

способствующий повышению каталитической активности, тип катализатора и вещества, для которых данные катализаторы наиболее активны. Наиболее восприимчивыми к плазменной обработке оказались фотокатализаторы на основе ZnO и гибридные катализаторы, модифицированные плазмонными наночастицами ZnO/Ag, обработанные в ДБР, а также нано катализаторы на основе TiO₂, покрытые полимерной наноразмерной пленкой. В результате воздействия плазмы константы скоростей фотодеградации МО и кофеина увеличиваются в 2–8 раз.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Конвергенция-2025», задание 2.2.02, НИР 1 «Разработка основ комбинированного воздействия плазмы, электромагнитных полей и бихроматического лазерного излучения на материалы и биологические объекты для использования в новых технологиях» и НИР 8 «Создание научных основ плазмоактивированного взаимодействия наночастиц с поверхностью функциональных материалов с целью разработки новых методов направленного синтеза и модификации наноструктурированных каталитических материалов». Авторы благодарят Щербович А.А. (МГЭИ им.А.Д.Сахарова БГУ) за синтез коллоидов наночастиц и помощь в проведении экспериментов и д-ра Ф.Брюзера (Лейбниц-Институт физики и технологии плазмы г. Грайфсвальда, Германия) за обработку в плазме фотокатализаторов на основе TiO₂.

ЛИТЕРАТУРА

1. Analytical Detection of Pesticides, Pollutants, and Pharmaceutical Waste in the Environment / E. Materón [et al.] // *Nanosensors for Environmental Applications. Environmental Chemistry for a Sustainable World* : vol 43. / ed. K. Tuteja [et al.]. – Cham, 2020. – Ch. 3. – P. 87-127.
2. Photocatalytic Degradation of Caffeine as a Model Pharmaceutical Pollutant on Mg Doped ZnO- Al₂O₃ Heterostructure / F. Elhalil [et al.] // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. – 2018. – Vol. 10. – P. 63–72.
3. A comparative study on photocatalytic activity of ZnO-based photocatalysts treated by dielectric barrier discharge plasma / N. A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2020. – V. 24. – № 4. – P. 275-291.
4. Plasma-assisted synthesis of polymer-capped dye-sensitized TiO₂-based photocatalysts for methyl orange and caffeine photodegradation / N. A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2021. – V. 25. – № 3. – P. 59-74.
5. Effect of DBD-plasma treatment on activity of ZnO-based photocatalysts impregnated with silver nanoparticles / N. A. Savastenko [et al.] // *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*. – 2022. – V. 26. – № 6. – P. 25-42.

ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА НА ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ THE EFFECT OF AGROCHEMICAL RECLAMATION OF CONTAMINATED CHERNOZEM ON THE MOBILITY OF HEAVY METALS

О. В. Черникова, Ю. А. Мажайский¹
O. V. Chernikova, Yu. A. Mazhayskiy

*ФКОУ ВО Академия права и управления
Федеральной службы исполнения наказаний, г. Рязань, Россия
chernikova_olga@inbox.ru*

Academy of Law Management of the Federal Penal Service of Russia, Ryazan, Russia

На оподзоленном черноземе, где моделировался повышенный уровень загрязнения тяжелыми металлами, наблюдалась определенная динамика в подвижности экотоксикантов в зависимости от внесенных агрохимических мелиорантов в почву. Применение систем удобрений сдерживало вынос Zn и Cu в грунтовые воды, но высокие дозы фосфатов (P120 – ежегодно) наоборот повышали миграцию Cd, Pb, Cu во внутрипочвенные воды. Органическая и органо-минеральная системы удобрений снижали вынос кадмия в инфильтрационные воды.

On the podzolized chernozem, where an increased level of heavy metal pollution was modelled, a certain dynamics in the mobility of ecotoxicants was observed, depending on the agrochemical ameliorants introduced into the soil. The use of fertilizer systems restrained the removal of Zn and Cu into groundwater, but high doses of phosphates (P120 – annually), on the contrary, increased the migration of Cd, Pb, Cu into subsurface waters. Organic and organo-mineral fertilizer systems reduced the removal of cadmium into infiltration waters.

Ключевые слова: чернозем, тяжелые металлы, система удобрений, агрохимическая мелиорация.

