

УДК 504.53:631.4(470.314)

## ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПРИДОРОЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТРАССЫ НА ПРИМЕРЕ СУДОГОДСКОГО РАЙОНА ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>Рагимов А.О., <sup>1,2</sup>Мазиров М.А., <sup>1</sup>Шентерова Е.М., <sup>2</sup>Зунимаймайти А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича  
и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: korchaginaa60@mail.ru;

<sup>2</sup>РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, e-mail: mazirov@mail.ru

Являясь важнейшим геохимическим барьером, почвенный покров как естественного, так и разрастающегося в геометрической прогрессии техногенного типа ландшафтов подвержен постоянному загрязнению разными источниками. Контаминация придорожной части почвенного покрова экологически значимыми поллютантами обусловлена воздействием нарастающего атмосферного загрязнения за счет роста автомобильного движения, так и последующего оседания, и аккумуляции в растениях с последующим вовлечением в процесс разложения. Проведение точечных исследований, направленных на анализ состояния окружающей среды, в частности загрязнения почв придорожных территорий в контексте массового вовлечения все больших площадей под урбанистические территории, обуславливает формирование основ почвенно-экологического мониторинга и разработку методов его проведения в условиях различного уровня загрязнения. Экологическое состояние почв выступает индикатором разнообразных природных процессов. Отсутствие исследований загрязнения почвенного покрова придорожной территории автодороги в Судогодском районе делает исследование наиболее актуальным. В статье описаны результаты исследования экологического состояния почвенного покрова придорожной территории автодороги в Судогодском районе Владимирской области. Результаты исследования выявили четкую дифференциацию распределения тяжелых металлов в почвенном покрове и позволили определить уровни фитопатогенного влияния на тест-культурах в зависимости от удаленности от автомобильной дороги. На основе полученных данных была проведена оценка распределения тяжелых металлов не только с точки зрения загрязнения придорожной части почвенного покрова, но и близлежащих земель сельскохозяйственного назначения. Было установлено, что в зависимости от положения земельного участка идет незначительное колебание уровня загрязнения, в пределах установленных норм ПДК и ОДК в условиях изменения отдаленности от автомобильной дороги.

**Ключевые слова:** почвенный покров, тяжелые металлы, почва, загрязнение, автомобильная дорога, придорожные территории, фитопатогенный потенциал, экологическое состояние почв

## FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE SOIL COVER OF THE ROAD TERRITORY ON THE EXAMPLE OF THE SUDOGODSKIY DISTRICT OF THE VLADIMIR REGION

<sup>1</sup>Ragimov A.O., <sup>1,2</sup>Mazirov M.A., <sup>1</sup>Shenterova E.M., <sup>2</sup>Zunimaymayti A.

<sup>1</sup>Vladimir State University named after A.G and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: korchaginaa60@mail.ru;

<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, e-mail: mazirov@mail.ru

The soil cover is the most important geochemical barrier, both natural and technologically growing types of landscapes, which are growing exponentially. The contamination of the roadside part of the soil cover with environmentally significant pollutants is due to the effects of increasing atmospheric pollution due to increased car traffic, as well as subsequent sedimentation and accumulation in plants with subsequent involvement in the decomposition process. Conducting spot studies aimed at analyzing the state of the environment, in particular, pollution of soils of roadside territories in the context of the massive involvement of ever-larger areas under urban areas, determines the formation of the basis of soil-ecological monitoring and the development of methods for its implementation under conditions of various levels of pollution. The ecological state of soils is an indicator of various natural processes. The lack of research on the pollution of the soil cover of the roadside territory of the road in the Sudogodsky district makes this study the most relevant. This article describes the results of a study of the ecological state of the soil cover of the roadside territory of the road in the Sudogodsky district of the Vladimir region. The results of the study revealed a clear differentiation of the distribution of heavy metals in the soil cover and determined the levels of phytopathogenic effects on test cultures depending on the distance from the highway. Based on the data obtained, the distribution of heavy metals was evaluated not only from the point of view of pollution of the roadside part of the soil cover, but also near the adjacent agricultural lands. It was found that, depending on the location of the land plot, there is a slight fluctuation in the level of pollution, within the established norms of maximum permissible concentrations of substances and tentatively permissible concentrations of substances under conditions of changing remoteness from the highway.

