

ПРЕПРИНТ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
Дубна

P18-2022-55

Е. С. Шавалда¹, А. В. Судник¹, И. И. Зиньковская,
М. В. Фронтасьева

ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ПРИДОРОЖНОЙ ЗОНЫ С ОЦЕНКОЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
В РАЗЛИЧНЫХ ОБСТАНОВКАХ ДОРОГИ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССИИ

Направлено в журнал «Трансформация экосистем»

¹Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси, ул. Академическая, 27,
220072 Минск, Беларусь

Шавалда Е. С. и др.

P18-2022-55

Эколого-фитоценотический анализ придорожной зоны с оценкой загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами в различных обстановках дороги в центральной части Белоруссии

Приведены первоначальные результаты эколого-фитоценологических исследований придорожных фитоценозов при прохождении автодороги в экспозициях «выемка», «насыпь» и «нулевое положение». Выполнено описание и геоботанический анализ растительности по линии трансекты с разделением полосы отвода на сектора в зависимости от ее конструкции. Составлен и проанализирован список сосудистых растений с распределением видов по системе К. Раункиера. Для почв в элементах полосы отвода даны уровни загрязнения тяжелыми металлами и характеристика антропогенеза почвенного покрова.

Работа выполнена в Институте экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси и в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2022

Shavalda Eu. S. et al.

P18-2022-55

Ecological and Phytocenotic Analysis of the Roadside Zone with an Assessment of Soil Cover Contamination with Heavy Metals in Various Road Conditions in the Central Part of Belarus

The initial results of ecological and phytocenotic studies of roadside phytocenoses during the passage of the road in the expositions “notch”, “embankment” and “zero position” are presented. The description and geobotanical analysis of the vegetation along the transect line with the division of the right-of-way into sectors depending on its design has been carried out. A list of vascular plants was compiled and analyzed with the distribution of species according to the system of C. Raunkiaer. For soils in the elements of the right-of-way, the levels of contamination with heavy metals and the characteristics of the anthropogenesis of the soil cover are given.

The investigation has been performed at the V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, NAS of Belarus, and at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Важной чертой автомобильных дорог как природно-антропогенного линейного объекта является разделяющий (барьерный) эффект, который влияет на перераспределение поверхностного и подземного водного стока, препятствует миграции веществ в природных комплексах и может выступать искусственно созданной границей ареала распространения некоторых видов растений и животных (выступает в качестве самого места обитания (произрастания) или разделяет уже существующие), а также является начальной точкой распространения несвойственных местности чужеродных и инвазивных видов (Преображенский, Александрова, 1989).

Специфика антропогенного воздействия в придорожных фитоценозах обуславливает прохождение своеобразной сукцессионной стадии, сформированной вследствие регрессионных изменений региональной естественной растительности с преобладанием в растительном сообществе синантропных видов (Харитонцев, Попова, 2017). Происходит формирование высоко толерантных растительных сообществ — орбитоценозов с бедным флористическим составом, включающим менее выраженную долю местных видов в фитоценозе со значительным количеством сеgetально-рудеральных представителей (Шадрин, 2012). В случае автомобильных дорог такие сообщества особенно характерны для примыкающих к дорожному полотну участков и на границах придорожной полосы с сельскохозяйственными территориями (Степанович, Судник, 2021).

Началом для формирования придорожных орбитоценозов служит резкое изменение эдафических и орографических факторов во время строительства и реконструкции дорожного полотна и прилегающей территории — изменяется уровень грунтовых вод, разрушается почвенный покров и структура произрастающей на нем местной растительности, изменяется химизм, влажность, освещенность и структура почвенного покрова. Затем в процессе эксплуатации автодорог в результате сукцессий, интенсивного движения автотранспорта и влияния примыкающих к дороге естественных экосистем или агрофитоценозов количество заносных и аборигенных видов будет постепенно снижаться, пока не достигнет числа из наиболее приспособленных и конкурентоспо-

собных (Данилов-Данильян, Лосев, 2009; Кавеленова и др., 2010). Следует учитывать внесение придорожных травосмесей дорожными службами, что также влияет на формирующиеся фитоценозы.

Значительное влияние на формирующиеся фитоценозы оказывает почвенный покров. Почвы придорожной территории представляют собой трудно классифицируемые субстраты от относительно нарушенных естественных типов почв до специфичных техногенных поверхностных образований (ТПО) — не относящихся к почвам субстратов с отсутствующими генетическими горизонтами и признаками педогенных структур, которые, в силу ограниченного промежутка времени или неблагоприятных условий для биоты (климатические условия, грубый гранулометрический состав или токсичность), не подвержены почвообразовательным процессам («Классификация почв России», 1997; «Полевой определитель...», 2008). Помимо этого, ТПО обладают свойствами почв: на них произрастают мохообразные и высшие (пионерные) растения, происходят явные сукцессионные процессы, характерны определенные термические и водные режимы (Герасимова и др., 2003).

В процессе эксплуатации автодорог основное воздействие на растительность связано с химическим загрязнением атмосферного воздуха и почвенного покрова разрушающимися компонентами дорожного полотна и выбросами автотранспорта: углеводородами и их производными (сажа, пыль, оксиды серы и азота, тяжелые металлы). Помимо выхлопных газов, содержащих токсичные компоненты, негативное воздействие на придорожные экосистемы оказывает поступление частиц металлов, красок, перевозимых сыпучих грузов, горючесмазочных материалов и противогололедных солевых реагентов (Судник, Вознячук, 2020).

Наиболее часто превышение базовых величин отмечается для Zn, Cu, Cd, Pb, Co, Cr и других тяжелых металлов в элементах придорожных фитоценозов, почве, снеге. Фитотоксичность смеси этих соединений остается слабо изученной, а при комплексном воздействии в различных сочетаниях она может усиливаться или ослабляться — проявляется эффект синергизма (Судник, Рыбинский, 2020).

Цель представляемой работы — изучение структуры придорожных фитоценозов и уровня загрязненности почвенного покрова тяжелыми металлами (Cu, Zn, Pb, Co и Ni) на модельных

участках автодороги центрального региона Белоруссии в зависимости от конструкции полосы отвода путем разделения ее на соответствующие сектора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Область исследования. Модельные участки автодорог находятся в центральной части Белоруссии (г. Минск и Дзержинский, Минский, Смолевичский районы Минской области) на пересечении двух трансъевропейских транспортных коридоров, соединяющих страны Европейского союза с Азией и Россией через Белоруссию и Южную Европу со странами Северной Европы. Отбор почвенных образцов и геоботанические описания проводились в августе-сентябре 2022 г.

Геоботанический анализ. Эколого-фитоценологические профили были проложены для каждой экспозиции пролегания автодороги на основе маршрутно-детальных и мониторинговых исследований с использованием эколого-геоботанических подходов (Степанович, 2015; Пугачевский и др., 2006). Сосудистые растения идентифицировали согласно общепринятым публикациям (Черепанов, 1995; «The Plant List», 2022). Принадлежность сообществ к конкретным синтаксонам определялась с помощью последовательной табличной обработкой методом Й. Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964; Миркин, Наумова, 1998; Миркин и др., 2002; Миркин, Наумова, 2014; Сцепанович, Ганцоўская, 2012). При биоморфологическом анализе ценофлоры применялись системы жизненных форм К. Раункиера (Raunkiaer, 1934). Разности высот в полосе отвода и расположения обнаруженных фитоценозов наглядно демонстрируются с помощью компьютерной программы PROFIL.

Для изучения придорожных фитоценозов перпендикулярно дорожному полотну прокладывалась трансекта с двух сторон от начала дороги и с разделением на пробные площади (сектора) в зависимости от конструкции полосы отвода (рис. 1–3). Выполнено 20 геоботанических описаний полосы отвода и частично — придорожной полосы: для экспозиции «выемка» выполнено 8 описаний (1L, 1R – 4L, 4R), для экспозиции «насыпь» — 6 описаний (1L, 1R – 3L, 3R) и экспозиции «нулевое положение» — 6 описаний (1L, 1R – 3L, 3R) (рис. 1–3).

