

ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ВБЛИЗИ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Новак Александра Ивановна¹, Ребух Назих Ясер², Кучер Ольга Дмитриевна³

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», г. Москва, Россия

³Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации», г. Москва, Россия

¹marieta69@mail.ru

Аннотация.

Проблема и цель. Почвы фильтруют аэральный поток тяжелых металлов на пути их в ландшафты, что обуславливает более интенсивное их накопление в этой среде, чем в природных водах и атмосфере. Тяжелые металлы (ТМ) смываются с дорожного полотна, разносятся ветром с пылью на прилегающие сельскохозяйственные угодья. Загрязнители накапливаются в культурах и могут вызывать интоксикацию у животных и людей. В связи с этим необходим регулярный контроль содержания токсичных веществ в почвах и в случае превышения ПДК проведения мелиоративных мероприятий по детоксикации или исключение их из использования в сельскохозяйственном производстве. Цель - оценить возможность возделывания сельскохозяйственных культур вблизи источников загрязнения.

Методология. В зоне воздействия автотранспорта вблизи сельскохозяйственных угодий ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области п. Хирино атомно-адсорбционным методом исследовано 20 образцов почв на загрязненность тяжелыми металлами. Изучены показатели плодородия, выполнено биотестирование с использованием растительных биотестов. Результаты исследований обработаны на компьютерной программе Statistika 10.

Результаты. При исследовании почвы на содержание цинка показало наличие его в количествах, превышающих норматив. Концентрация других ТМ была ниже и соответствовала ПДК. Четко прослеживается рост концентрации ТМ в почве ближе к трассе и АЗС. Установлено синергическое неблагоприятное воздействие выхлопных газов автомобилей, переносимых с дороги, и выбросов с автозаправочных станций на загрязненность почвы агроландшафта и ростовые показатели растений. Оценка возможности возделывания сельскохозяйственных культур вблизи источников загрязнения неблагоприятная.

Заключение. По сравнению с ПДК выявлено превышение содержания цинка в трех пробах. Для других металлов показатели соответствовали норме. Ширина санитарно-защитной зоны не соответствует нормативам, что обуславливает интенсивное загрязнение почв тяжелыми металлами и выбросами АЗС. Санитарно-защитная зона представлена неустойчивыми видами растений: рябиной обыкновенной, березой бородавчатой.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, загрязнение, автотранспорт.

Original article

ECOLOGICAL-AGROCHEMICAL EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF CULTIVATING AGRICULTURAL CROPS NEAR SOURCES OF POLLUTION

Novak Alexandra Ivanovna¹, Rebukh Nazih Yaser², Kucher Olga Dmitrievna³

¹*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Medical University Named after Academician I.P. Pavlov" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Russia*

²*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia", Moscow, Russia*

³*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation", Moscow, Russia*

Abstract.

Problem and purpose. Soils filter the aerial flow of heavy metals on their way into landscapes, which causes their more intense accumulation in this environment than in natural waters and the atmosphere. Heavy metals (HMs) are washed off the road surface and carried by wind with dust to adjacent agricultural lands. Pollutants accumulate in crops and can cause toxicity in animals and people. In this regard, it is necessary to monitor the content of toxic substances in soils regularly and, in case of exceeding the MPC, to carry out reclamation measures for detoxification or to exclude them from use in agricultural production. The purpose was to evaluate the possibility of cultivating crops near sources of pollution.

Methodology. 20 soil samples were studied by the atomic adsorption method for contamination with heavy metals in the zone of influence of motor transport near the agricultural lands of Avangard LLC, Ryazan district, Ryazan region, village of Khirino. Fertility indicators were studied and biotesting was performed using plant biotests. The research results were processed using Statistika 10 computer program.

Results. Testing the soil for zinc content, it was found to be present in quantities exceeding the standard. The concentration of other heavy metals was lower and corresponded to the maximum permissible concentration. An increase in the concentration of heavy metals in the soil closer to the highway and gas station was clearly visible. A synergistic adverse effect of vehicle exhaust gases carried from the road and emissions from gas stations on soil pollution in the agricultural landscape and plant growth rates was established. The evaluation of the possibility of cultivating crops near pollution sources was unfavorable.

