

Неведров Н.П. Селективные ремедиационные технологии для улучшения качества экосистемных сервисов загрязненных тяжелыми металлами почв города Курска

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

УДК 631.4

Селективные ремедиационные технологии для улучшения качества экосистемных сервисов загрязненных тяжелыми металлами почв города Курска

Неведров Н.П.

Курский государственный университет

Аннотация

Эколого-функциональное состояние городских почв, испытывающих мощное техногенное воздействие, необходимо поддерживать за счет внедрения спектра селективных технологий биологической и химической ремедиации. Цель работы – почвенно-экологическая оценка ремедиационных и санационных технологий в условиях загрязнения урбоэкосистем г. Курска тяжелыми металлами. Исследования проводились в урбоэкосистемах промышленных, рекреационных и общественно-деловых функциональных зон города. Выявлено, что применение фиторемедиационных технологий для загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) почв позволяют отчуждать за вегетационный сезон до 1,01 г/м² Zn и до 0,17 г/м² Си, а применение технологий химической ремедиации – снизить подвижность свинца в таких почвах на 45,5%.

Ключевые слова: ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ, АДСОРБЕНТЫ, ГЛИНА КЕЛЛОВЕЯ, САПРОПЕЛЬ, ПРОЧВЕННАЯ ЭМИССИЯ CO₂

Введение

Почвы городских территорий реализуют ряд экосистемных сервисов, которые, в свою очередь, обеспечивают поддержание состояния защищенности людей от экологических угроз. По мнению ряда исследователей важнейшими экосистемными сервисами городских почв являются: депонирование углерода, нейтрализация техногенных поллютантов, поддержание биологического разнообразия. Качественная реализация городскими почвами указанных сервисов позволяет решать как локальные задачи

экологической безопасности (регулирование поверхностного и внутрипочвенного стока, предупреждение вторичного загрязнения атмосферы, создание условий с необходимыми для роста растений свойствами почв), так и глобальные (регулирование газового состава атмосферы, сохранение биологического разнообразия) [1-4].

Антропогенная деградация почв урбоэкосистем, как правило, ограничивает способность почв обеспечивать полноценную реализацию ими своих экосистемных сервисов. Один из основных видов деградации почв урбоэкосистем – загрязнение тяжелыми металлами (ТМ). При поступлении в ходе аэротехногенной седиментации ТМ в почву происходит ряд трансформаций, в первую очередь, состоящих: в изменении численности, активности и структуры почвенной микробиоты, в угнетении физиологической активности растений, в снижении структурно-функциональной устойчивости и буферности почв [3, 5-8].

Повышение качества экосистемных сервисов городских почв – приоритетная задача современной урбоэкологии. Количественно улучшить показатели качества городских почв и нивелировать токсичный эффект, создаваемый сверхнормативными массовыми концентрациями практически непрерывно накапливающихся в городских почвах ТМ представляется возможным с использованием современных технологий оптимизации почвенных свойств. Селективная обработка городских почв оганоминеральными удобрениями, рекультивантами и сорбентами, а также применение фиторемедиационных технологий позволяет решать такие задачи [9, 10].

Цель работы – почвенно-экологическая оценка ремедиационных и санационных технологий в условиях загрязнения урбоэкосистем г. Курска тяжелыми металлами.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в условиях Курской агломерации в период с 2014 по 2024 годы. Объектами являлись почвы промышленных, рекреационных и общественно-деловых функциональных зон города.

Оценка фитоэкстрагирующей способности растений *Amaranthus caudatus L.* и *Tagetes erecta L.* проводилось в условиях экосистем городских клумб города Курска. Уровень загрязнения реплантоземов составлял от 1 до 5 ПДК по валовым формам меди и

цинка. Укос растений проводился в сентябре. Пробы отбирались в 5-ти кратной повторности с клумб площадью от 20 до 100 м². Депонирующая способность древесных пород *Aesculus hippocastanum L.* и *Acer platanoides L.* исследовалась в условиях парковых экосистем центральной части города Курска. Для определения годового накопления свинца и цинка отбиралась древесина молодых побегов *Aesculus hippocastanum L.* и *Acer platanoides L.* в конце вегетационного сезона (октябрь). Исследовано 3 парка (Парк имени 1 мая, Парк имени Героев Гражданской войны, Парк имени Дзержинского); в каждом парке повторность отбора растительного материала – пятикратная (с пяти деревьев). Площадь каждого парка около 4 га.

