

БИОКОНСЕРВАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ РАСТЕНИЯМИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) НА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

© 2011 А.Н. Кутляхметов¹, А.А. Кулагин²

¹ Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа

² Институт биологии Уфимского научного центра РАН

Поступила в редакцию 04.05.2011

Показано, что в наибольшей степени металлы аккумулируются в многолетних органах березы на отвалах в Учалах (кора) – 576,91 и 7942,52 ppm, а также в листьях на отвалах в Сибее – 97,1 ppm. Показано, что при развитии растений металлы распределены в различных органах равномерно, о чем свидетельствует незначительная разница между максимальными и минимальными показателями содержания металлов. Суммарное содержание металлов в растениях превосходит аналогичный показатель для почв под насаждениями, но наибольшее количество металлов аккумулируется в хорошо развитой лесной подстилке.

Ключевые слова: *береза повислая, техногенез, металлы, биоаккумуляция*

Несовершенство технологий при низком уровне очистных мероприятий на промышленных предприятиях приводит к тому, что в окружающую среду с выбросами поступают огромные количества токсичных соединений, в состав которых часто входят и металлы. Токсиканты оказывают негативное влияние на здоровье населения и состояние растительного покрова на значительных территориях. Известно, что в наибольшей степени санитарно-защитные функции выполняют древесные растения [1, 3, 4, 6, 11, 12]. Поллютанты оказывают серьезное комплексное воздействие на растительность, и нередко мощный антропогенный пресс является губительным или летальным для растений [9, 10]. При этом оздоровление окружающей среды невозможно без создания фитофильтра и среди множества древесных пород береза повислая (*Betula pendula* Roth) является видом, который широко используется в «зеленом строительстве» как в Башкортостане, так и по всей России.

Методика исследований. Характер накопления и перераспределения тяжелых металлов в экосистеме в значительной мере зависит от особенностей почвенного и растительного покрова, а также уровня техногенной нагрузки. Почва аккумулирует поступающие

загрязнители и может стать вторичным источником загрязнения приземного воздуха, природных вод, продукции растениеводства [8]. Необходимость определения содержания тяжелых металлов в почве имеет особое значение, т.к. обладая буферной емкостью, почва снижает подвижность металлов и тем самым уменьшает поступление их в растения. В качестве индикации техногенного воздействия на объекты исследования выбран подход, основанный на сравнении концентрации тяжелых металлов в почвах и растениях зоны техногенного воздействия с показателями местного геохимического фона исследуемых металлов [2, 8].

Изучали содержание ряда металлов в растениях березы повислой (*Betula pendula* Roth), которые произрастают на промышленных отвалах вблизи городов Кумертау (КБР), Сибай (СФ УГОК) Учалы (УГОК), а также в промзоне г. Стерлитамака. Всего в процессе полевых работ было взято более 1500 объединенных проб почвы и растений. Отбор и подготовку к анализу почвенных и растительных образцов осуществляли по общепринятым методикам [7]. Для анализа содержания отдельных элементов в почвах и растениях отобранные образцы высушивались до воздушно-сухого состояния, затем готовились навески (по 2,0 г). Содержание элементов в растительных образцах и в почвогрунтах определялось в аналитической лаборатории Института геологии РАН (г. Москва) методом масс-

Кутляхметов Азат Нуриахметович, кандидат географических наук, научный сотрудник. E-mail: ecosentr@mail.ru

Кулагин Андрей Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник. E-mail: kulagin-aa@mail.ru

спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой – ICP-MS (PLASMA QUAD PQ2-TURBO PLUS, USA). Содержание отдельных элементов выражалось как массовая доля примесей – в частях на миллион (ppm). Фактический материал отбирался на протяжении 10 лет – в период с 2000 по 2010 гг. Все измерения проводились не менее, чем в 10 повторностях. Математическая обработка полученных данных производилась с помощью статистического пакета Microsoft Excel 2000. В таблицах представлены средние арифметические данные и ошибки среднего значения за все годы исследований [5].

Результаты исследований и их анализ.

