Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 581.5

Биоаккумуляция тяжелых металлов в хвое ели колючей *(Picea pungens)* и туи западной *(Thúja occidentális)* и защитная реакция растений на экологический стресс

Дубровина О.А.[1], Зубкова Т.В.[1], Виноградов Д.В.[2,3], Гогмачадзе Г.Д.[4]

[1]Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

[3]Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева

[4]АгроЭкоИнфо

Аннотация

Целью исследования было определение биоаккумуляции тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, и Cu) в хвое Picea pungens и Thuja occidentalis, произрастающих на участках города Ельца с различной интенсивностью транспортного потока и выявить антиоксидантный ответ растений на экологический стресс. В результате проведённых исследований выявлены невысокие концентрации ТМ в однолетней хвое на всех изучаемых площадках. При установлении защитной реакции растений на аккумуляцию ТМ в хвое по величине АК было установлено, что у деревьев, растущих на загрязненных участках, наблюдался более высокий уровень аскорбиновой кислоты по сравнению с контрольным участком. Такими участками в городе Елец стали ул. А. Гайтеровой и ул. Коммунаров, где максимум изучаемого показателя у Picea pungens и Thuja occidentalis пришелся на июль - 154,0–122,2 мг%. Увеличение аскорбиновой кислоты в хвое изучаемых видов характерно с мая по июль, в августе отмечено ее снижение, это коррелируется с накоплением тяжелых металлов и расходованием АК на их нейтрализацию.

Ключевые слова: PICEA PUNGENS, THUJA OCCIDENTALIS, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, АСКОРБИНОВАЯ КИСЛОТА

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Введение

Загрязнение тяжелыми металлами в результате деятельности человека является одной из наиболее важных экологических проблем современного общества. Она неизбежно увеличивается с ростом промышленного производства, такого как добыча полезных ископаемых, плавка металлов, производство энергии и топлива, интенсификация сельского хозяйства и другого [1-6].

Установлено, что лесные фитоценозы в процессе жизнедеятельности с 1 га в течение вегетационного периода перерабатывают около 10 тонн токсических газов, копоти и пыли.

Ключевыми загрязнителями на урбанизированных территориях по всему миру являются такие тяжелые металлы как свинец, кадмий, медь, цинк [7-14]. Растения, растущие на участках, загрязненных металлами, демонстрируют измененный метаболизма физиологических и биохимических процессов, замедление роста, снижение выработки биомассы и продуктивности [15-19].

Важнейшим механизмом устойчивости растений в условиях загрязнения среды ТМ, является антиоксидантная системы (АОС). Одним из компонентов АОС является аскорбиновая кислота, обладающая способностью обратимо окисляться и восстанавливаться. Она принимает участие в важнейших энергетических процессах растительной клетки - фотосинтезе, дыхании, в водном обмене, регуляции ферментативной активности, в защитных реакциях растений [20-26].

Цель данного исследования состояла в том, чтобы определить уровень накопления металлов (Pb, Cd, Cu и Zn) в хвое ели колючей Picea pungens и туи западной Thuja occidentalis и выяснить защитную реакцию растений по величине аскорбиновой кислоты.

Район, объект и методы исследования

Исследования проводились в городе Елец, географически расположенном в Центральном федеральном округе (ЦФО). Это второй по величине промышленный центр Липецкой области, с населением - 103 177 человек.

Согласно данным государственного фонового мониторинга, комплексный индекс загрязнения атмосферы в городе на уровне «низкий», объем выбросов загрязняющих

веществ в атмосферу за 2020–2022 гг. от передвижных и стационарных источников составляет около 3,4 тыс. тонн [26].

Исследование проводили в период активной вегетации растений в 2020- 2022 гг. Хвою текущего года у ели колючей (Picea pungens) и туи западной (Thuja occidentalis) сезонно (с мая по август) собирали на шести экспериментальных площадках: 1.ул.Коммунаров; 2. ул. Горького; 3. ул. Пушкина; 4. ул. Свердлова; 5. ул. А. Гайтеровой; 6.ул.Допризывников (псевдоконтроль). Отбор проб проводился локально в местах максимальной транспортной нагрузки на высоте 2–3 м от поверхности грунта по периметру кроны деревьев типичного габитуса одного возраста.

Для определения концентрации тяжелых металлов в хвое собранный растительный материал промывали под краном, ополаскивали дистиллированной водой и сушили при 105°С в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния.

