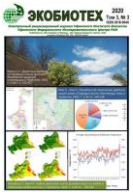
ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru



# СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАРГАНЦА, НИКЕЛЯ В ОРГАНАХ У ЗДОРОВЫХ И ОСЛАБЛЕННЫХ ДЕРЕВЬЕВ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA* L.)

**Гиниятуллин Р.Х.[1*], Емшина Е.А.[2], Файрузов И.И.[3]**

[1] Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа (Россия),
[2] Московский Государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва (Россия),
[3] Башкирский государственный университет, Уфа (Россия)
*E-mail: grafak2012@yandex.ru

В работе приведены результаты многолетних исследований по оценке жизненного состояния, накопления и распределения марганца, никеля в поглощающих, полускелетных, скелетных корнях и в надземных, органах у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Обнаружено, что под влиянием тяжелых металлов в условиях загрязнения на глубине 0-10 (20) см происходит снижение доли поглощающих корней тополя бальзамического по сравнению с контролем. Выявлено, что в условиях Стерлитамаского промышленного центра высокие концентрации Ni и других металлов в почвах снижает поступления Mn в растения. Высокое содержание Ni и других металлов в почвах под насаждениями тополя бальзамического негативно отражается на жизненном состоянии деревьев и приводит к снижению поглощающих корней.

*Ключевые слова:* тополь бальзамический, категория жизненного состояния, корни, Стерлитамакский промышленный центр

# CONTENT AND DISTRIBUTION FEATURES OF MANGANESE, NICKEL IN ORGANS IN HEALTHY AND WEAKENED BALSAM POPLAR TREES (*POPULUS BALSAMIFERA* L.)

**Giniyatullin R.Kh.[1*], Emshina E.A.[2], Fayruzov I.I.[3]**

[1] Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa (Russia)
[2] Moscow State Technical University N.E.Bauman, Moscow (Russia),
[3] Bashkir State University, Ufa (Russia)
*E-mail: grafak2012@yandex.ru

The work presents the results of many years of research on the assessment of the vital state, accumulation and distribution of manganese, nickel in absorbing, semi-skeletal, skeletal roots and in the aerial, organs in healthy and weakened balsamic poplar trees (Populus balsamifera L.) under the conditions of the Sterlitamak industrial centre. It was found that under the influence of heavy metals under pollution conditions at a depth of 0 - 10 (20) cm, the proportion of absorbing roots of balsamic poplar decreases in comparison with the control. It was revealed that under the conditions of the Sterlitamsk industrial centre, high concentrations of Ni and other metals in soils reduce the supply of Mn to plants. The high content of Ni and other metals in soils under the balsamic poplar stands negatively affects the vital state of trees and leads to a decrease in absorbing roots.

*Keywords:* balsamic poplar, category of vital condition, roots, Sterlitamak industrial centre

*Поступила в редакцию: 15.05.2020*

DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-3-488-496

## ВВЕДЕНИЕ

Основными источниками загрязнения воздуха в промышленном центре являются продукты сгорания ископаемого топлива, используемого для производства электроэнергии и переработки продукции.

Концентрация и продолжительность воздействия загрязняющего комплекса на растения постоянно изменяются и зависят от розы ветров, топографии и расположения источников выбросов [Aroca, Irigoyen, Sanchez-Diaz, 2001].

Роль лесных насаждений в очищении воздуха от техногенных загрязнений в настоящее время приобретает важнейшее значение. Разные виды растений, а также сорта одного вида различаются по способности накапливать тяжелые металлы даже при одной и той же их концентрации в почве [Федорова, Одинцова, 2005].

Цель исследования - проведение оценки жизненного состояния тополя бальзамического, изучение корненасыщенности почвы поглощающими корнями, накопления и распределения Mn, Ni в поглощающих, полускелетных, скелетных корнях и в листьях, ветвях у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в тополевых насаждениях, расположенных на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамак и в зоне условного контроля. Объектами исследования были здоровые и ослабленные деревья тополя в возрасте 55 лет. Работа проводилась на двух объектах в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК). Оценку жизненного состояния деревьев определяли по методике В.А. Алексеева [Лесные экосистемы…, 1990]. Для изучения содержания металлов в условиях 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. В условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля образцы почвы отбирались в слое почвы 0-10 (20) см. Почвенные образцы отбирали и подготавливали для химического анализа в соответствии с требованиями (ГОСТ 26423-85). Взятые пробы высушивали до воздушного – сухого состояния.

