

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

УДК 631.4

Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н.

Отдел комплексных научных исследований Карельского научного центра РАН

Аннотация

В статье приведены результаты исследования воздействия выбросов автомобильного транспорта на почвы мелиорированных агроландшафтов. Интенсивное поступление в составе техногенной пыли макро- и микроэлементов (W, Mo, Sn, Sb, Ti, Mg, K, Cd, Cu, V, Co, Mn и др.), превосходящих фоновые концентрации в 1,5–74,0 раза, приводит к их повышенному содержанию в пахотном слое сельскохозяйственных угодий. На данных территориях содержание в почвах Zn, Pb, Mn составило от 1,5 до 2,2 ПДК. Естественные концентрации Mn, Ba, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, W, Mo, Fe, Cd, Sn, Ti, Sb превышены в 2,0 – 19,9 раза. Среди приоритетных загрязнителей в почвах выявлены W, Mo, Fe, Pb, Mn, Co, Sn и Sb. Суммарные показатели загрязнения свидетельствуют о том, что вся исследуемая территория почв сельскохозяйственных угодий вблизи автодорог загрязняется в разной степени: из них 77,8% от всей площади имеет минимальный низкий уровень загрязнения (от 50 до 150 м от автодороги) и 22% – средний (15 м). В целом, интенсивность воздействия на почвы при автомобильном движении характеризуется минимальным низким уровнем загрязнения.

Ключевые слова: АЭРОТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ, ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТАЯ ПОЧВА, СУММАРНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, СЕВЕРО-ЗАПАД РОССИИ

Введение

В связи с усилением антропогенного влияния на природную среду, важным показателем происходящих изменений, является оценка состояния почвенного покрова. Буферные свойства почв по отношению к различным поступающим химическим

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

=====

веществам неодинаковы [1–3]. Учет элементного состава загрязнителей, направленность ответных реакций почв на конкретные типы техногенного воздействия, а также свойства самой почвы важны для прогноза изменений почвенно-экологической обстановки [4, 5]. Аккумуляция основной части поллютантов наблюдается преимущественно в гумусово-аккумулятивном почвенном горизонте, где они связываются алюмосиликатами, несиликатными минералами, органическими веществами за счет различных реакций взаимодействия [6].

В антропогенно изменённых экосистемах нарушаются сложившиеся в естественных условиях геохимические потоки макро- и микроэлементов, в биологический круговорот включаются повышенные концентрации веществ [7]. В результате аэротехногенного загрязнения изменяются свойства почв агроценозов; кислотность, состав почвенного поглощающего комплекса, водно-воздушный режим. Это влечет за собой снижение устойчивости почв к загрязнению [8], повреждению сельскохозяйственных растений, и, следовательно, снижению урожайности последних.

Выбросы дорожно-транспортного комплекса накапливаются в почвах постепенно и могут там сохраняться в течение длительного времени даже после устранения полотна автомобильной трассы, а также мигрировать в соподчиненные ландшафты [9]. Химический состав и количество поступающей пыли в результате движения автотранспорта зависит от ряда факторов: от интенсивности и скоростного режима транспортного потока, вида и качества топлива, горюче-смазочных материалов, состояния двигателей транспортных средств, качества дорожного покрытия и т.д. Под влиянием таких выбросов происходит изменение агрохимических показателей почвы, снижается микробиологическая активность почвенно-биотического комплекса, аккумулируется широкий ряд элементов, тяжелых металлов, превышающих фоновые и предельно допустимые их концентрации [10, 11].

Большое количество исследований посвящено изучению химического состава отходов автомобильно-дорожного комплекса, в результате которых было установлено, что в процессе истирания шин поступают Cd, Cu, Pb, Zn [12 – 15]. В выбросах в ходе эксплуатации тормозных колодок выявлены Zn, Cu, Ti, Fe, Cu, Pb, Ba и др. [16–20], кузова автомобиля – Zn и Fe [21]; лакокрасочного покрытия – Pb и Ti [22] и т.д.

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

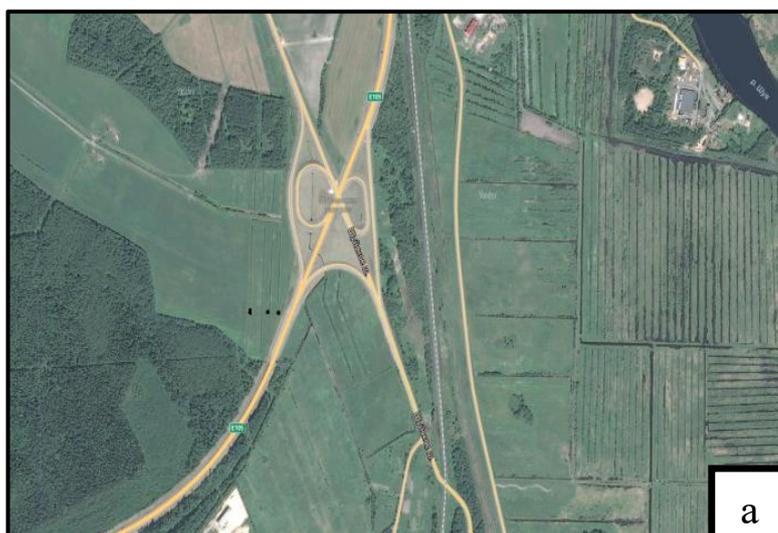
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Исследования Тишкина С.А. [23], Гарицкой М.Ю. [24], Журавлевой М.А. [25], Krailertrattanachai N. [26], Mleiki A. [27] и др. посвящены данной проблеме и на протяжении длительного времени тема поступления выбросов дорожно-автомобильного комплекса в окружающую среду остается актуальной [12, 15, 28]. В связи с быстрым темпом развития дорожно-транспортного комплекса, несмотря на изученность данной проблематики, исследования, посвященные состоянию почв агроландшафтов под воздействием автотранспорта на Северо-Западе России, по-прежнему остаются актуальными и значимыми.