Conclusion. Compared to the maximum permissible concentration, an excess of zinc content was detected in three samples. For other metals, the indicators corresponded to the norm. The width of the sanitary protection zone did not meet the standards, which caused intensive soil contamination with heavy metals and gas station emissions. The sanitary protection zone was represented by unstable plant species: common mountain ash, warty birch.

Key words: heavy metals, soil, pollution, motor transport.

Введение

Самоочищение почвы сельскохозяйственных угодий от токсикантов, в частности тяжелых металлов (ТМ), происходит значительно медленнее по сравнению с другими средами – природных водах и атмосфере. Максимальное содержание ТМ отмечается в гумусовом горизонте, и медленно снижается при выщелачивании и утилизации растениями, эрозии и дефляции. От 12 до 21 % валовых форм ТМ связываются с органическими веществами, свыше 5 % – с карбонатами, около 10 % остаются в неизменной форме. 35,7 % тяжелых металлов содержатся в доступной форме, накапливаются в сельскохозяйственной продукции [2, 6, 7]. Распределение тяжелых металлов в растении носит отчетливо акропетальный характер: корни > стебли > листья > плоды (семена). Общей закономерностью является снижение содержания практически всех ТМ в генеративных органах по сравнению с вегетативными [3]. При сгорании топлива, истирании дорожного полотна, автопокрышек и тормозных колодок образуются токсические вещества, которые впоследствии смываются с территорий автозаправочных станций и дорог. Ситуация ухудшается при наличии высоких концентраций ТМ в дождевых водах, минеральных и органических удобрениях, вносимых в почву. Провести анализ накопления в окружающей среде токсикантов можно при помощи биоиндикации, которая выявляет различные стрессовые воздействия при использовании тест-организмов. В качестве биотестов используют бактерии (*Escherichia coli*), водоросли (*Chlorella* spp.), низшие грибы, инфузории, низшие ракообразные, двустворчатые моллюски, редис, табак, злаковые [4]. В связи с этим необходим регулярный контроль содержания токсичных веществ в почвах

и в случае превышения ПДК исключение их из использования в продовольственных и кормовых целях [5].

Цель исследования: оценить возможность возделывания сельскохозяйственных культур вблизи источников загрязнения.

Материал и методы исследований

Исследования проведены в черте города Рязани вблизи п. Хирино, на территории которого расположены сельскохозяйственные угодья ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Были отобраны 20 образцов почвы в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019. «Национальный стандарт Российской Федерации. Почвы. Отбор проб» на глубине 15 см на расстоянии 15 м и 500 м от дорожного полотна с целью обнаружения тяжелых металлов. Масса пылегазовых выбросов осаждаются в непосредственной близости от источника загрязнения. Для определения количества приоритетных металлов для региона меди, свинца, цинка, никеля и кадмия использован атомно-адсорбционный метод. Кроме того, с помощью общепринятых методик определили показатели плодородия: рН, содержание гумуса, K_2O , P_2O_5 вследствие влияния на подвижность ТМ. Контрольным образцом служили почвы, отобранные вблизи Окского государственного биосферного заповедника. Объектом исследования являлись серая лесная почва и зерно пшеницы. Лабораторный опыт включал замачивание в 10 мл почвенных вытяжек семян тест-культуры – пшеницы в трехкратной повторности. Семена пшеницы урожая 2022 года тщательно сортировались и отбирались по 50 штук. Анализ проростков проводился на третьи сутки. Биометрические измерения зародышевого корешка и зародышевого стебелька осуществлялись по методике Доспехова. Средние показатели длины корешков и стебельков рассчитывались математически с учетом невсхожих зерен. Достоверность токсичности почвы установлена в 20%. Результаты исследований обработаны на компьютерной программе Statistika10.