Исследование корневых систем тополя бальзамического в условиях промышленного центра и в зоне условного контроля проводили методом количественного учета – методом монолитов [Рахтеенко, 1968]. Траншеи (почвенные разрезы) на пробных площадях закладывали перпендикулярно по направлению роста горизонтальных корней на расстоянии 70 см от ствола. Все почвенные разрезы имели одинаковые размеры 1х1 м. Использовали монолиты размером 10 х 10 см объемом 1 000 $см^3$ (высота монолита 10 см). Выборку поглощающих корней (диаметром до 1 мм) из монолитов проводили при помощи пинцета с последующей отмывкой корней водой на ситах с диаметром ячеек 0,5 мм. Вес корней определялся в воздушно-сухом состоянии на электронных лабораторных весах ВЛТЭ-150 с точностью до 0,001 г (Госметр, Россия). Корненасыщенность почвы определяли на единицу площади горизонтальной поверхности ($г/м^2$). Отбор и подготовка к анализу почвенных и растительных образцов осуществляли по общепринятым методам [Методика…, 2005]. Содержание металлов в корнях, листьях и ветвях определялось методом атомно-абсорбционного анализа в спектрометре Zenit-650 (Analytik Jena AD Germany).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Древостои тополя бальзамического (*P. balsamifera*) в условиях Стерлитамакского промышленного центра ППП №1 характеризуются в целом как «ослабленные» (Ln=62,25%). Полная характеристика жизненного состояния деревьев тополя бальзамического представлена на рисунке 1. Деревья находятся в наибольшей степени угнетения в сравнении с зоной условного контроля. Подавляющее большинство деревьев тополя бальзамического относятся к категории «ослабленных» (75%). В данном древостое имеются здоровые (10%), сильно ослабленные (10%), и сухие (5%) деревьев (рис. 1). Под влиянием нефтехимического и химического загрязнения в северной части города происходит уменьшение густоты кроны деревьев (до 36,75%) и образование достаточно большого количества мертвых ветвей (до 32,25% от общего количества). Отмечаются повреждения листьев (30-35% от общей площади). В листовых пластинках тополя появились различной формы и положения некрозы: они имеют коричневую и местами темно-бурую окраску.

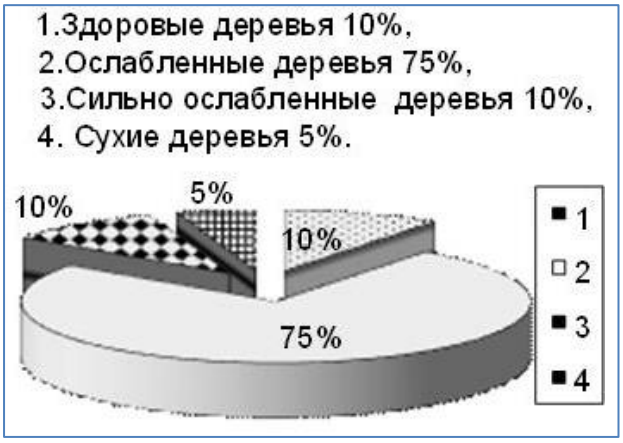



**Рис. 1. Жизненное состояние насаждений тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра**

Анализ проведенных исследований, показывают, что жизненное состояние тополя бальзамического в зоне условного контроля относятся к категории «здоровый» (Ln = 85 %). При этом необходимо учесть, что показатель жизненного состояния в зоне условного контроля находится на рубеже и приближается к жизненному состоянию «ослабленный древостой».