Исследование органо-минеральных сорбентов тяжелых металлов для загрязненных почв проводились в условиях газонных экосистем в промышленной зоне ОАО «Курскрезинотехника». Сорбент на основе сапропеля и извести (соотношение компонентов 1:1) вносился в загрязненные свинцом урбаноземы (дозы загрязнения почвы 1,9 – 2,8 ПДК) путем заделки на глубину 20 см в весеннее время (май 2017 г.). Исследовались 2 дозы внесения – 0,6 и 1,2 кг/м². Сорбент на основе глины келловея в дозе 1,2 кг/м² заделывался на глубину 20 см в загрязненные свинцом (1,5 – 2,5 ПДК) урбаноземы в мае 2020 г. Контрольными вариантами являлись незагрязненный урбанозем с внесением и без внесения глины келловея. Площадь опытных делянок составляла 1 м², повторность опыта – трехкратная. В опыте с сорбентом на основе сапропеля и извести отбор проб почв проводился ежемесячно (с сентября по май), в опыте с глиной келловея – в сентябре. Пробы почв отбирались с глубины 5 – 20 см.

Содержание валовых и подвижных форм ТМ в почвах и растениях определялось с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии.

Активность почвенной микробиоты оценивали интегрально – по изменению скорости почвенных потоков СО₂. Оценку потоков проводили *in situ* камерным методом с использованием инфракрасного газоанализатора AZ 7752 в пятикратной повторности (октябрь 2020 г.). Площадь ограничительного пластикового кольца, врезанного в почву – 314 см², объем закрытой измерительной камеры для замеров потоков – 6200 см³. Температуру почв измеряли термометром Checktemp HI98501, влажность почв – почвенным влагомером МГ-44.

Водопрочность почвенных агрегатов определяли влажным просеиванием по методу Савинова [11].

Статистическая обработка данных и графический дизайн выполнены с применением средств пакета анализа прикладных программ Microsoft Office 2010 (Microsoft Excel).

Результаты и обсуждение

Amaranthus caudatus L. и *Tagetes erecta L.*, выращиваемые в условиях экосистем городских клумб в течение вегетационного сезона при разных уровнях загрязнения реплантоземов, отчуждали с биомассой 0,35 – 1,01 г/м² Zn и 0,03 – 0,17 г/м² Cu (рис. 1).

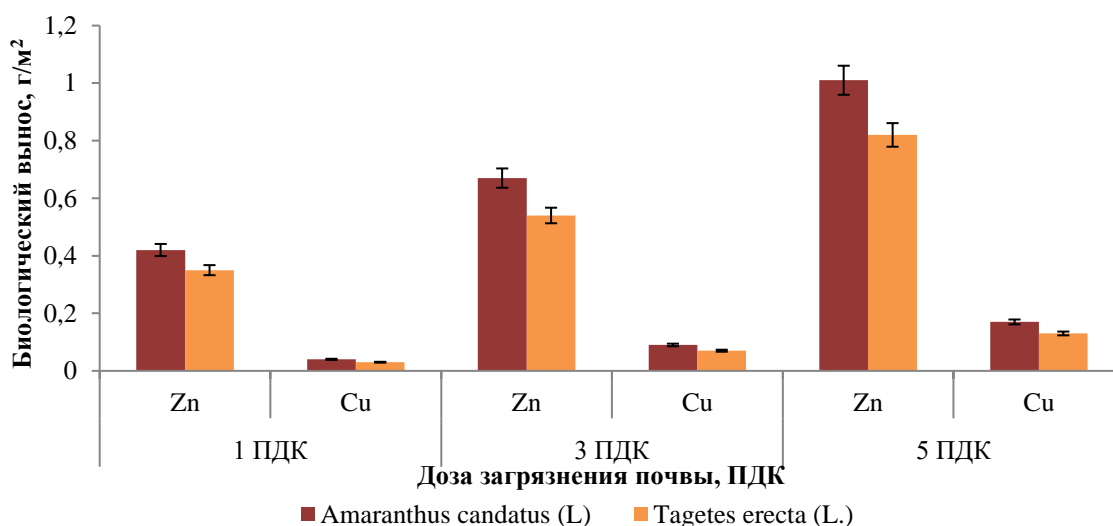


Рис. 1. Влияние возрастающих концентраций Zn и Cu в реплантоземах городских клумб на биологический вынос их растениями-ремедиаторами

Максимальный ремедиационный эффект растений-ремедиаторов по отношению сразу к двум исследуемым элементам отмечали при уровне загрязнения реплантозема равном 5 ПДК.