Таким образом, **целью наших исследований** явилось определение степени загрязнения почв сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия автомобильного транспорта.

Объекты и методы исследования

Изучение влияния выбросов автомобильного транспорта на почвы агроландшафтов выполнено в 2018–2022 гг. на примере трех придорожных участков в непосредственной близости к федеральным автомобильным трассам в Республики Карелия (рис. 1, табл. 1). Объектами для исследования выбраны наиболее типичные для этой природно-климатической зоны дерново-подзолистые почвы мелиорированных агроландшафтов, находящиеся под аэротехногенным воздействием автомобильного транспорта. Сельскохозяйственные угодья осушены открытой сетью каналов, используются под сенокосы.



Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных
 агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

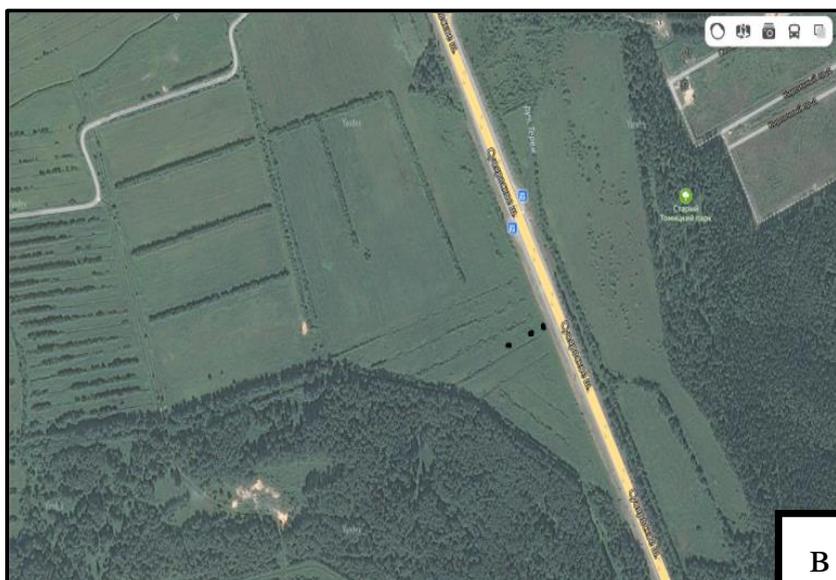
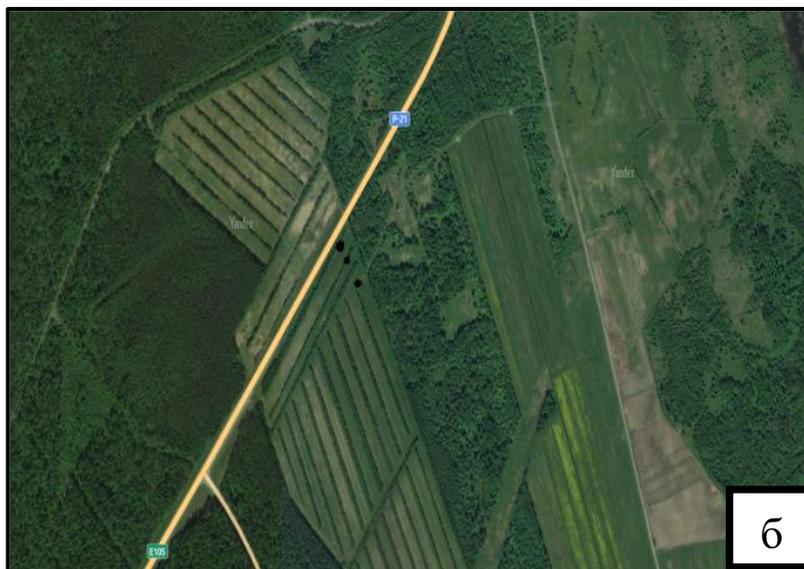


Рис. 1. Спутниковые снимки осушенных агроландшафтов вблизи федеральных автомобильных трасс (на 15.03.2022 г.)

Примечание: а) объект № 1; б) объект № 2; в) объект № 3; • - места отбора проб.

На каждом из объектов по градиенту удаленности от автодороги заложили по три пробных площади на расстоянии 15, 50, 150 м. Пробные площади имеют форму прямоугольников со сторонами 50 * 15 м ($S = 750 \text{ м}^2$), расположенных параллельно трассе. Характеристика объектов исследования представлена в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Показатель	Объект		
	№ 1	№ 2	№ 3
Месторасположение	Республика Карелия, Прионежский район	Республика Карелия, Кондопожский район	Республика Карелия, Прионежский район
Координаты	61°87'68" с.ш. 34°23'98" в.д.	62°08'78" с.ш. 34°26'37" в.д.	61°83'24" с.ш. 34°20'59" в.д.
Общая площадь осушенных с/х угодий, га	253	125	209
Участок мелиорации	«Колино-Долгий бор»	«Суна»	«Томицы»
Использование в с/х производстве	сенокосы	сенокосы	сенокосы
Почва	агрозем альфегумусовый глеевой постагрогенный	агрозем текстурно-дифференцированный постагрогенный на двучленных отложениях	агрозем текстурно-дифференцированный постагрогенный глеевой
Фитоценоз	разнотравно-злаковый	разнотравно-злаковый	разнотравно-злаковый

Фоновые пробные площади заложили также в этой же природно-климатической зоне на мелиорированных агроландшафтах на соответствующих типах почв. Участки находились на значительном удалении от источников техногенного воздействия. Размер фоновых территорий совпадал с площадью загрязненных участков ($S = 750 \text{ м}^2$).

