

УДК 632.122.1:504.054:581.52:630.181

DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-3-39-44

# **ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ СВИНЦА В ОРГАНАХ У ЗДОРОВЫХ И ОСЛАБЛЕННЫХ ДЕРЕВЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

© Р.Х. Гиниятуллин, А.Ю. Кулагин

Приведены результаты многолетних исследований по оценке относительного жизненного состояния, корненаасыщенности почвы поглощающими корнями и накопления свинца в надземных и подземных органах у здоровых и ослабленных деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра. Целью работы является изучение относительного жизненного состояния, корненаасыщенности почвы поглощающими корнями, поглощения и накопления свинца в листьях, ветвях, корнях у здоровых и ослабленных деревьев березы повислой, а также содержания свинца в почве. Объектом исследования были березовые насаждения, расположенные на различном удалении от промышленных предприятий. Проведена оценка относительного жизненного состояния березы повислой в условиях промышленного загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля. Показано, что в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра с ухудшением жизненного состояния березы повислой отмечается снижение поглощения свинца деревьями. Установлено, что в условиях загрязнения содержание свинца в почвах выше в 5–7 раз по сравнению с зоной условного контроля и превышает предельно допустимые концентрации до 4.7 раза. Под влиянием тяжелых металлов в условиях загрязнения на глубине 0–10 см происходит снижение доли поглощающих корней березы повислой по сравнению с контролем. Несмотря на снижение доли поглощающих корней в условиях загрязнения, корни березы повислой способны поглощать из почвы значительное количество свинца. Установлено, что в условиях промышленного загрязнения у здоровых деревьев березы повислой выражено выполнение барьерной функции корней по отношению к свинцу. Это обуславливает снижение поступления свинца в надземные органы березы повислой.

Ключевые слова: береза повислая, категория жизненного состояния, корни, свинец, Стерлитамакский промышленный центр.

В течение многих лет исследовались особенности воздействия загрязнителей на состояние лесных насаждений санитарно-защитной зоны Стерлитамакского промышленного центра. Изучение последствий техногенного воздействия на древесные растения выполнялось с использованием химических методов исследования, позволяющих оценить накопление металлов в органах древесных растений. Береза повислая (*Betula pendula* Roth) – древесное растение, широко используемое при создании по-лезащитных насаждений, насаждений санитарно-защитных зон, озеленении селитебной зоны и территорий промышленных предприятий. Береза успешно произрастает в парках, скверах

санитарно-защитных зонах ряда промышленных предприятий г. Стерлитамака [1].

В районе исследования основным фактором воздействия на окружающую среду являются предприятия химической промышленности АО «Сода», АО «Каустик», ЗАО «Каучук», примыкающий к нему ОАО «Стерлитамакский нефтехимический завод», воздействие которых проявляется в загрязнении главным образом медью, кадмием, свинцом, марганцем и никелем.

Климат района характеризуется континентальностью и недостаточным увлажнением. Преобладают ветра южного, юго-западного и северного направлений.

ГИНИЯТУЛЛИН Рафак Хизбуллинович – к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, e-mail: grafak2012@yandex.ru

КУЛАГИН Алексей Юрьевич – д.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, e-mail: coolagin@list.ru

Цель исследования – проведение оценки относительного жизненного состояния древесных растений, характеристика корненасыщенности почвы поглощающими корнями, особенностей накопления и распределения свинца в надземных и подземных органах у здоровых и ослабленных деревьев березы повислой в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля.

Основной задачей являлось изучение содержания Pb в почвах, корнях, ветвях и листьях березовых насаждений в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК).

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводились в березовых насаждениях, расположенных на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака и в зоне условного контроля. Объектами исследования были здоровые и ослабленные деревья березы в возрасте 55 лет. Работа проводилась на двух объектах в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК). Постоянная пробная площадь (ППП) №1 размером 20×50 м расположена в 1–2 км от источников нефтехимического и химического загрязнения. ППП №2 размером 18×50 м расположена в 25–30 км от источников загрязнения.

