

УДК 581.5:074

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ СИНАНТРОПНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ТЮМЕНИ

© 2012 Н.Г. Ильминских¹, И.В. Кузьмин², С.В. Кравченко², А.В. Белкин², П.А. Ушаков²

¹Тобольская комплексная научная станция УрО РАН

²Тюменский государственный университет

Поступила в редакцию 17.05.2012

Впервые изучена флора канализационных очистных сооружений открытого типа в городе Тюмень (Западная Сибирь). Определено содержание тяжёлых металлов в растениях аборигенных и адвентивных видов.

Ключевые слова: *тяжёлые металлы, адвентивные растения, эргазиофитофиты, канализационные очистные сооружения, Тюмень*

Канализационные очистные сооружения открытого типа (КОС) представляют собой уникальный в экологическом плане биотоп, являясь, можно сказать, квинтэссенцией современной урбанизированной цивилизации. Городские сточные воды, пройдя нередко длинный путь от кухонь и санузлов, по системе канализационного коллектора попадают на очистные сооружения. Туда же попадают промышленные стоки. На КОС они подвергаются механической очистке, аэрированию, микробиологической очистке с помощью «активного ила». Далее они поступают в специальные открытые пруды – отстойники, или илонакопители («карты» в терминологии Водоканала), где происходит их осушка за счёт инфильтрации и испарения. На подсыхающей жиже в прудах и по их бетонированным берегам развивается своеобразное растительное население. После высыхания торфообразный ил изымается из прудов и вывозится на городские полигоны твёрдых бытовых отходов (ТБО). Неоднократно предпринимались попытки использовать этот ил как удобрение для растений, поскольку содержание питательных веществ в нём очень велико. Однако этому препятствуют две опасности: гельминтологическая (высокое содержание яиц гельминтов) и экотоксикологическая – высокое содержание тяжёлых металлов (ТМ). В связи с этим нами были изучены растения КОС крупного города Тюмень (население 560 тыс. чел.) на предмет накопления ими ТМ и видового состава.

Ильминских Николай Геннадьевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией экологии растений и животных в зоне рискованного земледелия. E-mail: ivkuzmintgu@yandex.ru

Кузьмин Игорь Владимирович, заведующий учебным ботаническим садом. E-mail: ivkuzmintgu@yandex.ru

Кравченко Сергей Викторович, научный сотрудник. E-mail: svkraft@yandex.ru

Белкин Алексей Васильевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных. E-mail: alexbel2@mail.ru

Ушаков Павел Александрович, лаборант-исследователь. E-mail: dadaist@rambler.ru

КОС, являясь очень интересным объектом урбанозкологии, до сих пор совершенно неизучены в ботаническом отношении. Ранее состав флоры КОС изучался в городах Казань, Ижевск, Киров, Сарапул, Глазов, Елабуга [2], в последнее время нами обследованы КОС в городах Тюмень, Ялуторовск, Тобольск, Курган, Екатеринбург, Сарапул. На КОС составляли полные списки видов сосудистых растений, в т. ч. и всходов древесно-кустарниковых пород, с указанием обилия. Тюменские КОС, находящиеся на юго-восточной окраине города между бывшими деревнями Копытова и Антипина, в пойме реки Тура (в 13 км от центра города), обследованы 01.X.2008 и 01.X.2011 г., пробы на содержание ТМ брали в последнюю дату. Всего на КОС обнаружено 165 счётных единиц (виды, подвиды, гибриды и гибридные комплексы культурных сортов). В их числе как местные таксоны, успешно освоившие антропогенные экотопы (апофиты), так и заносные, диаспоры которых, попадая в канализацию, способны выживать в ней, далее прорасти и закрепиться на территории КОС. Как и во всех флорах умеренного пояса, здесь доминируют представители семейств Asteraceae и Rosaceae, в значительном отрыве от других по числу видов. Порядок ведущих семейств приведён в табл. 1.