Keywords: chernozem, heavy metals, fertilizer system, agrochemical reclamation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-46-50>

В настоящее время гармония экологического равновесия в ряде регионов земного шара нарушена. Следствием стало увеличение объема вредных веществ, которые сбрасываются в воду, воздух, на поверхность почвы промышленными, сельскохозяйственными, химическими и другими предприятиями. Все отрицательные непредвиденные последствия антропогенной деятельности человека оказывают существенное влияние на биохимический режим окружающей природной среды. Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) – один из наиболее опасных видов антропогенной деградации экосистемы. Экологические последствия загрязнения непосредственно зависят от того, как прочно и много почвой удерживаются поллютанты, как сильно изменяются ее абиотические и биотические свойства под влиянием загрязнения, а также как данные изменения влияют на плодородие почв и их способность защищать сопредельные среды от загрязнения.

Попавшие в почву ТМ фиксируются гумусосодержащими горизонтами. При этом сама почва, являясь природным телом, становится при загрязнении вторичным источником загрязнения природных вод, приземного воздуха, растениеводческой продукции.

При загрязнении почв тяжелыми металлами ухудшается их фосфатный режим в связи с образованием труднорастворимых осадков фосфатов, а также азотный режим вследствие ингибирования микроорганизмов; ослабляется гумусонакопление в связи с меньшим поступлением растительных остатков в почву, происходит ингибирование микробиологической активности; требуются дополнительные дозы CaCO_3 для осаждения тяжелых металлов. Все вышеизложенное определяет необходимость дополнительных затрат на окультуривание почв и меньшую эффективность применения минеральных удобрений и в целом антропогенного воздействия.

Являясь центральным звеном биогеоценозов, почвенный покров осуществляет в биосфере экологическую функцию, проявление такой уникальной функции почв может быть возможным только при высоком уровне их плодородия [1].

В данное время существует проблема повышения и сохранения плодородия почв, как основы устойчивого развития сельского хозяйства России, так как ввиду ряда субъективных и объективных причин применение агрохимических средств ограничено [2]. На сегодняшний день практически не производят известкования, не вносят калийные и фосфорные удобрения, как следствие, регистрируется снижение кислотности и содержания подвижных форм питательных веществ в самых разных почвах – от черноземов до дерново-подзолистых. В результате экстенсивного продолжительного без применения удобрений использования выщелоченного чернозема произошло снижение гумуса: в слое 0–20 и 20–40 см, составило, 4,77 и 4,93 %, соответственно, при исходной величине 5,6 % в слое 0–20 см.

На загрязненных ТМ почвах ведение земледелия становится одной из актуальных практических задач. Разработка агрохимических научно обоснованных приемов детоксикации почв при разных уровнях загрязнения ТМ актуальна и обязательна для получения чистой растительной продукции, отвечающей всем санитарно-гигиеническим требованиям, ведения устойчивого земледелия, а также недопущения дальнейшего распространения экотоксикантов через почву в грунтовые воды и растения, для предотвращения отравления человека и животных.

Параметры режимов плодородия почвы определяются агрофизическими свойствами, климатическими условиями, гранулометрическим, химическим и минералогическим составом, потенциальным запасом элементов питания, а также содержанием их подвижных форм, интенсивностью микробиологических процессов, запасами гумуса, реакцией и иными физико-химическими свойствами.

Токсичность химических отходов для живых организмов, в которых содержатся и тяжелые металлы, определяется как свойствами и уровнем концентраций самих элементов, так и их миграционной способностью в различных компонентах экосистемы, а также степенью накопления в органах и тканях [3].

Разработка приемов восстановления плодородия загрязненных тяжелыми металлами почв, являются в современных условиях весьма актуальными задачами. Закрепление (фиксация) тяжелых металлов в почве является одним из способов снижения их поступления, как в растения, так и в природные воды.

Нормальное развитие растений возможно только в условиях, создаваемых благоприятным сочетанием основных факторов их жизни - освещенностью, температурой окружающей среды, оптимальным содержанием элементов питания в почвенном растворе и влажностью. В последнее время к выше перечисленным факторам выдвигается фитотоксичность тяжелых металлов и микроэлементов.

В этих условиях действие генетического контроля снижается, в результате чего нарушаются сложившиеся эволюционно соотношения элементов. Но реакции растений на химические стрессы в течение онтогенеза и филогенеза вырабатываются механизмы, приводящие к адаптации и нечувствительности к изменению и нарушению химического баланса в окружающей среде. Поэтому реакции растений на тяжелые металлы в почве и окружающем воздухе должны всегда исследоваться для конкретной системы почва – растение [4].

При питании растений из уравновешенных растворов с низкой концентрацией элементов происходит регулирование поглощения их. При повышении концентрации процессы регуляции уменьшаются. Хотя некоторое повышение уровня загрязнения почвы не будет оказывать отрицательного влияния на растение, благодаря инактивации токсикантов за счет буферной способности почв. Однако защитные свойства почв безграничны.

Миграционная способность ТМ зависит от совокупности свойств почвы, химических загрязнителей, ландшафтной обстановки [5]. Загрязняющие вещества, выпадающие из атмосферы, как правило, концентрируются в гумусовых горизонтах почвы. Однако на малобуферной почве под влиянием физико-химических, биологических

и других процессов из обменно-поглощенного состояния они переходят в почвенный раствор и с нисходящими потоками могут перемещаться в нижележащие слои.

Инфильтрация ТМ через почвенный профиль сопровождается выведением органического вещества и связанных с ним металлов. Наиболее интенсивен этот процесс для металлов, ассоциированных с высокомолекулярными фракциями растворимого органического вещества – для Cu и Pb. Комплексообразование Cd и Zn в основном с низкомолекулярными фракциями обуславливает миграцию преимущественно в составе истинных растворов.

Цель данной работы заключается в установлении влияния систем удобрений, применяемых для санации загрязненного чернозема оподзоленного, на подвижность тяжелых металлов.

Опыт проводился в лизиметрах, заряженных черноземом оподзоленным. Было разработано шесть вариантов опыта, отличающихся по соотношениям и дозам вносимых минеральных и органических удобрений (табл. 1).

Таблица 1

Схема закладки и проведения полевого лизиметрического опыта

№№ вариантов	Названия вариантов, системы применения удобрений в звене севооборота	Сокращения в таблицах названия вариантов
1	Без удобрений	Б/у
2	Навоз КРС 100 т/га – периодическое внесение	H100
3	Навоз КРС 100 т/га – периодическое внесение, N 60 – 90 P 60 K 60 – 120 – ежегодно в зависимости от культуры	H100 N1P1K1
4	P2 – периодическое внесение фосфора, 1 раз в 2 года в дозе 120 кг/га, ежегодное использование N 60 – 90 K 60 – 120	P2N1K1
5	P4 – периодическое внесение фосфора, 1 раз в 4 года 240 кг/га, ежегодное использование N 60 – 90 K 60 – 120	P4N1K1
6	P2(е) – ежегодное внесение повышенной дозы фосфора (120 кг/га) и оптимальных доз N 60 – 90 K 60 – 120	P2(е)N1K1

Оподзоленный чернозем тяжелосуглинистый был загрязнен растворимыми солями Zn, Cu, Pb, Cd. При этом использовались химически чистые соли: $Pb(CH_3COO)_2$; $Zn(CH_3COO)_2 \times 2H_2O$; $CdSO_4$; $CuSO_4 \times 5H_2O$. Тем самым создан повышенный фон загрязнения на основании регионального геохимического фона и градиций уровней. Общее содержание в почве составило: Cd – 0,6 мг/кг, Cu – 90 мг/кг, Zn – 110 мг/кг, Pb – 40 мг/кг.

Имеются данные по установлению тесной связи между валовым содержанием Zn, Pb, Cd и их подвижными формами, извлекаемыми ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) pH 4,8. Поэтому в наших исследованиях, по изучению реабилитационных мероприятий загрязненных почв тяжелыми металлами, проведено определение подвижных форм, их мобильной части. Для экстракции подвижных форм тяжелых металлов использовали ААБ pH 4,8 (табл. 2).

Подвижные формы металлов – это наиболее агрессивная часть валового содержания ТМ, которые могут поступать непосредственно в корневую систему. Эти подвижные формы участвуют в миграционных потоках, в том числе во внутрипрофильных. Поэтому жидкая фаза почв является непосредственным источником ТМ для высших растений и почвенной биоты.

Исследования проводили в ежегодных почвенных пробах, которые отбирались после учета урожая.

В наших условиях, загрязнение почв тяжелыми металлами проведено осенью 2004 года водорастворимыми солями. Известно, при внесении соли в почву, благодаря сорбционным процессам ТМ поглощаются почвенными коллоидами, которые представлены в почве минеральными, органическими и органо-минеральными соединениями. Ввиду полифункциональности почвы как сорбента ее сорбционная емкость будет неодинакова к различным ТМ, их катионам. А скорость сорбции элементов может лимитироваться процессами внутренней диффузии молекул, ионов. Она может ограничиваться скоростью растворения почвенных соединений, участвующих в осаждении загрязняющих веществ. Следовательно, при попадании загрязняющих веществ в почву требуется значительное время, чтобы установить сорбционное равновесие.

В водном режиме чернозема выделяются два периода: 1) иссушение почвогрунта, охватывающее лето и первую половину осени, когда влага интенсивно расходуется растениями и испаряется из-за господства восходящих токов над нисходящими; 2) промачивание, начинающееся со второй половины осени, прерывающееся морозами и продолжающееся весной, благодаря талым водам и весенним осадкам. Они определяются, прежде всего, количеством осадков, их распределением во времени и температурой. Летние осадки увлажняют лишь пахотный слой. Запас влаги в нижних горизонтах в черноземах создается осадками холодного периода. Поэтому осадки позднего периода создают дополнительное увлажнение, которое способствует загрязнению тяжелыми металлами внутрипочвенных вод.

Исследования, проведенные в лизиметрическом опыте, по изучению химического состава внутрипочвенных вод показывают, что загрязненный чернозем обладает большой поглощательной способностью ТМ. Основная масса ТМ, внесенных в виде водорастворимых солей, была адсорбирована почвой и переведена почвенными

коллоидами оподзоленного чернозема в слабомигрирующие соединения. Загрязненная почва первого варианта в годы исследований способствовала миграции во внутрипочвенные воды Cu и Cd, а Pb и Zn больше задерживаются от вымывания по сравнению с природными почвами

По годам исследований наблюдалась вариабельность в количествах подвижных форм тяжелых металлов (табл. 2). Средние показатели содержания металлов в ацетатно-аммонийном буфере указывают на то, что их экстрагируется значительно больше на варианте без удобрений. Максимальная степень подвижности отмечена у Cd (73,3 %). Все системы удобрений, применяемые для санации загрязненного ТМ чернозема, в среднем снижали накопление подвижных соединений Pb, Cd, Zn, Cu. Тем самым снижалась и степень их подвижности. Органо-минеральная система удобрений уменьшала степень подвижности меди с 15,7 % до 8,3 %, цинка с 42,8 % до 21,2 %, кадмия с 73,3 % до 51,6 %, свинца с 53,5 % до 25,5 %. Практически близки изменения этого показателя было на варианте ежегодного внесения P2(e)N1K1. Особенно на этом варианте снизилось накопление подвижного Cd. Другой экотоксикант Pb максимально уменьшил степень подвижности от периодического использования фосфорных удобрений (P4) на фоне N1K1. Она понизилась с 53,5 % (вариант Б/у) до 21,5 % на варианте P4N1K1.

Итак, изученные внесения разных систем удобрений на оподзоленном черноземе значительно снимают и снижают агрессивность поллютантов.

Таблица 2

*Влияние систем удобрений по изучению реабилитации
загрязненного тяжелыми металлами оподзоленного чернозема*

№ варианта	Варианты опыта	Элемент	Количество элемента, извлекаемого из почвы ААБ _{pH=4,8} , мг/кг				
			I	II	III	Среднее, мг/кг	%*
1	Б/у	Zn	26,3	45,3	69,7	47,1	42,8
		Cu	32,3	10,1	19,5	14,1	15,7
		Pb	31,2	10,7	22,2	21,4	53,5
		Cd	0,47	0,29	0,57	0,44	73,3
2	H100	Zn	17,3	36,2	26,1	26,5	24,1
		Cu	11,1	11,4	4,1	8,9	9,9
		Pb	20,4	12,9	9,8	14,4	36,0
		Cd	0,49	0,25	0,30	0,35	58,3
3	H100N1P1K1	Zn	4,2	26,2	39,4	23,3	21,2
		Cu	13,2	3,6	5,7	7,5	8,3
		Pb	10,0	11,0	9,7	10,2	25,5
		Cd	0,50	0,17	0,27	0,31	51,6
4	P2N1K1	Zn	60,0	37,9	36,8	44,9	40,8
		Cu	31,1	6,7	7,8	15,2	16,9
		Pb	12,5	7,1	11,2	10,3	25,8
		Cd	0,41	0,26	0,32	0,33	55,0
5	P4N1K1	Zn	67,0	63,5	47,4	59,3	53,9
		Cu	14,0	7,5	3,8	8,4	9,3
		Pb	7,2	10,2	8,5	8,6	21,5
		Cd	0,39	0,32	0,30	0,34	56,7
6	P2(e)N1K1	Zn	7,8	64,0	44,1	38,6	35,1
		Cu	0,7	13,0	6,4	6,7	7,4
		Pb	2,5	20,7	12,2	11,8	29,5
		Cd	0,13	0,25	0,25	0,21	35,0