Результаты исследований и их обсуждение

Оценивая место отбора проб, следует отметить равнинный участок, окруженный санитарно-защитной лесополосой (СЗЛ), которая находится в неудовлетворительном состоянии в связи с ее нарушенной организацией и изреженностью посадки. Сразу за СЗЛ проходит трасса и расположены АЗС. Согласно проведенным измерениям, ширина санитарно-защитной зоны на сегодняшний день составляет 79 м, что на 21 м меньше нормы. Расстояние от санитарно-защитной зоны до трассы в пределах 26 м, от дороги до селитебной зоны – 108 м и до сельскохозяйственных полей – 136 м. На исследуемой территории санитарно-защитная зона (ССЗ) представлена одноярусной посадкой с неустойчивыми к загрязнителям видами растений: рябиной обыкновенной, березой бородавчатой. Среди травянистой растительности преобладает пырей ползучий. Полностью отсутствует ярус кустарников (рисунки 1).



а)



б)

Рисунок 1 - Схема расположения автомагистрали и автозаправочных станций по отношению к агроландшафту и селитебной зоне (а) и общий вид санитарно-защитной зоны
 Figure 1 - The layout of the highway and gas stations in relation to the agricultural landscape and residential zone (a) and the general view of the sanitary protection zone

Результаты исследования образцов почвы атомно-абсорбционным методом представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты атомно-абсорбционного анализа образцов почвы на загрязненность тяжелыми металлами

Место отбора проб почвы сельскохозяйственного использования	Содержание металлов, мг/кг			
	Медь	Цинк	Кадмий	Свинец
Контроль	15,5±0,7	52,9±0,9	0,19±0,2	22,0±0,5
1. До СЗЗ, лесопосадка редкая	24,51±1,5	143,50±0,4	0,24±0,7	26,63±0,1
2. После СЗЗ, лесопосадка редкая	17,53±1,0	60,86±0,2	0,27±0,2	24,34±0,4
3. До СЗЗ рядом с АЗС, лесопосадка частая	43,07±1,2	259,45±0,4	0,21±0,2	24,34±1,3
4. После СЗЗ вблизи АЗС	18,09±0,9	106,30±0,1	0,21±0,1	26,45±0,7
5. Почва сельскохозяйственных угодий в 500 м от дороги	29,0±0,8	102,2±1,2	0,22±1,0	23,2±0,9

Анализируя представленные данные в таблице 1, содержание меди в почвенных образцах, кроме почвы сельскохозяйственных угодий, составило от 17,53 до 43,07 мг/кг, цинка – 60,86-259,45 мг/кг, кадмия – 0,21-0,27 мг/кг, свинца – 24,34-26,63 мг/кг. ПДК по валовому содержанию Zn составляет 100 мг/кг, Cu – 55 мг/кг, Pb – 32 мг/кг, ОДК для Cd – 2,0 мг/кг. При сравнении полученных результатов с предельно допустимыми концентрациями выявлено превышение валового содержания цинка в трех пробах: на 6,3-159,45 мг/кг. Для других металлов показатели валового содержания в почве соответствовали норме. Концентрация ТМ в почве сельскохозяйственного назначения в 500 м от дороги не превышало санитарных нормативов.

Валовое содержание ТМ является фактором емкости, характеризующим общую загрязненность, но не отражает степень доступности для растений. В связи с

чем однозначно сделать вывод о безопасности почвы для живых организмов нельзя.

Основное отличие в антропогенной деятельности на этом участке заключается во внесении удобрений и других средств химизации. По данным А.К. Шхапацева с соавт. [17], минеральные удобрения существенного вклада в поступление ТМ в почву не имеют, однако они изменяют почвенные условия и, тем самым, косвенно влияют на форму токсикантов, они могут переходить в растворимые и усвояемые формы. В хозяйстве, наряду с минеральными, вносятся и органические удобрения в виде перепревшего навоза КРС. С навозом в почву поступает определенное количество ТМ, но значительно меньше допустимых величин.

Накоплению и изменению ТМ косвенно способствуют растения и почвенная биота, которые также способны переводить их нерастворимые соединения в растворимые. Следует отметить, что из всех ТМ в растениях в большей мере накапливался Zn, причем равномерно во всех частях. К остальным металлам у растений существуют защитные адаптации (фильтрующие системы в генеративных побегах и другие).