Характеристика исследуемых участков автодорог:

1. Экспозиция «выемка» расположена на участке дороги Р53 (реконструкция) на северо-востоке относительно г. Минска в Смолевичском

районе, 7,84 км восточнее от МКАД-2 и 280,6 м южнее до д. Новая Жизнь. Координаты начала трансекты: 54°01'57.5"N, 28°00'27.7"E. Трансекта расположена через автодорогу (временно 2 полосы для движения), пролегающую в экспозиции «выемка». Ширина трансекты 25 м, длина 335,6 м. Дорога пролегает через выровненный участок склона возвышенности в промежутке понижения рельефа от 190 до 186 м. Прилегающая к автодороге территория активно используется под возделывание злаковых культур на супесчаных дерновых почвах.

2. Экспозиция «насыпь» относится к автодороге М4 юго-восточнее г. Минска на расстоянии 1,45 км до МКАД-2 и 675 м до д. Привольный Минского района. Координаты начала трансекты: 53°47'45.64"N, 27°48'41.19"E. Ширина трансекты 25 м, длина 293,2 м. Автодорога представлена 6 полосами для движения, встречные транспортные потоки разграничены разделительной зоной. Трансекта пересекает автодорогу в экспозиции «насыпь» высотой около 3 м относительно примыкающей территории, представленной пологой ложбиной (долина выпрямленного ручья) между широкими невысокими холмами. Примыкающая к насыпи экосистема представлена антропогенно преобразованным пойменным лугом с рыхлопесчаной дерново-глеевой почвой. Другая сторона представлена злаковым агрофитоценозом.

3. Экспозиция «нулевое положение» расположена на участке дороги Р1 юго-западнее г. Минска на расстоянии 8,32 км до МКАД-2 и 828,3 м до д. Красная Горка Дзержинского района. Координаты начала трансекты: 53°43'28.4"N, 27°15'52.4"E. Ширина трансекты 25 м, длина 404,8 м. Автодорога представлена 6 полосами для движения, встречные транспортные потоки разграничены разделительной зоной. Автодорога, находясь в «нулевом положении», пролегает на одном уровне относительно прилегающих агрофитоценозов выровненной вершины широкого покатога холма. Агрофитоценозы (*Zea mays* L. — выезд из города, злаковые культуры — въезд в город) экранированы от воздействия автодороги частично сохранившейся лесозащитной полосой из *Acer platanoides* L. и *Populus tremula* L. Почвы легко- и среднесуглинистые дерновые.

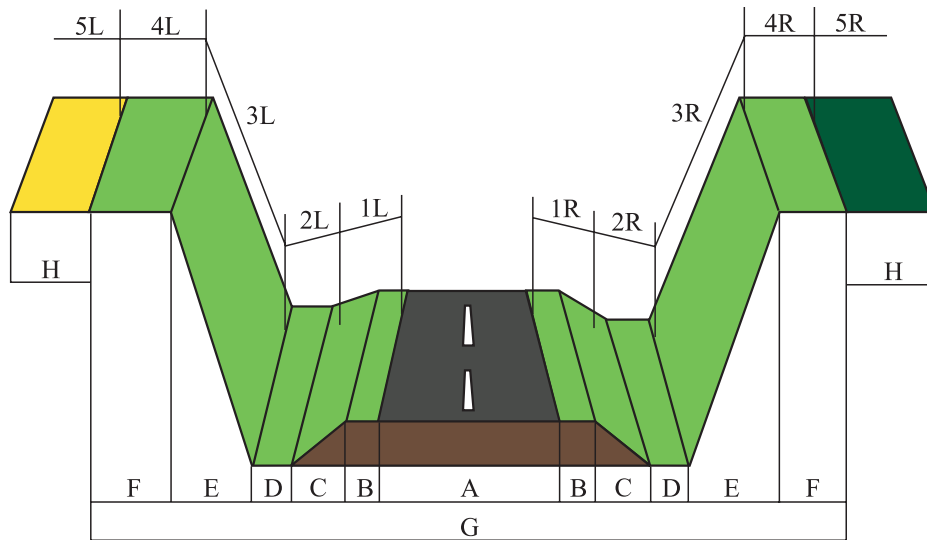


Рис. 1. Структурные части полосы отвода и соответствующие им пробные площадки (ПП) для экспозиции «выемка»: А — проезжая часть; В, С — обочина и верхняя часть откоса насыпи (ПП 1L, 1R); С, D — нижняя часть откоса насыпи и кювет (ПП 2L, 2R); E — откос выемки (ПП 3L, 3R); F — краевая часть полосы отвода (ПП 4L, 4R); G — полоса отвода; H — сообщества экосистемы, в которой пролегает дорога (ПП 5L, 5R)

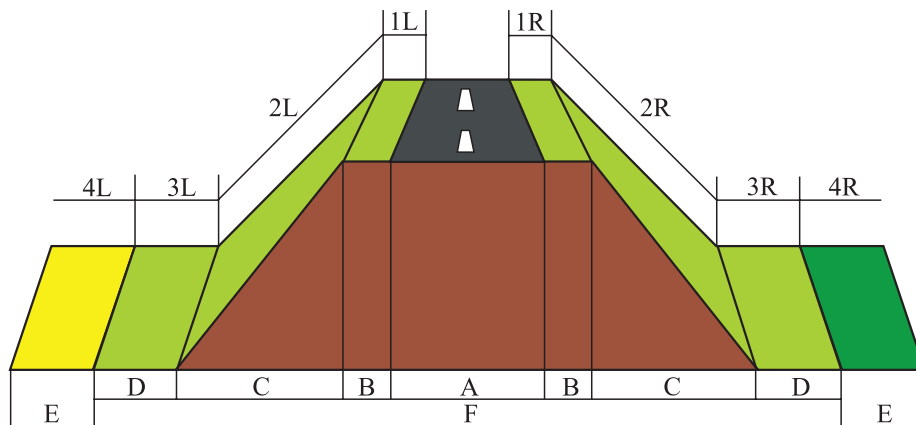


Рис. 2. Структурные части полосы отвода и соответствующие им пробные площадки для экспозиции «насыпь»: А — проезжая часть; В — обочина и верхняя часть откоса насыпи (ПП 1L, 1R); С — откос насыпи (ПП 2L, 2R); D — нижняя часть откоса насыпи (краевая часть полосы отвода) (ПП 3L, 3R); E — сообщества экосистемы, в которой пролегает дорога (ПП 4L, 4R); F — полоса отвода

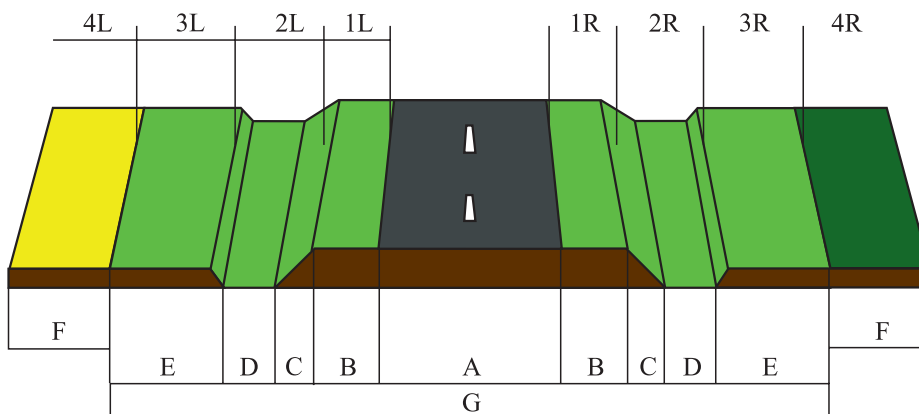


Рис. 3. Структурные части полосы отвода и соответствующие им пробные площадки для экспозиции «нулевое положение»: А — проезжая часть; В — обочина (непосредственно контактирующая с дорожным полотном часть фитоценоза) (ПП 1L, 1R); С, D — склон насыпи дорожной конструкции и слабовыраженный кювет (ПП 2L, 2R); E — пограничная часть придорожного фитоценоза с примыкающей экосистемой (ПП 3L, 3R); F — сообщества экосистемы, в которой пролегает дорога (ПП 4L, 4R); G — полоса отвода