**Keywords:** soil cover, heavy metals, soil, pollution, automobile road, roadside territories, phytopathogenic potential, ecological state of soils

Загрязнение почвенной среды тяжелыми металлами, связанное с антропогенной деятельностью человека, в настоящее время является актуальной проблемой, создающей серьезные проблемы для безопасного и рационального экологического функционирования

ния почв [1]. Любое загрязнение природного комплекса ведет к изменению элементного состава почв, при этом прослеживается увеличение в них целой гаммы тяжёлых металлов [2]. Почвы территорий, подвергающиеся урбанизационному процессу, несут достаточно высокий уровень антропогенной нагрузки. В результате этого происходит нарастание процессов деградации, что впоследствии обуславливает невозможность нормального функционирования почвенного покрова [3]. В почвах техногенных ландшафтов неизбежно повышается содержание ряда поллютантов. Одновременное и многократно осаднение газовых ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , F,  $\text{NO}_2$ ) и газопылевых выбросов тяжелых металлов и других элементов может приводить к полному уничтожению растительного покрова, смыву почв и образованию «техногенной» пустыни. Загрязнение почв придорожных территорий является следствием постоянного и нарастающего использования автотранспорта. Попадая в почвенную среду, поллютанты вызывают изменения биологических, физических, химических свойств и вызывают нарушение протекания естественного цикла биохимических процессов [4]. Загрязнение почвенной среды носит долговременный характер, и при условии дальнейшего нарастания и нерегулирования данных процессов воздействия, будет наблюдаться переход с локального уровня воздействия, с изменением дальнейшей неустойчивости структурно-функционального уровня особенностей [5].

Цель исследования: оценка влияния автомобильной дороги Р-72 общего пользования регионального значения Владимирской области Владимир – Муром – Арзамас Судогодского района Владимирской области на загрязнение почв придорожной территории.

Задачи исследования:

1. Оценить техногенную нагрузку на участке придорожной части автомобильной дороги Судогодского района Владимирской области.

2. Выявить закономерности изменения основных параметров плодородия и экологического состояния почв в зоне постоянно техногенного загрязнения.

3. Проанализировать изменения биологических свойств растений в зоне загрязнения, прилегающей к автомобильной части автомобильной дороги.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования проводились на автомобильной трассе 17Р-1 общего пользования

регионального значения Владимирской области Владимир – Муром – Арзамас (по территории Владимирской области) Судогодского района Владимирской области. На одной территории геохимического исследования был выделен участок, имеющий следующее географическое положение, ограниченное координатами: 55.971982 40.823839 – 55.972128 40.827250, сопряженный с аккумулятивной частью исследуемого ландшафта) в дальнейшем рассматриваемый как источник загрязнения, и прилегающей к нему части придорожной территории на расстоянии 200 м от дороги (–0,5 м; –1 м; –5 м; –10 м; –200 м). Почвенный покров представлен дерново-среднеподзолистыми супесчаными почвами на моренном суглинке. Придорожная территория на расстоянии 5 м от дороги представляет собой видоизмененный почвенный покров, лишенный естественной растительности по типу «техногенной» пустыни с постепенным озеленением и переходом в лесополосу, служащей естественным растительным буфером загрязнения системы «дорога – буфер – почва – растение – человек».