По литературным данным, рябина, являющаяся основным видом в СЗЛ, в большей мере накапливает цинк в различных тканях, что приводит к раннему старению деревьев и обуславливает их неустойчивость к болезням и неблагоприятным климатическим факторам.

Для определения плодородия почвы ООО «Авангард» во всех обследованных точках определены агрохимические показатели (таблица 2).

Таблица 2 – Агрохимические показатели почвы

Место отбора проб почвы сельскохозяйственного использования	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г	pH
Контроль	5,25	7,5	6,1	7,2
1. До СЗЗ, лесопосадка редкая	2,35	5,8	6,0	7,3
2. После СЗЗ, лесопосадка редкая	4,01	6,0	6,9	7,2
3. До СЗЗ рядом с АЗС, лесопосадка частая	2,50	5,2	5,0	7,2
4. После СЗЗ вблизи АЗС	2,63	2,8	5,7	7,1
5. Почва сельскохозяйственного назначения в 500 м от дороги	2,50	2,8	5,4	7,1

Количество гумуса в контрольном образце было равно 5,25%, содержание P₂O₅ – 7,5 мг/100 г почвы; K₂O – 9,1 мг/100 г. Реакция почвенного раствора ближе к нейтральной – pH=7,2. Приведенные показатели свидетельствуют, что почва обладает достаточным потенциальным плодородием.

Нарушенные почвы (абраземы) представлены четырьмя точками отбора. По сравнению с контролем в них существенно снижено содержание гумуса в верхнем горизонте (2,35-4,01%), что объясняется, вероятно, высокой скоростью разложения органического вещества. Содержание подвижных форм фосфора и обменного калия изменялось в пределах: P_2O_5 – 2,2-6,0 мг/100 г почвы (очень низкое и среднее), K_2O – 5,0-6,9 мг/100 г почвы (низкое и среднее).

На всех участках выполнено биотестирование для оценки влияния тяжелых металлов на ростовые показатели пшеницы. Так, пшеница, пророщенная в пробе почвы возле СЗЛ, имеет максимальную длину корня (7,29 см) и coleoptilya (14,96 см) по сравнению с остальными участками и превышает показатели контроля в два раза и более (рисунок 2), кроме почвы, отобранной в 500 м от дорожного полотна.



Рисунок 2 – Проросшие семена пшеницы на контрольном и опытном варианте 5
Figure 2 – Sprouted wheat seeds in control and experimental variant 5

Минимальные ростовые показатели имеет пшеница, пророщенная в почвенной вытяжке с участка в непосредственной близости с АЗС: длина корня – 2,49 см, coleoptilya – 13,8 см. Чуть выше ростовые показатели пшеницы, пророщенная в почвенной вытяжке после СЗЛ у АЗС: длина корня – 3,01 см, длина coleoptilya – 13,98 см. Такие значения свидетельствуют о синергическом неблагоприятном воздействии выхлопных газов автомобилей, переносимых с дороги, и выбросов с автозаправочных станций на загрязненность почв и ростовые показатели растений.

Микроскопирование корешков установило более активное развитие корневого чехлика и корневых волосков на варианте 5, на других - примерно одинаковое (рисунок 3).

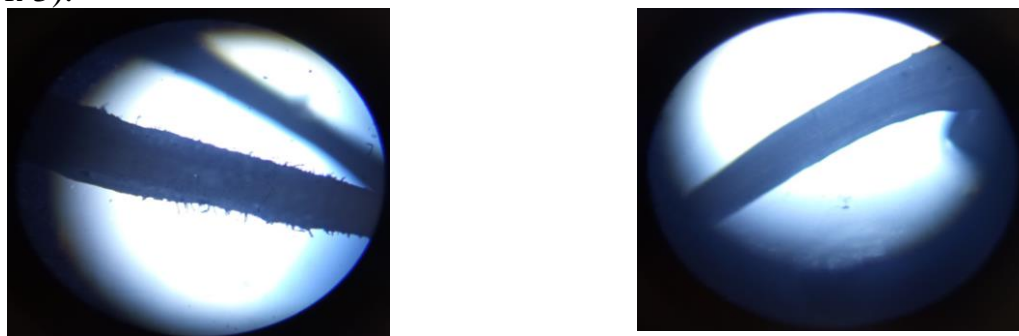


Рисунок 3 – Развитие корневых волосков на вариантах 5 и 3
Figure 3 – Development of root hairs in options 5 and 3

