

Исследования почвенного микробиоценоза под посадками саженцев в различных вариантах опилочно-почвенного субстрата с микопродуктом (ОПСМ) показали, что суммарная численность микроорганизмов под посадками сосны обыкновенной выше таковой под посадками ели сибирской. После внесения ОПСМ в 2018 г. общая микробная численность была выше, чем в 2020 г. в среднем под сосной в 4 раза, под елью – в 5,3 раза. На протяжении трех лет исследований доминировали, в основном, неспоровые бактерии. Самой малочисленной группой были грибы. Несмотря на то, что их численность не превышала в разные годы от 0,045 до $0,96 \cdot 10^6$ КОЕ, качественный состав был достаточно разнообразным.

Процессы гумусообразования и гумусонакопления были сбалансированы в течение всего вегетационного периода после применения ОПСМ. Сравнительный анализ ферментативной активности за три года (2018–2020 гг.) в вариантах ОПСМ показал ее снижение. Под саженцами обеих пород заметно снизилась активность полифенолоксидазы (с 35–55 мг до 17–34 мг под сосной, и с 46–64 до 21–31 мг под елью), что в итоге привело к снижению коэффициента гумификации (его значения во время эксперимента редко превышали 1 в среднем за сезон). Целлюлозоразложение в целом на участках питомника варьировало в пределах ошибки, за исключением повышения в контрольных вариантах: под сосной с 22 до 33 %, под елью – с 37 до 41 %. Наибольшее снижение целлюлозоразлагающей активности отмечено под елью в вариантах с СА с 47 до 35 % и М – с 45 до 39 %.

Таким образом, созданные и внесенные в почву биоудобрения (разные варианты ОПС и ОПСМ) не только оптимизировали процессы разложения и минерализации опилочной массы, но и положительно сказались на морфологических характеристиках саженцев хвойных. Несмотря на активную минерализацию почвенной биотой внесенные биоудобрения не истощились на протяжении трех лет эксперимента. Во всех вариантах ОПСМ наблюдали постепенное снижение биологических показателей почвы, которые в целом оставались выше контрольных вариантов (почва+опилки), что свидетельствует о пролонгированном действии биоудобрений. Следовательно, наиболее перспективные/эффективные варианты азотных композиций ОПСМ (СА, М, ДА) можно рекомендовать для использования в искусственном лесоразведении.

Список литературы

1. Ларченко В. М., Джафаров Т. А. Перспективы и проблемы использования отходов лесопромышленного сектора и древесного сырья в биоэнергетике Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2013. № 9. С. 206–210.
2. Дитрих В. И., Андрияс А. А., Пережилин А. И., Корпачев В. П. Оценка объемов и возможные пути использования отходов лесозаготовок на примере Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII. № 3-4. С. 346–351.
3. Патент на изобретение № 2681572 от 11.03.2019. Опилочно-почвенный субстрат для оптимизации плодородия почв / Г. И. Антонов, Н. В. Пашенова, И. Д. Гродницкая.
4. Антонов Г. И., Сорокин Н. Д., Барченков А. П., Кондакова О. Э. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2018. № 1. С. 56–64.

УДК 574.24

Е. Б. Атаманова,

к. с.-х. н., преподаватель 7 кафедры ФГКВОУ ВО «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты им. Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко», г. Кострома, РФ,
katebortsova@mail.ru

РОЛЬ ЭДТА И ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ТЕРРИТОРИЙ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕДЬЮ

В ходе экспериментальных исследований рассмотрена возможность применения этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА) и лимонной кислот в процессе фиторемедиации дерново-подзолистых почв с избыточным содержанием меди. В результате проведенных исследований определили, что хорошим фиторемедиантом почвы от избытка этого металла является Salix alba L. Также выявлено, что при внесении в почву растворов ЭДТА и лимонной кислот эффект фиторемедиации древесных растений увеличился на 14-47 % к контролю. Лучшим вариантом опыта для очистки территорий от избытка ионов меди является совместное действие ЭДТА и лимонной кислот. Эффективность по сравнению с контролем составила 38 и 47 % соответственно.

Ключевые слова: тяжелые металлы, медь, фиторемедиация, ЭДТА, лимонная кислота.