В данном древостое имеются здоровые (64%), ослабленные (16%), сильно ослабленные 2%, и сухие (18%) деревья (рис. 2). В зоне условного контроля деревья имеют нормально сформированную крону (густота кроны 89,25%).Ассимиляционный аппарат характеризуется слабым поражением хлорозами не более 18%. Некротических пятен зарегистрировано меньше, чем в условиях промышленного центра (в среднем 15-20%).

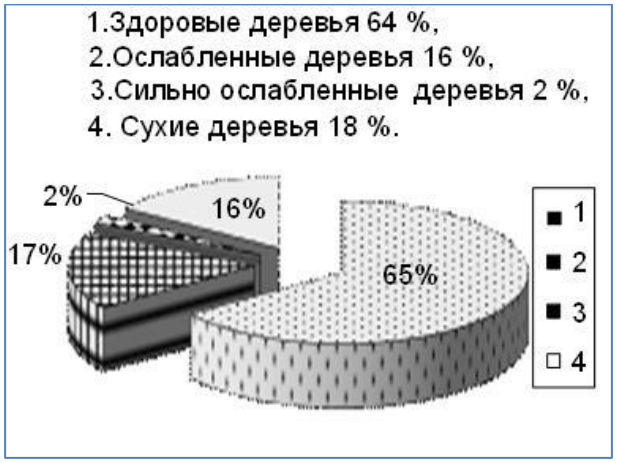



**Рис. 2. Жизненное состояние насаждений тополя бальзамического в зоне условного контроля**

При исследовании корневых систем у здоровых и ослабленных деревьев тополя в условиях СПЦ установлено, что на глубине 0-10 (20) см отмечается снижение корненасыщенности почвы поглощающими корнями тополя бальзамического по сравнению с зоной условного контроля. В более глубоких слоях (60-100 см) в условиях загрязнения происходят незначительные изменения по сравнению с зоной условного контроля. Видимо, в условиях промышленного загрязнения повышение

уровня Ni и других металлов приводит к существенной перестройке всасывающего корневого аппарата тополя бальзамического. В промышленном центре отмечено высокое содержание Ni и других металлов в слое 0 - 10 (20) см. Отрицательное действие Ni в первую очередь проявляется на корнях и выражается в побурении и торможении роста главного корня и образовании корней первого и второго порядков [Hunter, Vergnano, 1953].

Нами получены данные о валовом и подвижном содержании Cd, Pb, Mn, Ni в почвах данного промышленного центра (табл.).

**Таблица. Содержание валовых и подвижных форм металлов (мг/кг) в почвах под насаждениями тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля**

| Глубина, см | Валовая форма (СПЦ) | | | | Валовая форма (ЗУК) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cd | Pb | Mn | Ni | Cd | Pb | Mn | Ni |
| 0-10 | 5,80 | 45,2 | 1386 | 120 | 0,4 | 3,5 | 540 | 23,5 |
| | Подвижная форма (СПЦ) | | | | Подвижная форма (ЗУК) | | | |
| 0-10 | 0,60 | 7,9 | 86 | 7,2 | 0,2 | 2,3 | 92 | 2,8 |
| Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве | | | | | | | | |
| | 0,24 | 6,0 | 1500 | 4,0 | 0,24 | 6,0 | 1500 | 4,0 |

Следует отметить, что по содержанию Cd, Pb, Mn, Ni между почвами СПЦ и ЗУК наблюдаются различия. В промышленном центре в слое почвы 0-10 (20) см среднее содержание подвижной формы Cd, Ni в 2,5 раза, Pb в 3,4 раза выше, чем в зоне условного контроля. По критерию ПДК концентрации марганца в почвах под насаждениями тополя бальзамического в условиях СПЦ и в зоне условного контроля в пределах нормы. В условиях СПЦ отмечено достаточно высокое содержание металлов в слое почвы 0-10 (20) см, что приводит их накопление в поглощающих, полускелетных, скелетных корнях здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического.