В условиях загрязнения урбосерых почв парковых экосистем Курска свинцом и цинком в прирастающей за один вегетационный сезон древесине *Aesculus hippocastanum L.* и *Acer platanoides L.* депонировалось до 22,9 г Pb и 24,9 г Zn.

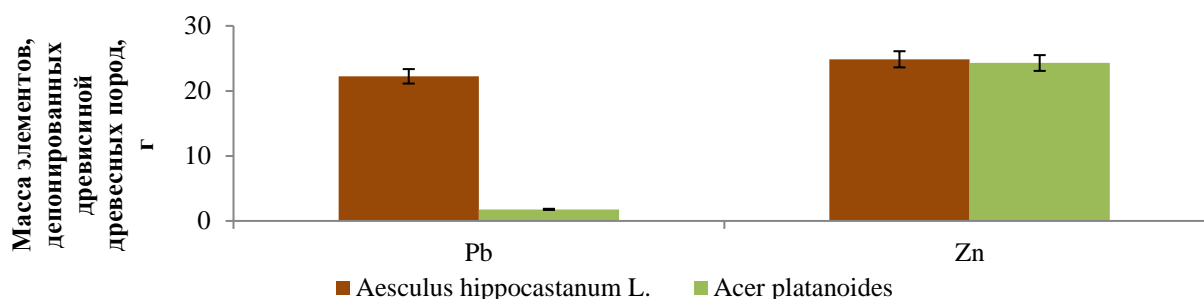


Рис. 2. Зависимость ежегодного количества аккумулированных тяжелых металлов от вида древесной породы

Причем, в случае с цинком обе древесные породы обладали сопоставимым фиторемедиационным эффектом. В то время как *Acer platanoides* L. проявлял относительную толерантность к загрязнению почв свинцом и накапливал в своей древесине 12,5 раз меньше Pb, чем *Aesculus hippocastanum* L.

Испытания органо-минерального сорбента (сапропель + известь) на загрязненных свинцом урбаноземах (1,9 – 2,8 ПДК) газонных экосистем промышленных зон г. Курска показали следующие результаты (рис. 3).

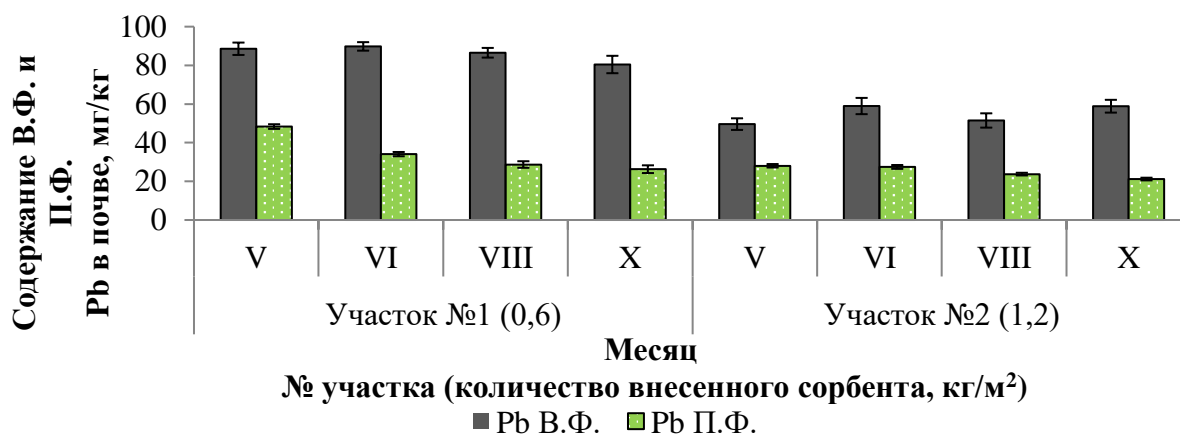


Рис. 3. Влияние различных доз композитного сорбента на основе сапропеля и извести на соотношение валовых (В.Ф.) и подвижных (П.Ф.) свинца в почвах в разрезе сезонной динамики

В течение исследуемого вегетационного сезона наблюдалось постепенное снижение содержания подвижных форм свинца в урбиковых горизонтах исследуемых урбаноземов. При вносимой дозе сорбента 0,6 кг/м² содержание подвижных форм свинца уменьшилось на 45,5 % относительно майских значений до внесения сорбента. При обработке урбаноземов дозой сорбента равной 1,2 кг/ м² подвижность элемента уменьшилась на

24,6%. Стоит отметить, что исследуемый сорбционный материал обладает пролонгированным адсорбирующим эффектом и, вероятно, что в последующие сезоны мобильность элемента будет еще снижаться за счет расширения возможности обработанных почв к сорбции свинца на органической и минеральной матрице, а также на магнитной фазе почвы.