E. B. Atamanova,

candidate of agricultural sciences, Lecturer of the 7th department of the Federal State Educational Institution of Higher Education "Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko", Kostroma, Russian Federation, katebortsova@mail.ru

THE ROLE OF EDTA AND CITRIC ACID IN PHYTOREMEDIATION BY WOODY PLANTS IN TERRITORIES OF THE KOSTROM REGION CONTAMINATED WITH COPPER

In the course of experimental studies, the possibility of using ethylenediaminetetraacetic (EDTA) and citric acids in the process of phytoremediation of sod-podzolic soils with excess copper content was considered. As a result of the studies, it was determined that Salix alba L. is a good phytoremediant of the soil from an excess of this metal. It was also revealed that when EDTA and citric acid solutions were introduced into the soil, the phytoremediation effect of woody plants increased by 14–47 % compared to the control. The best variant of experience for cleaning territories from excess copper ions is the combined action of EDTA and citric acids. The effectiveness compared to the control was 38 and 47 %, respectively.

Keywords: heavy metals, copper, phytoremediation, EDTA, citric acid.

Из большого числа загрязняющих почву веществ, попадающих в почву вблизи функционирующих предприятий, особое место занимают тяжелые металлы (ТМ). В настоящее время пристальное внимание уделяют территориям, находящимся в зоне влияния ТЭЦ и полигонов промышленных и бытовых отходов.

В условиях Костромской области в 2019 году была проведена экологическая оценка почв этих территорий на наличие приоритетных загрязнителей (ТМ): меди, цинка, кадмия, свинца и никеля. Эти ТМ были выбраны при оценке коэффициента техногенной концентрации (Кс), рассчитанного по формуле: $K_c = C_i / C_{fi}$, где C_{fi} и C_i – фоновое и фактическое содержание i -го элемента в почве. По коэффициенту концентрации были сделаны выводы по комплексному показателю суммарного загрязнения $Z_{ст}$, учитывающего степень опасности ТМ. $Z_{ст} = \sum K_t - (n - 1)$, где n – число определяемых компонентов; K_t – коэффициент токсичности элемента (для первого класса опасности $K_t = 1,5$; для второго – $K_t = 1$; для третьего $K_t = 0,5$) [1].

Почвы, примыкающие к полигону ТБО «Каменка» (Нерехтский район), оказались чрезвычайно загрязнены медью. Превышение показателя ОДК [2] (ориентировочно допустимая концентрация) – в 27 раз. Остальные почвы изучаемых объектов относятся к категории допустимого загрязнения (< 16) [3] (табл.).

Т а б л и ц а

Загрязнение почв ТМ возле объектов ТЭЦ и полигонов ТБО

Место отбора почвы	Валовое содержание ТМ, мг/кг почвы					$Z_{ст}$
	Cu	Cd	Zn	Ni	Pb	
ТЭЦ-1	13,7	0,15	25,8	5,8	10,8	10,6
ТЭЦ-2	12,0	0,17	39,0	4,2	7,5	12,2
Полигон ТБО «Каменка»	1765,0	0,05	19,9	9,4	5,3	253,9
Полигон ТБО «Семеново» (в настоящее время закрыт)	6,2	0,04	17,4	9,8	4,5	1,8

Одной из актуальных проблем Костромской области является разработка методов очистки загрязненных ТМ территорий. В последнее время все более широкое распространение приобретает метод фиторемедиации, под которым понимают вынос ТМ путем накопления в растительных объектах. Растения очищают почву на глубину распространения их корневой системы, поэтому деревья и кустарники, как правило, имеют определенные преимущества, чем травянистые растения.

Главное достоинство фиторемедиации – ее низкая стоимость, а недостаток – значительная продолжительность процесса. В среднем фиторемедиация обходится в 2–4 раза дешевле, чем удаление и захоронение загрязненного горизонта [4].

Основной показатель, по которому судят об эффективности фиторемедиации – это общий вынос ТМ с единицы площади по отношению к валовому содержанию в почве. Эффективность фиторемедиации напрямую зависит от концентрации ТМ в отчуждаемой биомассе, а также от ее количества. Из древесных растений наибольшей извлекающей способностью по отношению к меди обладают: *Salix alba L.*, *Acer negundo*, *Betula pendula*, *Ulmus minor L.*, *Syringa vulgaris L.* [5].