Оценку жизненного состояния (ОЖС) деревьев определяли по методике В.А. Алексеева (1990) [2]. При исследовании насаждений для каждого дерева березы на постоянной пробной площади (ППП) оценивались густота кроны (в % от нормальной густоты), наличие на стволе мертвых сучьев (в % от общего количества сучьев на стволе), степень повреждения листьев токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, хлорозов и объеданий в % от площади листа или хвои). Расчет относительного жизненного состояния насаждений проводился по формуле:

$$Ln = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

где Ln – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное по числу деревьев; n1 – число здоровых деревьев на пробной площади; n2, n3, n4 – то же для ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соот-

ветственно; 100, 70, 40, 5 – коэффициенты, выражающие (в процентах) жизненное состояние здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев; N – общее число деревьев на пробной площади (включая сухостой).

При значении относительного жизненного состояния от 100 до 80% древостой оценивается как «здоровый», при 79–50% – «ослабленный», при 49–20 % – «сильно ослабленный», при 19% и ниже – «полностью разрушенный».

Для изучения содержания металлов в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля производился многократный повторный отбор листьев, ветвей, корней для определения содержания металлов. Пробы листьев и ветвей брали из верхней, средней и нижней части кроны древесных растений со стороны источника загрязнения с помощью секатора на шесте. Пробы корней отбирали на тех же пробных площадях, что и пробы почвы. На каждой ППП образцы почвы отбирались послойно с глубины 0–10, 10–20, 20–30, 30–40, 40–50, 50–60, 60–70, 70–80, 80–90, 90–100 см. Взятые пробы высушивали до воздушного – сухого состояния. По данным многолетних исследований величина pH почвенных растворов варьируется в пределах 6.55–6.90.

Исследование корневых систем березы повислой в условиях промышленного загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля проводили методом количественного учета – методом монолитов [3]. Траншеи (почвенные разрезы) на пробных площадях закладывали перпендикулярно направлению роста горизонтальных корней на расстоянии 70 см от ствола. Все почвенные разрезы имели одинаковые размеры 1×1 м. Отбор и подготовка к анализу почвенных и растительных образцов осуществляли по общепринятым методам [4, 5]. Содержание металлов в корнях, листьях и ветвях определялось методом атомно-абсорбционного анализа (AAC-Zenit-650).

**Результаты и обсуждение.** Исследования по изучению относительного жизненного состояния березы повислой показали, что в условиях промышленного загрязнения СПЦ древостой характеризуется в целом как «здоровые» (Ln=80.75%)

В условиях интенсивного нефтехимического и химического загрязнения происходит гибель древостоев. Древостой на ППП№1 нахо-

дится в северной части города, в промышленной зоне, в непосредственной близости от источников нефтехимического и химического загрязнения. Подавляющее большинство деревьев данного насаждения относится к категории «здоровые». В данном древостое имеется «сухостой». Под влиянием промышленного загрязнения у березы происходит уменьшение густоты кроны (до 20%) и образование большого количества мертвых ветвей (15.25%). Мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в верхней, средней и нижней части кроны. Более 15% площади листовых пластинок характеризуются наличием хлорозов и некрозов. Они имеют коричневую и местами темно-бурую окраску. Хлорозы и некрозы листьев березы повислой на ППП №1 в условиях СПЦ краевые и межжилковые. По данному показателю деревья в зоне условного контроля относятся к категории «здоровые» ( $L_n=92.75\%$ ). При этом выявлено 7 деревьев, относящихся к категории «ослабленные».

На ППП №2 (ЗУК) больше половины деревьев в насаждении относится к категории «здоровые», в то же время отмечено небольшое количество ослабленных деревьев (3) и «сухостой» (1). В целом деревья ЗУК имеют лучше сформированные кроны, чем на ППП №1: густота кроны 75% и меньшее количество мертвых сучьев на стволе (в среднем 13.5%), также отмечаются повреждения листьев (в среднем 10.04%).

При исследовании корневых систем у здоровых и ослабленных деревьев березы в условиях промышленного загрязнения СПЦ установлено, что на глубине 0–10(20) см отмечается снижение корненасыщенности почвы поглощающими корнями березы по сравнению с контролем.