Растения березы повислой отличаются высокой эврибионтностью. Необходимо отметить, что развитие в различных условиях наносит серьезный отпечаток на характер формирования березовых насаждений. Так, при произрастании на отвалах УГОК и СФ УГОК береза повислая, наряду с сосной обыкновенной, входит в число пионерных видов древесной растительности и осваивает свободные территории, образуя при этом разновозрастные насаждения. Количество стволов березы повислой может достигать 3000 шт./га, при этом очевидным является факт выполнения растениями березы повислой средостабилизирующих функций в техногенных ландшафтах.

Рассматривая вопрос формирования березовых насаждений на отвалах КБР и в промзоне г. Стерлитамака необходимо отметить, что насаждения создавались как культуры и на сегодняшний день представляют собой сомкнутые древостои, способные в полной мере выполнять роль фитофильтра на пути распространения промышленных загрязнителей окружающей среды. Биоаккумулятивные свойства березы в условиях хронического загрязнения окружающей среды играют важнейшую роль в ограничении миграции экотоксикантов (табл. 1, 2). Установлено, что содержание Са в растениях исчисляется тысячами ppm, при этом наибольшее его количество накапливается в коре (6610 ppm), а наименьшее – в побегах (3318 ppm). Содержание Fe и Mn исчисляется сотнями ppm и в наибольшей степени данные металлы накапливаются в коре (1090 и 440 ppm), минимальное содержание этих металлов приходится на побеги (284 и 151 ppm). Содержание меди в коре также наибольшее и превосходит ее содержание в листьях в 2,3 раза и составляет 23 ppm.

Показано, что наибольшее количество Pb, Cd и Hg накапливается в листьях березы, при этом наименьшее их количество содержится в коре. Побеги занимают промежуточное

положение. Содержание данных металлов в растениях не превышает 1,5 ppm. Характеризуя накопление St отмечается, что данный элемент не определяется в растениях, при этом его содержание в почве составляет 22 ppm. За счет биоаккумулятивных свойств березы содержание металлов в растениях превышает аналогичный показатель для почв, а максимальное суммарное количество техногенных металлов в лесной подстилке объясняется постоянным поступлением металлов с опадом.

Показано, что суммарное содержание Cu в надземной части березы повислой значительно превосходит содержание этого металла в подземной части растения. Таким образом, можно сделать заключение о том, что многолетние надземные органы березы повислой выполняют депонирующую роль и способны к аккумуляции значительных количеств Cu. Наибольшее количество Cu содержится в побегах (92 ppm), в то время как в листьях Cu не обнаружена. Промежуточное положение занимают корневая система (44 ppm) и кора (32 ppm). Содержание Cu в почвогрунтах под насаждением и на необлесенных участках незначительно и приближается к 0.

Содержание Mn, как одного из наиболее важных физиологических элементов, исчисляется сотнями ppm. Анализируя данные о количественном содержании Mn в различных органах березы повислой отмечено значительное накопление этого элемента в листьях – до 424 ppm, при этом содержание Mn в корнях, коре и побегах не превышает 200 ppm. Максимальное накопление металла в листьях обуславливает повторную интоксикацию во время опадения листьев. В почвогрунтах под насаждениями древесных растений содержание Mn на 30% ниже относительно необлесенных участков отвалов бурогоугольных месторождений.

Установлено, что накопление Zn в органах березы находится в ряду: побеги > корневая система > кора. В наибольшей степени накопление Zn происходит в надземных органах березы повислой, однако следует отметить, что в листьях Zn не концентрируется. Количественное соотношение Zn в грунтах показывает, что под насаждением содержание металла более, чем в 7 раз превосходит показатели по сравнению с необлесенными участками.

В ходе проведения анализов по определению содержания Ni в различных органах березы повислой было установлено, что в листьях Ni отсутствует. Содержание металла в побегах в 2 раза меньше, чем в коре и в 4 раза меньше по сравнению с корневой системой и составляет 13 ppm. Защитные механизмы березы

повислой обеспечивают депонирование металла в более старых органах растения, тем самым предотвращая попадания Ni в молодые развивающиеся органы и ткани. Благодаря металлаккумуляционной способности древесных растений содержание Ni в грунтах под насаждением более, чем в 4 раза меньше относительно показателей необлесенного участка.

