

УДК 581.45:582.091:504.5 (470.22)

## АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНАХ И ТКАНЯХ БЕРЕЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Т. Ю. Кузнецова<sup>1</sup>, Л. В. Ветчинникова<sup>1</sup>, А. Ф. Титов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса Карельского научного центра РАН

<sup>2</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН

Сравнительное изучение березы повислой (*Betula pendula* Roth) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), произрастающих в условно чистом природном местообитании (территория заповедника «Кивач») и на городских территориях (г. Петрозаводск, г. Кондопога), показало существенные различия по содержанию в их органах и тканях тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Mn) в зависимости от условий произрастания. В частности, в почках, листьях и особенно в многолетних укороченных побегах (брахибластах) растений, находящихся в городских условиях, отмечено повышенное содержание большинства изученных тяжелых металлов, а концентрации кадмия и свинца (в некоторых случаях также никеля и цинка) не только превышали фоновые для растений значения, но даже приближались к нижнему уровню их предельно допустимых концентраций.

Ключевые слова: тяжелые металлы, береза повислая, береза пушистая, ауксбласты, брахибласты, листья, многолетние удлиненные побеги, почки.

### T. Yu. Kuznetsova, L. V. Vetchinnikova, A. F. Titov. HEAVY METALS ACCUMULATION IN VARIOUS ORGANS AND TISSUES OF BIRCH TREES DEPENDING ON GROWTH CONDITIONS

A comparative study of birches (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.), growing in relatively clean natural habitats (e. g. «Kivatch» forest reserve) and urban areas (e. g. cities of Petrozavodsk and Kondopoga), indicated significant differences in the content of some heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Mn) in organs and tissues depending on their growth conditions. Particularly, elevated levels of heavy metals were revealed in the buds, leaves and especially in short shoots (brachyblasts) of the plants growing in an urban environment. Notably, cadmium and lead concentration (in some cases, nickel and zinc) not only exceeded the background values, but also came close to the lower level of their limit values.

Keywords: heavy metals, *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh., auxiblasts, brachyblasts, leaves, perennial elongated shoots, buds.

## Введение

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды техногенного происхождения наиболее распространенными и токсичными являются тяжелые металлы. Поэтому их действие на животные и растительные объекты многие годы активно изучается. Однако в условиях Севера работы, посвященные вопросам распространения и аккумуляции тяжелых металлов в окружающей среде, получили свое развитие лишь в последние десятилетия. В частности, такого рода исследования были проведены рядом авторов на Кольском полуострове [Ярмишко, 1997; Черненко, 2002; Сухарева, 2004; Никонов и др., 2004; Кизеев, 2006; Жиров и др., 2007; Кашулина, Салтан, 2008; Костюк, 2009]. В Карелии основное внимание исследователей оказалось сосредоточенным на изучении влияния тяжелых металлов на травянистые [Титов и др., 2007; Лайдинен и др., 2011; Батова и др., 2012; Казнина и др., 2012, 2013] и хвойные [Кайбияйнен и др., 1995; Фуксман, 2002; Теребова, 2002; Галибина, 2003 и др.] виды растений. При этом Карелия в целом считается экологически чистым регионом [Федорец, 2001], хотя в отдельных городах и районах республики зафиксировано достаточно сильное загрязнение почв и напочвенного покрова тяжелыми металлами [Морозова и др., 2004; Федорец, Медведева, 2005; Федорец и др., 2008]. Основными источниками загрязнения обычно являются автотранспорт и промышленные предприятия [Гос. доклад..., 2013], но нельзя исключать и фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения [Никитенко, 2007].

Исходя из этого, нами проведено сравнительное изучение аккумуляции тяжелых металлов растениями березы повислой и березы пушистой, которые являются аборигенными представителями лесных сообществ Восточной Фенноскандии и достаточно часто используются для озеленения северных городов.

## Материалы и методы

Объектами исследования явились береза повислая (*Betula pendula* Roth) и береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), произрастающие в городских условиях и на условно чистой территории. Материалом для анализа служили почки, листья, однолетние удлиненные побеги текущего года (ауксисласты), многолетние укороченные побеги (брахибласты), многолетние удлиненные побеги (не старше 2–3 лет).

Сбор образцов проводили на территории г. Петрозаводска (61°78' с. ш., 34°35' в. д.)

и г. Кондопоги (62°20' с. ш., 34°26' в. д.). В качестве условно чистого участка (контроль) принята территория, расположенная вблизи центральной усадьбы заповедника «Кивач» (62°16' с. ш., 33°58' в. д.) [Федорец, 2001]. Для сравнения с ним были выбраны наиболее загрязненные участки в центральной части г. Петрозаводска (ул. Анохина, пр. Первомайский, а также парк, находящийся в непосредственной близости от Онежского тракторного завода) и г. Кондопоги (в районе ЦБК и вблизи Дворца спорта) [Федорец, Медведева, 2005].