Вносимая в загрязненные свинцом урбаноземы глина келловая приводила к значимому ($p < 0,05$) снижению подвижности ионов свинца с 28,8% до 5,3% при дозе загрязнения 1,5 ПДК и снижению с 19,5% до 16,0% при дозе 2,5 ПДК (рис. 4).

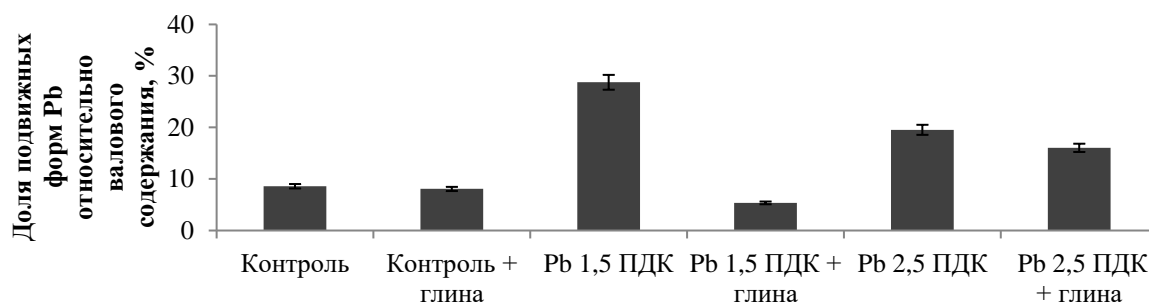


Рис. 4. Влияние обработки почв глиной келловая на подвижность свинца в условиях разноуровневого загрязнения почв свинцом

В варианте опыта с уровнем загрязнения 1,5 ПДК сорбент на основе глины келловая приводил к полной детоксикации загрязненных свинцом почв, что объясняется снижением подвижности элемента до уровня контрольного варианта с незагрязненной почвой (рис. 4).

Применение сорбционных материалов органической природы, как правило, приводит к изменению структуры микробных сообществ почвы [12]. Причем такая трансформация может носить разнонаправленный характер. Внесение сорбента на основе глины келловая в незагрязненную почву не приводило к изменению показателя микробиологической активности почвы. При этом обработка глиной келловая загрязненных свинцом почв в дозах 1,5 и 2,5 ПДК приводила к стимуляции микробиологической активности (в 1,8 и 2,2 раза соответственно), выраженной в повышении показателя скорости эмиссии CO_2 с поверхности почвы. Это объясняется снижением токсичности свинца в обработанных почвах (рис. 4).

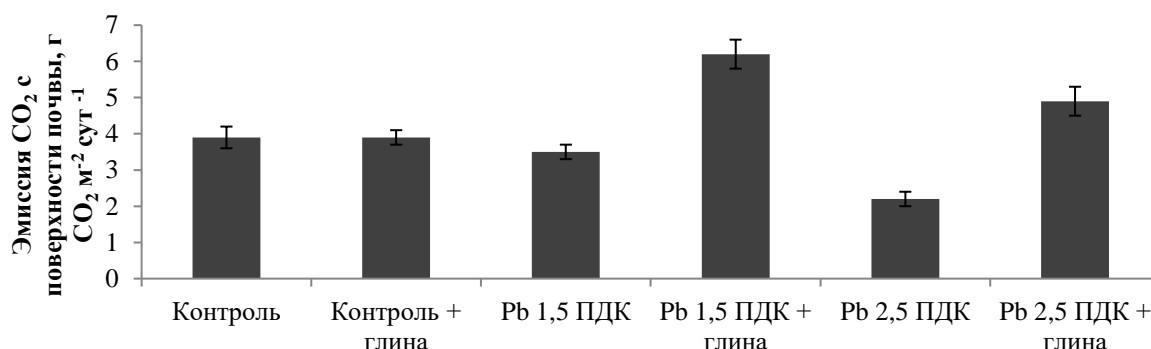


Рис. 4. Влияние обработки загрязненных свинцом урбаноземов глиной келловея на их микробиологическую активность

Применение технологий химической ремедиации урбаноземов газонных экосистем приводило к улучшению почвенной структуры и повышению продуктивности газонных трав, что, безусловно, будет выражаться в более качественной реализации экосистемных сервисов почв.