Концентрации Cd, Pb, Zn, Cu измеряли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрофотометре «Спектр-5» в пламени «пропан - воздух» в научно-исследовательской лаборатории Агропромышленного института ЕГУ им. Бунина (г. Елец).

Количественное содержание аскорбиновой кислоты определяли по ГОСТ 24556–89. Каждый опыт проводили в трех биологических и трех аналитических проворностях. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакета прикладных компьютерных программ MS Excel 2003 и SigmaStat 3.1.

Результаты исследований и их обсуждение

Свинец, согласно классификации Международного комитета по проблемам окружающей среды, относится к I классу опасности [27].

Проведенное исследование показало, что максимальное накопление Pb в хвое Picea pungens и Thuja occidentalis, отмечено у изучаемых особей, отобранных по улице А. Гайтеровой. Концентрация элемента в хвое составила 1,955 и 2,332 мг/кг сухого вещества соответственно. По данным Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. уровень содержания Pb в листьях 5–10 мг/кг сухой массы можно считать нормальным, 30–300 мг/кг – избыточным или токсичным. В хвое Picea pungens со 2 по 5 точки пробоотбора Pb накапливался равнозначно 1,364;1,394;1,868;1,896 мг/кг; у Thúja occidentális был несколько выше

1,662;1,425;1,992;1,878 мг/кг. Количество Pb для растений в условном контроле (ул. Допризывников) равнялось 0,505 -0,532мг/кг. Полученный результат свидетельствует о невысоком уровне накопления металла.

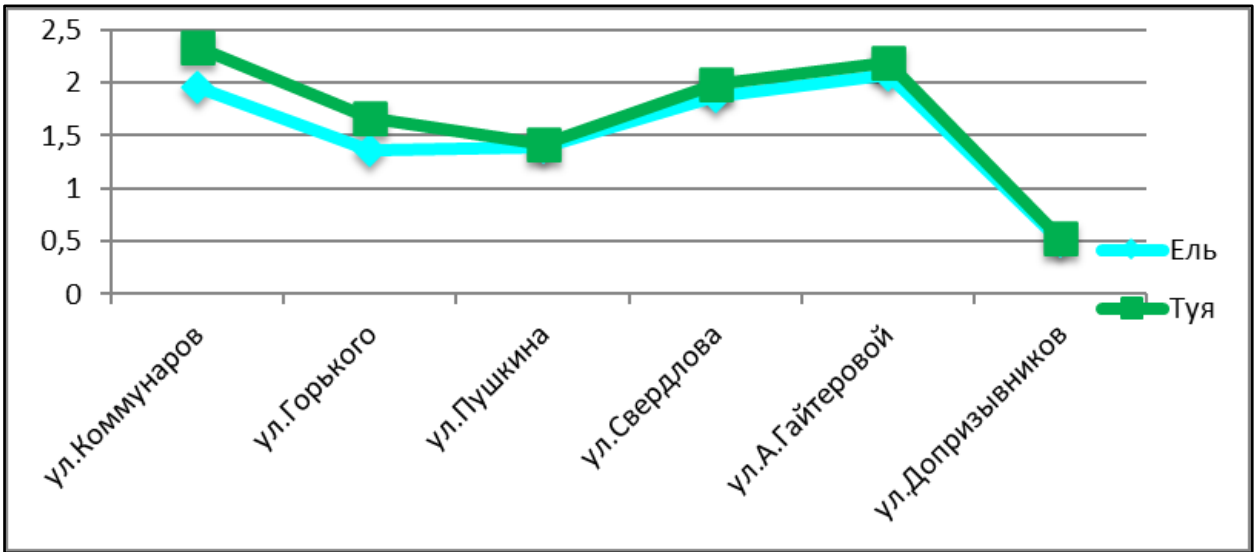

Рис. 1. Содержание свинца в хвое ели голубой и туи западной, в среднем за вегетационный период (мг/кг воздушно-сухой массы)

Кадмий является одним из наиболее подвижных тяжелых металлов. Биологическая роль этого металла для высших растений пока не установлена. Среднее содержание Cd в листьях различных растений составляет от 0,05 до 0,2 мг/кг воздушно-сухой массы [28]. Максимальное количество кадмия отмечалось на растениях, собранных на участке V (ул. А. Гайтеровой), которая характеризуется интенсивной транспортной нагрузкой, для обоих видов – 0,083 и 0,091 мг/кг соответственно (рис. 2). Минимальное количество данного элемента были обнаружены в хвое на условном контроле - 0,019–0,020 мг/кг воздушно-сухой массы.