Отбор и анализ почвенных образцов. Почвенные образцы отбирались вдоль исследуемых участков автодорог отдельно для каждого элемента полосы отвода (только со стороны с преобладающим потоком воздушных масс в направлении от дорожного полотна). Методика отбора заключалась в изъятии верхнего горизонта на глубине 0–10 см с 5 точек по 200 г на расстоянии 5 м друг от друга в пределах одного сектора с последующим смешиванием в общую пробу. В случае «выемки» образцы отбирались в секторах 1R–4R, для «насыпи» и «нулевого положения» — в секторах 1R–3R (рис. 1–3). Степень нарушения почвенного покрова оценивалась по данным литературных источников («Классификация почв России», 1997; «Полевой определитель...», 2008; Герасимова и др., 2003).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ экспозиции «выемка». Исследованная полоса отвода разделена на 4 отдельных сектора (рис. 1), в каждом из которых выделены растительные сообщества в ранге ассоциаций или монодоминантных сообществ и экологические условия, влияющие на их формирование. Следует отметить, что данный участок дороги находится на завершающей стадии реконструкции, а следовательно, отмечаются первые сукцессионные процессы для территорий с полностью разрушенным почвенным покровом. Среди всех отмеченных видов представители семейств *Asteraceae*, *Fabaceae* и *Poaceae* представлены наибольшим количеством, составляя 50,0% от видов (при общем проективном покрытии около 45% анализируемой территории) в секторах 1L, 1R, 58,8% (общее проективное покрытие 95%) — для 2L, 2R, 77,8% (общее проективное покрытие 80%) — в 3L, 3R и 71,4% (общее проективное покрытие 98%) — для 4L, 4R. Преобладание видов данных семейств соответствует таксономической характеристике городских ландшафтов и придорожных фитоценозов, что свидетельствует о прямом антропогенном воздействии на растительность (Бекетова, Старикова, 2016).

При анализе геоботанических описаний были выделены следующие растительные сообщества (рис. 4).

Сектора 1L, 1R:

- *Echinochloo-Setarietum* Krus. et Vlieg. (1939) 1940 (subass.: *E.-S. chenopodietosum albi*) — растительное сообщество дигрессивных рудеральных территорий на сухих субстратах,

Подготовка почвенных образцов к pH-анализу и приготовление водной вытяжки осуществлялись в соответствии с ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки» (Воробьева и др., 2006). Определение pH рассчитывалось в лабораторных условиях с использованием pH-метра STARTER 3100. Анализ концентрации тяжелых металлов выполнен на приборе PlasmaQuant PQ 9000 Elite, для образцов применялась оптическая спектрометрия на индуктивно-связанной плазме (ICP-OES) (Thompson, Walsh, 1983). Химико-аналитические исследования проводились на базе сектора нейтронного активационного анализа и прикладных исследований Отделения ядерной физики ЛНФ ОИЯИ.

изначально обогащенных органическим веществом, но вследствие сильных процессов эрозии крайне бедных (Арепьева, 2019);

- *Lolio (perennis)-Plantaginetum majoris* Beger 1930 (subass.: *L.-P. m. polygonetosum aviculari*) — пример искусственно созданного типа сообщества с начальными стадиями сукцессии, где типичные пионерные виды конкурируют с растениями, используемыми в травосмесях. Данное сообщество характерно для созданных относительно недавно придорожных газонов и в дальнейшем будет сменяться более устойчивыми к вытаптыванию и загрязнению синантропными или монодоминантными сообществами (Багрикова, 2016).

Сектора 2L, 2R: монодоминантное сообщество с *Lolium perenne* L. — данное сообщество является примером устойчивости придорожных травосмесей в кюветах по отношению к другим элементам полосы отвода. Далее без проведения мер по уходу дорожными службами данное сообщество будет вытесняться видами рудерально-сегетальных, луговых и лугово-болотных местообитаний. Структура сообщества также будет изменяться из-за осадения органических (почвогрунт) и неорганических веществ с атмосферными осадками и стоком с дорожного полотна и склона насыпи (сектора 3L, 3R).

Сектора 3L, 3R:

- *Chenopodietum albi* Solm. in Mirk. et al. 1986 (subass.: *Ch. a. typicum*) — типичное сообщество рудеральных территорий с сильной водной эрозией, характерно для оврагов и разрушающихся склонов. Произрастает на участ-

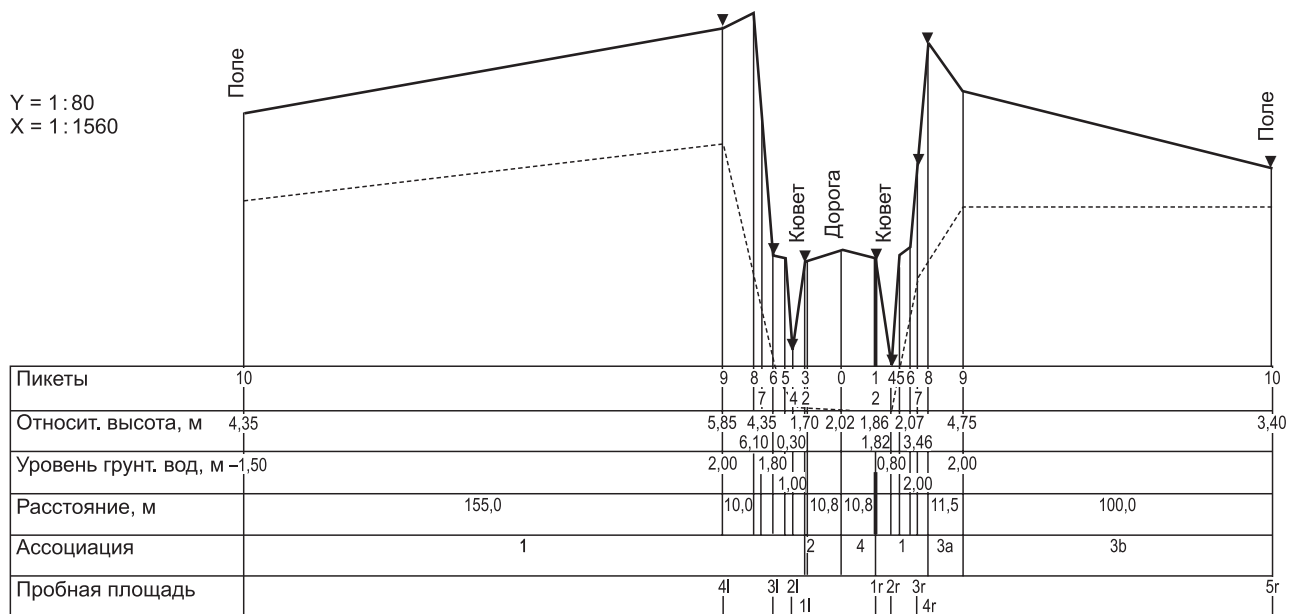


Рис. 4. Эколого-фитоценотический профиль экспозиции «выемка». Протяженность 335,6 м. Ассоциации: 1 — сообщество с *Lolium perenne* L.; 2 — *Echinochloo-Setarietum* Krus. et Vlieg. (1939) 1940 (subass.: *E.-S. chenopodietosum albi*); 3 — *Chenopodietum albi* Solm. in Mirk. et al. 1986 (subass.: a — *Ch. a. echinochloetosum crusgalli*, b — *Ch. a. typicum*); 4 — *Lolio (perennis)-Plantaginetum majoris* Beger 1930 (subass.: *L.-P. m. polygonetosum aviculari*)

как с высокой освещенностью и отсутствием дернины (слабо выражена), при дорогах характерно для участков с искусственными неровностями (склоны песчаных насыпей в «насыпях» и «выемках») (Терещенко, 2012);

- монодоминантное сообщество с *Lolium perenne* L. — созданное за счет травосмесей растительное сообщество, более устойчивое в кювете и у основания придорожных насыпей, где внесенный почвогрунт частично сохраняется.

Сектора 4L, 4R: *Chenopodietum albi* Solm. in Mirk. et al. 1986 (subass.: *Ch. a. typicum*, subass.: *Ch. a. echinochloetosum crusgalli*) — сообщество, часто встречающееся на сегетально-рудеральных территориях с частым механическим повреждением почвенного покрова и избытком удобрений. Его развитие обуславливают условия недавно реконструированной автодороги и примыкание к агрофитоценозу.