Анализ распределения Pb в различных органах древесных растений, произрастающих на отвалах бурогоугольного месторождения, показывает, что корневая система и кора являются основным местом депонирования Pb в растениях березы повислой: содержание этого металла в коре – 7,9 ppm, в корнях – 9,3 ppm. Побеги также способны накапливать Pb, однако содержание металла в них значительно ниже по сравнению с корой и корневой системой и составляет 1,7 ppm. Показано, что в листьях березы повислой Pb не накапливается. Несмотря на значительную способность березы к накоплению Pb содержание этого металла в почвах под насаждениями почти в 10 раз выше по сравнению с грунтами необлесенных участков.

St накапливается во всех частях березы повислой и его содержание исчисляется десятками ppm. Наибольшее его содержание отмечается в корневой системе (93 ppm) и побегах (68,3 ppm), наименьшее – в листьях (22 ppm) и коре (52 ppm). Таким образом, распределение St в растениях березы повислой можно характеризовать как равномерное. Суммарное количество металла в надземной части выше, чем в подземной, что является основанием для того, чтобы сделать предположение о высокой проникающей способности St в растительный организм (в данном случае – береза повислая). Высокое содержание St в растениях обуславливает снижение его количества в грунтах под насаждением более, чем в 2 раза по сравнению с грунтами необлесенного участка.

Ct в наибольшем количестве накапливается в корневой системе березы повислой – до 107 ppm. Содержание Ct в коре и побегах различается незначительно и составляет 68 и 71,3 ppm соответственно. Наименьшее количество Ct обнаруживается в листьях (29 ppm), что дает возможность предположить возможность внутренней регуляции распределения данного металла в растениях. Очевидно, что основная масса высокотоксичного металла концентрируется в тканях корней и поступает в ассимиляционные органы в минимальном количестве. Несмотря на значительные способности березы к аккумуляции Ct его количество в почве под насаждением более, чем в 34 раза превосходит аналогичный показатель для необлесенных

участков. Такой факт может быть объяснен значительными корневыми выделениями растений с высоким содержанием данного металла (в корнях его очень много), а также дополнительным поступлением в почву с опадом.

Показано, что суммарное содержание Cd в надземной части березы повислой в 3 раза больше, чем в подземной части растения. Наибольшее количество Cd содержится в коре (0,78 ppm) и побегах (0,74 ppm), а наименьшее – в листьях (0,4 ppm) и корнях (0,6 ppm). Наибольшее количество Cd накапливается в более старых частях березы повислой. Содержание Cd в почвах под насаждением березы повислой значительно меньше по сравнению с грунтами необлесенных участков – 0,55 и 5,4 ppm соответственно.

Отмечается, что в органах березы повислой содержание Hg колеблется в пределах 0,12-0,01 ppm, в побегах и корневой системе соответственно. Наибольшее количество Hg концентрируется в побегах, при этом в листьях данный металл не транспортируется – его содержание в ассимиляционных органах равно 0. Промежуточное положение занимает кора деревьев, содержание Hg в которой составляет около 0,06 ppm. Количество Hg в почвогрунтах под насаждениями березы повислой в 7 раз превосходит содержание данного металла в грунтах необлесенных участков и составляет 0,21 ppm. Значительное увеличение Hg в почвах под насаждениями возможно благодаря корневым выделениям.

Содержание Zn в растениях березы повислой при произрастании на отвалах СФ УГОК колеблется в пределах 81,9-86,5 ppm. Достоверных различий между показателями аккумуляции Zn в различных органах установлено не было. По сравнению с Zn в растениях березы накапливается гораздо более меньшее количество Cu. Максимум Cu концентрируется в листьях березы (11,5 ppm), чуть меньше содержится Cu в корневой системе (7,4 ppm), а минимальное количество отмечается в древесине и коре – 5,4 ppm. Результаты анализов показывают, что содержание Cd в растениях подчиняется закономерности: корни > древесина и кора > листья, чего нельзя сказать о Zn и Cu. Характеризуя суммарное содержание металлов в растениях необходимо отметить, что наибольшее количество металлов содержится в листьях и несколько меньшее в корнях, коре и побегах. Отвальные грунты содержат значительное количество металлов, несмотря на биоаккумулятивные свойства древесных растений. Поскольку процесс самозаращения отвалов СФ УГОК идет очень низкими темпами,

и отвальные грунты под насаждениями по своей структуре мало отличаются от необлесенной части отвалов, то сравнение содержания металлов приведено относительно ПДК для соответствующих элементов. Так, было установлено, что наибольшее превышение наблюдается в случае с Cu, содержание которой в отвальных грунтах составляет 83,8 ppm при ПДК равном 23 ppm. Валовое содержание Zn в

отвальных почвогрунтах приближается к 100 ppm. Несмотря на высокое содержание металла в почвогрунтах его превышение над ПДК значительно меньше по сравнению с Cu и составляет 13,8 ppm. Содержание Cd в отвальных грунтах за биоаккумулятивных свойств растений в 3 раза меньше относительно ПДК, составляющего для этого металла 1,5 ppm.

Таблица 1. Содержание техногенных элементов в органах березы повислой при произрастании на отвалах медно-колчеданного месторождения в г. Сибай

Элементы (ppm)	Наименования образцов для анализов				
	ассимиляционные органы (листья)	смешанные образцы побегов и коры	корни	грунт под насаждением (валовое содержание)	ПДК (по валовым формам)
Cu	11,5±1,1	5,4±0,3	7,4±0,8	83,8±2,9	23
Zn	86,5±5,8	84,3±7,5	81,9±6,4	98,8±3,6	85
Cd	0,1±0,02	0,12±0,01	0,15±0,05	0,48±0,07	1,5
Итого:	97,1	89,82	89,45	183,08	109,5

Анализируя количественные характеристики биоаккумуляции металлов было установлено, что содержание Fe как в растениях березы повислой, так и почвогрунтах исчисляется тысячами ppm. Показано, что наименьшие количества данного металла накапливаются листьями и побегами растений – 3270 и 3720 ppm соответственно. Наибольшее количество Fe аккумулируется в коре растений и в 2 раза превосходит показатели листьев и побегов. Корневая система содержит до 7350 ppm Fe, что является средним показателем относительно остальных органов растений. На фоне высокого содержания Fe в растениях почвогрунты под насаждениями содержат значительно

большее количество исследуемого металла по сравнению с грунтами необлесенных участков – 132000 и 89900 ppm.

Растения березы повислой аккумулируют также значительное количество Mn при произрастании на отвалах УГОК. Наибольшее содержание Mn приходится на листья – до 475,3 ppm и кору – 205,5 ppm, наименьшее – на побеги (54,5 ppm) и корневую систему (129 ppm). Значительные биоаккумуляционные способности березы повислой являются основой более, чем 3-х кратного снижения содержания Mn в почвах под насаждениями по сравнению с отвальными грунтами вне древостоев – 1410 и 4260 ppm соответственно.

Таблица 2. Содержание техногенных элементов в органах березы повислой при произрастании на отвалах медно-колчеданного месторождения в г. Учалы

Элементы (ppm)	Наименования образцов для анализов					
	ассимиляционные органы (листья)	побеги	кора (на высоте 1,3 м)	корни	грунт под насаждением	грунт необлесенного участка
Cu	23,3±3,7	28,5±2,2	24±1,2	31,5±2,2	57±4,2	166±21
Zn	40,2±4,1	0	124,5±16,9	760±55	0	242±38
Mn	475,3±21,8	54,5±3,7	205,5±31,6	129,5±11	1410±98	4260±187
Cd	0,22±0,05	7,8±0,8	0,52±0,07	0,95±0,06	0,13±0,04	1,1±0,08
St	50,1±4,7	39,5±3	152±10,9	74,5±6,8	83±5,7	239±18
Fe	3270±212	3720±169	7355±265	4690±389	132000±1268	89900±948
Ni	10,3±0,9	0	0	0	937±89	0
Cr	84,3±6,7	26,5±1,4	76,5±5,1	58±4,3	735±25	433±15
Pb	1,46±0,2	6±0,7	4,5±0,6	6,65±0,88	9,2±1,1	43±2,1
Итого:	3955,18	3882,8	7942,52	5751,1	133961,33	95284,1