Получены сведения о содержании Mn, Ni в поглощающих, полускелетных, скелетных корнях тополя в условиях СПЦ и в зоне условного контроля. В условиях СПЦ различаются по накоплению Mn, Ni в корнях у «ослабленных» и «здоровых» деревьев тополя бальзамического. Изучение динамики содержания Mn в корнях тополя бальзамического в зоне условного контроля показало ряд особенностей. Среднее содержание Mn в поглощающих <1 мм составляет 150 мг/кг, полускелетных 1-3 мм - 230 мг/кг, скелетных >3мм – 290 мг/кг.

Зона условного контроля является наиболее экологически благоприятной территорией с концентрациями марганца в почвах 540 мг/кг, т.е. ниже ПДК. С ростом техногенного воздействия уменьшается содержание Mn в поглощающих <1 мм, полускелетных 1-3 мм и скелетных >3 мм корнях у здоровых и ослабленных деревьях тополя бальзамического. Содержание Mn в корнях ослабленных деревьев тополя составляет в поглощающих - 48 мг/кг, полускелетных корнях - 97 мг/кг, что почти в 3 раза ниже, чем в зоне условного контроля (рис.3). Средняя концентрация Mn в поглощающих <1 мм, полускелетных 1-3 мм и скелетных>3 мм в корнях у здоровых деревьев тополя, у ослабленных деревьев ниже, чем в зоне условного контроля.

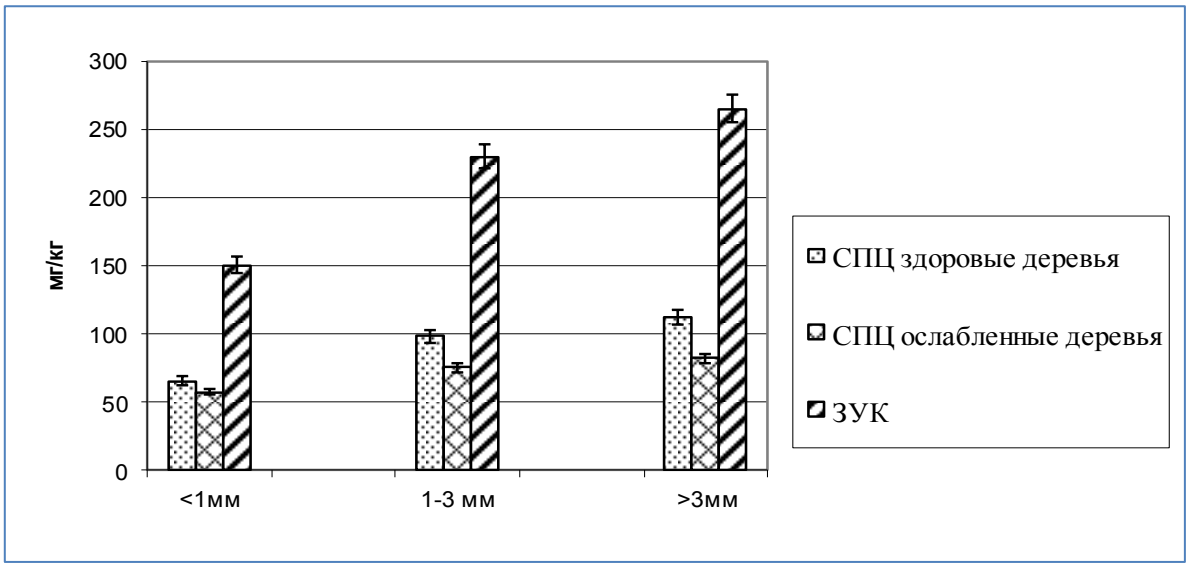



**Рис. 3. Среднее содержание Mn (мг/кг) в поглощающих, полускелетных, скелетных корнях тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля.**

Подсчет коэффициентов биологического поглощения и накопления металлов в корнях у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях СПЦ и ЗУК показал, что они отличаются между собой по этому параметру. Максимальные значения КБН и КБП марганца в корнях тополя отмечаются в зоне условного контроля (КБП=2,78).

В условиях СПЦ выявлено низкое содержание Mn в поглощающих и полускелетных корнях у здоровых и ослабленных деревьев тополя и малый коэффициент биологического поглощения (КБП=0,089-0,17). Оценивая величину КБП у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях загрязнения, следует отметить, что наблюдается слабое накопление марганца в корнях. Показатель коэффициента биологического накопления (КБП=0,089-0,17; КБН=1,24-2,5) свидетельствует о слабом накоплении Mn в корнях у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях промышленного загрязнения СПЦ. Малый показатель КБП и КБН Mn в условиях СПЦ, видимо, связан с присутствием тяжелых металлов в почве. Присутствие тяжелых металлов в почве вызывает снижение содержания Mn в органах тополя бальзамического. По данным Н.В. Алексеевой-Поповой (1991) в присутствии Ni количество Mn в корнях опытных растений по сравнению с контрольными условиями снизилось в несколько раз. Полученные данные об уменьшениях в содержании марганца в листьях, ветвях у тополя бальзамического в условиях СПЦ согласуются с результатами других исследователей [Алексеевой-Поповой, 1991; Грибовская и др.,1975]. Полученные данные свидетельствуют о том, что наибольшие концентрации Ni во фракциях корней тополя <1 мм поглощающих и полускелетных корнях диаметром 1-3 мм, а марганец в скелетных корнях (рис.4). Валовое содержание никеля по почвенному профилю в условиях СПЦ наблюдается с большим накоплением его в верхних горизонтах (см. табл.). Максимальное накопление его в слое почвы от 0 до 10 см и составляет в условиях СПЦ – 120 мг/кг, а в контроле – 23,5 мг/кг. Наибольшая концентрация Ni характерна для полускелетных корней диаметром 1-3 мм у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического. В соответствии с величиной КБП Ni относится к группе элементов энергичного накопления, содержится в концентрациях превышающих норму и накапливается в корнях (КБП – 0,68, КБН – 11,3). Содержание Ni в полускелетных корнях диаметром 1-3 мм у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического от 67 до 82 мг/кг.

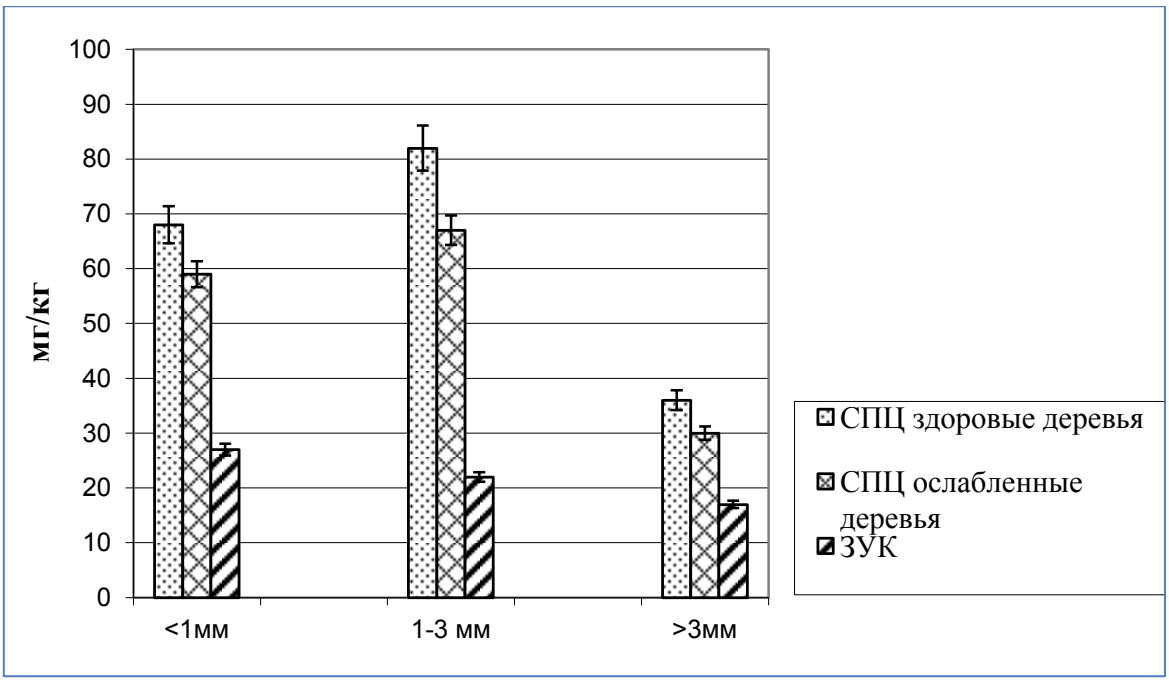



**Рис. 4. Среднее содержание Ni (мг/кг) впоглощающих, полускелетных, скелетных корнях у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля.**

В условиях СПЦ характер депонирования металла имеет следующее распределение по фракциям корней у здоровых и ослабленных деревьев тополя: полускелетных корнях диаметром 1-3 мм > поглощающих корнях диаметром меньше 1 мм > скелетных корнях диаметром >3 мм. Сходная картина в распределении и накоплении Ni выявлена для корней ослабленных деревьев тополя в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Распределение и накопление Ni по фракциям корней в зоне условного контроля расположились в следующем порядке: поглощающих корнях диаметром меньше 1 мм > полускелетных корнях диаметром 1-3 мм > скелетных корнях диаметром >3 мм. В корнях тополя в зоне условного контроля содержание Ni изменяется незначительно.

Также следует отметить, что в условиях СПЦ заметно различаются по распределению Mn, Ni по органам у «ослабленных» и «здоровых» деревьев тополя бальзамического. На рисунке 5 и 6 представлены данные по содержанию Mn, Ni в листьях и ветвях. В условиях Стерлитамакского промышленного центра Ni эффективно поглощается корневой системой здоровых деревьев тополя. Важную роль в защите растений от избытка поступающих из почвы в корни тяжелых металлов выполняет корневая система.

Сравнивая содержание Mn, Ni в листьях, ветвях у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля следует отметить, что количество Ni в промышленном центре увеличилось, а содержание Mn снизилось. Подобная закономерность не обнаружилась для деревьев в зоне условного контроля. Содержание Mn в разных частях тополя представлено на рис.5. Среднее содержание Mn в корнях у здоровых деревьев тополя составляет 112 мг/кг, ветвях 28 мг/кг, листьях 35 мг/кг. Аналогичная картина с некоторыми отличиями выявилось для надземных и подземных органов ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Сравнивая среднее содержание марганца в листьях, ветвях, корнях в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля следует отметить, что количество Mn в промышленном центре уменьшилось, а в контроле увеличилось. Установлены различия в содержании Mn в листьях

и ветвях. В условиях Стерлитамакского промышленного центра в надземных органах самое низкое содержание Mn отмечено в ветвях тополя: в 1,3 раза меньше чем в листьях. Такая же картина наблюдается в ветвях и листьях у ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях СПЦ. Поглощение древесными растениями Mn происходит из воздуха, а также из почвы. Возможной причиной повышения содержания Mn в листьях у здоровых и ослабленных деревьев тополя около промышленных предприятий является поглощение воздуха.