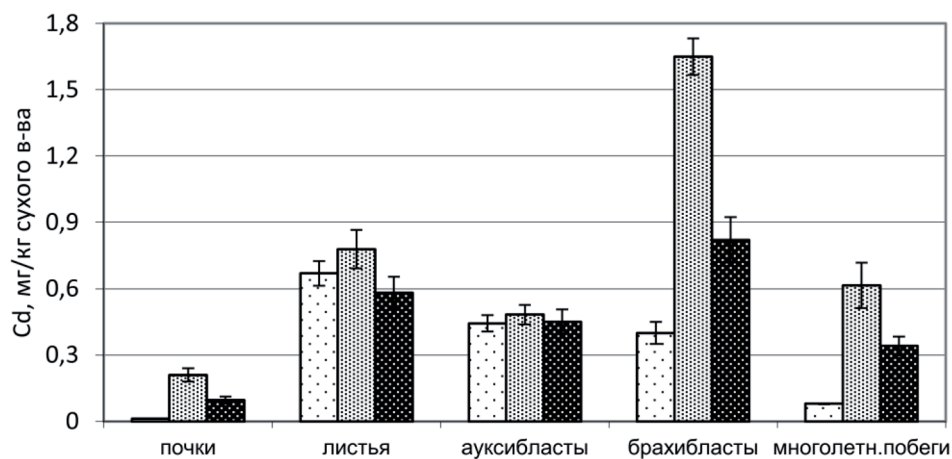
Концентрацию тяжелых металлов – кадмия, свинца, меди, никеля, цинка, железа, марганца – определяли в различных органах и тканях растений после мокрого озоления в концентрированной  $\text{HNO}_3$  с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра AA-6800 («Shimadzu», Япония).

Математическую обработку данных проводили с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ Microsoft Excel.

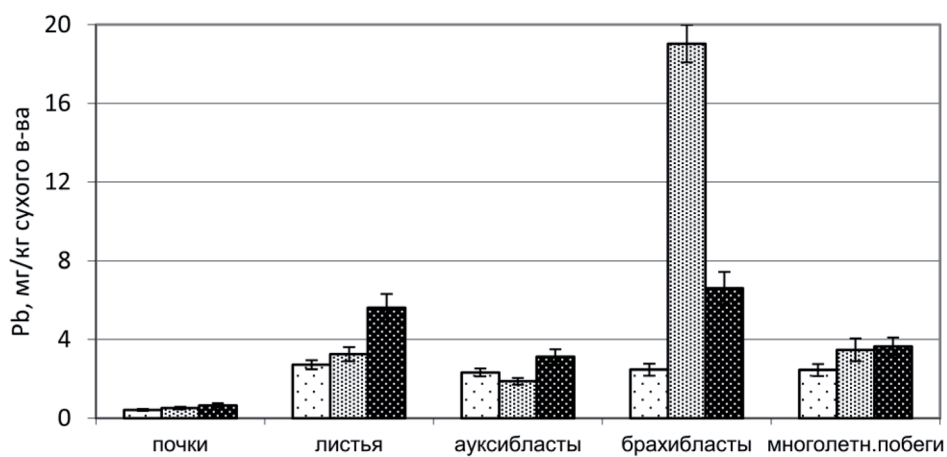
## Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Fe, Mn) в различных органах и тканях березы повислой и березы пушистой носит однотипный характер и не проявляет видовых особенностей (или находится в пределах статистической погрешности). Наряду с этим в городских условиях и на территории заповедника «Кивач» (контрольная территория) обнаружены существенные различия между растениями в зависимости от условий произрастания. В частности, содержание тяжелых металлов у растений на городских территориях оказалось в среднем в 2–6 раз выше, чем у растений контрольного участка. Наиболее существенные различия отмечены в отношении кадмия, свинца, меди, цинка и железа.