Максимальная масса поглощающих корней у здоровых и ослабленных деревьев в условиях промышленного загрязнения СПЦ на ППП №1 наблюдается на глубине 20–30 см. В условиях промышленного загрязнения СПЦ поглощающие корни в слое почвы 0–10 см у здоровых деревьев березы имеют в среднем массу 32.11 г/м<sup>2</sup>, а у ослабленных деревьев масса поглощающих корней в 1.5 раза меньше и составляет в среднем 21.20 г/м<sup>2</sup>. В ЗУК на ППП №2 в слое почвы 0–10 см поглощающих корней содержится в 2–3 раза больше, чем в условиях промышленного загрязнения. В условиях промышленного загрязнения СПЦ на ППП №1 отмечено высокое содержание Pb в слое 0–10 см (рис. 1). Видимо, в условиях промышленного загрязнения СПЦ на ППП №1 повышение уровня тяжелых металлов приводит к существенному подавлению развития поглощающих корней березы.

Следует отметить, что содержание Pb в почвенном покрове СПЦ и ЗУК существенно различается. В условиях промышленного загрязнения в слое почвы 0–10 см содержание Pb в 7.25 раза выше, чем в зоне условного контроля (СПЦ – 58.7 мг/кг; в ЗУК – 8.5 мг/кг) (табл.)

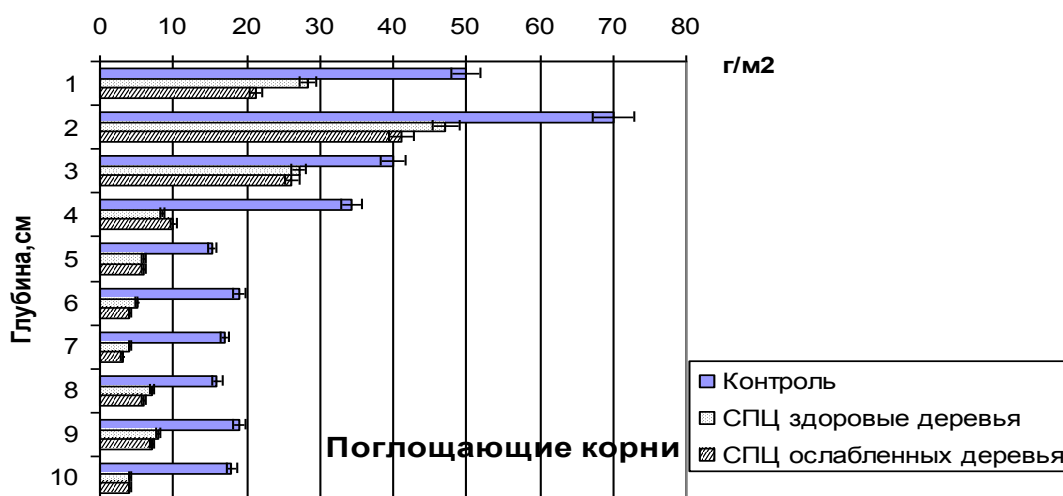


Рис. 1. Насыщенность почвы поглощающими корнями березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра на ППП №1 и в зоне условного контроля на ППП №2

Т а б л и ц а

*Содержание металлов (мг/кг) в почвах  
под насаждениями березы повислой  
Стерлитамакского промышленного центра  
и в зоне условного контроля*

| Глубина, см | СПЦ<br>ППП№1 | Контроль<br>ППП№2 |
|-------------|--------------|-------------------|
|             | Pb           | Pb                |
| 0–10        | 58.7         | 8.56              |
| 10–20       | 41.6         | 6.39              |
| 20–30       | 27.8         | 4.75              |

Показано, что в условиях промышленного загрязнения СПЦ высокое содержание металлов в слое почвы 0–10 см приводит к их накоплению в поглощающих, полускелетных и скелетных корнях здоровых и ослабленных деревьев березы повислой. При этом способность корней накапливать тяжелые металлы снижает их транспорт в надземные органы растений [6].

