрессоры – Мн.: Триолета, 2005. – 112 с.

4. Гончарова, Н. В. Растительные компоненты как индикаторы состояния наземных экосистем: процессы регуляции и ремедиации: монография / Н. В. Гончарова. – Минск: МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ, 2016. – 173 с.

5. Позняк, С. С. Научные принципы экологического мониторинга агрофитоценозов в зонах воздействия промышленных центров: автореф. дисс. ... д. с/х наук: 05.30.01/ С. С. Позняк; Горки, 2013. – 37с.