В отличие от других тяжелых металлов, таких как кадмий, свинец и цинк, медь трудно биоаккумулируется и поэтому ее токсичность для человека и животных относительно низка. Напротив, растения в целом очень чувствительны к токсичности меди, метаболические нарушения и ингибирование роста в них происходит при значениях незначительно выше нормальных уровней. Для растений толерантный диапазон составляет 4–20 мг/кг, за его пределами отмечается недостаток меди или ее токсическое действие.

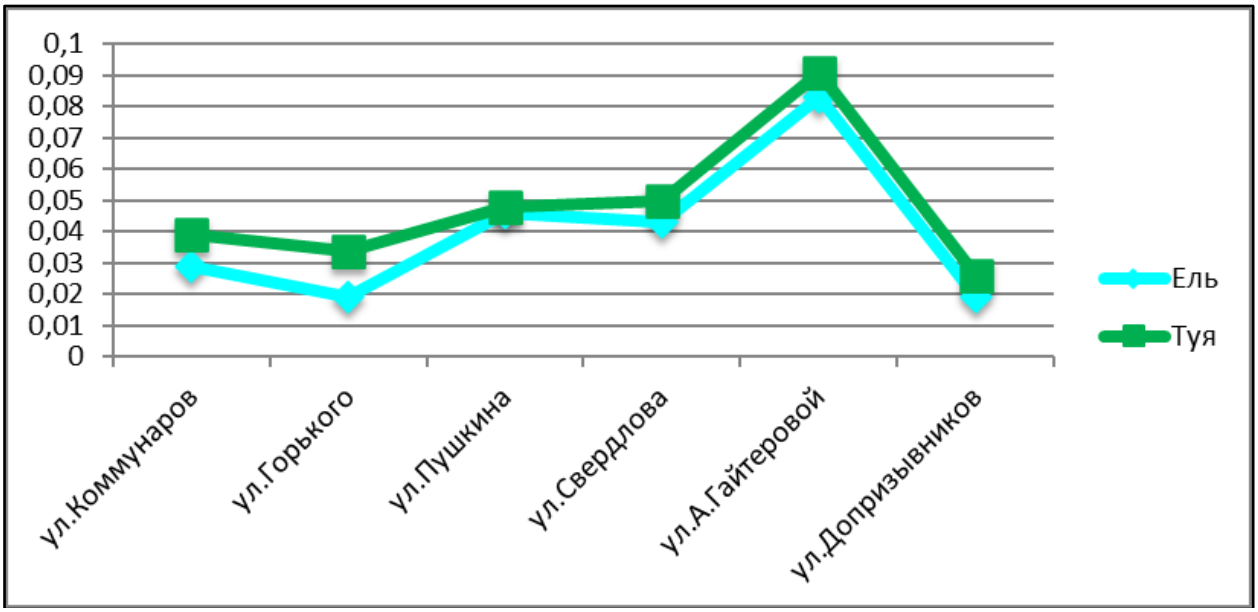

Рис. 2. Содержание кадмия в хвое ели голубой и туи западной, в среднем за вегетационный период (мг/кг воздушно-сухой массы)

Максимальный уровень меди - 6,290 мг/кг воздушно-сухой массы зарегистрирован в хвое туи западной на участке отбора проб №4 –улица Свердлова. Можно отметить, что накопление меди в хвое на изученной территории в пределах биологических особенностей растений.