Получены сведения о содержании Pb в поглощающих, полускелетных и скелетных корнях березы в условиях загрязнения и в контроле. В условиях промышленного загрязнения СПЦ различаются по накоплению Pb в поглощающих, полускелетных и скелетных корнях у ослабленных и здоровых деревьев березы повислой.

В условиях загрязнения отмечено наибольшее накопление Pb в полускелетных корнях (42 мг/кг) (рис. 2).

По содержанию Pb в корнях у здоровых и ослабленных деревьев березы в условиях загрязнения их можно расположить в следующий ряд: полускелетные корни > скелетные корни > поглощающие корни. У здоровых и ослабленных деревьев березы повислой Pb локализуется главным образом в полускелетных корнях и в меньших количествах – в поглощающих и скелетных корнях. В ЗУК содержание Pb в корнях 5–9 раз ниже, чем в условиях промышленного загрязнения, и составляет для поглощающих корней 2.5 мг/кг, полускелетных – 8.1 мг/кг, скелетных – 5.2 мг/кг.

Следует отметить, что в условиях промышленного загрязнения СПЦ заметно различаются по распределению Pb по органам у «ослабленных» и «здоровых» деревьев березы. На рис. 3 представлены данные по содержанию Pb в листьях, ветвях и в корнях. В условиях промышленного загрязнения СПЦ (ППП№1) Pb эффективно поглощается корневой системой. Свинец не входит в число необходимых для растений элементов и считается токсичным.

Основная причина токсичности Pb связана с нарушением таких процессов как фотосинтез, рост, митоз. Видимые симптомы, вызванные повышенным содержанием Pb в растениях, – это задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев [7].

В условиях промышленного загрязнения СПЦ (ППП№1) отмечено накопление Pb в листьях и ветвях. Установлено, что содержание Pb в листьях у здоровых деревьев березы меньше, чем в листьях у ослабленных деревьев. В условиях промышленного загрязнения СПЦ в листьях и ветвях у здоровых деревьев березы среднее содержание Pb составляет 10–13 мг/кг, а у ослабленных деревьев – 19–22 мг/кг (рис. 3). Сравнение полученных данных по содержанию Pb в листьях, ветвях и корнях показало, что наибольшее накопление Pb отмечается в корнях. Важную роль в защите растений от избытка поступающих из почвы в корни тяжелых металлов выполняет корневая система. В условиях промышленного загрязнения СПЦ наибольшие концентрации Pb отмечаются в корнях у здоровых деревьев березы повислой, а у ослабленных деревьев на фоне высокого содержания Pb в почве отмечено возрастание содержания Pb как в корнях, так и в ветвях и листьях.

Для ослабленных деревьев березы отмечено нарушение или ослабление барьерной функции корня по отношению к Pb (рис. 3). В условиях промышленного загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля у здоровых деревьев березы повислой не наблюдается значительных нарушений барьерной функции корней по отношению к Pb. Защищенность здоровых деревьев березы от избыточного поступления свинца хорошо прослеживается в условиях промышленного загрязнения СПЦ (ППП №1). В этом случае Pb локализуется главным образом в корнях и в меньших количествах представлен в ветвях и листьях. Анализируя данные о количественном содержании свинца в различных органах у здоровых и ослабленных деревьев березы установлено, что у здоровых деревьев наблюдается существенная разница между содержанием свинца в листьях, ветвях и корнях. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами приводит к повышению их содержания во всех органах у ослабленных деревьев березы. В условиях промышленного загрязнения СПЦ и в ЗУК у здоровых деревьев березы повислой наблюдается успешное выполнение барьерной функции корней по отношению к Pb.

