УДК 581.5

Содержание меди и цинка в трёхлетней хвое сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) в условиях Липецкой области

Дубровина О.А.¹, Зайцев Г.А.², Зубкова Т.В.¹

¹Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина

²Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН

Аннотация

Исследования, направленные на изучение содержания меди и цинка в трехлетней хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) проводились с 2019 г. по 2021 г. Опыты были заложены на 8 пробных площадках. Пробные площади № 1-4 - в Липецком промышленном центре (ЛПЦ) и пробные площади № 5-8 - в Елецком промышленном центре. Исследования проводились в вегетационной динамике. Установлено, что в условиях загрязнения в хвое 3-го года жизни отмечается значительное превышение содержания данных металлов по сравнению с контролем. Самое значительное увеличение меди в зоне контроля в условиях ЛПЦ отмечено ко второму месяцу вегетации. В мае содержание меди составило 3,175 мг/кг, июне-3,875 мг/кг, июле – 4,169 мг/кг, августе - 4,281 мг/кг сухого вещества. В течение вегетационного периода (на территории города Ельца) количество меди в хвое увеличивалось более равномерно из месяца в месяц: май - 5,194 мг/кг; июнь - 5,263 мг/кг; июль – 5,325 мг/кг; август - 5,683 мг/кг сухого вещества. Содержания цинка в условиях загрязнения Елецкого промышленного центра в хвое 3-го года к концу августа изменяется незначительно, от 24,238 мг/кг до 25,688 мг/кг.

Ключевые слова: МЕДЬ, ЦИНК, ТРЁХЛЕТНЯЯ ХВОЯ, СОСНА ОБЫКНОВЕННАЯ, ЛИПЕЦКАЯ ОБЛАСТЬ

Введение

Липецкая область – современный промышленно-индустриальный центр Центрально-Черноземного региона. Высокоразвитая промышленность не способствует

=====

благоприятной экологической обстановке. Самые крупные города в Липецкой области - Липецк и Елец [1-5].

Средний выброс загрязняющих веществ от стационарных источников (в период с 2019 по 2021 год) в городе Липецк составил 288,8 тыс. тонн, в городе Ельце - 6,22 тыс. тонн [6-10].

Основной вклад в загрязнение окружающей природной среды Липецкой области вносит Новолипецкий металлургический комбинат (до 84,5% всех выбросов) [11], ТЭЦ, предприятия химической и пищевой промышленности, автотранспорта [12-13].

В современном мире, в условиях высокого антропогенного загрязнения, самым эффективным средством для снижения всех компонентов загрязнения, по-прежнему являются древесные растения [14-16]. В сложившейся ситуации все большую актуальность приобретают вопросы оценки устойчивости древесных пород, их способность выполнять экологические и средозащитные функции [17-23].

При изучении уровня загрязнения окружающей среды (в качестве индикатора) часто используется сосна обыкновенная.

Благодаря многолетней хвое и ее уникальной микроструктуре (смола, толстый восковой слой и рифленая поверхность), сосна обыкновенная способна удерживают крупные пылевые частицы и накапливать атмосферные поллютанты в течение длительного времени. Продолжительность жизни хвои в условиях Липецкой области составляет 3–4 года [24-28].

Изучение содержания важных поллютантов - меди и цинка (используемых в технологических процессах промышленных предприятий) в трехлетней хвое сосны обыкновенной послужит для оценки антропогенного воздействия на экосистемы Липецкой области [29].

Медь и цинк - являются важными металлами для нормального роста и развития растений, но потенциально токсичны для живых организмов (при избыточном их поступлении), так как способны к биоаккумуляции.

Основным источником поступления меди в окружающую среду вследствие техногенного рассеяния являются промышленные выбросы и отходы от предприятий черной металлургии (при высокотемпературных процессах), транспорта, сжигание топлива в различных отраслях промышленности [30].

=====

В воздушной среде медь находится преимущественно во взвешенной форме в виде соединений оксида меди. Медь является биогенным элементом необходимым для жизни растений. Она неотъемлемый компонент фотосинтеза, процессов дыхания, белкового и углеводного обмена растений.

Среднее содержание меди в растениях составляет 2,0-7,0 мг/кг. Токсичные концентрации – 15-20 мг/кг от воздушно-сухой фитомассы растений [31].

Цинк - является важным элементом для всех живых организмов. Игрет значимую роль в катализировании биохимических реакций, участвуя в формировании системы фермент-субстрат, белковой трансляции, копировании генов и размножении генетической цепи [32]. Концентрация цинка в растениях колеблется в диапазоне от 10 мг/кг до 30 мг/кг сухого вещества. При избыточном содержании – этот металл высоко токсичен. В растениях нарушается целый ряд биохимических процессов: происходит снижение темпов роста и развития, нарушается метаболизм и возрастает индукция окислительного повреждения, изменяется каталитическая эффективность ферментов, падает антиоксидантная активность.