Содержание Сг в растениях березы повислой, произрастающих на отвалах УГОК, исчисляется десятками ppm. При этом наибольшее количество Сг накапливается в листьях (84,3 ppm) и коре (76,5 ppm), наименьшее – в побегах (26,5 ppm). Промежуточное положение занимает корневая система, содержание Сг в которой оценивается в 58 ppm. Вместе с тем, количество Сг в почвогрунтах под насаждениями березы составляет 735 ppm, что значительно больше по сравнению с грунтами необлесенных участков (433 ppm). Повышение количества Сг в почве под насаждениями объясняется дополнительным поступлением металла с опадом и корневыми выделениями.

Си распределена в органах растений березы повислой весьма равномерно по сравнению с другими металлами. Ее содержание варьирует в пределах от 23,3 ppm в листьях до 31,5 ppm в корневой системе. Содержание Си в побегах и коре различается незначительно и составляет 28,5 и 24 ppm соответственно. Значительное накопление Си в растениях определяет довольно низкое ее содержание в почвогрунтах под насаждениями относительно участков, где отсутствует древесная растительность. Так, было установлено, что в почвогрунтах под насаждениями содержание Си составляет 57 ppm против 166 ppm на безлесных территориях.

Установлено, что многолетние части березы повислой способны аккумулировать значительные количества Zn. В частности корневые системы березы содержат до 760, а кора 124,5 ppm Zn, при том, что в побегах Zn может обнаруживаться лишь в следовых количествах. Содержание Zn в листьях березы составило 40,2 ppm. В отвальных грунтах УГОК содержание Zn составляет 242 ppm, при следовом содержании данного металла в почвах под насаждениями березы повислой.

Показано, что в растениях березы повислой, произрастающих на отвалах УГОК, содержание Pb в наибольшем количестве отмечается в корневой системе и побегах – 6 и 6,65 ppm соответственно. Несколько меньшее количество Pb аккумулируется в коре (4,5 ppm), а минимальное количество металла накапливается в ассимиляционных органах березы повислой – 1,46 ppm. Следует отметить, что разница между содержанием Pb в почвогрунтах под насаждением и его содержанием в грунтах безлесных участков составляет более чем 400%. При этом содержание Pb в почвогрунтах под насаждениями составляет 9,2 ppm, а на обеслесенных участках – 43 ppm.

Содержание St в растениях березы, произрастающих на отвалах УГОК, исчисляется

десятками ppm. При этом основная масса St концентрируется в корневой системе (74,5 ppm) и коре (152 ppm). Наименьшее количество St накапливается в побегах березы повислой – 39,5 ppm и несколько большее количество металла концентрируется в листьях 50,1 ppm. Фоновое содержание St в почвогрунтах необлесенного участка составляет 239 ppm, в то время как в почвогрунтах под насаждениями этот показатель составляет 83 ppm.

Наибольшее содержание Cd отмечается в побегах (7,8 ppm) березы повислой, произрастающих на отвалах УГОК. При этом распределение металла в органах березы повислой выглядит следующим образом: побеги > корни > кора > листья. Таким образом, показано, что в многолетних частях растения содержание Cd значительно выше по сравнению с ассимиляционными органами. На фоне увеличения содержания Cd в многолетних органах березы отмечается 9-кратное снижение его концентрации в почвогрунтах под насаждениями относительно грунтов необлесенного участка – 0,13 и 1,1 ppm соответственно.

В многолетних органах березы повислой не аккумулируется Ni при произрастании на отвалах УГОК. Однако достаточно высокое содержание Ni отмечается в листьях березы – до 10,3 ppm. В результате аналитических работ установлено, что в образцах почвогрунтов под насаждениями березы содержание Ni составляет 937 ppm, а в образцах отвальных грунтов на необлесенных участках Ni не обнаруживается.