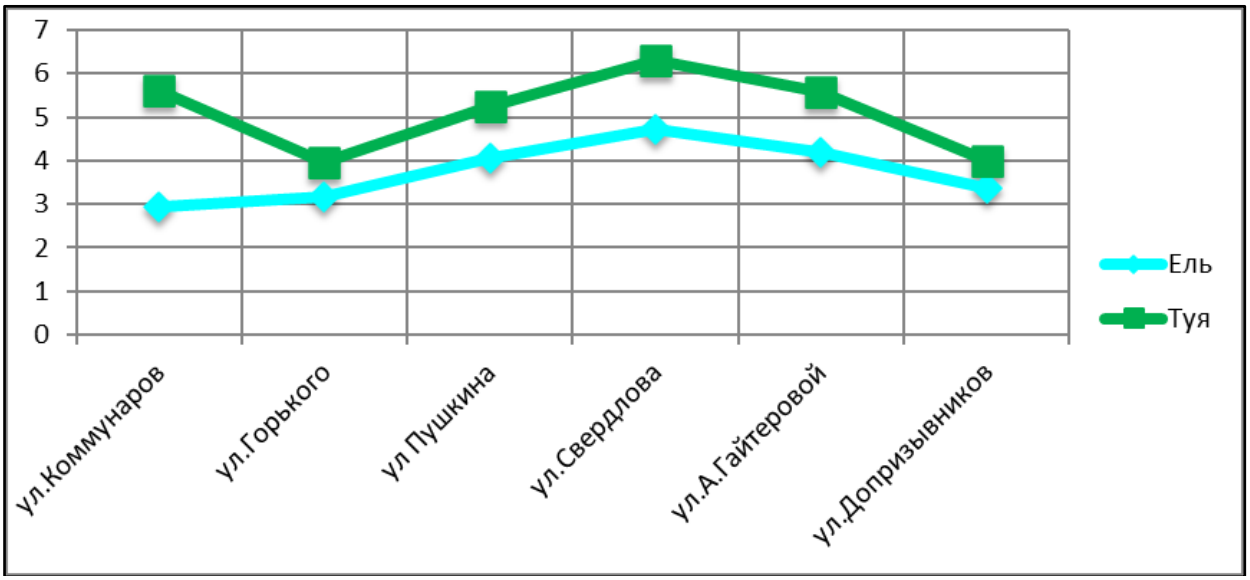

Рис. 3. Содержание меди в хвое ели голубой и туи западной, в среднем за вегетационный период (мг/кг воздушно-сухой массы)

Концентрация цинка для большинства видов растений колеблется в диапазоне 10–32 мг/кг сухого вещества. График накопления Zn, в среднем за летние месяцы в хвое изучаемых пород деревьев показывает, что степень его поглощения хвоей приблизительно одинакова (рис. 4).

Концентрация Zn в обоих растениях на всех исследованных участках колебалась вокруг контрольного значения (ул. Допризывников) -10,630 и 11,12 мг/кг воздушно-сухой массы.

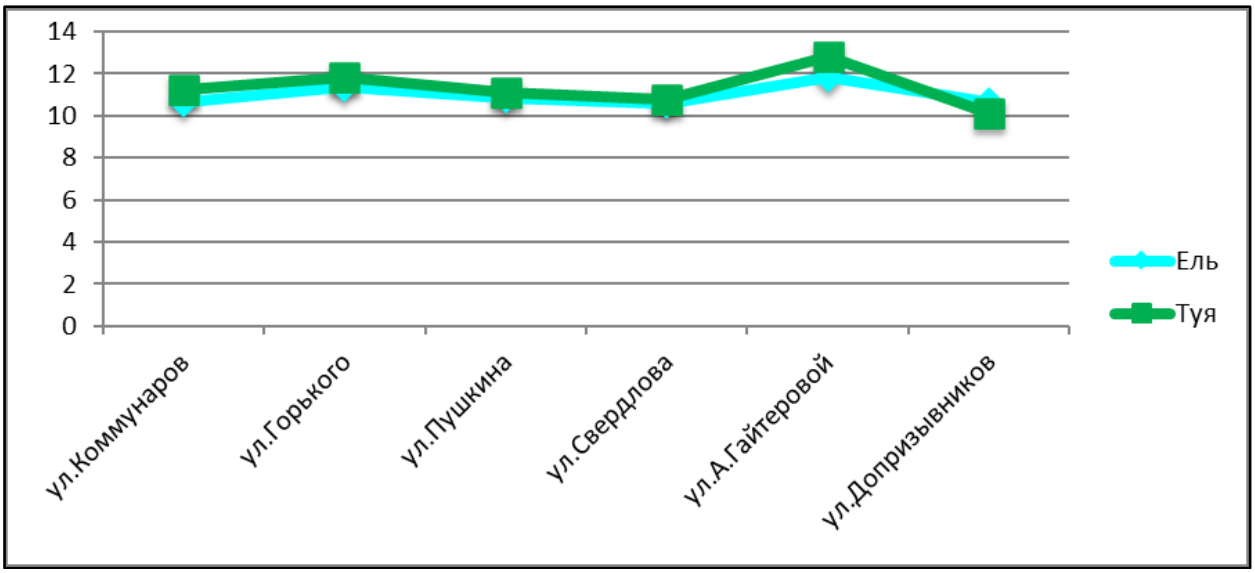

Рис. 4. Содержание цинка в хвое ели голубой и туи западной, в среднем за вегетационный период (мг/кг воздушно-сухой массы)