Некоторые исследователи [4] отмечают слабую чувствительность пшеницы к цинку, однако, в наших исследованиях как-раз и наблюдалось превышение концентрации именно по этому металлу.

Повышенное содержание ТМ в почве может вызвать загрязнение токсикантами сельскохозяйственных культур, возделываемых на землях вблизи участка исследования, что по цепочке почва-растения-животные-человек может вызвать накопление ТМ. Между содержанием Cu, Cd, Zn, Pb в почве и зерне пшеницы существует тесная связь, выраженная коэффициентами корреляции и уравнениями регрессии:

Вариант 1

$$Y=0,02Cd+0,01 \quad r=0,99$$

$$Y=0,73Cu+0,22 \quad r=0,84$$

$$Y=0,80Zn+0,99 \quad r=0,76$$

$$Y=0,058Pb+0,02 \quad r=0,97$$

Вариант 2

$$Y=0,27Cd+0,01 \quad r=0,85$$

$$Y=0,55Cu+0,56 \quad r=0,86$$

$$Y=0,84Zn+0,33 \quad r=0,80$$

$$Y=0,039Pb+0,04 \quad r=0,89$$

Вариант 3

$$Y=0,04Cd+0,01 \quad r=0,85$$

$$Y=0,45Cu+0,01 \quad r=0,85$$

$$Y=0,67Zn+0,08 \quad r=0,78$$

$$Y=0,03Pb+0,07 \quad r=0,88$$

Вариант 4

$$Y=0,01Cd+0,08 \quad r=0,99$$

$$Y=0,75Cu+0,33 \quad r=0,84$$

$$Y=0,65Zn+0,43 \quad r=0,76$$

$$Y=0,06Pb+0,71 \quad r=0,97$$

Вариант 5

$$Y=0,16Cd+0,01 \quad r=0,91$$

$$Y=0,49Cu+0,12 \quad r=0,82$$

$$Y=0,74Zn+0,07 \quad r=0,77$$

$$Y=0,04Pb+0,44 \quad r=0,81$$

и представленную графиком поверхности отклика, что показано на рисунке 4.

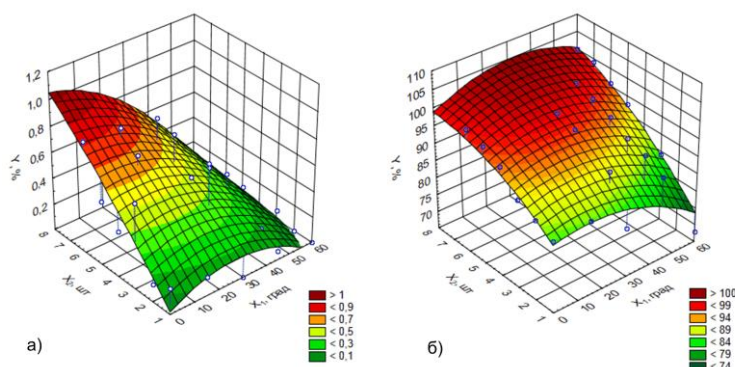


Рисунок 4 - График поверхности отклика

Figure 4 - Response surface plot

а) до СЗЗ; после СЗЗ;

б) до СЗЗ рядом с АЗС; после СЗЗ вблизи АЗС и в 500 м от дороги

В.Н. Гукалов с соавт. [6] сообщают о состоянии тяжелых металлов в почвах, обусловленных математическими структурными взаимосвязями состояния тяжелых металлов и свойств почв, состояния биоты, растений, вод, приземного слоя воздуха. Авторы статьи согласны с необходимостью рассматривать загрязнение агроэкосистем во взаимосвязи и с учетом эмерджентности, эффектов синергизма и антагонизма.