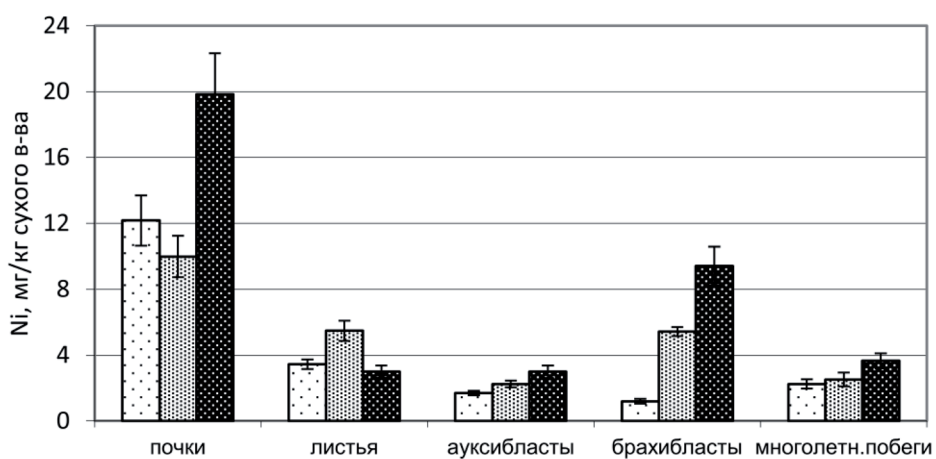
Так, если концентрация **кадмия** в органах и тканях берез на территории заповедника варьировала от 0,01 до 0,67 мг/кг сухого вещества, то в городе – от 0,1 до 1,65 (рис. 1, А). Исследования показали, что в городской среде аккумуляция кадмия происходит преимущественно в многолетних укороченных побегах (брахибластах) растений березы, составляя в условиях г. Кондопоги и г. Петрозаводска соответственно 1,6 и 0,8 мг/кг сухого вещества, что превышает фоновый уровень для растений и соответствует токсичным концентрациям. Согласно сводке Кабата-Пендиас, Пендиас [1989], фоновое содержание кадмия в надзем-



А






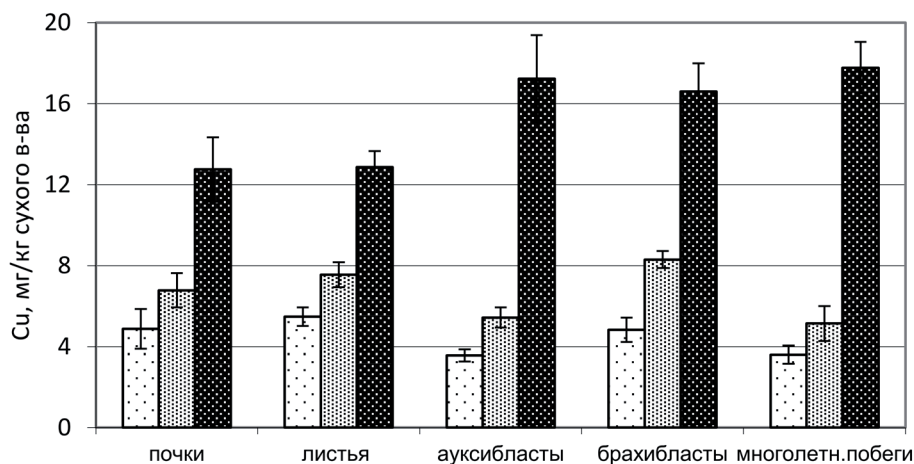
Б



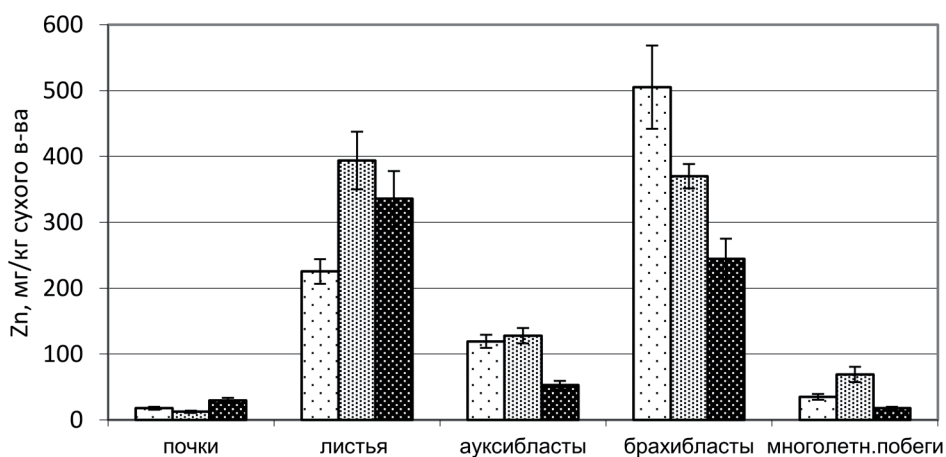
В

Рис. 1. Содержание кадмия (А), свинца (Б) и никеля (В) в различных органах берез, произрастающих на условно чистой территории (заповедник «Кивач») и в городских условиях (г. Кондопога, г. Петрозаводск).