При установлении защитной реакции растений на аккумуляцию ТМ в хвое по величине АК было установлено, что у деревьев, растущих на загрязненных участках, наблюдался более высокий уровень аскорбиновой кислоты по сравнению с контрольным участком. Такими участками, в городе Елец, стали ул. А. Гайтеровой и ул. Коммунаров, где максимум изучаемого показателя у Picea pungens и Thuja occidentalis пришелся на июль - 154,0–122,2 мг% и защитная реакция, измеряемая как повышение уровня аскорбиновой кислоты, более очевидна.

В насаждениях, растущих в условиях более низкого транспортного прессинга - участки II–IV в тот же период наблюдается снижение содержания аскорбиновой кислоты

(табл. 1). Минимальное значение обнаружено у растений, удаленных от дороги на участке относительного контроля расположенного по ул. Допризывников до 105,6–80,6 мг%.

Увеличение аскорбиновой кислоты в хвое изучаемых видов характерно с мая по июль, в августе отмечено ее снижение, это коррелируется с накоплением тяжелых металлов и расходованием АК на их нейтрализацию [29, 30].

Таблица 1. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в хвое у Picea pungens и Thuja occidentalis, произрастающих на улицах г. Ельца

№№/расположение	Витамин С мг%							
	Ель голубая				Туя западная			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
1.ул. Коммунаров	104,4	122,2	144,4	110,0	101,2	101,8	116,4	72,8
2. ул. Горького	101,2	114,4	132,0	98,8	92,4	99,4	113,8	66,0
3. ул. Пушкина	96,4	105,6	114,4	79,2	88,0	94,8	99,7	61,6
4. ул. Свердлова	92,4	88,0	110,2	88,0	81,6	87,2	94,4	70,9
5. ул. А. Гайтеровой,	110,2	132,0	154,0	116,4	106,0	108,2	122,2	92,8
6. ул. Допризывников	88,4	101,2	105,6	74,8	70,4	72,8	80,6	52,8
$НСР_{05}$	1,1	0,9	1,6	2,1	1,6	1,9	2,3	2,2

Выводы

1. В результате проведённых исследований выявлены невысокие концентрации ТМ в однолетней хвое на всех изучаемых площадках.

2. При установлении защитной реакции растений на аккумуляцию ТМ в хвое по величине АК было установлено, что у деревьев, растущих на загрязненных участках, наблюдался более высокий уровень аскорбиновой кислоты по сравнению с контрольным участком. Такими участками в городе Елец стали ул. А. Гайтеровой и ул. Коммунаров, где максимум изучаемого показателя у Picea pungens и Thuja occidentalis пришелся на июль - 154,0–122,2 мг%. Увеличение аскорбиновой кислоты в хвое изучаемых видов характерно с мая по июль, в августе отмечено ее снижение, это коррелируется с накоплением тяжелых металлов и расходованием АК на их нейтрализацию.

Список использованных источников:

1. Дубровина О.А., Зубкова Т.В. Содержание свинца и кадмия в почве и органах растений сосны обыкновенной в лесопарковых зонах г. Ельца // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Том. 57. – С. 56–60.

2. Дубровина О.А., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Концентрация меди и цинка в органах березы повислой (Betula pendula roth.) и пырея ползучего (Elytrigia repens L.) в условиях их естественного произрастания [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_124.pdf.

3. 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.

4. 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 // АгроЭкоИнфо. – 2020, №3. – http://agroecoinfo.ru/STATYI/2020/3/st_315.pdf.

5. 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 // АгроЭкоИнфо. – 2020, №3. – http://agroecoinfo.ru/STATYI/2020/3/st_316.pdf.

6. 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/STATYI/2021/2/st_224.pdf

7. Zhong H., Joymel S., Schwartz K. et al. Assessment of future trends in the content of metallic impurities in the soil in French urban gardens. Decision on Environmental Pollution 29, 3900-3917 (2022).

8. Виноградов Д.В., Гусев В.И., Кузнецов Н.П., Степура Е.Е., Синиговец М.Е. Деградационные процессы почв и земельных угодий Рязанской области [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо. - 2013. - № 2 (13). - С. 3.