Выводы: исследования биоаккумулятивных возможностей растений березы повислой в техногенных ландшафтах позволяют сделать заключение о том, что в наибольшей степени металлы аккумулируются в многолетних органах на отвалах КБР (побеги) и УГОК (кора) – 576, 91 и 7942,52 ppm или в листьях на отвалах СФ УГОК – 97,1 ppm. Наименьшими способностями к биоаккумуляции у растений березы характеризуются: на отвалах КБР – кора (378, 74 ppm), УГОК – побеги (3882,8 ppm) и корни – на отвалах СФ УГОК (89,45 ppm). Показано, что при развитии растений на отвалах КБР и СФ УГОК металлы распределены в различных органах равномерно, о чем свидетельствует незначительная разница между максимальными и минимальными показателями содержания металлов. При развитии на отвалах КБР отмечается снижение содержания общего количества металлов в почвогрунтах под насаждениями по отношению к необлесенным участкам – на 35%. В г. Стерлитамаке наибольшее количество суммы металлов, а

также Cu, Ca, Mn, Fe накапливается в коре, при этом Pb, Cd, Hg концентрируются в листьях, а St – только в почве. Суммарное содержание металлов в растениях превосходит аналогичный показатель для почв под насаждениями, но наибольшее количество металлов аккумулируется в хорошо развитой лесной подстилке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гудериан, Р. Загрязнение воздушной среды. – М.: Мир, 1979. 200 с.
2. Добровольский, В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. 1999. № 5. С. 639-645.
3. Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений. – Киев: Наукова думка, 1971. 146 с.
4. Коршиков, И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наукова думка, 1996. 235 с.
5. Плохинский, Н.А. Биометрия. – М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
6. Сергейчик, С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. – Минск: Наука и техника, 1994. 280 с.
7. Сукачев, В.Н. Программа и методика биогеоэкологических исследований. – М.: Наука, 1966. 333 с.
8. Хазиев, Ф.Х. Экоотоксиканты в почвах Башкортостана / Ф.Х. Хазиев, Ф.Я. Багаутдинов, А.З. Сахабутдинова. – Уфа: Гилем, 2000. 62 с.
9. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1997. 210 с.
10. Ballach, H. Premature aging in *Populus nigra* L. after exposure to air pollutants / H. Ballach, J. Mooi, R. Wittig // *Angew. Bot.* 1992. №12. P. 14-20.
11. Dassler, H.G. Reakfiolen von Geholzen auf Immissionen und Schlussfolgerungen für den Anbau Begrünung in Industriegebieten // Ref.d.7 Dendrol. Kongr. soz. Lander. 29 Juni bis 3 Juli 1979 in Dresden. –KB d. DDR, Graph. Werkst. Zittau., 1981. S. 31-36.
12. Smith, W.H. Air pollution and forest. Interaction between air contaminants and forest ecosystems. – New York et al., Springer, 1981. 379 p.

BIOCONSERVATION OF INDUSTRIAL POLLUTANTS BY BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) ON ANTHROPOGENIC BROKEN TERRITORIES IN BASHKORTOSTAN REPUBLIC

© 2011 A.N. Kutliahmetov¹, A.A. Kulagin²

¹ Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmulla, Ufa

² Institute of Biology Ufa Science Center RAS

It is shown that mainly metals accumulate in long-term bodies of birch on sailings in Uchalah (bark) – 576,91 and 7942,52 ppm, and also in leaves on sailings in Sibae – 97,1 ppm. It is shown, that during plants growth metals are distributed in various bodies in regular intervals to what the insignificant difference between the maximum and minimum indicators of the maintenance of metals testifies. The total maintenance of metals in plants surpasses a similar indicator for soils under plantings, but the greatest quantity of metals accumulates in well developed wood laying.

Key words: *birch, technogenesis, metals, bioaccumulation*

Azat Kutliahmetov, Candidate of Geography, Research Fellow.

E-mail: eco-centr@mail.ru

Andrey Kulagin, Doctor of Biology, Main Research Fellow.

E-mail: kulagin-aa@mail.ru