Здесь и на рис. 2, 3:  заповедник «Кивач»  г. Кондопога  г. Петрозаводск



А



Б

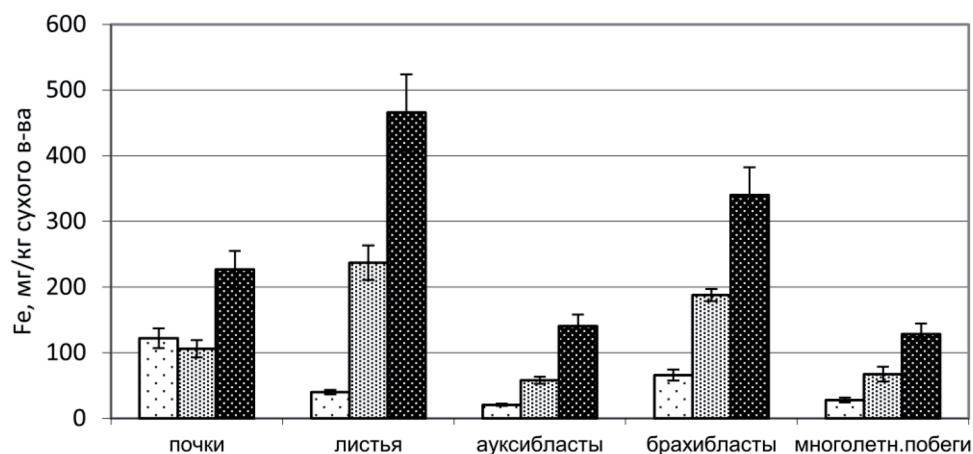
Рис. 2. Содержание меди (А) и цинка (Б) в различных органах берез, произрастающих на условно чистой территории (заповедник «Кивач») и в городских условиях (г. Кондопога, г. Петрозаводск)

ной части растений составляет 0,05–0,6 мг/кг сухого вещества, а токсичное – 1,0–70 мг/кг. На контрольном участке наибольшее количество кадмия (0,67 мг/кг сухого вещества) зафиксировано в листьях растений, и оно по величине было сходным с таковым в г. Кондопоге и г. Петрозаводске (0,78 и 0,58 мг/кг сухого вещества соответственно).

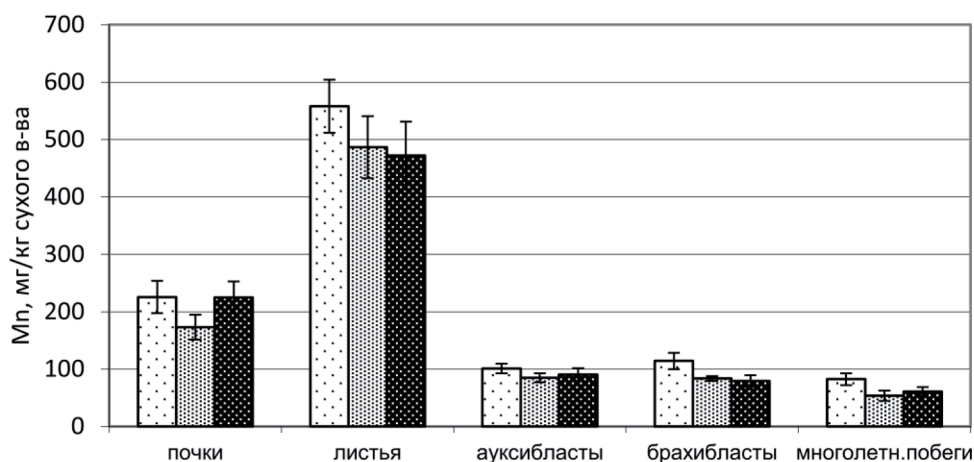
Накопление **свинца** во всех органах контрольных растений было приблизительно на одном уровне (2,7–3,0 мг/кг сухого вещества) (рис. 1, Б). В городских условиях свинец обнаруживался преимущественно в листьях и брахибластах, причем в условиях г. Кондопоги его содержание в брахибластах составляло 19,0 мг/кг сухого вещества (см. рис. 1, Б), что примерно в 8 раз превышало значения контрольного варианта и почти в 2 раза – предельно

допустимую для растений концентрацию этого элемента (10,0 мг/кг сухого вещества) [Тарабрин, 1974; Baker, Chesnin, 1975]. В г. Петрозаводске содержание свинца в органах и тканях берез не выходило за пределы фоновых значений (5,0 мг/кг сухого вещества), а в почках оно не превышало следовых количеств независимо от места произрастания.