При распределении видов по системе К. Раункиера оценивались возможности растений переносить неблагоприятные сезонные периоды и общие условия внешнего воздействия (рис. 5). Среди жизненных форм наиболее представительными оказались гемикриптофиты, что соответствует климатическим особенностям центральной геоботанической подзоны Белоруссии и экстремальным условиям произрастания вблизи автодорог. Данные виды обладают высокой конкурентоспособностью и возможностью переносить неблагоприятные периоды заморозков и засухи благодаря развитию большого количества

побегов, хорошо защищенных почек и обильному семяношению, что актуально для открытых участков придорожной территории с постоянным потоком воздушных масс от движения автотранспорта и выраженным антропогенным загрязнением. Геофиты (переносят неблагоприятный период за счет сохранения почек, возобновления и окончания побегов в почве) являются единственными представителями обнаруженных криптофитов, чье количество незначительно. В большинстве своем терофиты относятся к рудеральной растительности и возобновляются только семенным путем. Большое количество терофитов (после гемикриптофитов) свидетельствует о сильном антропогенном нарушении местообитания. Однако следует обратить внимание на низкое количество видов для секторов 3L, 3R в отличие от других, что вызвано эрозией склона

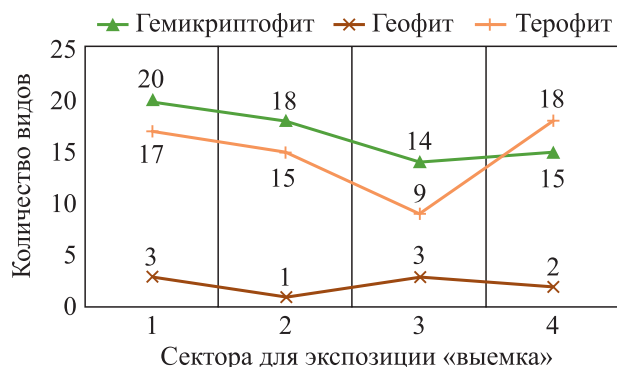


Рис. 5. Распределение видов по системе К. Раункиера в экспозиции «выемка»

из-за осенне-весеннего смыва семян терофитов с осадками.

Среди инвазивных видов в секторах 3L, 3R–4L, 4R единично встречаются *Solidago canadensis* L. и *Conyza canadensis* (L.) Cronquist — североамериканские инвазивные виды, активно заселяющие нарушенные местообитания, а *S. Canadensis* является высоко агрессивным представителем, активно внедряющимся в естественные экосистемы (Арепьева, Куликова, 2017).

Анализ экспозиции «насыпь». В случае «насыпи» полоса отвода была разделена на три отдельных сектора, для каждого из которых описаны обнаруженные растительные сообщества в ранге ассоциаций и в условиях их произрастания (рис. 2). В отличие от экспозиции «выемка» сукцессионные переходы выражены менее, а сообщества характеризуются стабильностью благодаря отсутствию серьезных изменений почвенного покрова, что благоприятно сказалось на формировании дернины и развитии устойчивых фитоценозов. Среди всех отмеченных видов преобладают представители семейств *Asteraceae* и *Poaceae*: 60,0% от видов (при общем проективном покрытии около 65% анализируемой территории) в секторах 1L, 1R, 68,2% (общее проективное покрытие 90%) — для 2L, 2R, 62,9% (общее проективное покрытие 95%) — в 3L, 3R. Высокая доля представителей данных семейств

свидетельствует о стабильности сложившихся фитоценозов в условиях постоянного антропогенного воздействия и ненарушенности почвенного покрова.

Отмечены следующие растительные сообщества по секторам (рис. 6).

Сектора 1L, 1R: *Polygonetum avicularis* Gams 1927 em. Knapp 1945 em. Jehlik in Hejný et al. 1979 (subass.: *P. a. elytrigietosum repentis*; subass.: *P. a. potentilletosum anserinae*) — растительные сообщества рудеральных местообитаний с характерной рекреационной нагрузкой (высокая степень вытаптывания). Типичны для участков, непосредственно примыкающих к дорожному полотну и проселочным дорогам (Багрикова, 2016).

Сектора 2L, 2R:

- *Convolvulo arvensis-Agrophyretum repentis* Felföldy 1942 (subass.: *A. r. calamagrostidetosum epigeji*) — придорожное сообщество растений, свойственно освещенным и прогреваемым местообитаниям с песчанистой структурой и частично замкнутой ценофлорой (Багрикова, 2016; Терещенко, 2013);
- *Agropyretum repentis* (Felföldy 1943) Görs 1966 (subass.: *A. r. dactylidetosum glomeratae*; subass.: *A. r. phleetosum pratensi*; subass.: *A. r. typicum*) — сообщества нарушенных экотопов, характерны для участков вдоль сельскохозяйственных территорий и у подножия склонов (искусствен-

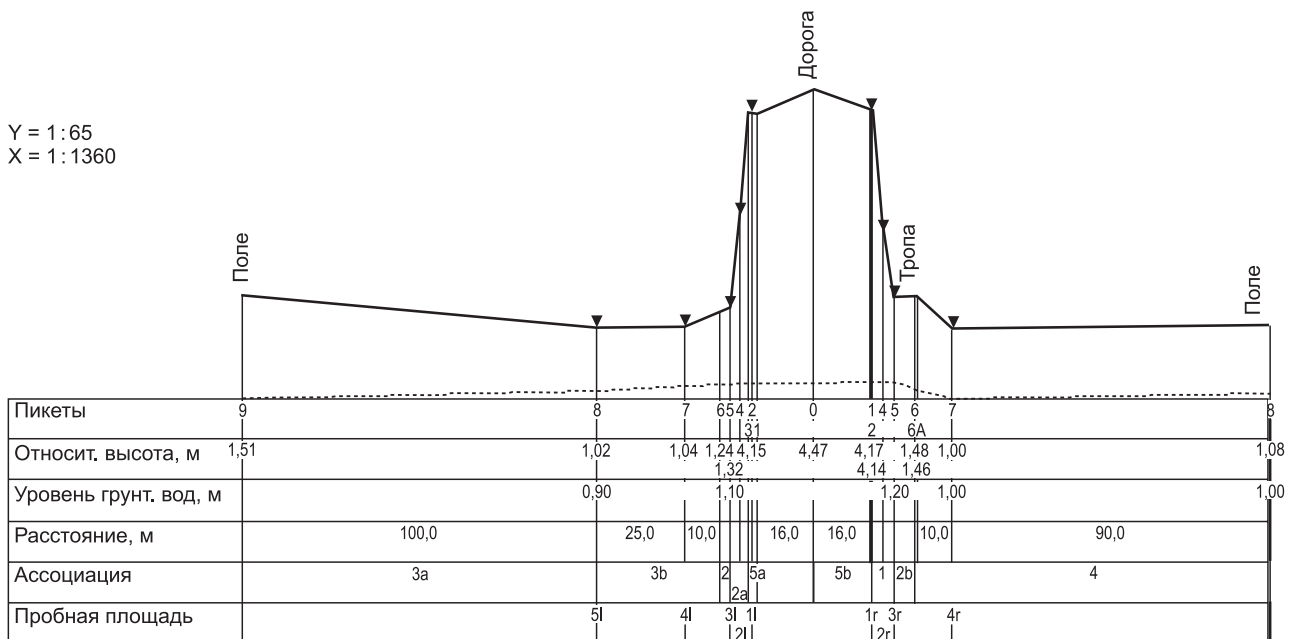


Рис. 6. Эколого-фитоценотический профиль экспозиции «насыпь». Протяженность 293,2 м. Ассоциации: 1 — *Convolvulo arvensis-Agrophyretum repentis* Felföldy 1942 (subass.: *A. r. calamagrostidetosum epigeji*); 2 — *Agropyretum repentis* (Felföldy 1943) Görs 1966 (subass.: a — *A. r. dactylidetosum glomeratae*, b — *A. r. phleetosum pratensi*, c — *A. r. typicum*); 3 — *Centaureo-Aperetum spicae-venti* V. Sl. (1987) 1989 (subass.: a — *C.-A. s.-v. typicum*, b — *C.-A. s.-v. elytrigietosum repentis*); 4 — *Echinochloetum crusgalli* V. Sl. 1988 (subass. *E. c. typicum*); 5 — *Polygonetum avicularis* Gams 1927 em. Knapp 1945 em. Jehlik in Hejný et al. 1979 (subass.: a — *P. a. elytrigietosum repentis*, b — *P. a. potentilletosum anserinae*)

ных насыпей). Почвы с достаточно сформированной дерниной (Багрикова, 2016).