Примечание: * приводятся данные по степени подвижности ТМ (отношение мг/кг в ААБ к валовому содержанию в почве, выраженное в %)

Результаты данных исследований указывают на то, что органическое вещество навоза связывает растворимые соли металлов в металлоорганические комплексы, а фосфаты удобрений переводят их в труднорастворимые соединения. Тем самым несколько улучшают (оздоравливают) загрязненную ТМ почву.

Как следствие, токсические соединения значительно меньше могут мигрировать во внутрипочвенные воды и поступать в сельскохозяйственную продукцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. Хими́на, П.Ю. Карауш // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3. – С. 17–25.
2. Евтюхин, В.Ф. Влияние систем удобрений на продуктивные функции сельскохозяйственных культур в условиях смоделированного загрязнения чернозема тяжелыми металлами / В.Ф. Евтюхин, А.В. Ильинский, О.В. Черникова // Агрохимический вестник. – 2011. – № 3. – С. 24–26.
3. Агроэкология = Agroecology : Учеб. для студентов вузов по агроном. специальностям / [В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев [и др.]; Под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса. - Москва : Колос, 2000. – 534 с.
4. Черникова, О.В. Экологическое обоснование комплексных приемов реабилитации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Рязанской области). Дисс. на соиск. уч. степ. к. б. н. – Рязань, 2010. – 172 с.
5. Евтюхин, В.Ф. Влияние агрохимической мелиорации загрязнённого тяжёлыми металлами оподзоленного чернозёма на урожайность сельскохозяйственных культур / В.Ф. Евтюхин, О.В. Черникова, А.Н. Карпов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 17–19.

ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ: АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАЗВИТИЯ FOREST INDUSTRY OF THE KRASNOYARSK REGION: ANALYSIS OF INFORMATION BASES AND THE ENVIRONMENTAL ASPECT OF DEVELOPMENT

И. Т. Золотухина¹, С. О. Медведев¹, Е. В. Петрова¹
I. T. Zolotukhina, S. O. Medvedev, E. V. Petrova

*¹Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета
науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,
г. Лесосибирск, Российская Федерация
irinalsib88@gmail.ru*

*Lesosibirsk branch of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Lesosibirsk, Russian Federation*

В статье рассмотрено нарушение баланса между убылью и восстановлением лесных массивов. В качестве проблем выделены лесные пожары и последствия лесозаготовительной деятельности. Приведены результаты действующих проектов по защите лесов. Предложены рекомендации по восстановлению лесных ресурсов.

The article considers the violation of the balance between the decline and restoration of forests. Forest fires and the consequences of logging activities are highlighted as problems. The results of existing forest protection projects are presented. Suggested recommendations for the restoration of forest resources.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесные пожары, экологическая проблема.

Keywords: reforestation, forest fires, environmental problem.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-50-53>

По запасам лесных ресурсов в России Красноярский край находится на втором месте. Площадь лесного массива края составляет 158,7 млн га, это около 42 % от площади лесного массива Сибирского федерального округа [1]. Для жителей Красноярского края лесопромышленный комплекс выступает основой экономики, поскольку обеспечивает половину валового регионального продукта. Данная область является одной из крупнейших в стране по производству лесопромышленной продукции, существенная часть которой экспортируется. Предприятиями лесной отрасли края производится 17 % общероссийского выпуска пиломатериалов. В перспективе в крае планируется начало реализации инвестиционных проектов по созданию современных высокотехнологичных целлюлозно-бумажных производств на территории северной группы районов края [1].

Несмотря на тот факт, что лес относится к возобновляемым ресурсам, очевидно, что возобновление лесного фонда (долгое и трудоемкое) не успевает за наращиванием производства в лесной отрасли. Кроме того, большую роль в исчезновении лесных массивов играют многочисленные лесные пожары, являющиеся, в большинстве своем, результатом антропогенной деятельности. Площадь лесов края, подвергшаяся пожарам в течение последних лет представлена на рис. 1 [2]. В результате это приводит к истощению лесных ресурсов в Красноярском крае из года в год.