Внесение в почву сорбента на основе глины келловея (доза 1,2 кг/м²) стимулировало рост биомассы газонных трав. При дозе загрязнения почвы 1,5 ПДК сырая биомасса газонных трав увеличивалась на 36,0%, сухая на 25,0%, при дозе загрязнения почвы 2,5 ПДК – на 20,3% и 31,0% соответственно (рис. 5).

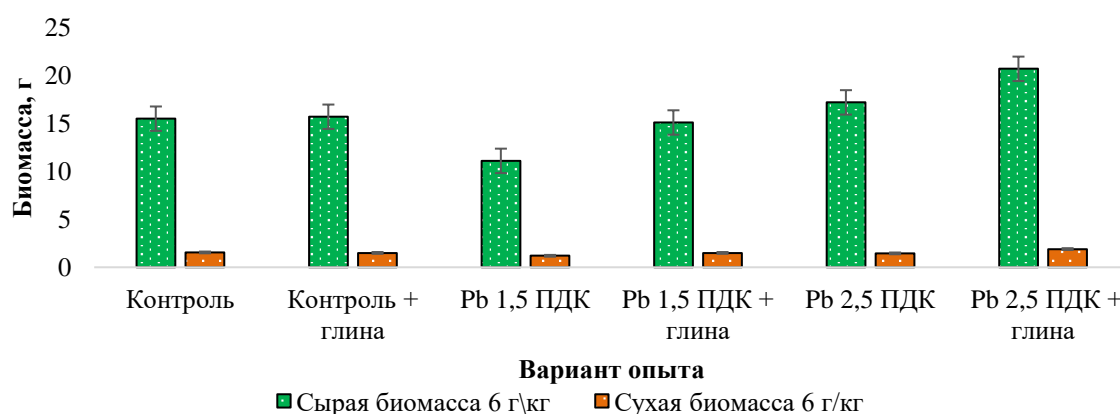


Рис. 5. Влияние обработки загрязненных свинцом урбаноземов удобрением-сорбентом на продукцию биомассы надземных органов газонных трав

Коэффициент водопрочности загрязненных (1,5 – 2,5 ПДК) свинцом и обработанных глиной келловея почв был выше на 6,7 – 6,8% (рис. 6).

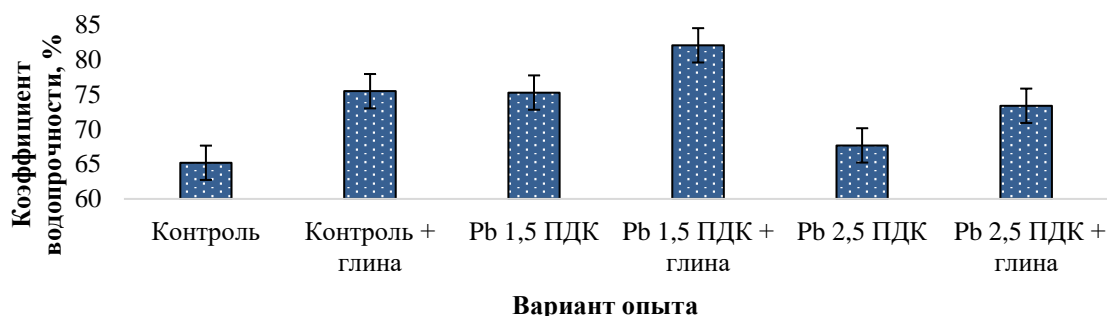


Рис. 6. Зависимость показателя водопрочности структурных почвенных агрегатов от загрязнения почв свинцом и обработки почв удобрением-сорбентом (по методу Савинова)

Селективное применение технологий ремедиации и санации почв урбозкосистем позволяет повысить качество экосистемных сервисов почв (обеспечивающих, поддерживающих и регулирующих) за счет удаления загрязнений ТМ из почвы (фиторемедиация) или их прочного закрепления на имеющихся или вновь сформированных почвенных геохимических барьерах (детоксикация адсорбентами).