Во флоре КОС неожиданно высокое место занимают семейства Solanaceae (6 ранг) и Cucurbitaceae (8-9 ранг). Помимо широко распространённых в Зауралье представителей Solanaceae, на КОС обитают и более редкие виды, уходящие из культуры (эргазиофитофиты) или заносные. Представители семейства Cucurbitaceae вовсе несвойственны аборигенной флоре. Между тем, на КОС они часто встречаются ушедшими из культуры. Семейство Rosaceae во флоре КОС занимает очень низкий 10-11 ранг, в то время как в природной флоре Южного Зауралья его ранг – 7 [4], во флоре полигонов ТБО Среднего Урала и Зауралья – 4 [3], во флоре г. Тюмень – 8-9 [5].

Таблица 1. Порядок ведущих семейств флоры сосудистых растений канализационных очистных сооружений г. Тюмень по обследованиям 2008 и 2012 гг.

Ранг	Семейство	Число видов
1.	Asteraceae	29
2.	Poaceae	25
3.	Brassicaceae	15
4.	Chenopodiaceae	14
5.	Fabaceae	13
6.	Solanaceae	11
7.	Polygonaceae	9
8-9.	Salicaceae	6
8-9.	Cucurbitaceae	6
10-11.	Rosaceae	5
10-11.	Apiaceae	5
12.	Malvaceae	4

Неожиданным является полное отсутствие на КОС видов богатого видами гидрофильного семейства Сурепеае. Это можно объяснить экологией представителей семейства: с одной стороны, их олиго- или олигомезотрофность на шкале эдафотипических категорий, с другой – гидро- и гидрофильность на шкале гигротипических категорий. Небольшое число эутрофных и даже галофильных представителей, вместе с тем, являются термоксерофитами, что идёт вразрез с комплексом

экологических условий КОС. Из древесно-кустарниковых видов на КОС обычны ювенильные, имматурные и, реже, генеративные растения *Salix*, в полном согласии с их гигрофильной и ценофобной экологией.

Для изучения аккумуляции ТМ в тканях растений КОС были взяты пробы растительного материала по стандартной методике. При выборе видов растений для изучения ТМ руководствовались следующими принципами. Во-первых, представленность в выборке как аборигенных, так и адвентивных видов. Во-вторых, наличие потенциально утилитарных растений. Подготовку проб для определения содержания ТМ осуществляли методом разложения в микроволновой печи Аугога в присутствии концентрированной азотной кислоты с добавлением перекиси водорода. Содержание ТМ определяли стандартным методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu 6300 посредством атомизации в графитовой печи (для Cd, Co, Cu, Al, Pb, Mn, Ni), а также методом холодного пара на ртутной приставке (для Hg). Для приготовления шкал использовали стандартные растворы фирмы Merck. Точность результатов измерений неоднократно проверяли в ходе интеркалибровок. Полученные результаты представлены в табл. 2, где выделено по три максимальных значения содержания каждого ТМ.

Таблица 2. Содержание тяжёлых металлов в сосудистых растениях КОС г. Тюмени в 2012 г.