Заключение

Тяжелые металлы мигрируют в разные слои в зависимости от специфических показателей почвы (рН и другие). В основном соли ТМ находятся в малодоступном состоянии для растений, но под действием различных факторов (этилендиаминтетрауксусной кислоты, при выделении фитосидерофоров корнями растений) могут переходить в доступное.

Оценка возделывания сельскохозяйственных культур на агроландшафтах неблагоприятная из-за накопления в растениях цинка в превышающих ПДК концентрациях. Для других металлов показатели соответствовали норме.

Ширина санитарно-защитной зоны не соответствует нормативам, что обуславливало накопление токсикантов в почве. Кроме того, на обследованной территории санитарно-защитная зона представлена неустойчивыми видами растений: рябиной обыкновенной, березой бородавчатой, которые не защищают селитебную территорию от выбросов автотранспорта и заправочных станций. Предложено администрации хозяйства обратиться в проектную организацию с целью восстановления санитарно-защитной лесополосы в соответствии с ГОСТом Р 57973-2017 «Санитарная безопасность в лесах».

Библиографический список

1. Белюченко, И.С., Снижение загрязнения черноземов тяжелыми металлами / И.С. Белюченко, О.А. Мельник // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2013.- №43-С. 38-49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20640614>
2. Волосникова, Г. А. Реабилитация антропогенно нарушенных территорий / Г.А. Волосникова, О. А. Мищенко. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2023. – 304 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/07000522923>

3. Волошин, Е.И. Баланс микроэлементов и тяжелых металлов в агроценозах Красноярского края / Е.И. Волошин // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2017. - №3 – С. 15-22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balans-mikroelementov-i-tyazhelyh-metallov-v-agrotsenozah-krasnoyarskogo-kraya/viewer>
4. Протасова, Н.А. Тяжелые металлы в почвах Усманского бора / Н.А. Протасова, А.Ю. Чарыкова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2011.- №1.- С. 114-123 . URL: <https://rucont.ru/efd/523982>
5. Глухих, М.А. Агрохимия / М.А. Глухих. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2023. – 120 с. URL: <https://www.labirint.ru/books/845312/>
6. Гукалов, В.Н. Информационная оценка состояния тяжелых металлов в почвах / В.Н. Гукалов, В.И. Савич, С.Л. Белопухов, О.А. Шапкина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2017. - №5(127). – С. 58-65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-otsenka-sostoyaniya-tyazhelyh-metallov-v-pochvah>
7. Тяжелые металлы в агроландшафтах Самарской области / Н.М. Троц, Н.В. Прохорова, В.Б. Троц, Д.А. Ахматов, Г.И. Чернякова, О.В. Горшкова, Д.В. Виноградов, Я.В. Костин.- Самара : РИЦ СГСХА, 2018.- 220 с. URL: <https://rucont.ru/efd/675244>
8. Кузина, Л.Б. Актуальное состояние изучения изменения форм и биодоступности меди и цинка в системе «почва - растение»: выбор дизайна исследования для мониторинга на большом массиве образцов / Л.Б. Кузина // Бюллетень науки и практики, 2018. - №7. – С. 27-44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnoe-sostoyanie-izucheniya-izmeneniya-form-i-biodostupnosti-medi-i-tsinka-v-sisteme-pochva-rastenie-vybor-dizayna-issledovaniya-dlya>
9. Зимовец, А.А. Тяжелые металлы в почвах устьевой области реки Северная Двина / А.А. Зимовец, Ю.А. Федоров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки .— 2013 .- №5 .- С. 82-86 . URL: <https://rucont.ru/efd/426864>
10. Мельникова, О.В. Теория и практика биологизации земледелия /О.В. Мельникова, В.Е. Торикив. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 384 с. URL: <https://www.labirint.ru/books/717077/>
11. Никитина О.В., Экологическое состояние природных ресурсов Центрального Черноземья и технологии их улучшения / О.В. Никитина, Е. А. Бессонова, А. И. Стифеев, В. И. Лазарев, П. О. Бридская // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева, 2023. - №1. – С. 73-83. DOI: 10.36508/RSATU.2023.63.17.010
12. Попова, Н.В. Тяжелые металлы в окружающей среде / Н.В. Попова .— Якутск : Якутская государственная сельскохозяйственная академия, 2018 .— 32 с. — URL: <https://rucont.ru/efd/643362>.
13. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация

предприятий, сооружений и иных объектов" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tehbez.ru>, свободный Дата ввода 24.11.2023

14. Седых, В.А. Изменение подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах в зависимости от степени их гумусированности и применения высоких доз органических удобрений / В.А. Седых, А.Д. Кашанский, Е.Г. Химица, П.Ю. Карауш // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, 2011. - №3 – С. 22-29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-podvizhnosti-tyazhelyh-metallov-v-derново-podzolistyh-pochvah-v-zavisimosti-ot-stepeni-ih-gumusirovannosti-i-primeneniya>

15. Стифеев, А.И. Система рационального использования и охрана земель : учеб. пособие / А.И. Стифеев, Е.А. Бессонова, О.В. Никитина. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 168 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/171875>

16. Царенко, В.П. Урожайность и качество картофеля и ячменя, выращенных на дерново-подзолистой почве, загрязненной тяжелыми металлами в зависимости от различных систем удобрения / В.П. Царенко, Д.А. Овсянко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, 2016. - №45- С. 55-69. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urozhaynost-i-kachestvo-kartofelya-i-yachmenya-vyraschennyh-na-derново-podzolistoy-pochve-zagryaznennoy-tyazhelymi-metallami-v>

17. Шхапацев, А.К. Агроэкологическая оценка систематического применения средств химизации в земледелии на накопление тяжелых металлов в почве / А.К. Шхапацев, Ю.Н. Ашинов, Т.В. Кононова // Вестник АГУ, 2018.-№2(221).- С. 113-118. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agroekologicheskaya-otsenka-sistematiceskogo-primeneniya-sredstv-himizatsii-v-zemledelii-na-nakoplenie-tyazhelyh-metallov-v-pochve>

References

1. Belyuchenko, I.S., Snizhenie zagryazneniya chernozemov tyazhelymi metallami / I.S. Belyuchenko, O.A. Mel'nik // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013.- №43-S. 38-49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20640614>

2. Volosnikova, G. A. Reabilitaciya antropogenno narushennyh territorij / G.A. Volosnikova, O. A. Mishchenko. – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo "Lan", 2023. – 304 s. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/07000522923>

3. Voloshin, E.I. Balans mikroelementov i tyazhelyh metallov v agrocenozah Krasnoyarskogo kraja / E.I. Voloshin // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2017. - №3 – S. 15-22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balans-mikroelementov-i-tyazhelyh-metallov-v-agrotsenozah-krasnoyarskogo-kraja/viewer>

4. Protasova, N.A. Tyazhelye metally v pochvah Usmanskogo bora / N.A. Protasova, A.Yu. Charykova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya, 2011 .- №1 .- S. 114-123 . URL: <https://rucont.ru/efd/523982>