Условия и методы исследований

Для исследования (по стандартным методикам) концентрации меди и цинка в трёхлетней хвое сосны обыкновенной на территории Липецкой области (в однотипных условиях произрастания), были заложены пробные площади в 35–45-летних насаждения искусственного происхождения [33].

Пробные площади №1–4 заложены в Липецком промышленном центре:

- Пробные площади №1 и №2, загрязнение — смешанный лес, район НЛМК (0,5-1 км от эпицентра промышленных выбросов);
- Пробные площади №3 и №4, контроль — лесной массив с. Капитанщино;
- Пробные площади №5 и №6, загрязнение — парк 40-летия Октября (Елецкий промышленный центр);
- Пробные площади №7 и №8, контроль — лесной массив с. Паниковец.

Рис. 1. Схема расположения пробных площадей

Примечания: Липецк: 1-2 – загрязнение, 3-4 – контроль; Елец: 5-6 – загрязнение, 7-8 – контроль

Определение концентраций тяжелых металлов проводилось на базе научно-исследовательской агрохимической лаборатории АПИ Елецкого государственного университета.

Отбор проб почв для определения ТМ, проводился в соответствии с рекомендациями [34].

Образцы почвы были отобраны на каждой исследуемой территории с помощью объемного бура, в соответствии с принятыми в геохимии и почвоведении методами. Отбор производился с мая по август 2019 и 2021 гг. Образцы были взяты из верхнего слоя почвы 0-30 см. Одновременно с ними в вегетационной динамике (ежемесячно) производился отбор хвои. Отобранные образцы в лабораторных условиях доводились до воздушно-сухого состояния и подвергались измельчению.

Для анализа почвенных и растительных образцов использовалась навеска массой 5 г. Почвенные образцы экстрагировали в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4,8. Растительные образцы подвергались минерализации методом сухого озоления (по ГОСТ 26657-85). Полученный озолят экстрагировали с помощью кислоты 1М HNO₃. Количественное содержание меди и цинка определялось атомно-абсорбционным методом [35] на спектрофотометре «Спектр-5». Повторность опыта трехкратная.

Результаты исследований и их обсуждение

Накопление меди (рис. 2) в условиях загрязнения в хвое 3-го года сосны обыкновенной в условиях ЛПЦ имело свои особенности. На конец мая содержание элемента в хвое составляло 5,194 мг/кг. В конце второго месяца вегетации (июнь) выявлено резкое увеличение содержания элемента до 8,463 мг/кг сухого вещества (в 1,6 раза). Максимальные значения в хвое 3-го года отмечены в конце вегетационного периода - 8,755 мг/кг.

Самое значительное изменение содержания меди в зоне контроля (в условиях ЛПЦ) также отмечено ко второму месяцу вегетации. В мае содержание меди составляло 3,175 мг/кг, в июне - 3,875, июле – 4,169 мг/кг, августе - 4,281 мг/кг (сухого вещества). Данное обстоятельство, по всей вероятности связано с биологической важностью меди для растений в период их активной вегетации.

Рис. 2. Накопление меди в хвое 3 года сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Липецкого промышленного центра (2019-2021 гг.)

На территории г. Ельца (рис. 3) в течение вегетационного периода количество меди в хвое увеличивалось более равномерно, из месяца в месяц: май - 5,194 мг/кг; июнь - 5,263 мг/кг; июль – 5,325 мг/кг; август - 5,683 мг/кг сухого вещества. На участке относительного контроля среднее содержание меди составляло 3,175-4,281 мг/кг сухого вещества и соответствовало значениям биологических особенностей растения.

Сравнительный анализ аккумуляция меди в хвое сосны обыкновенной 3-го года жизни позволил выявить специфику накопления металла. В условиях техногенного загрязнения Липецкой области на изучаемых территориях, расположенных ближе к

источнику эмиссии, среднее содержание меди в хвое превышало контрольные значения в 2 раза (7,838 мг/кг и 3,875 мг/кг соответственно), а в условиях г. Ельца - в 1,5 раза (5,683 мг/кг и 3,812 мг/кг).

Рис. 3. Накопление меди в хвое 3 года сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Елецкого промышленного центра (2019-2021 гг.)