Сектора 3L, 3R:

- *Agropyretum repentis* (Felföldy 1943) Görs 1966 (subass.: *A. r. phleetosum pratensi*);
- *Centaureo-Aperetum spicae-venti* V. Sl. (1987) 1989 (subass.: *C.-A. s.-v. typicum*; subass.: *C.-A. s.-v. elytrigietosum repentis*) — данное сеgetальное сообщество часто характерно для агрофитоценозов и в районах, граничащих с ними. Отмечается на территориях с механическим повреждением почвенного покрова в результате механизации сельского хозяйства;
- *Echinochloetum crusgalli* V. Sl. 1988 (subass.: *E. c. typicum*) — сеgetальное сообщество, характерное для агрофитоценозов и перепахиваемых почв. Плохо выносит межвидовую конкуренцию.

Согласно системе К. Раункиера количество гемикриптофитов значительно превышает остальные типы растений с наличием резкого спада, как в случае с терофитами, в секторах 2L, 2R, что вызвано затруднением укоренения и распространения растений на неровном субстрате. Количество геофитов постоянно, что связано с длительным периодом между сукцессионными стадиями и относительно сформированным почвенным покровом. В секторах 3L, 3R отмечен представитель хамефитов (*Veronica chamaedrys* L.) — растений, чьи почки возобновления и концевые побеги для перенесения неблагоприятного периода располагаются на побегах, лежащих на поверхности земли или расположенных близко к ней (рис. 7).

Интенсивное распространение *Solidago canadensis* L. характерно для секторов 3L, 3R по причине неполного кошения придорожных территорий дорожными службами, что положительно влияет на распространение вида в прилегающие экосистемы.

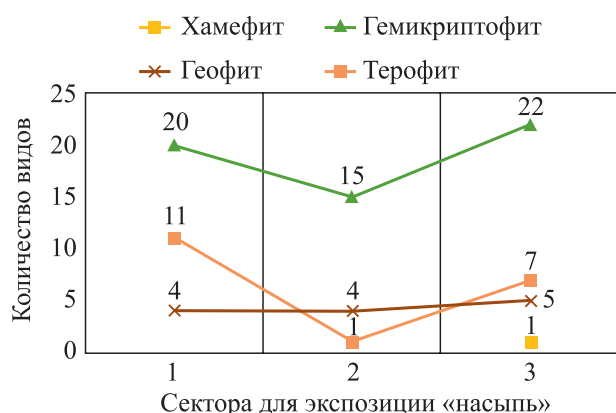


Рис. 7. Распределение видов по системе К. Раункиера в экспозиции «насыпь»

Анализ экспозиции «нулевое положение».

Экспозиция пролегания автодороги в «нулевом положении» разделена на 3 отдельных сектора, конструктивно отличающихся минимально, но имеющих флористические особенности (рис. 3). Среди всех отмеченных видов представители семейств *Asteraceae* и *Poaceae* составляют наибольшее количество: 72,9% от видов (при общем проективном покрытии около 70% анализируемой территории) в секторах 1L, 1R, 48,6% (общее проективное покрытие 99%) — для 2L, 2R, 49,1% (общее проективное покрытие 95%) — в 3L, 3R. Значительная доля синантропных видов характерна у непосредственно примыкающих секторов 1L, 1R по причине прямого антропогенного воздействия (загрязнение почвенного покрова строительным и бытовым мусором, уплотнение почвенного покрова, вытаптывание). Сектора 2L, 2R имеют слабо выраженный кювет, благоприятно влияющий на развитие типичных луговых и лугово-болотных видов. Последующее незначительное повышение количества представителей семейств *Asteraceae* и *Poaceae* связано с примыканием к дорожному полотну агрофитоценозов как территорий распространения сеgetально-рудеральной растительности.

Определены следующие растительные сообщества по секторам (рис. 8).

Сектора 1L, 1R: *Polygonetum avicularis* Gams 1927 em. Knapp 1945 em. Jehlik in Hejny et al. 1979 (subass.: *P. a. potentilletosum anserinae*; subass.: *P. a. agrostidetosum stoloniferae*) — как и в случае с «насыпью», данное сообщество типично для рудеральных районов (свалки, дороги различного назначения и участки с отсутствующим почвенным покровом или слабо развитым, нарушенным) (Багрикова, 2016).

Сектора 2L, 2R:

- *Dactylidetum glomeratae* Jenik et al. 1980 (subass.: *D. g. elytrigietosum pratensis*) — данное сообщество представлено луговыми видами и имеет место в результате благоприятных условий пологой выемки полосы отвода, а также сохранившихся в большом количестве злаков, используемых ранее в придорожных травосмесях и более устойчивых к антропогенезу (Арепьева, 2018);
- *Festucetum pratensis* Soó 1938 (subass.: *F. p. dactylidetosum glomeratae*) и *Festucetum rubrae* (Domin 1923) Válek 1956 em. Pukau et al. 1956 (subass.: *F. r. elytrigietosum repentis*) — сеяные луговые сообщества, довольно устойчивы к антропогенному воздействию при сохранении почвенного покрова и выраженной дернины (Арепьева, 2018).

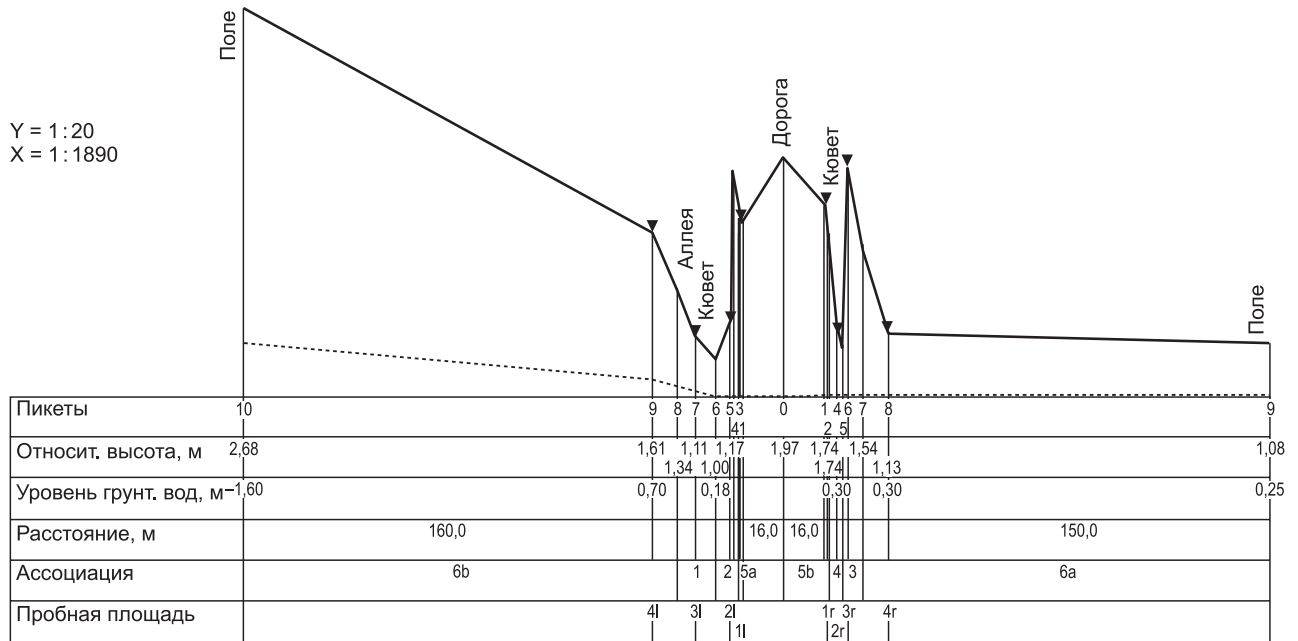


Рис. 8. Эколого-фитоценотический профиль экспозиции «нулевое положение». Протяженность 404,8 м. Ассоциация: 1 — культура *Acer platanoides*; 2 — *Festucetum rubrae* (Domin 1923) Válek 1956 em. Pukau et al. 1956 (subass.: *F. r. elytrigietosum repentis*); 3 — *Dactylidetum glomeratae* Jenik et al. 1980 (subass.: *D. g. elytrigietosum pratensis*); 4 — *Festucetum pratensis* Soó 1938 (subass.: *F. p. dactylidetosum glomeratae*); 5 — *Polygonetum avicularis* Gams 1927 em. Knapp 1945 em. Jehlik in Hejny et al. 1979 (subass.: a — *P. a. potentilletosum anserinae*, b — *P. a. agrostidetosum stoloniferae*); 6 — *Chenopodietum albi* Solm. in Mirk. et al. 1986 (subass.: a — *Ch. a. typicum*, b — *Ch. a. sonchetosum arvensi*)