Выводы

1. Фиторемедиацию загрязненных ТМ почв городских клумб г. Курска можно проводить с помощью травянистых растений *Amaranthus caudatus L.* и *Tagetes erecta L.*, способных выносить за вегетационный сезон до 1,01 г/м² цинка и 0,17 г/м² меди.

2. В условиях загрязнения ТМ урбосерых почв парковых экосистем центральной части г. Курска эффективными фиторемедиаторами являются *Aesculus hippocastanum L.* и *Acer platanoides L.*, депонирующие за вегетационный сезон в прирастающей древесине до 22,9 г свинца и 24,9 г цинка.

3. Детоксикацию загрязненных свинцом урбаноземов газонных экосистем в условиях промышленных зон южной части г. Курска эффективно проводить с использованием сорбционных органоминеральных материалов, позволяющих снижать токсичность почв на 28,8 – 45,5% в зависимости от дозы загрязнения и применяемого адсорбента.

4. Применяемые технологии селективной ремедиации позволяли улучшать качество почв (снижение токсичности, нормализация микробиологической активности и повышение структурно-функциональной устойчивости) и напочвенного покрова (увеличение продуктивности газонных трав), что будет положительно влиять на биологическое

разнообразии и баланс углерода, а также регулировать качество поверхностного и внутрипочвенного стока.

Список использованных источников:

1. Ананьева Н.Д., Хатит Р.Ю., Иващенко К.В., Сушко С.В., Горбачева А.Ю., Долгих А.В., Кадулин М.С., Сотникова Ю.Л., Васенев В.И., Комарова А.Е., Юдина А.В., Довлетярова Э.А. Биофильные элементы (С, N, P) и дыхательная активность микробного сообщества почв лесопарков Москвы и пригородных лесов // Почвоведение. – 2023. – № 1. – С. 102-117.
2. Васенев В.И., Ван Ауденховен А.П., Ромзайкина О.Н., Гаджиагаева Р.А. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) // Почвоведение. – 2018. – № 10. – С. 1177–1191.
3. Довлетярова Э.А. Функционально-экологическая оценка почв в условиях антропогенной нагрузки мегаполиса и промышленного предприятия: 1.5.15 Экология: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Довлетярова Эльвира Анварбековна // М., 2023. – 50 с.
4. Melaku M.S., Vasenev I.I. Modern concepts of ecosystem services in forest soils // В сборнике: Аграрная наука – 2022. материалы Всероссийской конференции молодых исследователей. – 2022. – С. 1747-1749.
5. Асылбаев И.Г., Хабиров И.К. Экологическая оценка содержания тяжелых элементов в почвах южного Урала // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 84-96.
6. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 85 с.
7. Мосина Л.В., Ефремова С.Ю., Алпатова Е.А. Особенности функционирования почвенной микробной компоненты на химически загрязненных территориях // XXI Век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – Т. 2., № 9 (13). – С. 14-19.
8. Dovletyarova E.A., Najiaghayeva R.A., Petrovskaya P.A., Mosina L.V. Microfungal community composition and alternaria phytotoxic effect in the lead polluted urban soil // В сборнике: Urbanization: Challenge and Opportunity for Soil Functions and Ecosystem Services. Proceedings of the 9th SUTMA Congress. Cham. – 2019. – С. 66-71.
9. Кираев Р.С., Хасанова Р.Ф., Мустафин И.Г. Оценка влияния известкования и удобрений на содержание токсичных элементов в агрочерноземе выщелоченном и накопление в зерне яровой пшеницы // Аграрная наука. – 2024. – № 1. – С. 102-106.
10. Копчик, Г.Н. Проблемы и перспективы фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) / Г.Н. Копчик // Почвоведение. – 2014. – № 9. – С. 1113–1130.
11. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв

Неведров Н.П. Селективные ремедиационные технологии для улучшения качества экосистемных сервисов загрязненных тяжелыми металлами почв города Курска

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

и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. С.72-75.

12. Заболотских В. В., Васильев А. В., Тутукова К. В. Разработка сорбционного комплекса для очистки почв от нефтяных загрязнений // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Вып. 19, №5-2. – С. 221-227.

=====

Цитирование:

Неведров Н.П. Селективные ремедиационные технологии для улучшения качества экосистемных сервисов загрязненных тяжелыми металлами почв города Курска [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st_615.pdf