9. Курчевский С.М., Виноградов Д.В. Улучшение малопродуктивных супесчаных дерново-подзолистых почв при внесении органоминеральных удобрений и микробиологической добавки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2014. - № 1 (21). - С. 47–51.

10. Виноградов Д.В., Курчевский С.М. Роль агромелиоративных приемов в улучшении основных агрофизических свойств супесчаной дерново-подзолистой почвы // Агропанорама. - 2013. - № 6 (100). - С. 10–12.

11. Ильинский А.В., Виноградов Д.В., Балабко П.Н. Некоторые аспекты обоснования системы комплексного контроля при проведении мероприятий по реабилитации техногенно загрязненных земель // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2015. - № 4 (28). - С. 8–13.

12. Виноградов Д.В., Турекельдиева Р.Т., Ильинский А.В., Дуйсенбаева С.Т. Природопользование и устойчивое развитие. - Рязань, 2020. – 164 с.

13. Щур А.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. и др. Радиоэкологическая эффективность биологически активных препаратов в условиях Беларуси // АгроЭкоИнфо. - 2015. - № 5 (21). - С. 6.

14. Троц Н.М., Прохорова Н.В., Троц В.Б., Виноградов Д.В., и др. Тяжелые металлы в агроландшафтах Самарской области. - Кинель, 2018. – 220 с.

15. Щур А.В., Валько В.П., Виноградов Д.В. Экологические последствия развития интенсивного земледелия в Республике Беларусь // Проблемы региональной экологии. - 2016. - № 3. - С. 36–40.

16. Ерофеева Т.В., Виноградов Д.В., Макарова Л.Ю. Экология: учебное пособие. - Рязань, 2021. – 280 с.

17. Курчевский С.М., Виноградов Д.В., Щур А.В. Влияние различных доз минерального грунта на агрохимические показатели и продуктивность торфяных почв // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2015. - № 1 (25). - С. 27–31.

18. Виноградов Д.В., Ильинский А.В., Данчеев Д.В. Экология агроэкосистем. - Рязань, 2020. – 256 с.

19. Ильинский А.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Экологическое обоснование способа агрохимической мелиорации почв в условиях техногенеза // АгроЭкоИнфо. - 2018. - № 1 (31). С. 18.

20. Троц Н.М., Габибов М.А., Виноградов Д.В. Агрохимия. - Кинель, 2021. – 165 с.

21. Балабко П.Н., Виноградов Д.В., Лупова Е.И. - П.А. Костычев – основоположник агрономического почвоведения. - Рязань, 2019. – 116 с.

22. Габибов М.А., Троц Н.М., Виноградов Д.В. Практикум по агрохимии. - Кинель, 2022. - 222 с.

23. Ильинский А.В., Кирейчева Л.В., Виноградов Д.В., Московкина Л.И. К вопросу детоксикации загрязненного мышьяком оподзоленного чернозема с помощью комбинированного мелиоранта на основе диатомита и голубой глины // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2015. - № 3 (27). - С. 9–13.

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

25. Иванов Е.С., Чёрная В.В., Виноградов Д.В., Позняк С.С., Кочуров Б.И. Экологическое ресурсоведение. - Рязань, 2018. - 514 с.

26. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды» Липецкой области 2020 год» – Издательство Веда социум. - 2021. – 234 с.

27. Zaitsev G.A., Dubrovina O.A., Shainurov R.I. Iron and manganese migration in “soil–plant” system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant’s emissions // Scientific Reports. – 2020. – V.10. – Article number: 11025.

28. 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 // Journal of Environmental Science and Technology. – 2021. – Online: 03 Jan 2021.

29. Бухарина И.Л. Особенности динамики содержания аскорбиновой кислоты и танинов в побегах древесных растений в условиях г. Ижевска // Растительные ресурсы. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 109–117.

30. Калугина О.В., Михайлова Т.А., Шергина О.В. Биохимическая адаптация сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) к техногенному загрязнению // Сибирский экологический журнал. – 2018. – Т. 25, № 1. – С. 98–110.

==========

Цитирование:

Дубровина О.А., Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., Гогмачадзе Г.Д. Биоаккумуляция тяжелых металлов в хвое ели колючей (*Pīcea pūngens*.) и туи западной (*Thúja occidentális*) и защитная реакция растений на экологический стресс [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_309.pdf.
DOI: https://doi.org/10.51419/202133309.