Сектора 3L, 3R:

- *Festucetum pratensis* Soó 1938 (subass.: *F. p. dactylidetosum glomeratae*) и *Festucetum rubrae* (Domin 1923) Válek 1956 em. Pukau et al. 1956 (subass.: *F. r. elytrigietosum repentis*);
- *Chenopodietum albi* Solm. in Mirk. et al. 1986 (subass.: *Ch. a. typicum*; subass.: *Ch. a. sonchetosum arvensi*) — рудеральное сообщество, встречающееся в сельскохозяйственных культурах на эродированных почвах. Типично для зани-

маемого ей элемента полосы отвода на границе с геофитоценозом.

По системе К. Раункиера количество гемикриптофитов сильно возрастает в зависимости от удаления от дорожного полотна, а количество терофитов и геофитов сохраняется стабильно низким. Также в секторах 3L, 3R произрастают хамефит и фанерофиты (деревья различной высоты, *Acer platanoides* L., *Populus tremula* L. и *Betula pendula* Roth) (рис. 9).

Загрязненность компонентов полосы отвода тяжелыми металлами. Ниже представлена характеристика почвенного покрова отдельно по секторам для каждой экспозиции.

Экспозиция «выемка». Сектора 1L, 1R — антропогенный тип почв, процессы водной эрозии способствуют вымыванию грунта. В профиле сохранилось большое количество промышленного мусора, частицы щебня, бетона и асфальта. Верхний слой представлен субстратом, обогащенным органическим веществом. Нижний слой (материнская порода) — строительный песок. Сектора 2L, 2R — почвы с измененными и/или перемешанными верхними горизонтами; явные процессы образования дернины, почва обогащена органическими и неорганическими веществами из-за их стока с атмосферными осадками. Сектора 3L, 3R — техногенные поверхностные

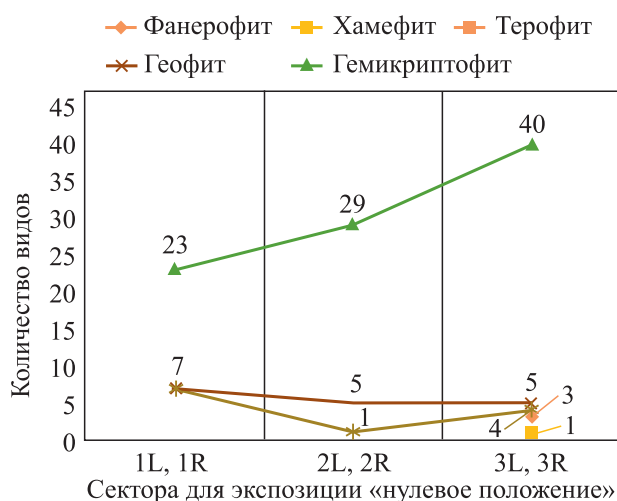


Рис. 9. Распределение видов по системе К. Раункиера в экспозиции «нулевое положение»

образования (ТПО), состоящие из строительного песка, почвенный слой отсутствует или слабо развит из-за смыва с атмосферными осадками. Сектора 4L, 4R — характерны изменения процессов гумусонакопления и свойств гумусового профиля, механические нарушения или поступление инородных субстратов и почв с нижележащих горизонтов, а также попадание удобрений (деятельность на прилегающих сельскохозяйственных территориях) («Классификация почв России», 1997; «Полевой определитель...», 2008).

Экспозиции «насыпь» и «нулевое положение». Сектора 1L, 1R — уплотнение почвы и процессы эрозии с сильным химическим загрязнением привели к разрушению почвенного покрова и отсутствию дернинообразования; антропогенный тип почв с минимальными признаками формирования естественного горизонта. Сектора 2L, 2R «насыпь» — почвы с новыми, сходными с естественным или искусственным горизонтами в составе единого профиля, сформирована дернина, почвенный покров подстилает песчаный субстрат с признаками оподзоливания. Сектора 3L, 3R «насыпь», сектор 2L, 2R и 3L, 3R «нулевое положение» — почвы, близкие к естественным, без видимых морфологических изменений и со слабо выраженным оподзоливанием, но за счет влияния дороги и примыкающих агрофитоценозов химическое загрязнение верхнего горизонта будет варьироваться в различных концентрациях («Полевой определитель...», 2008; Howard, 2017).

При анализе загрязненности почв проводилась оценка концентрации тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Co и Ni), вызванной действием продуктов эмиссии автотранспорта, изнашиванием частей конструкции автомобиля, дорожного покрытия. В таблице представлены концентрации тяжелых металлов согласно общепринятым содержаниям в почве.

Исследуя динамику pH в каждой экспозиции, следует отметить наиболее вероятные общие причины данного показателя: сильное подщелачива-

ние в первых секторах и последующее снижение вызваны интенсивным использованием солевых противогололедных реагентов и осаждением оксидов тяжелых металлов из отработанных газов автотранспорта и при изнашивании деталей (Плеханов, 2000). Особо высокое pH ($8,89 \pm 0,09$) в первом секторе экспозиции «выемка» связано с недавним внесением высокоорганических почвогрунтов. Также важным фактором является известкование кислых (pH 4–5,5) сельскохозяйственных почв, примыкающих к дорожному полотну. Таким образом, придорожная территория имеет тенденцию перехода почв от сильнощелочных ($> 8,6$ pH) к нейтральным (6,9–7,3 pH) в зависимости от удаления от дорожного полотна (рис. 10).

Анализ концентрации Zn показывает превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) на непосредственно примыкающих к дороге участках (сектор 1R) в 3,3 раза для «насыпи» ($330,8 \pm 6,6$ мг/кг) и в 2,9 раза — для «нулевого положения» ($285,7 \pm 5,7$ мг/кг), что говорит о прямом влиянии автотранспорта на загрязнение почв данным элементом (рис. 11). В случае «насыпи» превышение ПДК сохраняется на

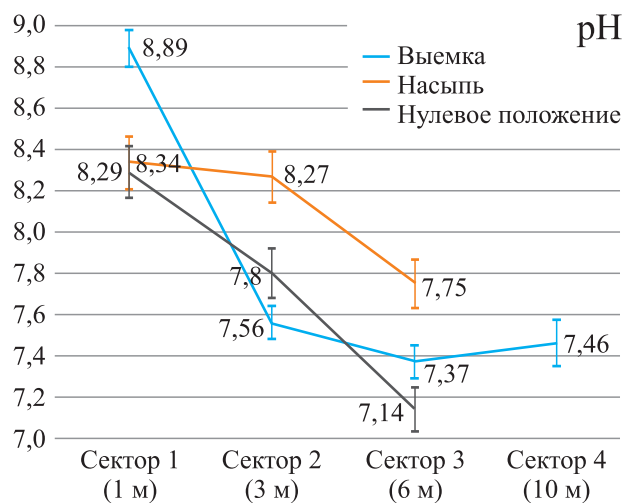


Рис. 10. Показатели pH для исследуемых участков автодорог

Концентрации элементов в почве согласно литературным источникам и общепринятым нормативам (мг/кг)

Литературный источник	Zn	Cu	Pb	Co	Ni
ПДК (Госкомприрода, 1990; Головатый, 2002; ТКП 17.03-06-2019 (33140))	100	33	30	12	85
Кларк городских почв (Алексеенко и др., 2013)	158	39	54,5	14,1	33
*Среднее по с/х землям (Толкач, Позняк, 2015)	44	20	23	8	22
Кларк (Петухова, Кузнецов, 1992)	35	13	12	6	20

* Для дерново-подзолистых почв (соответствует почвам исследуемой зоны).

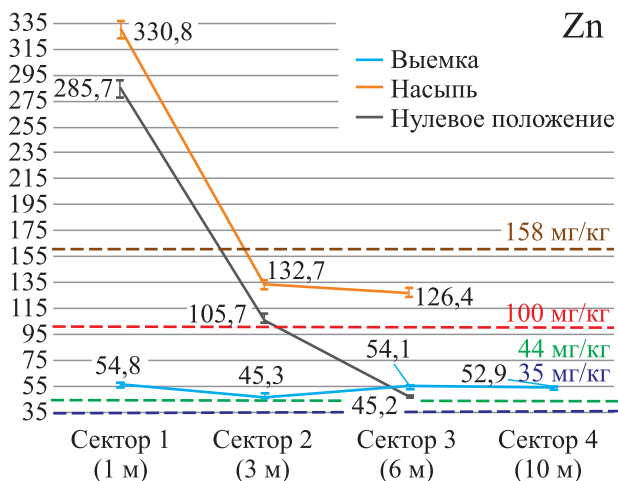


Рис. 11. Концентрации Zn для исследуемых участков автодорог, мг/кг. Красный — ПДК; коричневый — кларк городских почв; зеленый — среднее по с/х землям; фиолетовый — кларк

протяжении всего профиля отбора, а в «нулевом положении» — только в 1R–2R. Экспозиция «выемка», как участок дороги после реконструкции, находится в пределах ПДК по Zn с концентрацией по всей полосе отвода 45,3–54,8 мг/кг, что практически соответствует показателям кларкового числа региона и среднему содержанию в примыкающих экосистемах. Zn наименее токсичен из всех тяжелых металлов, а его активность возрастает по мере снижения рН почвы (Рудь, 2007).

Содержание Cu, как и в случае с Zn, превышает ПДК в секторе 1R в 1,8 раза для экспозиции «насыпь» (57,5±0,6 мг/кг) и в 1,3 раза — для «нулевого положения» (44,0±0,4 мг/кг) (рис. 12). Концентрации элемента в остальных секторах экспозиций находились в пределах ПДК, незначительно превышая среднее содержание для

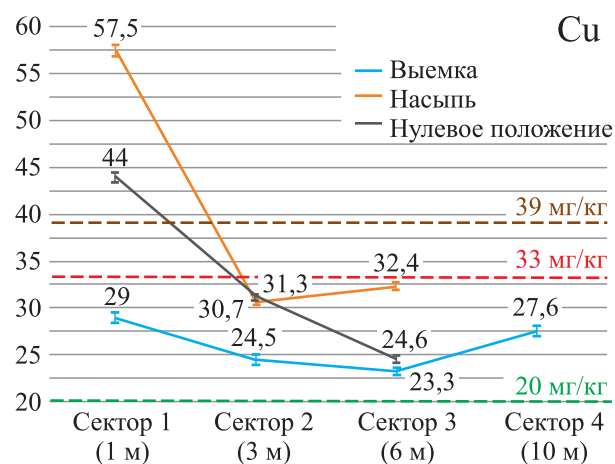


Рис. 12. Концентрации Cu для исследуемых участков автодорог, мг/кг. Красный — ПДК; коричневый — кларк городских почв; зеленый — среднее по с/х землям

примыкающих агрофитоценозов. Показатели Cu в «выемке» (23,3–29,0 мг/кг) характеризуют короткий промежуток воздействия автотранспорта на почвы. Биохимические особенности поступления и уровень аккумуляции Cu характеризуют его как элемент умеренного накопления в почве. Избыток элемента вызывает ослабление азотфиксации и дыхания почвы (Рудь, 2007). В экспозиции «насыпь» небольшое увеличение Cu в секторе 3R по сравнению с 2R следует относить к низкому коэффициенту связывания элемента с комплексом веществ почвенного покрова на неровной местности — смыванию с атмосферными осадками.

Показатели Pb находятся ниже ПДК (в 1,6–3,4 раза) и средних значений по сельскохозяйственным землям (1,2–2,6 раза) при сравнении всех экспозиций, а в некоторых случаях — ниже кларка для сектора 3R в «нулевом положении» (составляет 8,9±0,1 мг/кг) (рис. 13). В отличие от Cu, концентрация данного элемента выше на склонах в секторе 2R — «насыпь» (18,6±0,19 мг/кг) и секторе 3R — «выемка» (13,5±0,07 мг/кг) по сравнению с другими элементами полосы отвода, что, вероятно, связано со способностью Pb связываться с компонентами искусственного песчаного субстрата. Интерес вызывают низкие концентрации элемента в условиях, когда наличие Pb предполагается выше отмеченных пределов из-за действия автотранспорта и попадания удобрений из примыкающих сельскохозяйственных районов.

Наличие Co во всех проанализированных образцах не превышает ПДК, находясь в пределах среднего содержания для сельскохозяйственных почв и кларков, что также подтверждает его слабое накопление и средний захват элемен-

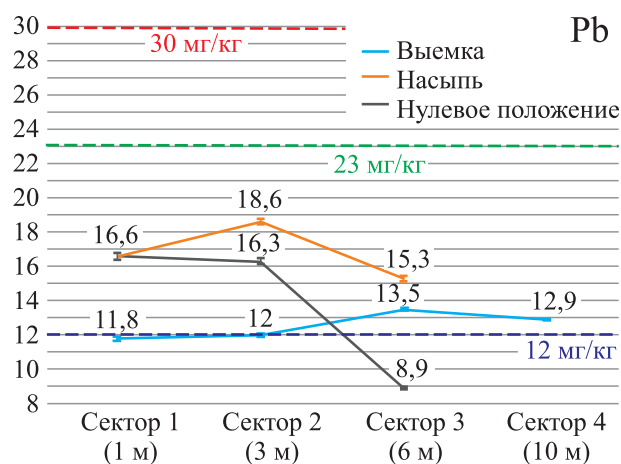


Рис. 13. Концентрации Pb для исследуемых участков автодорог, мг/кг. Красный — ПДК; зеленый — среднее по с/х землям; фиолетовый — кларк

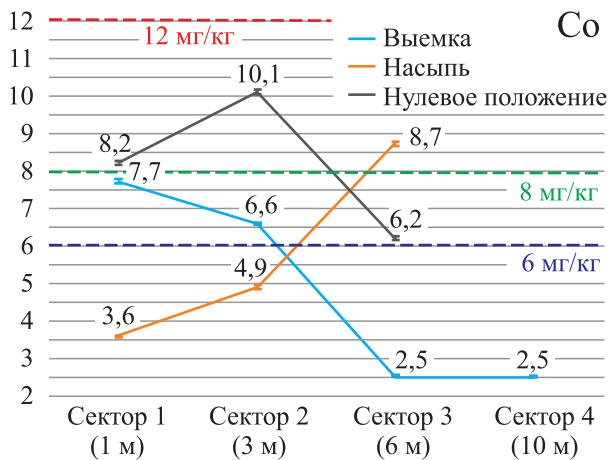


Рис. 14. Концентрации Co для исследуемых участков автодорог, мг/кг. Красный — ПДК; зеленый — среднее по с/х землям; фиолетовый — кларк

тами почв (Перельман, 1975) (рис. 14). Следует отметить аккумуляцию элемента в местах стока атмосферных осадков, что вызвано его подвижностью в почве: для «выемки» — сектор 2R ($6,6 \pm 0,03$ мг/кг), для «нулевого положения» — сектор 2R ($10,1 \pm 0,08$ мг/кг) и «насыпи» — сектор 3R ($8,7 \pm 0,07$ мг/кг). Содержание данного элемента в почве связано как с природным, так и с антропогенным фактором — металл широко используется в конструкции автомобилей, особенно его выбросы связаны с работой тормозной системы. Исходя из данных, антропогенное происхождение Co подтверждается.