№ п/п	Таксон, часть растения	Вес, г	Тяжёлые металлы, ppm (мкг/г)			
			Cd	Co	Cu	Al
1.	<i>Agrostis gigantea</i> , соцветия	0,4276	0,0001	0,2480	5,8070	25,9600
2.	<i>Bromopsis inermis</i> , колосья	0,4736	0,0443	0,1840	11,680	199,380
3.	<i>Elythrigia repens</i> , колосья	0,3812	0,0309	0,0540	5,1300	400,310
4.	<i>Echinochloa utilis</i> , листья	0,4201	0,1617	0,2590	11,640	257,030
5.	<i>Panicum ruderae</i> , листья	0,4004	0,0210	0,0120	3,3440	381,010
6.	<i>Phragmites australis</i> , листья	0,5000	0,0480	0,1540	4,5000	123,570
7.	<i>Populus × canesens</i> , листья	0,3426	1,3134	0,8700	72,250	248,160
8.	<i>Kochia scoparia</i> , побеги	0,5000	0,0185	0,1520	0,8950	243,960
9.	<i>Lepidium ruderae</i> , побеги	0,4584	0,1562	0,1020	5,7330	90,8900
10.	<i>Brassica napus f. oleifera</i> , листья	0,3634	4,9577	1,3640	14,350	332,630
11.	<i>Trifolium expansum</i> , листья	0,5000	0,5370	0,1960	5,7210	155,070
12.	<i>Medicago × varia</i> , побеги	0,4862	0,0017	0,1700	0,0870	163,130
13.	<i>Citrullus lanatus</i> , листья	0,5000	0,8468	0,2720	32,670	423,870
14.	<i>Citrullus lanatus</i> , плоды	0,5000	0,0352	0,1910	7,1000	44,7700
15.	<i>Cuscuta campestris</i> , побеги	0,5000	0,0370	0,0100	6,5100	133,780
16.	<i>Lycopersicon esculentum</i> , плоды	0,5000	0,0254	0,1740	6,2900	255,150
17.	<i>Datura tatula</i> , семена	0,5000	0,0115	0,4180	8,2800	155,320
18.	<i>Achillea millefolium</i> , листья	0,3778	0,0222	0,0460	1,7060	302,180
19.	<i>Lactuca tatarica</i> , листья	0,5000	0,0666	0,1950	1,2690	204,840
-	Субстрат - высохший ил	0,5000	5,2850	1,6710	45,870	2383,70
ПДК для почвы [1], ppm (мкг/г)			2,0000	5,0000	6,0000	-
№ п/п	Таксон, часть растения	Вес, г	Тяжёлые металлы, ppm (мкг/г)			
			Pb	Mn	Ni	Hg
1.	<i>Agrostis gigantea</i> , соцветия	0,4276	0,0001	82,270	3,0077	0,0021
2.	<i>Bromopsis inermis</i> , колосья	0,4736	0,0189	50,900	10,530	0,0002
3.	<i>Elythrigia repens</i> , колосья	0,3812	0,0146	73,420	0,1194	0,0801
4.	<i>Echinochloa utilis</i> , листья	0,4201	0,2365	115,90	2,8115	0,1707
5.	<i>Panicum ruderae</i> , листья	0,4004	3,9118	40,020	3,3472	0,0199
6.	<i>Phragmites australis</i> , листья	0,5000	0,0726	52,440	10,055	0,0592
7.	<i>Populus × canesens</i> , листья	0,3426	0,7548	141,09	5,9842	0,1465
8.	<i>Kochia scoparia</i> , побеги	0,5000	0,7900	43,100	1,8855	0,0018
9.	<i>Lepidium ruderae</i> , побеги	0,4584	0,0001	92,540	1,3532	0,0019
10.	<i>Brassica napus f. oleifera</i> , листья	0,3634	8,7109	47,560	19,312	0,2051

Продолжение таблицы 2						
11.	<i>Trifolium expansum</i> , листья	0,5000	0,0695	85,780	2,3622	0,0161
12.	<i>Medicago × varia</i> , побеги	0,4862	0,2566	45,730	1,7552	0,0002
13.	<i>Citrullus lanatus</i> , листья	0,5000	10,069	97,020	17,643	0,1002
14.	<i>Citrullus lanatus</i> , плоды	0,5000	0,0104	38,880	9,5502	0,0001
15.	<i>Cuscuta campestris</i> , побеги	0,5000	0,0350	40,830	4,7277	0,0002
16.	<i>Lycopersicon esculentum</i> , плоды	0,5000	0,0157	86,200	2,4322	0,0367
17.	<i>Datura tatula</i> , семена	0,5000	0,2130	46,670	6,1858	0,0005
18.	<i>Achillea millefolium</i> , листья	0,3778	0,2595	96,890	1,5121	0,1923
19.	<i>Lactuca tatarica</i> , листья	0,5000	0,1347	90,300	1,8996	0,0459
-	Субстрат - высохший ил	0,5000	342,23	469,35	124,94	3,7500
ПДК для почвы [1], ppm (мкг/г)			32,000	1500,0	4,0000	2,1000

Примечание: для каждого из тяжёлых металлов выделены значения трёх растений, характеризующихся максимальной аккумуляцией данного элемента