Анализ распределения **никеля** (рис. 1, В) показал, что как в природных, так и в городских условиях его содержание в почках берез (12,2 и 19,8 мг/кг сухого вещества соответственно) было в 3–5 раз выше по сравнению с другими органами и существенно превышало фоновые значения, находясь на нижнем уровне предельно допустимых для жизнедеятельности растений. По обобщенным данным, для большинства видов растений нормальное со-



А



Б

Рис. 3. Содержание железа (А) и марганца (Б) в различных органах берез, произрастающих на условно чистой территории (заповедник «Кивач») и в городских условиях (г. Кондопога, г. Петрозаводск)

держание никеля в надземной части составляет 0,1–5,0 мг/кг сухого вещества, токсичное – 10,0–100,0 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. В других органах содержание никеля находилось в пределах нормы, но у растений в городских условиях наблюдалось повышенное его накопление (особенно в брахибластах) по сравнению с контролем.

Накопление **меди** (рис. 2, А) в органах и тканях изученных растений было относительно равномерным: от 3,8 до 5,1 мг/кг сухого вещества – в природных условиях и от 5,8 до 8,2 мг/кг – в городских (г. Кондопога). Вместе с тем на территории г. Петрозаводска количество этого металла в ауксибластах, брахибластах и многолетних побегах берез почти в 5 раз превосходило значения, зафиксированные у контрольных растений. Оптимальной концентрацией для меди одни авторы [Прохорова и др., 1998]

считают интервал от 5,0 до 30,0 мг/кг сухого вещества, критической – 150,0 мг/кг. Согласно другим авторам [Алексеев, 1987], фитотоксичные концентрации находятся в диапазоне от 10 до 20 мг/кг сухого вещества.

Изучение содержания **цинка** (рис. 2, Б) в различных органах и тканях березы позволило установить, что даже на условно чистом участке его содержание в брахибластах (500 мг/кг сухого вещества) вдвое больше, чем в листьях (225 мг/кг сухого вещества), и превышает предельно допустимые концентрации [Прохорова и др., 1998]. В городских условиях, напротив, цинк накапливался в большей степени в листьях (350–400 мг/кг сухого вещества) и меньше в побегах (250–350 мг/кг). Среднее содержание цинка в почках составило 23 мг/кг сухого вещества независимо от места произрастания берез. По данным Адриано [Adriano,

1986], береза характеризуется высоким фоновым содержанием цинка в листьях, что может объяснить его значительные концентрации, обнаруженные нами в растениях с территории заповедника. Наличие повышенной по сравнению с побегами концентрации цинка в листьях деревьев, произрастающих в городе, вероятно, связано с механизмом выведения металла в период осеннего листопада [Rosselli et al., 2003]. Вместе с тем следует отметить, что в молодых частях растений – в почках и однолетних побегах – цинк не накапливался. Следовательно, наибольшее количество цинка аккумулируется в брахибластах и в листьях березы, наименьшее – в почках.

Анализ содержания **железа** (рис. 3, А) у растений березы, произрастающих в городских условиях, показал, что листья и брахибласты накапливают значительно больше (в 3–5 раз) данного металла (250–465 и 196–340 мг/кг сухого вещества соответственно) по сравнению с другими органами и тканями (66–128 мг/кг сухого вещества). Следует указать, что у изученных берез отмечено повышенное (в 2–9 раз) содержание железа в городских условиях по сравнению с природными. На контрольном участке наибольшее содержание железа зафиксировано в почках берез (110 мг/кг от сухого вещества).

Основное накопление **марганца** происходило в листьях (484–558 мг/кг сухого вещества) и в почках (170–220 мг/кг) растений. В побегах березы содержание этого элемента (рис. 3, Б) в природных и городских условиях было ниже и находилось приблизительно на одном уровне (80–100 мг/кг сухого вещества). Замечено, что под влиянием загрязнения в листьях березы, произрастающих в условиях г. Кондопоги, снижение уровня накопления железа сопровождалось одновременным возрастанием количества марганца. Такое нарушение в соотношении между элементами-антагонистами в ассимиляционных органах в условиях техногенного загрязнения ранее отмечалось и другими авторами [Гиниятуллин и др., 1997].

## Выводы

1. Сравнительное изучение берез, произрастающих в городских условиях (г. Петрозаводск, г. Кондопога) и в условно чистом природном биотопе (территория заповедника «Кивач»), показало наличие между ними существенной разницы по содержанию в органах и тканях тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Fe, Mn). Причем на территории г. Кондопоги накопление кадмия и свинца в бра-

хибластах, многолетних побегах, листьях и почках березы в некоторых случаях более чем в 5 раз превышало значения, зафиксированные на контрольном участке (заповедник «Кивач»).