Концентрация Ni — одна из самых низких по сравнению с другими тяжелыми металлами, однако его техногенный эффект (присутствие

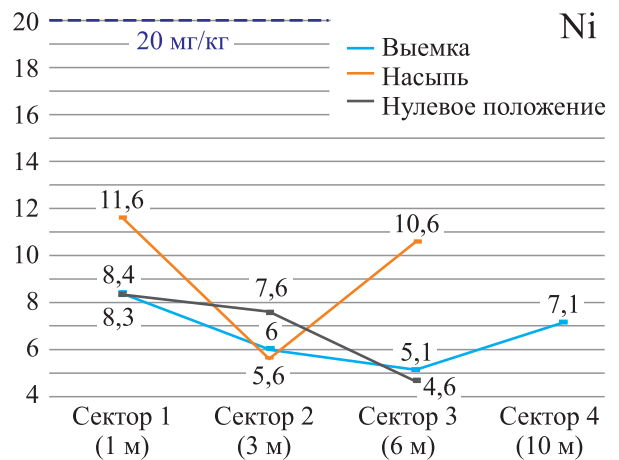


Рис. 15. Концентрации Ni для исследуемых участков автодорог, мг/кг. Фиолетовый — кларк

в выхлопных газах) подтверждается постепенным снижением в зависимости от удаления от дорожного полотна (рис. 15). Наибольшие показатели характерны в первых секторах для каждой экспозиции: «выемка» — $8,4 \pm 0,04$ мг/кг, «насыпь» — $11,6 \pm 0,06$ мг/кг и «нулевое положение» — $8,3 \pm 0,04$ мг/кг. Содержание элемента в придорожной почве находится ниже всех сравнительных данных (см. таблицу). Слабое накопление и захват элементами почв схож со свойствами Co — наименьшие значения на склонах в секторе 2R «насыпь» ($5,6 \pm 0,03$ мг/кг) и секторе 3R «выемка» ($5,1 \pm 0,03$ мг/кг). Увеличение концентрации в секторе 3R «насыпь» ($10,6 \pm 0,05$ мг/кг) вызвано смывом с осадками в осенне-весенние периоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмеченные фитоценозы подтверждают прямой антропогенный вклад в формирование придорожных растительных сообществ. Так, были обнаружены сообщества, типичные для сегетальных и рудеральных районов произрастания. Особый вклад в структуру фитоценозов вносит использование придорожных травосмесей и сама конструкция полосы отвода — сохраняются монодоминантные злаковые сообщества и ассоциации, характерные для условий полного нарушения почвенного покрова и его неразвитости (искусственные песчаные склоны в экспозициях «выемка» и «насыпь»). В особо благоприятных условиях (экспозиция «нулевое положение») произрастают луговые сообщества, наиболее устойчивые к антропогенезу.

Анализ почв придорожной территории показал постепенное улучшение качества почвенного

покрова в зависимости от удаления от дорожного полотна и его полное или частичное разрушение в наиболее экстремальных для биоценозов участках полосы отвода — склоне искусственной насыпи в экспозициях «выемка» и «насыпь». Экспозицию «выемка» отличают слабая педогенная структура и начальные сукцессионные процессы.

Загрязненность почвенного покрова характеризуется постепенным снижением концентрации тяжелых металлов для всех экспозиций в зависимости от удаления от дорожного полотна. Отличительные особенности имеет ряд элементов при рассмотрении их аккумуляции в отдельности для каждого сектора полосы отвода: Pb показал способность закрепления на склонах песчаных насыпей в отличие от Co и Ni, которые характеризуются слабым накоплением и средним захватом

элементами почв в данных секторах. Превышение ПДК отмечается по Zn для всей «насыпи» и секторов 1R, 2R «нулевого положения»; Cu превышает допустимые показатели только в первых

секторах 1R «насыпи» и «нулевого положения». Концентрации Pb, Co и Ni находятся в пределах ПДК во всех секторах трех экспозиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекетова О.А., Старикова Е.А. // Вестник КрасГАУ: С.-хоз. науки. 2016. № 11. С. 3–9.
2. Арпьева Л.А. // Разнообразии растительного мира. 2019. № 2(2). С. 18–37.
3. Багрикова Н.А. // Сборник научных трудов ГНБС. 2016. Т. 143. С. 25–58.
4. Терещенко С.С. // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1(6). С. 1561–1564.
5. Арпьева Л.А., Куликова Е.Я. // Бюл. Брянского отд-ния РБО. 2017. № 3(11). С. 29–34.
6. Терещенко С.С. // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна. 2013. № 2(39). С. 35–43.
7. Арпьева Л.А. // Растительность России. 2018. № 33. С. 3–18.
8. Преображенский В.С., Александрова Т.Д. Геоэкологические основы территориального проектирования и планирования. М.: Наука, 1989.
9. Харитонцев Б.С., Попова Е.И. // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 5. С. 1–8.
10. Шадрин В.А. // Проблемы изучения адвентивной и синантропной флоры России и стран ближнего зарубежья: Материалы IV Междунар. науч. конф. М.-Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2012. С. 227–232.
11. Степанович И.М., Судник А.В. // Вести НАН Беларуси. Сер. биол. наук. 2021. Т. 66, № 1. С. 107–121.
12. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс-Традиция, 2009.
13. Кавеленова Л.М. и др. // Теоретические проблемы экологии и эволюции. Теория ареалов: виды, сообщества, экосистемы: V Любимцевские чтения. Тольятти, 2010. С. 63–68.
14. Классификация почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1997.
15. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008.
16. Герасимова М.И. и др. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. М.: Ойкумена, 2003.
17. Судник А.В., Рыбинский А.Г. // Автомобильные дороги и мосты. 2020. №1(25). С. 6–15.
18. Судник А.В., Вознячук И.П. // Лесной вестн. 2020. Т. 24(6). С. 83–95.
19. Степанович И.М., Степанович Е.В. Мониторинг луговой и лугово-болотной растительности Беларуси: Науч.-метод. основы, технология, сеть пунктов. Saarbrücken: Lap Lambert Acad. Publ., 2015.
20. Пугачевский А.В. и др. // Ботаника (исследования). 2006. Т. 33. С. 220–235.
21. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и Семья, 1995.
22. The Plant List. 2022. <http://www.theplantlist.org>.
23. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien – New York, 1964.
24. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. // Lethaea rossica. 2014. Т. 9. С. 21–34.
25. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломеш А.И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2002.
26. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности. Уфа: Гилем, 1998.
27. Сцепановіч Я.М., Ганцоўская М.А. // Антропогенная трансформация ландшафтов. Минск, 2012. С. 122–124.
28. Raunkiaer C. The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography. Oxford: Clarendon Press, 1934.
29. Howard J. Anthropogenic Soils (Progress in Soil Science). 1st ed. Springer, 2017.
30. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006.
31. Thompson M., Walsh J.N. Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry. Glasgow; London: Blackie, 1983.
32. Обобщенные перечни предельно-допустимых концентраций вредных веществ в почве. Утв. Госкомприроды СССР, 1990.
33. Головатый С.Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии», 2002.
34. Охрана окружающей среды и природопользование Земли. Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы). ТКП 17.03-03-2019 (33140). Минск: Минприроды, 2019.
35. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального ун-та, 2013.
36. Толкач Г.В., Позняк С.С. // Экологический вестн. 2015. № 3(33). С. 79–88.
37. Петухова Н.Н., Кузнецов В.А. // Докл. АН Беларуси. 1992. Т. 26, № 5. С. 461–465.
38. Плеханов И.О. // Почвоведение. 2000. № 6. С. 754–759.
39. Рудь А.В. // Веснік БДУ. Сер. 2: Химия. Биология. География. 2007. № 1. С. 111–115.
40. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1975.

Получено 6 декабря 2022 г.

Редактор *Е. В. Калининкова*

Подписано в печать 30.01.2023.

Формат 60 × 84/8. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,42. Тираж 115. Заказ № 60593.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6
E-mail: publish@jinr.ru
www.jinr.ru/publish/