Наиболее активными процессами биологического накопления ТМ в листьях характеризуются рапс (*Brassica napus* f. *oleifera*) и арбуз (*Citrullus lanatus*) – по шесть разных ТМ. В листьях гибридного тополя (*Populus × canescens*) отмечено повышенное содержание четырёх ТМ, в листьях ежевника (*Echinochloa utilis*) и сорного проса (*Panicum ruderales*) – двух. Очень интересным представляется сравнение содержания различных ТМ в субстрате (ил), листьях и плодах арбуза, и в побегах паразитирующей на этом арбузе адвентивного карантинного вида повилики (*Cuscuta campestris*). Как следует из данных табл. 2, листья арбуза накапливают различные ТМ хоть и в значительно меньших количествах, чем их содержится в субстрате, но намного больше, чем их аккумулируют другие произрастающие на этом же субстрате растения. В свою очередь, в плодах арбуза (которые полностью вызревают на КОС и достигают больших размеров) аккумулируется ТМ в 2-10 раз меньше, чем в листьях. Растение-паразит повилика, присасывающаяся гаусториями к проводящим пучкам побегов арбуза, некоторые ТМ аккумулирует в меньших концентрациях, чем плоды арбуза (Co, Cu, Ni), а некоторые – в больших (Cd, Al, Pb, Mn, Hg). Это свидетельствует об избирательном биологическом накоплении ТМ разными растениями и их паразитами.

Плоды другого пищевого растения – томата (*Lycopersicon esculentum*) аккумулируют сравнительно большое количество меди и алюминия.

Лекарственные виды растений оказались ярко выраженными накопителями Al: как пырей (*Elythigia repens*), так и тысячелистник (*Achillea millefolium*) накапливают этот ТМ в значительных количествах. Популярное декоративное растение дурман (*Datura tatula*) является сравнительно мощным аккумулятором Co.

Выводы: полученные данные позволяют сделать вывод о непригодности субстрата, получаемого на КОС, в качестве удобрения для пищевых, лекарственных и декоративных растений без соответствующей инактивации экотоксикологической и гельминтологической опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ ГН 2.1.7.2041-06. ПДК химических веществ в почве.
2. Ильминских, Н.Г. Флорогенез в условиях урбанизированной среды (на примере городов Вятско-Камского края): Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – СПб.: СПб. гос. ун-т, 1992. 40 с.
3. Ильминских, Н.Г. Флора полигонов твёрдых бытовых отходов городов Среднего Урала и Зауралья (Западная Сибирь) // Ботанические чтения: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Ишим, 2012. С. 41-42.
4. Науменко, Н.И. Флора и растительность Южного Зауралья. Монография. – Курган: Изд-во Курган. гос. ун-та, 2008. 512 с.
5. Хозяинова, Е.Ю. Флора травянистых растений в условиях урбанизированной среды (на примере города Тюмени): Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Тюмень: Тюменск. гос. ун-т, 2004. 23.

ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY SINANTROPIC PLANTS AT TREATMENT FACILITIES OF TYUMEN CITY

© 2012 N.G. Ilminskikh¹, I.V. Kuzmin², S.V. Kravchenko², A.V. Belkin², P.A. Ushakov²

¹ Tobolsk Complex Scientific Station UrB RAS

² Tyumen State University

For the first time the flora of sewer treatment facilities of open type in Tyumen city (Western Siberia) is studied. The content of heavy metals in plants of native and adventive species is defined.

Key words: heavy metals, adventive plants, ergazifigofits, sewer treatment facilities, Tyumen city

Nikolay Ilminskikh, Doctor of Biology, Professor, Chief of the Laboratory of Plants and Animals Ecology in Zone of Unstable Agriculture. E-mail: ivkuzmintgu@yandex.ru; Igor Kuzmin, Chief of the Educational Botanic Garden. E-mail: ivkuzmintgu@yandex.ru; Sergey Kravchenko, Research Fellow. E-mail: svkraft@yandex.ru; Aleksey Belkin, Candidate of Biology, Associate professor at the Department of Human and Animals Anatomy and Physiology. E-mail: alexbel2@mail.ru; Pavel Ushakov, Laboratorian-Researcher. E-mail: dadaist@rambler.ru