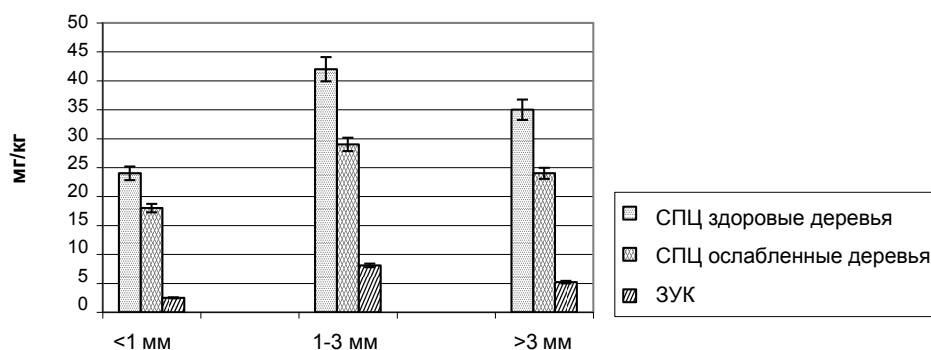


Рис. 2. Среднее содержание Pb (мг/кг) в поглощающих, полускелетных и скелетных корнях у здоровых и ослабленных деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) на глубине 0–20 см в условиях Стерлитамакского промышленного центра

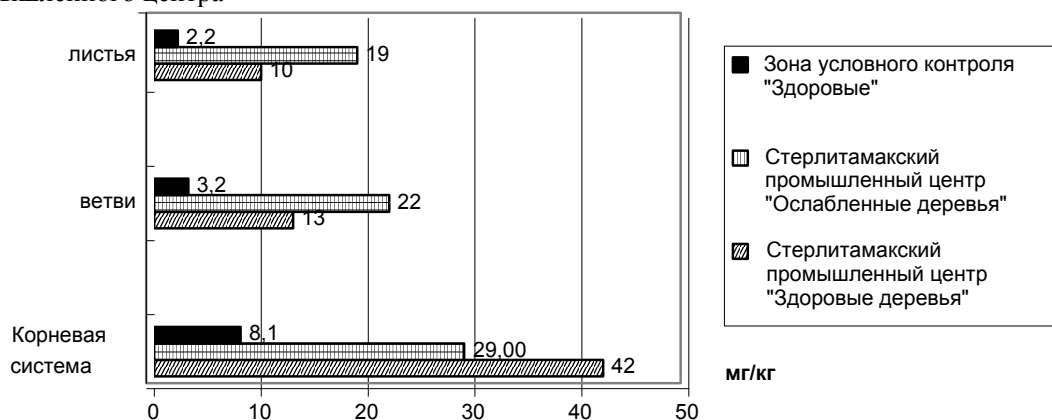


Рис. 3. Содержание Pb (мг/кг) в подземных и надземных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (ППП№1) и в зоне условного контроля (ППП№2)

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что в условиях промышленного загрязнения СПЦ жизненное состояние насаждений березы повислой оценено как «здоровое», но близко к «ослабленному». В данном случае можно прогнозировать, что в дальнейшем ОЖС насаждения будет ухудшаться вследствие выраженного негативного влияния промышленных загрязнителей.

В условиях промышленного загрязнения СПЦ отмечается снижение доли поглощающих корней на глубине 0–10 (20) см, что связано с высоким содержанием металлов в почве и их токсичностью. Основное количество поглощающих корней в зоне условного контроля сосредоточено в верхних слоях почвы. В условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра корни здоровых деревьев березы способны поглощать большое количество Pb из почвы. Ограничение транспорта металлов корневой системой деревьев способствует сохранению в надземных органах не вредных концентраций химических элементов. У ослабленных деревьев березы с

увеличением концентрации Pb в корнях повышается количество его и в надземных органах (ветвях и листьях). Высокое содержание Pb в почвах под насаждениями березы негативно отражается на ОЖС деревьев и приводит к существенному изменению доли поглощающих корней.

Проведенные исследования позволили выявить значительные адаптивные возможности березы повислой (*Betula pendula* Roth), обеспечивающие успешное ее произрастание в условиях промышленного загрязнения Стерлитамакского промышленного центра. При этом наблюдается дифференциация деревьев в древостоях, которая проявляется не только в снижении их относительного жизненного состояния, но и в увеличении содержания тяжелого металла в органах, снижении массы поглощающих корней на фоне усиления загрязнения окружающей среды. В целом полученные данные позволяют прогнозировать развитие процессов деградации насаждений и определяют необходимость реконструкции березовых насаждений санитарно-защитных зон промышленного центра.