Отбор почвенных образцов проводили по ГОСТ 28168-89, определение рН по ГОСТ 26484-85, подвижные формы фосфора и калия по методу Кирсанова на фотоэлектро-колориметре КФК-3-01 и на пламенном фотометре ПФА-378 по ГОСТ Р 54650-2011, определение содержания органического вещества по методу Тюрина ГОСТ 26213-91, содержание валовых форм тяжелых металлов согласно Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [3] 1 N азотной кислотой. Процедуру пробоотбора проводили в течение июля 2019 г. с периодичностью в 3 дня. Климатические параметры данного периода были представлены: среднемесячной температурой воздуха +15,2 °С, при этом средняя дневная и ночная температуры составили +17,1 °С и 14,9 °С соответственно. Количество осадков в период исследования составило 55,4 мм. Уровень среднемесячной влажности составил 74,7%. Среднее атмосферное давление составило 740,2 мм рт. ст. По результатам пробоотбора тростьевидным почвенным буром в слое 0–20 см было отобрано 240 почвенных проб с разного расстояния от автомобильной дороги, что составило 48 почвенных образцов с каждого изучаемого расстояния от автомобильной дороги. Рас-

чет количества автотранспортных средств на выбранном участке автомобильной дороге проводили согласно ГОСТ Р 56162-2014. Работу проводили путем натуральных наблюдений структуры и интенсивности автотранспортных потоков на выбранном участке автомобильной дороги с подразделением по основным группам автотранспортных средств и последующим расчетом выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный учет автотранспорта показал, что интенсивность движения на исследуемом участке территории составляет от 2232 до 30672 авт/сут. Подсчет автомобильной нагрузки на анализируемый участок дороги выявил, что наибольшую группу автотранспортных средств представляют легковые автомобили, с приоритетом бензинового и дизельного топлива. В процентном соотношении подразделение типов автотранспорта на участке выглядит следующим образом: легковые автомобили – 76 %, грузовые автомобили – 8 %, автобусы – 11 %, газели – 5 %. Такая четкая дифференциация основных групп автотранспортных средств связана со следующим рядом причин: с динамичным развитием рынка индивидуального автопарка у населения, ведением планового рейсового сообщения между населенными пунктами по данному отрезку трассы, низким охватом сельскохозяйственного оборота ввиду достаточно низкого уровня плодородия почв, и сниженного спроса на услуги перевозок в данной точке районного исследования.

Согласно проведенному анализу установлена четко выраженная дифференциация по обеспеченности почв показателями элементного химического состава. Для более детального визуального распределения содержания параметров плодородия почв придорожной территории рассматривали исходя из класса обеспеченности общепринятых градаций (рис. 1).

Как следует из данных, представленных на рис. 1, наиболее низкие уровни содержания подвижных форм фосфора, калия и органического вещества приходятся на первые 5 м от источника загрязнения (а/м дороги). Затем в «пограничной точке» 10 м идет резкий подъем обеспеченности почвы по уровню показателей плодородия.

В отношении величины  $pH_{\text{вод}}$  имеет место подкисление в зависимости от удаления от автомобильной дороги. В среднем отношение величины содержания 0–5 м к 10 м имеет следующий вид:  $pH - 6,99/6,41$ ;  $P_2O_5 - 92,1/100,4$  мг/кг;  $K_2O - 89,97/101,6$  мг/кг;  $C - 1,17/1,29$  %. Низкие значения  $pH$  способствуют усилению миграционных свойств тяжелых металлов в почве придорожной территории. В дальнейшем идет значительное нарастание величины обеспеченности почв основными химическими элементами и на расстоянии 200 м наблюдаются достаточно высокие показатели. Таким образом, пограничной зоной влияния на качественный состав почв является расстояние 0–10 м от автодороги.

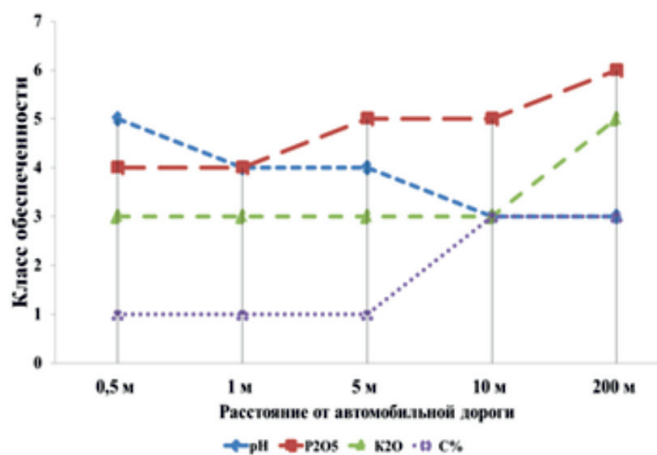


Рис. 1. Динамика основных параметров плодородия почв придорожной территории исходя из класса обеспеченности

Как было озвучено ранее, основным источником антропогенного поступления тяжелых металлов в природную среду является транспорт, формирующий мощный поток тяжелых металлов в результате высокого уровня атмосферных выбросов. Вследствие чего возникает несовершенство экологических процессов, что приводит к загрязнению атмосферы в целом, в том числе приземного почвенного и внутрипочвенного слоев, а также растительного покрова. Процесс урбанизации оказывает наиболее сильное воздействие на ландшафты, вызывая коренное изменение почвенного и растительного покрова.

Автотранспорт является основным источником загрязнения почв придорожных территорий медью, цинком, свинцом и кадмием, которые в дальнейшем в процессе естественного и антропогенного массопереноса, оказывают негативное воздействие. Анализ приземного почвенного и 0–20 см внутрипочвенного слоев почвенного покрова придорожной территории выявил формирование экологических аномалий и четкую дифференциацию в зависимости от источника загрязнения (таблица).

Содержание тяжелых металлов в почвах придорожных территорий, мг/кг почвы

Расстояние от автомобильной дороги	Pb	Cu	Zn	Cd
0,5 м	59,3	48,3	157,4	3,4
1 м	51,9	46,7	144,7	3,14
5 м	49,1	44,9	106,9	3,26
10 м	38,1	34,1	68,4	0,37
200 м	25,9	21,9	39,4	0,49

Установлено что в 200-метровой зоне от автодороги идёт четкое формирование экологически подверженной почвенной зоны. Как следует из данных, представлен-

ных в таблице, имеет наибольший уровень антропогенной аккумуляции тяжелых металлов приходится на расстояние (P) до 5 м от источника загрязнения с последующим уменьшением и составляет (в среднем) Pb ( $P_{cp} - 44,9/P_{0,5-5} - 53,4/P_{0,5-10} - 49,6$ ), Cu ( $P_{cp} - 39,2/P_{0,5-5} - 46,6/43,5$ ) Zn ( $P_{cp} - 103,4/P_{0,5-5} - 136,3/P_{0,5-10} - 119,4$ ) Cd ( $P_{cp} - 2,1/P_{0,5-5} - 3,3/P_{0,5-10} - 2,5$ ). Превышение ПДК приходится на первые 10 м от автомобильной дороги с тенденцией постепенного снижения, что подтверждается данными, представленными в таблице.

Расчет коэффициентов концентрации (рис. 2) с последующим расчетом суммарного показателя загрязнения почв (таблица) позволил обобщить и выявить зоны «экологической подверженности» почв придорожной территории. Как следует из рис. 2 наиболее высокий уровень загрязнения почвенного покрова приходится на расстояние 5 м от автомобильной дороги. Причем стоит отметить, что на фоне постепенного снижения Kc у Pb, Cu, Zn имеет место резкое снижение Kc у Cd в 10-метровом расстоянии от источника загрязнения. Такое изменение связано в первую очередь с естественным буфером, в качестве которого выступают зеленые насаждения, устойчивые к загрязнению, с большой листовой поверхностью и большим объемом газопоглощения и осаждения пыли вдоль дороги.

Оценку опасности загрязнения почв проводили по комплексу единых методических подходов в МУ 2.1.7.730-99 на основе отношения химического состава элементов по показателю Kc и Zc проводили по оценочной шкале, градации которого разработаны на основе изучения показателей здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения.

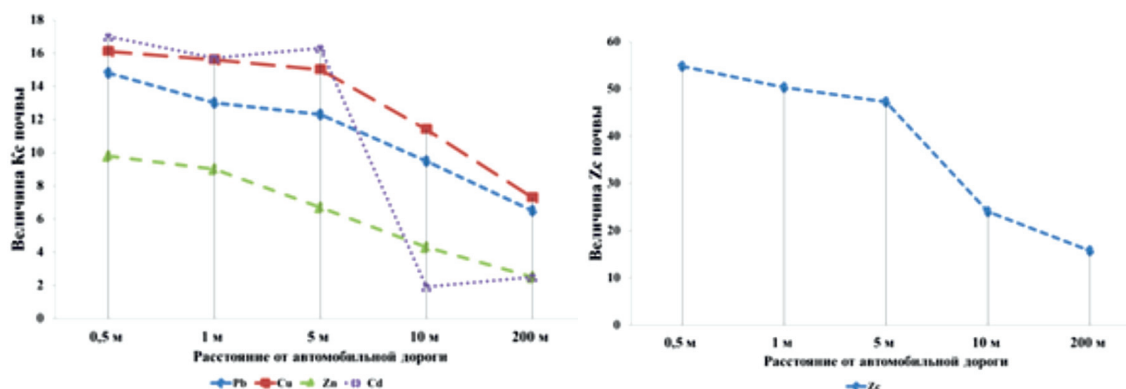


Рис. 2. Величина Kc и Zc в почве придорожной территории

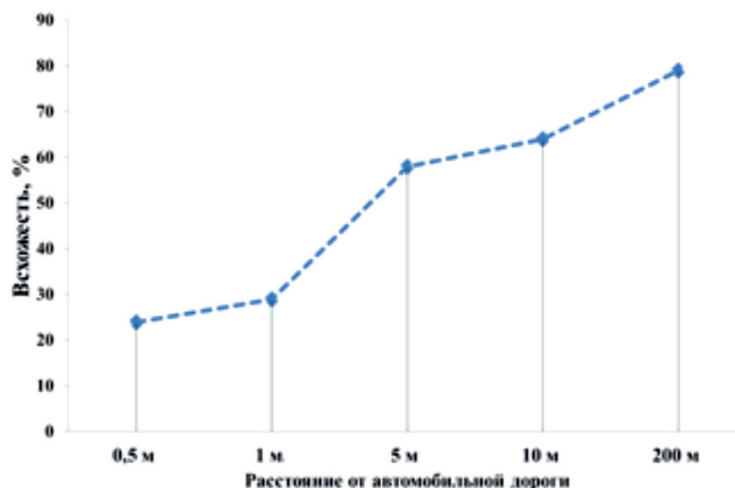


Рис. 3. Всхожесть семян тест-культуры редиса сорта «Вера» в зависимости от удаленности от автодороги

Высокая дифференциация фонового содержания концентраций тяжёлых металлов в почвенном покрове анализируемого участка придорожной территории свидетельствуют о высокой аккумулирующей способности. Величина  $Z_c$  Динамика представлена на рис. 2.

Расчитанные значение индекса загрязнения почв тяжелыми металлами варьируют от высокого на расстоянии 0,5–5 м, среднего – на расстоянии 10 м и низкого – 200 м и более, что позволяет судить о четкой дифференциации экологического состояния почв придорожной территории. Из всего это следует, что автомобильная дорога средообразующие функции путем изменения химического состава почвенного покрова придорожной территории, однако в то же время почвенный покров является универсальным биогеохимическим барьером для большинства соединений на пути их дальнейшей миграции.

Деграция почв территорий, подверженных постоянному антропогенному прессу, приводит к значительному изменению их биологической активности (рис. 3).

Тяжелые металлы при загрязнении атмосферы, почвы от автомобильной дороги не только снижают продуктивность растений и нарушают сложившиеся фитоценозы, но и могут ухудшать гигиеническое качество потенциальной сельскохозяйственной продукции. Изучению перемещения тяжелых металлов в почвенном профиле посвящено много работ, но полное понимание их круговорота и баланса еще не достигнуто.

С увеличением удалённости от автодороги возрастает величина всхожести редиса сорта «Вера», применяемого в опыте, как фитотест-культура. Повторность 4-кратная. Данные по всхожести тест-культуры свидетельствуют о том, что на прорастание семян редиса влияет неблагоприятное химическое и экологическое состояние почв. Общая динамика увеличения всхожести семян, обусловленная снижением фитотоксичности почвы, наблюдаемая на протяжении всего периода исследований, полностью подтверждает влияние удаленности от источника загрязнения и экологического состояния почвы.

### Выводы

1. Почвенный покров придорожной территории автомобильной дороги Р-72 общего пользования регионального значения Владимир – Муром – Арзамас Судогодского района Владимирской области, находясь в постоянном давлении антропогенного пресса, претерпевает колоссальное нарушение экологических функций почв исходя из низких показателей качественного (рН,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , С) и экологического состояния ввиду превышения ПДК (ОДК) экологически значимых поллютантов Pb, Cu, Zn, Cd).

2. В зависимости от удаленности от автомобильной дороги выявлены основные закономерности накопления и распределения поллютантов, а также связанные с этим изменения плодородия почв.

3. Дифференцированное по уровню загрязнения экологическое состояние

почв придорожной территории оказывает прямое негативное воздействие на рост и развитие растений, что доказано методом фитоиндикации почв на тест-культуре редиса сорта «Вера». Наиболее низкий уровень всходов приходится на образцы, отобранные на расстоянии 5 м от источника загрязнения.

#### Список литературы / References

1. Карбасникова Е.Б., Залывская О.С., Чухина О.В. Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 5 (371). С. 216–223. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216.  
Karbasnikova E.B., Zalyvskaya O.S., Chukhina O.V. Heavy metals content in soils and woody vegetation of urban area // *Lesnoy Zhurnal*. 2019. № 5 (371). P. 216–223 (in Russian).
2. Рагимов А.О., Зубкова Т.А., Мазиров М.А. Почва и человек: эколого-функциональное взаимодействие. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2015. 244 с.  
Ragimov A.O., Zubkova T.A., Mazirov M.A. Soil and man: ecological and functional interaction. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya GSKHA, 2015. 244 p. (in Russian).
3. Быкадорова О.А. Анализ загрязнения почв придорожных участков от выбросов автотранспорта // Новая наука: проблемы и перспективы: материалы научной конференции. Нефтекамск: Изд. НИЦ «Мир науки», 2016. С. 41–44.  
Bykadorova O.A. Analysis of soil contamination of roadside areas from vehicle emissions // *Novaya nauka: problemy i perspektivy: materialy nauchnoy konferentsii*. Neftekamsk: Izd. NITS «Mir nauki», 2016. P. 41–44 (in Russian).
4. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // Самарский научный вестник. 2016. № 1 (14). С. 34–37.  
Kazantsev I.V., Matveeva T.B. The content of heavy metals in the soil cover in the conditions of technogenesis // *Samarskiy nauchnyy vestnik*. 2016. № 1 (14). P. 34–37 (in Russian).
5. Стасюк Н.В. Теория и реализация комплексного мониторинга почвенного покрова: монография. М.: Макс Пресс, 2018. 73 с.  
Stasyuk N.V. Theory and implementation of integrated monitoring of soil cover: monograph. M.: Max Press, 2018. 73 p. (in Russian).