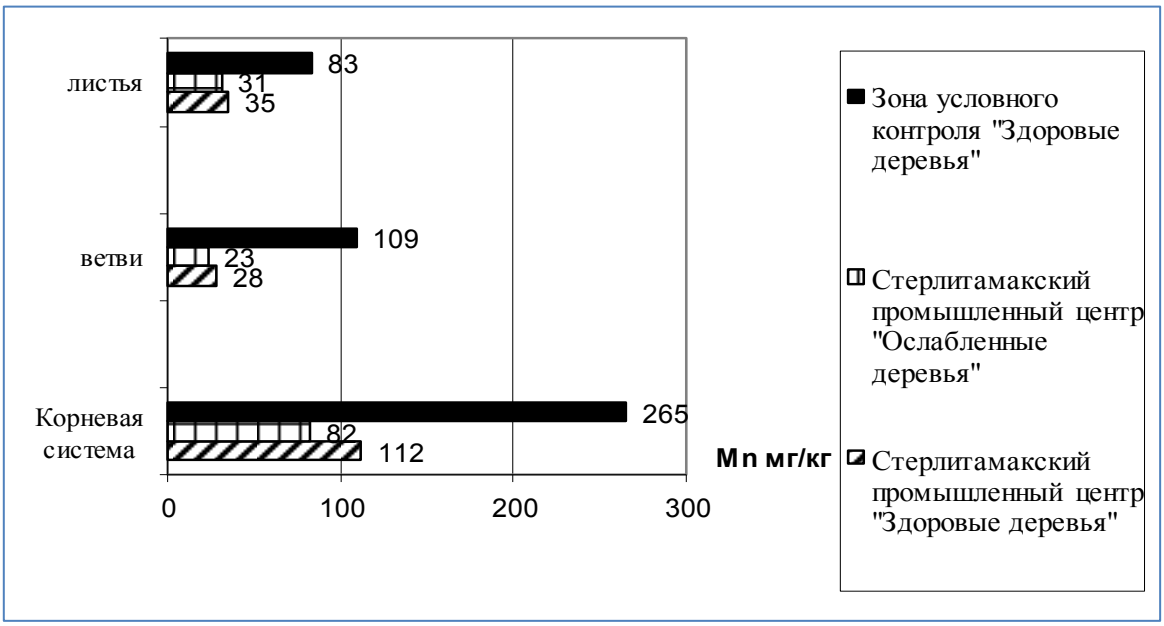



**Рис. 5. Среднее содержание Mn (мг/кг) в подземных и надземных органах здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля**

Таким образом, полученные результаты показали, что в условиях СПЦ высокое содержание Ni и других металлов в почве вызывает нарушение поступления Mn к листьям и ветвям тополя бальзамического. Изучение содержания Ni в надземных и подземных органах тополя показало ряд особенностей (рис.6).

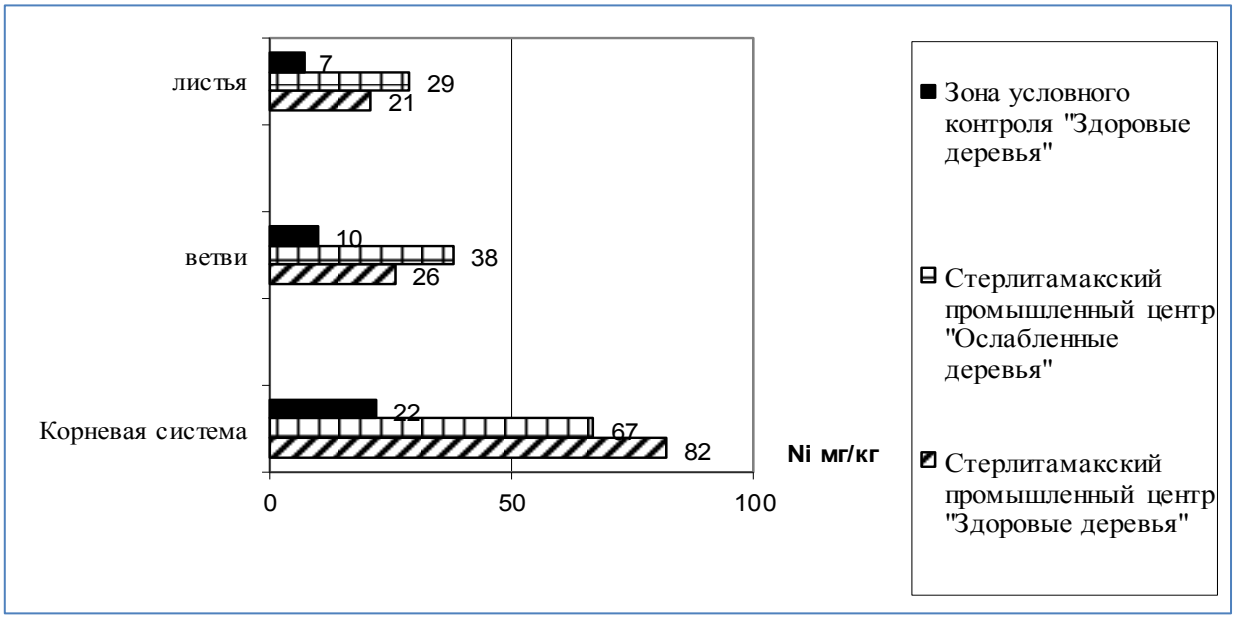



**Рис. 6. Среднее содержание Ni (мг/кг) в подземных и надземных органах здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в условиях Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля**