5. Gluhih, M.A. *Agrohimiya / M.A. Gluhih.* – Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Lan'», 2023. – 120 s. URL: <https://www.labyrinth.ru/books/845312/>
6. Gukalov, V.N. *Informacionnaya ocenka sostoyaniya tyazhelykh metallov v pochvah / V.N. Gukalov, V.I. Savich, S.L. Belopuhov, O.A. Shapkina // Vestnik Atajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2017. - №5(127). – S. 58-65. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-otsenka-sostoyaniya-tyazhelyh-metallov-v-pochvah*
7. *Tyazhelye metally v agrolandshaftah Samarskoj oblasti / N.M. Troc, N.V. Prohorova, V.B. Troc, D.A. Ahmatov, G.I. Chernyakova, O.V. Gorshkova, D.V. Vinogradov, Ya.V. Kostin.- Samara : RIC SGSHA, 2018.- 220 s. URL: https://rucont.ru/efd/675244*
8. Kuzina, L.B. *Aktual'noe sostoyanie izucheniya izmeneniya form i biodostupnosti medi i cinka v sisteme «pochva - rastenie»: vybor dizajna issledovaniya dlya monitoringa na bol'shom massive obrazcov / L.B. Kuzina // Byulleten' nauki i praktiki, 2018. - №7. – S. 27-44. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnoe-sostoyanie-izucheniya-izmeneniya-form-i-biodostupnosti-medi-i-tsinka-v-sisteme-pochva-rastenie-vybor-dizayna-issledovaniya-dlya*
9. Zimovec, A.A. *Tyazhelye metally v pochvah ust'evoj oblasti reki Severnaya Dvina / A.A. Zimovec, Yu.A. Fedorov // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki .— 2013 .- №5 .- S. 82-86 . URL: https://rucont.ru/efd/426864*
10. Mel'nikova, O.V. *Teoriya i praktika biologizacii zemledeliya /O.V. Mel'nikova, V.E. Torikov. – Sankt-Peterburg: Lan', 2022. – 384 s. URL: https://www.labyrinth.ru/books/717077/*
11. Nikitina O. V., *Ekologicheskoe sostoyanie prirodnih resursov Central'nogo Chernozem'ya i tekhnologii ih uluchsheniya / O.V. Nikitina, E. A. Bessonova, A. I. Stifeev, V. I. Lazarev, P. O. Brideskaya // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva, 2023. - №1. – S. 73-83. DOI: 10.36508/RSATU.2023.63.17.010*
12. Popova, N.V. *Tyazhelye metally v okruzhayushchej srede / N.V. Popova.— Yakutsk : Yakutskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2018 .— 32 s. — URL: https://rucont.ru/efd/643362.*
13. *Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Sanitarno-zashchitnye zony i sanitarnaya klassifikaciya predpriyatij, sooruzhenij i inyh ob"ektov" [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: http:// www.tehbez.ru, svobodnyj Data vvoda 24.11.2023*
14. Sedyh, V.A. *Izmenenie podvizhnosti tyazhelykh metallov v dernovo-podzolistykh pochvah v zavisimosti ot stepeni ih gumusirovannosti i primeneniya vysokih doz organicheskikh udobrenij / V.A. Sedyh, A.D. Kashanskij, E.G. Himina, P.Yu. Karaush // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii, 2011. - №3 – S. 22-29. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-podvizhnosti-tyazhelyh-metallov-v-dernovo-podzolistykh-pochvah-v-zavisimosti-ot-stepeni-ih-gumusirovannosti-i-primeneniya*

15. Stifeev, A.I. *Sistema racional'nogo ispol'zovaniya i ohrana zemel' : ucheb. posobie* / A.I. Stifeev, E.A. Bessonova, O.V. Nikitina. - Sankt-Peterburg: Lan', 2021. - 168 s. - URL: <https://e.lanbook.com/book/171875>
16. Carenko, V.P. *Urozhajnost' i kachestvo kartofelya i yachmenya, vyrashchennyh na dernovo-podzolistoj pochve, zagryaznennoj tyazhelymi metallami v zavisimosti ot razlichnyh sistem udobreniya* / V.P. Carenko, D.A. Ovsyanko // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016. - №45- S. 55-69. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urozhaynost-i-kachestvo-kartofelya-i-yachmenya-vyrashchennyh-na-dernovo-podzolistoy-pochve-zagryaznennoy-tyazhelymi-metallami-v>
17. Shkhapacev, A.K. *Agroekologicheskaya ocenka sistemicheskogo primeneniya sredstv himizatsii v zemledelii na nakoplenie tyazhelyh metallov v pochve* / A.K. Shkhapacev, Yu.N. Ashinov, T.V. Kononova // *Vestnik AGU*, 2018. - №2(221). - S. 113-118. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agroekologicheskaya-otsenka-sistemicheskogo-primeneniya-sredstv-himizatsii-v-zemledelii-na-nakoplenie-tyazhelyh-metallov-v-pochve>