Загрязненная биомасса древесных растений в дальнейшем подлежит сжиганию и захоронению, или использованию как вторичное сырье.

Известно, что доступность растениям металлов в почве является одним из ограничений эффективности фитоэкстракции. Накопление меди происходит по барьерному типу, данный металл входит в группу среднего захвата и слабого передвижения. Поэтому, ключом к фитоэкстракции ме-

таллов является увеличение их концентрации в почвенном растворе с помощью синтетических хелатообразующих агентов [6].

Применение ЭДТА (этилендиаминтетрауксусной) и некоторых органических кислот не только повышает доступность металлов для растений, но и выполняет роль транспортного средства в растении. Установлено, что в комплексе с хелатообразующим агентом повышается растворимость металлов и снижается размер их частиц. Это обеспечивает преодоление ими препятствий при передвижении от корня к стеблю. При этом поступающие в растения металлы в комплексе с ЭДТА накапливаются обычно в надземных органах, что способствует более эффективному очищению почвы от ТМ.

Таким образом, целью исследования было устранить избыток меди в почве территорий, примыкающих к полигону ТБО «Каменка» с помощью древесных растений с дополнительным применением растворов этилендиаминтетрауксусной и лимонной кислот.

Из древесных растений, аккумуляторов меди, было выбрано два объекта исследований – *Salix alba* L. и *Betula pendula*.

Варианты опыта были следующие:

1. Контроль (без применения хелатов);
2. ЭДТА (раствор с концентрацией 8 мг/л);
3. Лимонная кислота (раствор с концентрацией 3 г/л);
4. ЭДТА + лимонная кислота (растворы с концентрацией 8 мг/л и 3 г/л).

Растворы хелатообразующих агентов применялись однократно весной в виде корневой подкормки растений в норме 200 л/га.

У выбранных объектов исследований определялось содержание меди методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Сбор биомассы (листья) проводили на 6 исследовательских участках в течение 2020 года на территории, примыкающей к полигону ТБО «Каменка».

Лучшим аккумулятором меди была ива белая (*S. alba*). В среднем вынос поллютанта растением с территории составил 19,6 мг/кг почвы.

Хелатирующие агенты (ЭДТА и лимонная кислота) оказали выраженное положительное влияние на аккумуляцию древесными растениями ионов меди. Прибавка к контролю составила 14–47 % (рис.).

Применение ЭДТА в фиторемедиационной технологии способствовало увеличению извлечения меди древесными культурами из почвы на 26–38 % к контролю, лимонной кислоты – на 14–16 % соответственно.

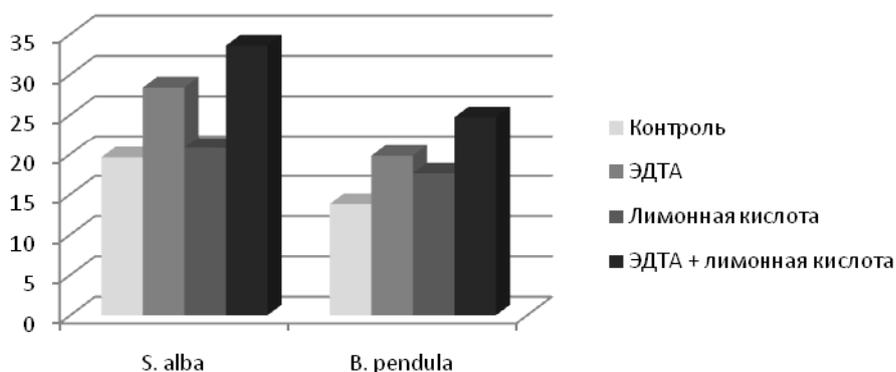


Рис. Валовое содержание меди в листовой биомассе *S. alba* и *B. pendula* в зависимости от вариантов опыта, мг/кг

Таким образом, в ходе проведенного эксперимента были определены объекты с избыточным содержанием ТМ и влияние элементов фиторемедиационной технологии в снижении избыточного содержания поллютанта в почвах. Среди вариантов опыта лучший эффект по извлечению меди древесными растениями был в результате совместного применения ЭДТА и лимонной кислоты (47 и 38 % соответственно).