2. Накопление и распределение тяжелых металлов по органам и тканям березы происходит неравномерно. Различия между растениями, находящимися на контрольном участке и в городских условиях, проявляются в наибольшей степени по содержанию тяжелых металлов в листьях, почках и брахибластах. В частности, в листьях накапливаются преимущественно кадмий, цинк, железо, марганец, в брахибластах – кадмий, свинец, никель, цинк, железо, а в почках – никель, железо и марганец.
3. В органах растений (в почках, в листьях и особенно в многолетних укороченных побегах (брахибластах), произрастающих на городских территориях, отмечено повышенное содержание большинства изученных тяжелых металлов, при этом концентрации кадмия и свинца (в некоторых случаях также никеля и цинка) не только превышали фоновые значения, но даже приближались к нижнему уровню предельно допустимых для жизнедеятельности растений.
4. Различия между двумя наиболее широко распространенными видами берез (повислой и пушистой) по аккумуляции тяжелых металлов не выявлены (или находились в пределах статистической погрешности), что говорит об отсутствии явно выраженной видоспецифичности в реакции растений рода Береза (*Betula* L.) на загрязнение внешней среды тяжелыми металлами.
5. Благодаря осеннему листопаду древесные растения способны избавляться от значительной части накапливающихся в них токсичных соединений, что позволяет существенно снижать степень негативного воздействия тяжелых металлов и, соответственно, способствует выживанию растений, находящихся в подобных условиях окружающей среды.

*Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам аналитической лаборатории Института леса Карельского научного центра РАН за химический анализ содержания тяжелых металлов.*

## Литература

Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.

Батова Ю. В., Титов А. Ф., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Накопление кадмия и его распределение по органам у растений ячменя разного возраста // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. № 2. С. 32–37.

Галибина Н. А. Клеточная стенка хвои деревьев сосны обыкновенной и ели сибирской в условиях аэротехногенного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2003. 19 с.

Гиниятуллин Р. Х., Кулагин А. Ю., Баталов А. А., Салихова Р. Н. Содержание некоторых металлов в надземных органах березы повислой в условиях промышленного загрязнения // Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы Международного совещания. Екатеринбург, 26–29 августа 1996 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 54–67.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2012 году / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия. Петрозаводск: Два товарища, 2013. 328 с.

Жиров В. К., Голубева Е. И., Говорова А. Ф., Хаитбаев А. Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М.: Наука, 2007. 166 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

Кашулина Г. М., Салтан Н. В. Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель». Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. 239 с.

Казнина Н. М., Титов А. Ф., Топчиева Л. В., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние возрастных различий на устойчивость растений ячменя к кадмию // Физиология растений. 2012. Т. 59, № 5. С. 74–79.

Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние возраста листа на устойчивость фотосинтетического аппарата растений к кадмию // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. № 3. С. 112–118.

Кайбияйнен Л. К., Хари П., Софронова Г. И., Болондинский В. К. Влияние длительности воздействия токсичных поллютантов на состояние устьиц и фотосинтез хвои *Pinus sylvestris* L. // Физиология растений. 1995. Т. 42, № 6. С. 871–877.

Кизеев А. Н. Влияние промышленных загрязнений на состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Кольском полуострове: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 27 с.

Костюк В. И. Устойчивость овса к тяжелым металлам. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2009. 117 с.

Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М., Батова Ю. В., Титов А. Ф. Состояние травянистой растительности в условиях промышленного загрязнения (на примере Южной Карелии) // Растительные ресурсы. 2011. Т. 47, вып. 3. С. 51–62.

Морозова Р. М., Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Почвы и почвенный покров Заонежья Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск. 2004. Вып. 6. С. 69–89.

Никитенко М. А. Влияние урбанизации на трансформацию почвенного покрова и условия функционирования древесных растений городов среднего Предуралья: на примере г. Сарапула и г. Камбарки: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ижевск, 2007. 21 с.

Никонов В. В., Лукина Н. В., Фронтасьева М. В. Растения. Поглощение элементов растениями северотаежных лесов (природные и техногенные аспекты) // Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука, 2004. С. 167–181.

Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловский В. А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самар. ун-т, 1998. 97 с.

Сухарева Т. А. Химический состав и морфометрические характеристики хвои ели сибирской в условиях промышленного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 28 с.

Тарабрин В. П. Устойчивость древесных растений в условиях промышленного загрязнения: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Киев, 1974. 71 с.

Теребова Е. Н. Азотные и фосфорные соединения хвойных растений при аэротехногенном загрязнении в условиях северо-запада России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2002. 22 с.

Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 172 с.

Федорец Н. Г. Фоновый мониторинг лесных почв в среднетаежной подзоне Карелии // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 20–37.

Федорец Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2005. 96 с.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 47 с.

Фукуман И. Л. Влияние природных и антропогенных факторов на метаболизм веществ вторичного происхождения у древесных растений. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. 165 с.

Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.

Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.

Adriano D. C. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer Verlag. New York. 1986. 533 p.

Baker D. E., Chesnin L. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // Advances in Agronomy. 1975. Vol. 27. P. 306–366.

Rosselli W., Keller C., Boschi K. Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil // Plant and Soil. 2003. Vol. 256. P. 265–272.

Поступила в редакцию 15.10.2013

## References

Alekseev Yu. V. Tyazhelye metally v pochvakh i ras-teniyakh [Heavy metals in soils and plants]. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 142 s.

Batova Yu. V., Titov A. F., Kaznina N. M., Laidinen G. F. Nakoplenie kadmiya i ego raspredelenie po organam u rastenii yachmenya raznogo vozrasta [Cadmium accumulation and distribution in barley plants depending on their age]. *Trudy KarNTs RAN [Proceedings of KarRC RAS]*. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2012. № 2. С. 32–37.

Chernen'kova T. V. Reaktsiya lesnoi rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie [Response of forest vegetation to industrial pollution]. Moscow: Nauka, 2002. 191 s.

Fedorets N. G. Fonovyi monitoring lesnykh pochv v srednetazhnoi podzone Karelii [Background monitoring of forest soils in middle-taiga zone of Karelia]. *Bioekologicheskie aspekty monitoringa lesnykh ekosistem Severo-Zapada Rossii [Bioecological aspects of monitoring of forest ecosystems of Northwest of Russia]*. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2001. S. 20–37.

Fedorets N. G., Medvedeva M. V. Ekologo-mikrobiologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv goroda Petrozavodsk [Ecological and microbiological assessment of soils in the city of Petrozavodsk]. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN. 2005. 96 s.

Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Solodovnikov A. N., Morozov A. K. Pochvy Karelii: geokhimicheskii atlas [Soils of Karelia: geochemical analysis]. Moscow: Nauka, 2008. 47 s.

Fuksman I. L. Vliyanie prirodnykh i antropogennykh faktorov na metabolizm veshchestv vtorichnogo proiskhozhdeniya u drevesnykh rastenii [Effect of natural and anthropogenic factors on metabolism of secondary metabolites in woody plants]. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2002. 165s.

Galibina N. A. Kletochnaya stenka khvoi derev'ev sosny obyknovennoi i eli sibirskoi v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya [Cell wall in *Pinus sylvestris* and *Picea obovata* pine needles under aerotechnogenic pollution]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2003. 19 s.

Ginijatullin R. H., Kulagin A. Ju., Batalov A. A., Salihova R. N. Soderzhanie nekotorykh metallov v nadzemnykh organakh berezy povisloj v usloviyah promyshlennogo zagryazneniya [Levels of some metals in above-ground organs of the silver birch, *Betula pendula* Roth., under industrial pollution]. *Biologicheskaja rekul'tivacija narushennykh zemel' [Biological remediation of disturbed sites]*: materialy Mezhdunarodnogo soveshhanija. Ekaterinburg, 26–29 avgusta 1996 g. Ekaterinburg: UrO RAN, 1997. S. 54–67.

Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy Respubliki Kareliya v 2012 godu [State report on the condition of the environment of the Republic of Karelia in 2012]. Ministerstvo po prirodopol'zovaniyu i ekologii Respubliki Kareliya. Petrozavodsk: Dva tovarishcha, 2013. 328 s.

Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh [Microelements in soils and plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 s.

Kashulina G. M., Saltan N. V. Khimicheskii sostav rastenii v ekstremal'nykh usloviyakh lokal'noi zony kom-

binata «Severonikel'» [Chemical composition of plants in extreme conditions of local zone of «Severonikel'» industrial complex]. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008. 239 s.

Kaznina N. M., Titov A. F., Topchieva L. V., Laidinen G. F., Batova Yu. V. Vliyanie vozrastnykh razlichii na ustoichivost' rastenii yachmenya k kadmiyu [Effect of age differences on cadmium resistance in barley]. *Fiziologiya rastenii*. 2012. T. 59, № 5. С. 74–79.

Kaznina N. M., Titov A. F., Laidinen G. F., Batova Yu. V. Vliyanie vozrasta lista na ustoichivost' fotosinteticheskogo apparata rastenii k kadmiyu [Effect of leaf age on cadmium resistance of plant photosynthetic apparatus]. *Trudy KarNTs RAN [Proceedings of KarRC RAS]*. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2013. № 3. С. 112–118.

Kaibiyainen L. K., Khari P., Sofronova G. I., Bolondinskii V. K. Vliyanie dlitel'nosti vozdeistviya toksichnykh pollyutantov na sostoyanie ust'its i fotosintez khvoi *Pinus sylvestris* L. [Effect of length of Exposure to toxic pollutants on state of stomata and needle photosynthesis in *Pinus sylvestris* L.]. *Fiziologiya rastenii*. 1995. T. 42, № 6. S. 871–877.