## Литература

1. Гиниятуллин Р.Х. Вододерживающая способность листьев древесных растений в различных экологических условиях // Известия Уфимского научного центра РАН. 2014. № 3. С. 113–118.
2. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под. ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 200 с.
3. Рахтеенко И.Н. Комплексный метод исследования корневых систем растений // Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. Л.: Наука, 1968. С. 174–178.
4. Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Sb, Tl (кислотно-растворимые формы) в почвах и донных отложениях атомно-абсорбционным методом. СПб., 2005. 12 с.
5. ГОСТ 26205-84. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Изд-во стандартов, 2011. 9 с.
6. Wagner G.L. Accumulation of cadmium in crop plants and consequences to human health // Adv. Agron. 1993. V. 51. P. 173–212.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. С.191–201.

## References

1. Giniyatullin R.Kh. Water retention ability of tree leaves in various environmental conditions. Izvestiya Ufmskogo nauchnogo tsentra RAN, 2014, no. 3, pp. 113–118.
2. Forest ecosystems and atmospheric pollution. V.A. Alekseev (ed.). Leningrad, Nauka, 1990. 200 p.
3. Rakhteenko I.N., Yakushev B.I. Complex research technique of plant root systems. Metody izucheniya produktivnosti kornevykh system i organizmov rizosfery. Leningrad, Nauka, 1968, pp. 174–178.
4. Methods of quantitative chemical analysis. Determination of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Sb, Tl (acid – soluble forms) in soils and bottom deposits using the atomic absorption method. St. Petersburg, 2005. 12 p.
5. GOST 26205-84. Soils. Methods for determining specific electrical conductance. pH and dense residue of aqueous extract. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2011. 9 p.
6. Wagner G.L. Accumulation of cadmium in crop plants and consequences to human health. Adv. Agron., 1993, vol. 51, pp. 173–212.
7. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soils and plants. Russian edition. Moscow, Mir, 1989, pp. 191–201.

## FEATURES OF LEAD CONTENT IN HEALTHY AND WEAKENED DROOPING BIRCH TREES (*BETULA PENDULA* ROTH) UNDER INDUSTRIAL POLLUTION CONDITIONS

© R.Kh. Giniyatullin, A.Yu. Kulagin

Ufa Institute of biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences,  
69, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

This paper presents the results of long-term research works on the assessment of the relative vitality state, soil occupation by absorbing roots and lead accumulation in above- and underground parts of healthy and weakened drooping birch trees (*Betula pendula* Roth.) under pollution conditions of the Sterlitamak Industrial Centre. The aim of the research is to study the relative vitality state, soil occupation by absorbing roots, lead absorption and accumulation in leaves, branches and roots of healthy and weakened drooping birch trees and also the lead content in soil. The research is concerned with birch plantings located at different distances from production enterprises. The assessment is done on the relative vitality state in drooping birch trees under pollution conditions of the Sterlitamak Industrial Centre and in the conditional control zone. As is shown, under pollution conditions of the Sterlitamak Industrial Centre the deterioration in the vitality state of drooping birch trees (*Betula pendula* Roth) occurs together with the decrease in their metal uptake. It is established that under pollution the contents of heavy metals in soil is 5-7 times higher in comparison with the conditional control zone and exceeds the threshold limit values up to 4.7 times. In response to heavy metal stress under pollution, a decrease takes place in the portion of absorbing roots of drooping birch trees versus control at a depth of 0-10 cm. Despite the lesser portion of absorbing roots under pollution, drooping birch trees are still capable of absorbing a considerable amount of heavy metals from soil. It is established that under industrial pollution the roots of healthy drooping birch trees can implement a barrier function against lead. This determines a decrease in the lead uptake by the aboveground parts of drooping birch trees.

Key words: *Betula pendula*, category of the vitality state, roots, lead, Sterlitamak Industrial Centre.