Выбор мест закладки пробных площадей, как на загрязненных территориях, так и на фоновых, был обусловлен необходимостью репрезентативной выборки с учетом площади агроландшафта, конструкцией открытой осушительной сети на сельскохозяйственных угодьях, наличием древесно-кустарниковой растительности.

На каждой пробной площади заложили полнопрофильные почвенные разрезы и прикопки (1 разрез и 6 прикопок) и отобрали образцы почв в 7-микратной повторности с каждого генетического горизонта для определения агрохимических показателей. Описание строения профиля и изучение морфологических горизонтов выполняли с помощью морфогенетического метода. Для определения типа почв пользовались «Диагностикой и классификацией почв России» (2004). Почвенные образцы отобрали и подготовили согласно стандартным методикам отбора почвенных образцов (ГОСТ

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 518084), определение подвижных соединений фосфора (спектрофотометр СФ-2000 (Россия)) и калия (атомно-абсорбционный спектрофотометр АА-7000 (Shimadzu, Япония)) по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91), содержания углерода органического вещества почв определяли на CHN анализаторе (2400 Series II CHNS/O Elemental Analyzer (Perkin Elmer, США), кислотность почв – потенциометрически (рН-метр Hanna (Германия)); зольность - сжигание в муфельной печи ЭКПС 10 (Россия) с гравиметрическим окончанием (Весы Sartorius CP124S (Германия)).

В образцах почв определили содержание макроэлементов: Al, Na, Mg, Si, P, K, Ca, Cl; S; микроэлементов: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Li, Cu, Zn, Mo, As, Se, Br, Cd, Pb, Ar, Sr, B, W, Ba, Bi, Ga, Ge, Sn, Be, U, Zr, Cs, Ag, Rb, Th, Ir, Au, Tl рентгенофлуоресцентным методом на приборе ARL ADVANT'X (Thermo Scientific, Швейцария) и методами МС-ИСП с использованием масс-спектрометра Series 2 Thermo Fisher (США). Полученные значения соотнесли с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ в почвах (ГН 2.1.7.2041-06) и фоновыми данными. В соответствии с методикой [29, 30] произвели расчет коэффициентов концентрации (K_c) химических веществ в почвах и суммарных показателей загрязнения (Z_c).

Расчет коэффициентов концентрации (K_{ci}) элементов относительно фонового содержания элементов и ПДК проводили по формулам:

$$K_{ci} = C_i / C_{\phi} \text{ и } K_{ПДК} = C_i / C_{ПДК}$$

где C_i – фактическое содержание i -го химического элемента в почвах, мг/кг; C_{ϕ} – фоновое содержание i -го химического элемента в почвах, мг/кг; $C_{ПДК}$ – предельно допустимая концентрация i -го химического элемента в почве, мг/кг.

Суммарный показатель загрязнения (Z_c), характеризующий эффект воздействия группы элементов показывает во сколько раз масса химических элементов, выпавших на данной территории больше, чем на фоновых участках. Суммарный показатель загрязнения, равный сумме коэффициентов концентрации химических элементов, рассчитывали по следующей формуле:

$$Z_c = K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n - 1),$$

где n — количество учитываемых химических элементов; K_{ci} — коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения, превышающий единицу.

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

Категории опасности загрязнения почв по суммарному показателю определены в соответствии с методическими указаниями по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами [31]: $Z_c < 16$ – допустимая; 16–32 – умеренно опасная; 32–128 – высоко опасная; $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасная.

Для характеристики почвенно-геохимических процессов перераспределения вещества в системе почва-порода использовали коэффициент радиальной дифференциации (R), который представляет собой отношение содержания химического элемента в отдельном генетическом горизонте почвы к его содержанию в почвообразующей породе:

$$R = C_{г.г.п.} / C_{п.о.п.},$$

где $C_{г.г.п.}$ – содержание химического элемента в генетическом горизонте почвы; $C_{п.о.п.}$ – содержание в почвообразующей породе.

Каждый горизонт профиля характеризуется определенным рядом радиальной дифференциации [32], который позволяет судить о накоплении ($R > 1,0$) или выносе ($R < 1,0$) химических элементов в каждом горизонте почвенного профиля, по сравнению с почвообразующими породами.

Нашими предварительными исследованиями установлено, что автомобильный транспорт в Карелии является значимым мобильным источником поступления антропогенных выбросов с широким спектром химических элементов [33]. Атмосферные осадки в виде снега, формирующиеся в условиях влияния автотранспорта, имеют средний и низкий уровень пылевой нагрузки ($P_n = 129,8 - 385,9$ кг/км²*сут). Суммарный показатель загрязнения в зависимости от концентрации элементов в составе снега, имеет средний и высокий уровень ($Z_c = 95,4 - 170,1$). Поступление в высоких концентрациях Mo, W, Ti, Al, K, Cu, Na, Mn, Ca, Mg, Fe, Ni, Cr, Cd ($K_c = 1,5-74$ относительно фоновых условий) в составе пыли характерно для всех исследованных агроландшафтов вблизи федеральных автодорог. Превышение ПДК/ОДК обнаружено для следующих микроэлементов: Cd – до 10 раз, Zn – 9,4, Co – 9,0, Mo – 7,9, Cu – 3,2, Ni – 2,4, Sb – 3,3, Ti – 3,2, Fe – 2,1. Техногенная нагрузка (Z_p) на агроландшафт на близких к дороге участках всех объектов определена как средняя (1715,6–2723,2).

Результаты исследований подвергались математической обработке. Статистическая обработка данных осуществлялась в среде «Microsoft Excel» и «Statgraphics 2.1». На

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

=====

диаграммах и в таблицах приведены средние значения с учетом указанных повторностей, а также их стандартные ошибки. Для оценки достоверности различий использовали t-критерий Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$. Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Результаты исследований

Оценка состояния почв мелиорированных агроландшафтов, находящихся под воздействием выбросов автотранспорта, выявила градиентное изменение ее агрохимических показателей. Агрогумусовая часть профиля почв на всех исследованных участках вблизи автомобильных трасс характеризуется кислой, слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды и варьирует от 4,23 до 6,06. Высокий pH_{KCl} является типичным при агрогенном использовании данного типа почв [34]. Однако наибольшие показатели зафиксированы на всех пробных площадях в дерновом слое на самой близкой (15 м) к дороге территории (объект № 1: 6,5 – 6,3 (ед. $pH_{KCl} \max - \min$); объект № 2: 6,7 – 6,3; объект № 3: 6,5 – 6,3). На этих участках почвенный раствор имеет реакцию близкую к нейтральной. По градиенту удаления от автотрассы на объекте № 1 и 3 обнаружено достоверное снижение этих значений в сторону слабо- и среднекислой реакции. Подщелачивание почвенного раствора на близлежащих участках к дороге может быть связано с поступлением на поверхность почвы химических соединений, входящих в состав противогололедных смесей [35], топливно-смазочных материалов, применяемых при эксплуатации автомобильных двигателей [36].

Градиентное изменение содержания органического углерода в профиле почв сельскохозяйственных угодий вне зависимости от пространственного градиента имеет регрессивно-аккумулятивный (объект № 1, 2) и недифференцированный (объект № 3) тип. Запасы C_{org} в пахотном горизонте (до 30 см) очень высокие (3,5 – 14,8 %), что характерно для почв при агрогенном использовании, и существенно увеличиваются по мере удаления от трассы. Достоверно значимые различия выявлены в слоях АУ, Р₁ между участками 15 и 150 м от дороги. Содержание азота в пахотном горизонте колеблется в широких пределах 0,04–1,71% и на большинстве придорожных участков вне зависимости от удаленности

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

выше оптимальных показателей (0,10–0,15 %) для агрогумусового слоя [37] – 0,2–1,71% (объект № 2 и 3).

Содержание подвижного фосфора по профилям характеризовалось регрессивно-аккумулятивным типом распределения, что свойственно почвам под многолетним агрофитоценозом и варьировало в широких пределах – 2,52 – 245,91 мг/100гр. Однако на большей части пробных площадей обеспеченность P_2O_5 агрогумусового горизонта характеризовалась высокой и очень высокой степенью (16,09 – 245,91 мг/100гр). Коэффициенты радиальной миграции фосфора в подгоризонтах пахотного слоя по отношению к почвообразующей породе указывают на сходную вышеуказанную тенденцию в его распределении по профилю, а также на более интенсивное накопление на близлежащих участках к автодороге по сравнению с дальними. Исследования [38, 39] демонстрируют, что фосфорсодержащие вещества имеют большое значение в выбросах транспортных средств и дорожной пыли и остаются проблематичным загрязнителем в выбросах транспортных средств. Анализ литературных данных [36, 40] относительно химического состава сульфатной золы моторных масел, несмотря на усиливающиеся современные тенденции производителей к снижению фосфорсодержащих веществ, указывает на значительное содержание в нем этого элемента: от 723 до 838 мг/кг. Избыточное поступление фосфора в почвы трансформирует стехиометрию C : N : P, в результате, происходит стимуляция разложения органических веществ, что ускоряет циклы питательных элементов в пресноводных водно-болотных экосистемах с дефицитом азота [41, 42].

Содержание подвижного калия в пахотном слое агроландшафтов на всех объектах исследования незначительно варьировало – и соответствовало средней и низкой степени накопления. С удалением от автодороги его накопление достоверно снижалось, что может указывать на техногенный характер его поступления. Аккумуляция K_2O в поверхностном слое отличалась сильной зависимостью от пространственного градиента ($r = 0,8$).

В результате анализа данных элементного состава в пахотном горизонте почв агроландшафтов на всех объектах выявлено превышение ПДК до 2,2 раза для Zn, Pb, Mn, а также увеличение содержания в 2,0 – 19,9 раз относительно естественных концентраций Mn, Ba, Zn, Pb, Ni, Cu, Co, W, Mo, Fe, Cd, Sn, Tl, Sb. В таблице 2 представлено

распределение тяжелых металлов в агрогумусовом слое в зависимости от кратности превышения фоновых значений.

Таблица 2. Распределение тяжелых металлов в почвах агроландшафтов при воздействии автотранспорта относительно фоновых показателей

Объект	Va	V	Cr	Zn	Pb	Ni	Cu	Co	W	Cd	Sn	Tl	Sb	Mn	Fe	Mo
	от 1 до 2 фоновых значений															
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
2	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
3	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-
от 2 фоновых значений и выше																
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
3	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+

Примечание: «+» – наличие или «-» отсутствие высокого содержания элемента в почвах.

Коэффициенты концентрации тяжелых металлов в почвах относительно ПДК/ОДК указаны в таблице 3. Содержание химических элементов, относящихся к I и II классу опасности, на них превышено до 2,2 раза: Zn – до 2,2ПДК; Pb – до 1,7ПДК и Mn – 1,5ПДК. В соответствии с методическими указаниями [29] уровень загрязнения определен как преимущественно низкий.

Таблица 3. Коэффициенты концентрации тяжелых металлов в почвах агроландшафтов относительно ПДК/ОДК

Объект	Класс опасности веществ						Уровень загрязнения*
	Высокоопасные		Умеренно опасные		Малоопасные		
	Zn	Pb	Ni	Cu	V	Mn	
1	-	1,1	1,1	-	-	-	низкий
2	-	-	-	-	-	-	допустимый
3	1,1 – 2,2	1,1 – 1,7	1,1 – 1,2	-	-	1,1 – 1,5	низкий

Примечание:* в соответствии с методическими рекомендациями [29].

Наибольшее количество тяжелых металлов, превышающих естественные концентрации до 19,9 раз, выявлено на объекте № 3. Среди приоритетных поллютантов в

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

почвах обнаружены следующие элементы: W, Mo, Fe, Pb, Mn, Co, Sn и Sb. Под влиянием автомобильного транспорта увеличение содержания поллютантов в почвах в 5 раз и более относительно фона выявлено для W, Mo и Sn.

Содержание элементов в поверхностных горизонтах почв агроландшафтов тесно коррелирует с химическим составом техногенной пыли для следующих элементов: W, Mo, Cu, Mn, Cr, Sn, Sb, Ti, Pb (табл. 4).

Таблица 4. Зависимость (r) содержания химических элементов в пахотном горизонте почв от выбросов автотранспорта

Объект	Ba	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	W	Mo	Cd	Ti	Cr	Sn	Sb
горизонт АУ															
1	0,28	0,08	0,76	0,43	0,49	-0,12	0,28	0,68	0,75	0,49	0,60	0,58	0,44	0,50	0,48
2	-0,09	-0,57	0,57	0,39	0,46	0,31	0,16	0,45	0,85	0,61	0,73	0,47	0,21	0,52	0,85
3	0,19	0,54	0,49	-0,46	0,44	-0,34	0,32	0,54	0,62	0,73	0,42	0,71	0,04	0,93	0,55
горизонт P ₁															
1	0,15	0,09	0,52	0,43	0,55	-0,03	0,22	0,52	0,55	0,46	0,48	0,55	0,39	0,57	0,89
2	0,24	0,29	0,63	0,48	0,76	0,24	-0,62	0,61	0,46	0,54	0,45	0,46	-0,01	0,78	0,49
3	0,25	0,12	0,77	-0,61	0,82	-0,30	0,09	0,69	0,71	0,72	0,46	0,77	-0,32	0,63	0,47

Примечание: – жирным шрифтом отмечены коэффициенты корреляции, обозначающие тесные взаимосвязи.

Пространственная дифференциация многих элементов в почвах зависела от градиентного критерия. В латеральном распределении Pb, Ba, Zn, Ni, Cu, Co, V, Fe в горизонтах АУ и P₁ обнаружены статистически значимые различия. Накопление этих элементов в почвах превышало в 2,0 – 8,3 раза фоновые показатели, а ПДК – 2,2 раза (для Zn). По мере удаления от источника загрязнения их содержание достоверно уменьшалось. Несмотря на высокие коэффициенты концентрации остальных поллютантов, на всех исследуемых территориях не выявлено существенной латеральной дифференциации в верхних горизонтах почвы.

При комплексной оценке техногенного воздействия наиболее интенсивное загрязнение пахотного горизонта наблюдалось на объекте (№ 3) (табл. 5).

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Таблица 5. Уровни загрязнения почв агроландшафтов в зоне воздействия автотранспорта (по суммарному показателю – Zc)

Объект	Почвенный горизонт	ПП 1	ПП 2	ПП 3	$\bar{\chi} / \sigma$
1	AУpa	7,31	7,00	6,64	8,40 / 6,14
	P ₁	8,02	5,91	6,20	
	P ₂	6,42	7,97	6,74	
	Bf	6,84	6,74	5,65	
2	AУpa	10,25	3,85	2,67	
	P ₁	3,88	2,07	3,00	
	P ₂	2,93	2,09	6,92	
	B ₂	2,58	3,07	4,65	
3	AУpa	23,65	29,97	15,62	
	P ₁	17,29	16,38	14,81	
	P ₂	11,58	6,33	8,35	
	BT	11,23	4,83	12,88	

Примечание: – ПП1, ПП2, ПП3 – пробные площади по градиенту удаления от источника воздействия; $\bar{\chi}$ – среднее арифметическое; σ – среднеквадратичное отклонение от среднего.

Анализ радиальной миграции загрязнителей в почвах под воздействием автотранспорта показал, что ряд элементов (W, Mo, Cd, Sn, Mn, Cu, Sb) на всех объектах имеет тенденцию к аккумуляции в верхних горизонтах, что может указывать на антропогенный характер их поступления (рис. 2). Наиболее активно процессы аккумуляции наблюдались на объекте № 3. На этой территории большее количество элементов имело тенденцию к накоплению по сравнению с другими территориями. На этом объекте обнаружены поллютанты, имеющие самые высокие значения коэффициентов радиальной миграции (R): W – 42,7; Mo – 6,4; Mn – 4,6; Sn – 4,5. Процессы аккумуляции для них на расстоянии 15 м от дороги идут активнее рассеивания. Интенсивность трафика вблизи объекта № 1 была наименьшей по сравнению с остальными объектами. Концентрирование поллютантов на этой территории отмечено для Mo, Cd, Fe, Sn и Sb, коэффициент радиальной миграции не превышал 2,2. AУ_{pa} – P₁ – P₂

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

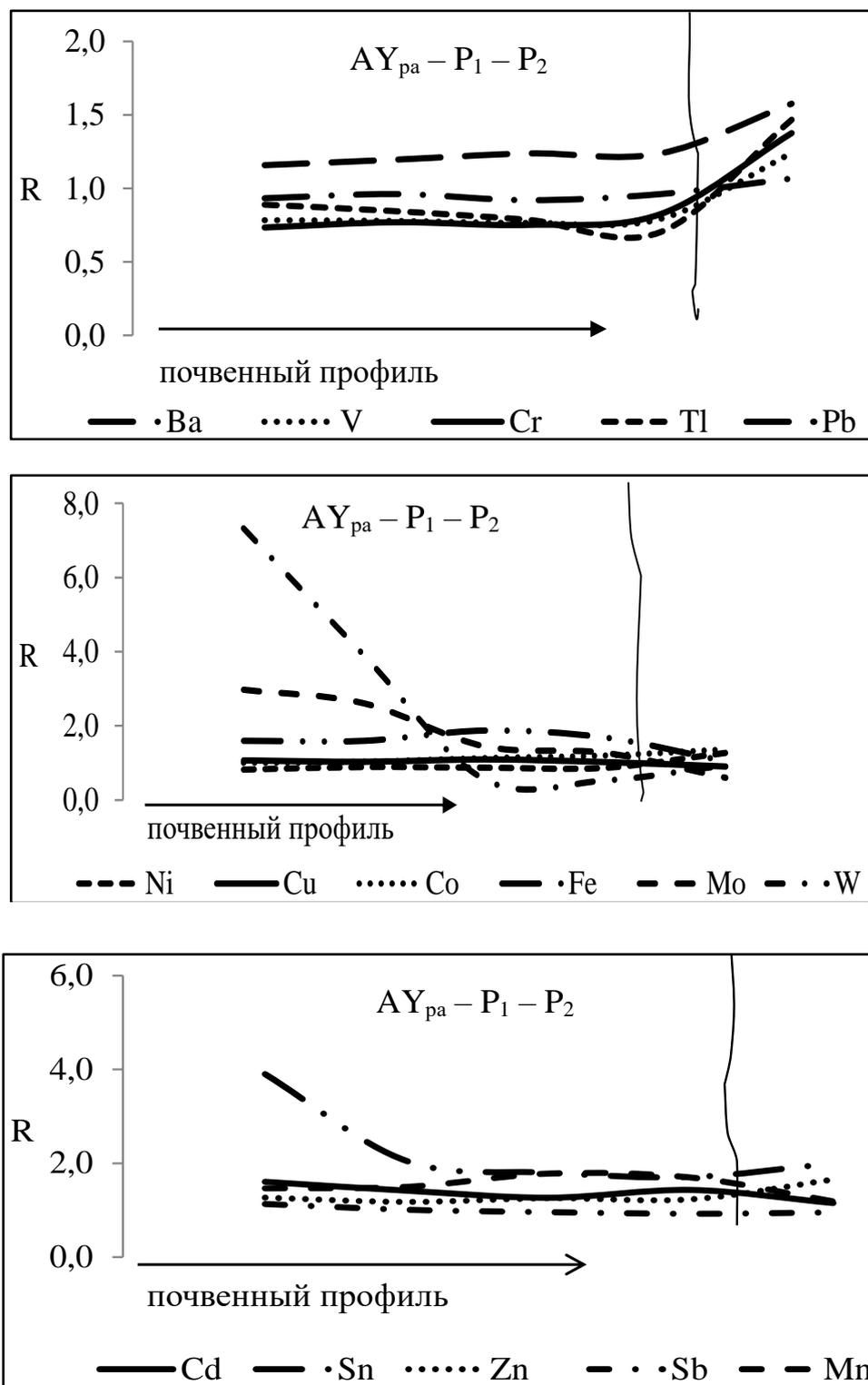


Рис. 2. Радиальное распределение (R) химических элементов в почвенном профиле агроландшафтов под воздействием автотранспорта на дерново-подзолистых почвах
Примечание: — граница пахотного горизонта.

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

В исследовании обнаружено, что элементы, имеющие высокие коэффициенты концентрации в техногенной пыли ($K_c \geq 10$) – Mo, W, Ti, Cd, Sn интенсивно аккумулируются в верхних генетических горизонтах почв. Накопление Mo и W в выбросах на всех объектах достигает самых высоких значений (K_k для Mo – от 32,4 до 74,3; для W – 25,2–40,2). Коэффициенты их радиального распределения в почвенном профиле на всех объектах свидетельствуют об усиленном воздушном поступлении. Коэффициент концентрации Mo в пыли составил до 42,7; W – до 6,4. В нижних горизонтах распределение Mo и W на исследованных участках варьирует в пределах нижней границы региональных значений – $0,3 \pm 0,1$ – $2,8 \pm 0,3$ мг/кг.

Суммарные показатели загрязнения свидетельствуют о том, что вся исследуемая территория почв сельскохозяйственных угодий вблизи автодорог загрязняется в разной степени: из них 77,8% от всей площади имеет минимальный низкий уровень загрязнения (от 50 до 150 м от автодороги) и 22% – средний (в 15 м). В целом, интенсивность воздействия на почвы при автомобильном движении характеризуется минимальным низким уровнем загрязнения. Наиболее высокие показатели суммарного воздействия (Z_c) выявлены в поверхностных слоях (A_{Ура}, P₁). Вниз по почвенному профилю отмечено преимущественное снижение полиэлементного воздействия (табл. 6).

Таблица 6. Коэффициенты суммарного загрязнения пахотного и подпахотного горизонтов почв агроландшафтов

Горизонт	$Z_c (\bar{\chi})$	σ
A _{Ура}	11,88	9,38
P ₁	8,62	5,96
P ₂	6,59	2,82
подпахотный	6,50	3,49

Примечание: $\bar{\chi}$ – среднее арифметическое; σ – среднеквадратичное отклонение от среднего.

Дисперсионный анализ данных показал, что на всех изученных агроландшафтах достоверных различий в комплексном загрязнении почв при латеральном направлении не выявлено. Коэффициенты суммарного воздействия свидетельствуют об уменьшении концентраций элементов-загрязнителей при вертикальном распределении.

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

Выводы

В результате движения автомобильного транспорта выявлено интенсивное поступление макро- и микроэлементов в составе техногенной пыли, что приводит к их повышенному содержанию в верхней части почвенной толщи (пахотном слое) сельскохозяйственных угодий. В почвах придорожных территорий агроландшафтов выявлены многие элементы, накапливающиеся и превышающие, как предельно допустимые концентрации, так и фоновые условия. Основными поллютантами на придорожных территориях являются Mo, W, Mn, Cu, Fe, Ti, Cd, Sn, Sb.

Суммарные показатели загрязнения свидетельствуют о том, что вся исследуемая территория почв сельскохозяйственных угодий вблизи автодорог имеет низкую и среднюю степень загрязнения. Наиболее подверженной техногенному воздействию является территория до 15 м от автотрассы.

Список использованных источников:

1. Глазовская М.А. Почвенно-геохимическое картографирование для оценки экологической устойчивости среды // Почвоведение. – 1992. – № 6. – С. 5–13.
2. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Москва : Гидрометеоздат, 1984. – 560 с.
3. Ильин В.Б. Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрохимия. – 1995. – № 10. – С. 109–113.
4. Арманд А.Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий // Устойчивость геосистем: сборник статей. – М.: Наука, 1983. – С. 14–32.
5. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Взаимодействие тяжелых металлов с органическим веществом чернозема обыкновенного // Почвоведение. – 2006. – № 7. – С. 804–811.
6. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв. Учебно-методическое пособие для вузов / Сост.: Х.А. Джувеликян, Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009. – 22 с.
7. Овчинникова М.Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы, нарушенной строительством трассы магистрального трубопровода // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 35-41.
8. Рудь А.В. Загрязнение тяжелыми металлами почв и растительности

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

придорожных полос автодорог Минской области // Вестник БГУ Сер. 2. - 2007. - № 1. - С. 111–115.

9. Клещ С.А., Дороговцев А.П. Негативное воздействие автомобильного транспорта на почву // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2008. – № 4. – С. 101–106.

10. Правкина С.Д. Мониторинг экологического состояния агроландшафтов в зоне влияния выбросов транспорта и мобильной сельскохозяйственной техники: на примере Рязанской области: специальность 03.00.16 Экология: автореферат канд. с.-х. наук. – Москва, 2006. –147 с.

11. Гарицкая М.Ю., Холодилина Т.Н., Баранова М.С. Экологическая характеристика качества почв придорожных территорий, используемых для выращивания сельскохозяйственных культур // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 119–126.

12. Автомобильные дороги в экологических системах (проблемы взаимодействия) / Д.Н. Кавтарадзе, Л.Ф. Николаева, Е.Б. Поршнева, Н.Б. Флорова. – М.: ЧеРо, 1999. – 240 с.

13. Thorpe A.J., Harrison R.M. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review. *Sci. Total Environ.*, 2008. Vol. 400, pp. 270–282.

14. Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E. & Wieszala R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environ Monit Assess.*, 2016. Vol. 188, I. 369. DOI: [10.1007/s10661-016-5377-1](https://doi.org/10.1007/s10661-016-5377-1)

15. Pirjola L., Johansson, C., Kupiainen, K., Stojiljkovic A., Karlsson H.; Hussein T. Road Dust Emissions from Paved Roads Measured Using Different Mobile Systems. *J. Air Waste Manag.*, 2010. Vol. 60, pp. 1422–1433.

16. Garg B.D., Cadle S.H., Mulawa P.A., Groblicki P.J., Laroo C., Parr G.A. Brake Wear Particulate Matter Emissions. *Environ. Sci. Technol.*, 2000. Vol. 34, pp. 4463–4469.

17. Hildemann L.M., Markowski G.R., Cass G.R. Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol. *Environ. Sci. Technol.*, 1991. Vol. 25, pp.744–759

18. Iijima A., Sato K., Yano K., Tago H., Kato M., Kimura H., Furuta N. Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter. *Atmos. Environ.*, 2007. Vol. 41, pp. 4908–4919.

19. Kennedy P., Gadd J. Preliminary Examination of Trace Elements in Tyres, Brake Pads, and Road Bitumen in New Zealand; Infrastructure Auckland: Auckland, New Zealand, 2003.

20. Legret M., Pagotto C. Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway. *Sci. Total Environ.*, 1999. Vol. 235, pp. 143–150.

21. Warner L.R., Sokhi R., Luhana L., Boulter P.G. Non-Exhaust Particle Emissions from Road Transport: A Literature Review. Unpublished Report PR/SE/213/00, 2001. Available at: http://lat.eng.auth.gr/particulates/old_website/eterg/files/PR_SE_~1.PDF

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

=====
 22. Penkala M., Ogrodnik P., Rogula-Kozłowska W. Particulate Matter from the Road Surface Abrasion as a Problem of Non-Exhaust Emission Control. *Environments*, 2018. Vol. 5. DOI: [10.3390/environments5010009](https://doi.org/10.3390/environments5010009)

23. Тишкин С.А. Оценка влияния вредных выбросов грузового автотранспорта на экологическую обстановку в районе его действия: специальность 05.20.01 технологии и средства механизации сельского хозяйства: автореферат дис. ... на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Москва, 2012. – 142 с.

24. Гарицкая М.Ю., Холодилина Т.Н., Баранова М.С. Экологическая характеристика качества почв придорожных территорий, используемых для выращивания сельскохозяйственных культур // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2020. – № 1. – С. 119–126.

25. Журавлева М.А., Зубрев Н.И., Кокин С.М. Загрязнение придорожной зоны тяжелыми металлами // Мир транспорта. – 2015. – № 6. – С. 174-181.

26. Krailertrattanachai N., Daojarus K. Worachart W. 2019. The distribution of trace metals in roadside agricultural soils, Thailand // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. V. 16. No 5. P. 714. DOI: [10.3390/ijerph16050714](https://doi.org/10.3390/ijerph16050714).

27. Mleiki A., Marigomez I., El Menif N.T. Green garden snail, *Cantareus apertus*, as biomonitor and sentinel for integrative metal pollution assessment in roadside soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. Vol. 24. № 31. pp. 24644-24656. DOI: [10.1007/s11356-017-0091-2](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0091-2)

28. Аликбаева Л.А., Колодий С.П., Бек А.В. Гигиеническая оценка класса опасности отходов дорожно-автомобильного комплекса // Гигиена и санитария. – 2017. – № 96(8) . – С. 711-716. – DOI: [10.18821/0016-9900-2017-96-8-711-716](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-711-716).

29. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель / Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству. – М., 1995. [Электрон. ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902101153>

30. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. - Москва: IMGRE, 1982.

31. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами N 4266 – 87. Утв. Минздрав СССР 13.03.87 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электрон. ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040373>

32. Смирнова Е.В., Валеева А.А. Мониторинг почв. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 50 с.

33. Dubina-Chekhovich E.V. and. Bakhmet O.N. Drained agricultural landscapes under the impact of airborne industrial pollution. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society, 2021. Vol. 8, no. 012076. DOI: [10.1088/1755-1315/862/1/012076](https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012076)

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта

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

34. Литвинович А.В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Северо-Запада Нечерноземной зоны // Агрохимия. – 2009. – № 7. – С. 85–93.

35. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 536–553.

36. Мухаметзянов И.З. Исторические этапы и перспективы развития теоретических основ производства присадок к моторным маслам: специальность 1.4.12 Нефтехимия: автореферат дис. ... на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Уфа, 2021. – 123 с.

37. Почвоведение / под ред. проф. д-ра с.-х. наук И.С. Кауричева, проф. д-ра с.-х. наук И.П. Гречина. – Москва : Колос, 1969. – 543 с.

38. Dallmann T.R., Onasch T.B., Kirchstetter T.W., Worton D.R., Fortner E.C., Herndon S.C., Wood E.C., Franklin J.P., Worsnop D.R., Goldstein A.H., and Harley R.A. Characterization of particulate matter emissions from on-road gasoline and diesel vehicles using a soot particle aerosol mass spectrometer. Atmospheric Chemistry Physics, 2014 / Vol. 14. pp. 7585–7599.

39. He Ming-Jing. Organophosphate Esters in Road Dust from a Suburban Area of Chongqing, China: Characterization of Particle Size Distribution and Human Exposure. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2019. Vol.76. DOI:[10.1007/s00244-019-00612-1](https://doi.org/10.1007/s00244-019-00612-1)

40. Специальные технологии переработки природных энергоносителей. Производство присадок и пакетов присадок к маслам: учеб. - метод. комплекс для студентов специальности 1-48 01 03 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» / С.В. Покровская [и др.]. – Новополюк : ПГУ, 2014. – 132 с.

41. Mao R., Chen H.-M., Zhang X.-H., Shi F.-X., Song C.-C. Effects of P addition on plant C : N : P stoichiometry in an N-limited temperate wetland of Northeast China, Science of the Total Environment, 2016. Vol. 559. pp. 1-6.

42. Дударева Д.М., Квиткина А.К., Юсупов И.А., Евдокимов И.В. Изменение соотношения C:N:P в составе фитомассы, почвы и биомассы почвенных микроорганизмов при нагревающим и иссушающим воздействии факела попутного газа // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 2018. – Вып. 95. – С. 71–89. – DOI: [10.19047/0136-1694-2018-95-71-89](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-95-71-89)

=====

Цитирование:

Дубина-Чехович Е.В., Бахмет О.Н., Ткаченко Ю.Н. Оценка загрязнения почв мелиорированных агроландшафтов в зоне воздействия автомобильного транспорта [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_510.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202135510>.