Kizeev A. N. Vliyanie promyshlennykh zagryaznenii na sostoyanie assimilyatsionnogo apparata sosny obyknovennoi (*Pinus sylvestris* L.) na Kol'skom poluostrove [Effect of industrial pollution on assimilation apparatus in *Pinus sylvestris* L. in Kola Peninsula]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2006. 27 s.

Kostyuk V. I. Ustoichivost' ovsa k tyazhelym metalam [Resistance of oat to heavy metals]. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2009. 117 s.

Laidinen G. F., Kaznina N. M., Batova Yu. V., Titov A. F. Sostoyanie travyanistoi rastitel'nosti v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya (na primere Yuzhnoi Karelii) [State of herbaceous vegetation under industrial pollution (example of Southern Karelia)]. *Rastitel'nye resursy*. 2011. T. 47, vyp. 3. С. 51–62.

Morozova R. M., Fedorets N. G., Bakhmet O. N. Pochvy i pochvennyi pokrov Zaonezh'ya Karelii [Soils and soil cover of Karelian Zaonezhie]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of KarRC RAS]*. Petrozavodsk. 2004. Vyp. 6. S. 69–89.

Nikitenko M. A. Vliyanie urbanizatsii na transformatsiyu pochvennogo pokrova i usloviya funktsionirovaniya drevesnykh rastenii gorodov srednego Predural'ya: na primere g. Sarapula i g. Kambarki [Effect of urbanization on soil cover transformation and functioning conditions of woody plants in Predural region: example of towns Sarapul and Kambarka]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Izhevsk, 2007. 21 s.

Nikonov V. V., Lukina N. V., Frontas'eva M. V. Rasteniya. Pogloshchenie elementov rasteniyami severotazhnykh lesov (prirodnye i tekhnogennye aspekty) [Plants. Absorption of elements by plants in northern taiga (natural and technological aspects)]. *Rasseyannye elementy v boreal'nykh lesakh [Trace elements in boreal forests]*. Moscow: Nauka, 2004. S. 167–181.

Prokhorova N. V., Matveev N. M., Pavlovskii V. A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e [Accumulation of heavy metals in wild and cultivated plants in forest-steppe and steppe Volga region]. Samara: Samar. un-t, 1998. 97 s.



*Sukhareva T. A.* Khimicheskii sostav i morfometriicheskie kharakteristiki khvoi eli sibirskoi v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya [Chemical composition and morphometric characteristics of Picea obovata needles under industrial pollution]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2004. 28 s.

*Tarabrin V. P.* Ustoichivost' drevesnykh rastenii v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya [Woody plants resistance to industrial pollution]: avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Kiev, 1974. 71 s.

*Terebova E. N.* Azotnye i fosfornye soedineniya khvoinykh rastenii pri aerotekhnogennom zagryaznenii v usloviyakh severo-zapada Rossii [Nitrogen and phosphorus compounds in coniferous plants under aerotechnological pollution in North-West Russia]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Petrozavodsk, 2002. 22 s.

*Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Laidinen G. F.* Ustoichivost' rastenii k tyazhelym metallam [Resistance of plants to heavy metals]. Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2007. 172 s.

*Yarmishko V. T.* Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na Evropeiskom Severe [*Pinus sylvestris* and air pollution in European North]. St. Petersburg: NII khimii SPbGU, 1997. 210 s.

*Zhirov V. K., Golubeva E. I., Govorova A. F., Khaitbaev A. Kh.* Strukturno-funktsional'nye izmeneniya rastitel'nosti v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya na Krainem Severe [Structural-functional changes in vegetation under industrial pollution in the Far North]. Moscow: Nauka, 2007. 166 s.

*Adriano D. C.* Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer Verlag. New York. 1986. 533 p.

*Baker D. E., Chesnin L.* Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health. *Advances in Agronomy*. 1975. Vol. 27. P. 306–366.

*Rosselli W., Keller C., Boschi K.* Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil. *Plant and Soil*. 2003. Vol. 256. P. 265–272.

Received October 15, 2013

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Кузнецова Татьяна Юрьевна**

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт леса Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: vetchin@krc.karelia.ru

### **Ветчинникова Лидия Васильевна**

ведущий научный сотрудник, д. б. н.  
Институт леса Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: vetchin@krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 768160

### **Титов Александр Федорович**

главный научный сотрудник, чл.-корр. РАН,  
д. б. н., проф.  
Институт биологии Карельского  
научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185910  
эл. почта: titov@krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 769710

## CONTRIBUTORS:

### **Kuznetsova, Tatiana**

Forest Research Institute,  
Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: vetchin@krc.karelia.ru

### **Vetchinnikova, Lidiya**

Forest Research Institute,  
Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: vetchin@krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 768160

### **Titov, Alexandr**

Institute of Biology,  
Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: titov@krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 769710