По полученным аналитическим данным было выявлено, что в образцах хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), взятых для анализа в условиях Липецкого промышленного центра (рис. 4), содержания цинка в среднем за вегетацию составляло от 27,000 мг/кг (май) до 29,700 мг/кг (сухого вещества).

Рис. 4. Накопление цинка в хвое 3 года сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Липецкого промышленного центра (2019-2021 гг.)

Биологический индекс накопления металла в зоне относительного контроля составлял (в среднем за вегетацию) от 17,738 до 24,255 мг/кг сухого вещества. Представленные сведения показывают, что в течение вегетационного периода уровень содержания цинка в хвое (в условиях загрязнения) изменяется не кардинально, тогда как в контрольном варианте его содержание возрастает к концу вегетации.

Содержания цинка в условиях загрязнения Елецкого промышленного центра в хвое 3-го года к концу августа изменяется незначительно - от 24,238 мг/кг до 25,688 мг/кг (рис. 5). В контроле превышений критических концентраций металла не обнаружено, но выявлена аналогичная тенденция к более высокой разнице аккумуляции металла с мая по август - 18,231–22,613 мг/кг сухого вещества.

Рис. 5. Накопление цинка в хвое 3 года сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Елецкого промышленного центра (2019-2021 гг.)

Заключение

В условиях интенсивного промышленного загрязнения Липецкой области трехлетняя хвоя сосны обыкновенной накапливает высокие концентрации меди и цинка. При этом не отмечается значительного повреждения хвои хлорозами и некрозами, что говорит о достаточной устойчивости хвои к накоплению данных металлов. Данное обстоятельство является позитивным и важным в плане оценки возможности использования сосны обыкновенной в создании санитарно-защитных насаждений.

=====

Список использованных источников

1. Зубкова Т.В., Масина Т.А. Влияние экологических условий выращивания на фотосинтетический потенциал декоративных растений [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2021. - № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2021/st_115_annot.html
2. Зубкова Т.В., Дубровина О.А. Анализ содержания тяжелых металлов в однолетней хвое ели колючей (*Picea pungens*) и туи западной (*Thuja occidentalis*), произрастающих в разных функциональных зонах г. Ельца [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2020. - № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2020/st_316_annot.html
3. Дубровина О.А., Зубкова Т.В. Сезонное содержание пигментного фонда в однолетней хвое ели колючей (*P. Pungens*), ели обыкновенной (*P. Abies*) и туи западной (*T. Orientalis*) в экосистеме г. Ельца // Агропромышленные технологии Центральной России. - 2020. - № 3 (17). - С. 131-137.
4. Зубкова Т.В. Изучение возможности включения в озеленение растений цинерарии приморской (*Ciniraria maritime*) на участках с разной степенью освещённости // Научные достижения и открытия современной молодёжи: Сборник статей VI Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 118-120.
5. Зубкова Т.В., Дубровина О.А., Чичулина Е.Ю. Система озеленения территорий жилых районов и микрорайонов города Липецка // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ "Нацразвитие". Материалы Всероссийской научно-практической конференции, международной научно-методической конференции, международной студенческой научной конференции. - 2019. - С. 132-136.
6. Zakharov V.L., Zubkova T.V. Assessing soil suitability for gardening in the north of the central black earth region using degradation data // EurAsian Journal of BioSciences. - 2018. - Т. 12. - № 1. - С. 113-120.
7. Зубкова Т.В., Дубровина О.А. Изучение эколого-биологического состояния ели колючей (*Picea pungens engelm*) в урбанизированной среде г. Ельца // Плодоводство и ягодоводство России. - 2019. - Т. 57. - С. 61-66.
8. Дубровина О.А., Зубкова Т.В. Содержание пигментного фонда в однолетней хвое ели колючей (*Picea pungens*) и туи западной (*Thuja occidentalis*), произрастающих в разных функциональных зонах г. Ельца [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2020. - № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2020/st_315_annot.html
9. Дубровина О.А., Зайцев Г.А., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Аккумуляция кобальта и никеля в почве, подстилке и в органах сосны обыкновенной в условиях Елецкого промышленного центра [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 2. – Режим доступа:

http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2021/st_224_annot.html

10. Зайцев Г.А., Дубровина О.А. Особенности формирования ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях Липецкого промышленного центра // История ботаники в России. К 100-летию юбилею РБО: Сборник статей Международной научной конференции. – Тольятти: Кассандра. - 2015. – С. 72-75.

11. Доклад «Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2018 году». – Липецк: Минприроды, 2019. – 224 с.

12. Виноградов Д.В., Турекельдиева Р.Т., Ильинский А.А., Дуйсенбаева С.Т. Природопользование и устойчивое развитие: Учебное пособие. - Рязань: ИП Жуков В.Ю., 2020. – 164 с.

13. Щур А.В., Казаченок Н.Н., Виноградов Д.В., Валько В.П. Сельскохозяйственная экология: Учебное пособие. – Рязань: ООО "Рязанский Издательско-Полиграфический Дом "ПервопечатникЪ", 2017. – 228 с.

14. Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Головина Н.А. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы // Агрохимический вестник. - 2013. - № 5. - С. 12-13.

15. Фадькин Г.Н., Виноградов Д.В., Щур А.В. Влияние нанокристаллического порошка железа на выход посадочного материала сосны обыкновенной, пригодного для механизированной посадки // Вестник Белорусско-Российского университета. - 2015. - № 2 (47). - С. 136-142.

16. Щур А.В., Виноградов Д.В., Казаченок Н.Н., [и др.] Экологическая безопасность жизнедеятельности человека: Учебное пособие. – Рязань: 2017. – 196 с.

17. Щур А.В., Бышов Н.В., Казаченок Н.Н. [и др.] Энергосбережение: Учебное пособие. - Могилев-Рязань: Изд-во ИП Жуков В.Ю., 2020. – 260 с.

18. Хабарова Т.В., Виноградов Д.В., Щур А.В. Практикум. Методы экологических исследований: учебное пособие. – Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, 2017. – 128 с.

19. Щур А.В., Виноградов Д.В., Казаченок Н.Н. [и др.] Экология: учебное пособие. – Рязань: РГТУ, 2016. – 187 с.

20. Виноградов Д.В., Ильинский А.В., Данчеев Д.В. Экологические аспекты охраны окружающей среды и рационального природопользования: учебное пособие. – Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, – 2017. – 128 с.

21. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Нитрификационная активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - 2015. - № 2 (26). - С. 21-26.

22. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // Юг России: экология, развитие. - 2016. - Т. 11. - № 4. - С. 139-148.

23. Кузнецов Н.П., Виноградов Д.В., Фадькин Г.Н., Сальников С.В. Лесные и лесопарковые экосистемы Рязанской области. - Рязань: РГТУ, 2014. – 287 с.

24. Захарова О.А., Морозова Н.И., Виноградов Д.В., Мусаев Ф.А. СД и РВ в
продукции растениеводства и животноводства: Монография – Рязань: Политех, 2010. – 84
с.
25. Троц Н.М., Прохорова Н.В., Троц В.Б. [и др.] Тяжелые металлы в
агроландшафтах Самарской области: Монография. - Кинель: РИО Самарской ГСХА, 2018.
– 220 с
26. Vinogradov D.V., Terekhina O.N., Byshov N.V., Kryuchkov M.M., Morozova N.I.,
Zakharova O.A. Features of applying biological preparations in the technology of potato
growing on gray forest soils // International Journal of Engineering and Technology. - 2018. - Т.
7. - № 4 (36). - С. 242-246.
27. Габитов М.А., Виноградов Д.В., Бышов Н.В., Фадькин Г.Н. Агрохимия:
Учебное пособие. - Рязань: Изд-во ИП Жуков В.Ю., 2020. – 404 с.
28. Иванов Е.С., Виноградов Д.В., Бышов Н.В., [и др.] Охрана окружающей среды
и рациональное использование природных ресурсов. - Рязань: ИП Жуков В.Ю., 2019. - 308
с.
29. Ильинский А.В., Виноградов Д.В., Данчеев Д.В. Экологические основы
природопользования: Учебное пособие. – Рязань: РГАТУ, 2017. – 128 с.
30. Хабарова Т.В., Виноградов Д.В., Левин В.И., Фадькин Г.Н. Практикум по
экологии. – Рязань: РГАТУ, 2016. – 184 с.
31. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. – М.:
Изд-во АН СССР, 1957. – 237 с.
32. Прохорова Н.В. Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых
металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье.
– Самара: Самарский ун-т, 1998. – 131 с.
33. Сукачев В.Н. Программа и методика биогеоценологических исследований – М.:
Наука, 1966. – 333 с.
34. Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Kulagin A.Y., Shainurov R.I. Cadmium and zinc
migration in Scots pine stands growing in contaminated areas from metallurgical plant emissions
// International Journal of Environmental Science and Technology. – 2021.
35. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. – М.:
Техносфера, 2009. - 784 с.

Цитирование:

Дубровина О.А., Зайцев Г.А., Зубкова Т.В. Содержание меди и цинка в
трёхлетней хвое сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) в условиях Липецкой
области [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный
журнал. – 2022. – №1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/1/st_120.pdf.
DOI: <https://doi.org/10.51419/202121120>.