На рисунке 6 представлено содержание Ni в листьях, ветвях, корнях здоровых и ослабленных деревьев тополя в промышленном центре и в зоне условного контроля. В условиях СПЦ у здоровых и ослабленных деревьев тополя среднее содержание Ni в листьях составляет 21 - 29 мг/кг, ветвях -26 - 38 мг/кг, корнях – 67 - 82 мг/кг. Среднее содержание Ni во всех органах здоровых и ослабленных деревьев тополя значительно больше в промышленном центре по сравнению с зоной условного контроля. Наибольшие различия обнаруживаются в содержании Ni в корнях. В условиях Стерлитамакского промышленного центра у тополя в корнях среднее содержание Ni в 3,7 раза больше, чем в зоне условного контроля.

Анализируя многолетние данные о количественном содержании никеля в различных органах у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического установлено, что наблюдается существенная разница содержаниия Ni между листьями, ветвями и корнями. Также полученные данные показывают, что содержание Ni в корнях у здоровых и ослабленных деревьев тополя бальзамического в 5-6 раз превышает содержаниие в надземной части. Такой характер распределения Mn отмечен для тополя в условиях СПЦ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что в условиях СПЦ жизненное состояние насаждений тополя бальзамического оценено как «ослабленный». Жизненное состояние исследованного вида, произрастающего вблизи промышленных объектов связано с разным уровнем техногенной нагрузки на зеленые насаждения. В условиях СПЦ отмечается снижение поглощающих корней на глубине 0 – 10(20) см, что связано с высоким содержанием металлов в почве и их токсичностью. В условиях Стерлитамакского промышленного центра высокие концентрации Ni и других металлов в почвах уменьшает поступление Mn в растения. В промышленном центре, корни у здоровых деревьев тополя бальзамического, способны поглощать большое количество Ni из почвы. Высокое содержание Ni и других металлов в почвах под насаждениями тополя бальзамического негативно отражается на жизненном состоянии деревьев и приводит к снижению поглощающих корней.

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № АААА-А18-118022190102-3. Часть результатов была получена с использованием оборудования ЦКП “Агидель”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aroca, Irigoyen, Sanchez-Diaz M. Photosynhetic Characteristics and Protecticve Mechanisms agains Oxidative Stress during Chilling and Subsequent Recovery in Two Maize Varieties Differing in Chilling Sensitivity // Plant Sci. 2001. V.161. P. 719-726.
2. Федорова Е.В., Одинцова Г.Я. Биоаккумуляция металлов растительностью в пределах малого аэротехногенно-загрязненного водосброса // Экология. 2005. №3. С. 26-31.

3. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение /Под. ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 200 с.
4. Рахтеенко, И.Н. Комплексный метод исследования корневых систем растений/ И.Н. Рахтеенко, Б.И. Якушев// Методы изучения продуктивности корневых систем и организмов ризосферы. Л.: Наука, 1968. С.174-178.
5. Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hd, Mn, Pb, Sb, Tn (кислотно – растворимые формы) в почвах и данных отложениях атомно – абсорбционным методом. СПб., 2005. 12 с.
6. Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов /Под ред. Н.В. Алексеевой-Поповой: Монография, Ленинград, 1991. 213 с.
7. Грибовская И.В., Жирнов А.Б., Вебер М.И. Действие высоких концентраций никеля на продуктивность и минеральный состав пшеницы и редиса // Биологическая роль и практическое применение микроэлементов: Тез. докл. VII Всесоюз. совещ. Т. 1. Рига, 1975. С. 20-21.
8. Hunter J.G., Vergnano O Trace-element toxicities in oat plants // Ann. Appl. Biol. 1953, Vol.40, N 4. P. 401-411.