Список литературы

1. Елизарьева Е. Н., Янбаев Ю. А., Редькина Н. Н., Кудашкина Н. В., Байков А. Г. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли // Вестник Оренбургского ГУ. 2007. № 9. С. 77–86.
2. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. М. : Академический проект; Гаудеамус, 2007. 237 с.

3. Атаманова Е. Б., Пригорелов Г. А. Оценка загрязнения почв промышленной территории Костромской области кадмием // Сборник статей и докладов науч.-практ. конф. ВА РХБЗ. Кострома, 2019. С. 31–35.
4. Андреева И. В., Байбеков Р. Ф., Злобина М. В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Мелиорация и рекультивация, экология. 2009. № 5. С. 5–11.
5. Григорьева И. Я. Изучение биоиндикационных свойств древесных растений на тяжёлые металлы // Инновационная наука. 2015. С. 26–28.
6. Галиулин Р. В., Башкин В. Н., Галиулина Р. Р. Влияние эффекторов фитоэкстракции на ферментную активность почвы, загрязненной тяжелыми металлами // Агрохимия. 1998. № 7. С. 77–86.

УДК 630.5181+630.57+630.91

Т. А. Беляев,

аспирант 3 года обучения, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ, belyaev@roslesperm.ru

З. Я. Нагимов,

д. с.-х. н., профессор, директор Института леса и природопользования, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ, nagimovzy@m.usfeu.ru

И. В. Шевелина,

к. с.-х. н., доцент, зав. кафедрой ЛТиЛУ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, РФ, shevelinaiv@m.usfeu.ru

ТАКСАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ОСИННИКОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Осинники в южно-таежном районе европейской части Пермского края занимают 160629,3 га. Их площадь на протяжении последних 70 лет неуклонно возрастает. Насаждения осины произрастают в 18-ти типах леса, которые объединяются в 8 групп типов лесорастительных условий. Осинники предпочитают (94,4 % от площади) относительно богатые, влажные и относительно богатые, свежие группы типов лесорастительных условий. Среднеполнотные насаждения являются преобладающими (82,3 % от площади). Средняя полнота осинников составляет 0,70.

Ключевые слова: осина, лесной фонд, Пермский край, тип леса, полнота насаждений.

T. A. Belyaev,

3rd year graduate student, Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russian Federation, belyaev@roslesperm.ru

Z. Y. Nagimov,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Forest and Nature Management, Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russian Federation, nagimovzy@m.usfeu.ru

I. V. Shevelina,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of Forest Taxation and Forest Management Department, Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russian Federation, shevelinaiv@m.usfeu.ru

TAXATION STRUCTURE OF ASPEN FORESTS OF THE PERM REGION

Aspen forests in the southern taiga region of the European part of the Perm Region occupy 160629.3 hectares. Their area has been steadily increasing over the past 70 years. Aspen stands grow in 18 types of forest, which are grouped into 8 groups of types of forest conditions. Aspen trees prefer (94.4 % of the area) relatively rich, moist and relatively rich, fresh groups of types of vegetation conditions. Medium-sized plantings are predominant (82.3 % of the area). The average fullness of aspen trees is 0.70.

Keywords: aspen, Forest fund, Perm region, forest type, fullness of plantings.

В директивных материалах в области лесного хозяйства подчеркивается необходимость создания информационной базы о состоянии, использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов [1, 2]. При выполнении этой задачи особое внимание следует уделять древесным породам, площадь насаждений которых неуклонно возрастает. В лесном фонде Пермского края одной из таких пород является осина [3]. Осинники в последние десятилетия играют существенную роль в формировании лесного покрова и представляют большую хозяйственную ценность в регионе.

Цель исследования – оценка распределения площади осинников по лесоводственно-таксационным показателям.

Район исследований в соответствии с лесорастительным районированием относится к южно-таежному району европейской части Пермского края [4]. Он расположен в границах семи лесничеств: