

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В БЕЛАРУСИ

УДК 581.52:625.7:630.182

Александр Судник,

завлабораторией оптимизации и мониторинга экосистем Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук;
asudnik@tut.by

Ирина Вознячук,

ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук; ipv@tut.by

Дмитрий Дубовик,

ведущий научный сотрудник лаборатории флоры и систематики растений Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидат биологических наук;
dvdubovik73@gmail.com

Аннотация. В статье приводятся данные по результатам загрязнения придорожных территорий комплексом техногенных металлов и компонентами противогололедных реагентов. Отмечается, что солевое загрязнение по масштабам и интенсивности многократно превосходит загрязнение тяжелыми металлами и является одной из основных причин деградации растительности в опушечных зонах вдоль автомагистралей. Описаны последствия воздействия ионов натрия и хлора на экологическое состояние почвы и растений. По результатам анализа солеустойчивости 221 вида дикорастущих и культивируемых деревьев и кустарников, используемых при озеленении дорог и населенных пунктов Беларуси, подобран ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами.

Ключевые слова: автомобильная дорога, придорожная территория, противогололедные реагенты (ПГР), загрязнение, ионы натрия (Na⁺) и хлора (Cl⁻), состояние растительности.

Для цитирования: Судник А., Вознячук И., Дубовик Д. Загрязнение придорожных территорий в результате эксплуатации и содержания автомобильных дорог в Беларуси. Наука и инновации. 2023. №1. С. 72–78.
<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-72-78>

В связи с развитием инфраструктуры дорог Беларуси, изменением технологий их содержания, ростом парка автотранспорта становится все актуальнее проблема негативного воздействия на придорожные экосистемы. При эксплуатации автотрассы прилегающие к ней территории подвергаются загрязнению, связанному как с ее содержанием, так и непосредственным использованием для грузо- и пассажироперевозок.

Оно характеризуется следующими комплексами элементов:

- 1) выбросы автомобильного транспорта;
- 2) компоненты противогололедных реагентов (ПГР);
- 3) продукты выветривания дорожных материалов, частиц металлов, красок, перевозимых грузов, горюче-смазочных материалов и пр.

В последние годы отмечается особенно значительный рост загрязнения из-за увеличения интенсивности движения и объемов применения ПГР [1].

Огромной проблемой становится засоление территорий вдоль автодорог вследствие использования дефростировочной соли в зимний период. Сырьем для получения ПГР чаще всего являются природные источники галита (NaCl – каменной соли), бишофита (MgCl₂·6H₂O), карналлита (KCl·MgCl₂·6H₂O), а также отходы пищевой и химической промышленности. Наиболее распространены силвинитовые отвалы, образующиеся

при получении калийных удобрений, и «белые моря» – при содовом производстве. В первом случае при обогащении получают ПГР на основе NaCl, во втором – на основе CaCl₂.

В Республике Беларусь в качестве противогололедного средства применяют техническую соль галит, на 96–98% состоящую из хлорида натрия (остальные примеси – нитраты, фосфаты, сульфаты натрия, кальция и т.д.), в чистом виде или в смеси с песком (преимущественно в соотношении 1:1). При этом на отдельных участках автодорог нормы внесения ПГР превышены в 2 и более раз [2]. Использование хлорида натрия в таком качестве, тем более с превышением предельных норм и в сочетании с другими негативными факторами, как связанными, так и не связанными с эксплуатацией дорог, неизбежно ведет к ослаблению и деградации придорожных экосистем [3].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В систему объектов исследования вошли выборочные участки магистральных автомобильных дорог: М1/Е30 Брест (Козловичи) – Минск – граница Российской Федерации (Редьки), М3 Минск – Витебск, М9 – Минская кольцевая автомобильная дорога (МКАД). Для мониторинга загрязнения придорожных территорий компонентами ПГР проводился отбор образцов почвы (два слоя: 0–10 см и 10–20 см), лесной подстилки и зеленых мхов на расстоянии 5, 10, 20, 35, 150 и 300 м от МКАД (всего отобрано 192 образца) отдельно на участках прохождения дороги в выемке, насыпи

и в нулевых отметках в соответствии с руководством [4].

Химический анализ образцов на загрязнение тяжелыми металлами и компонентами ПГР (ионами натрия и хлора) осуществлялся центральной лабораторией филиала РУП «Белгеология». Кроме того, в ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» получены данные о загрязнении ионами хлора снежного покрова вдоль автодорог на территории Беларуси.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Средние показатели загрязнения почвы тяжелыми металлами и компонентами ПГР на различном удалении от дорожного полотна приведены в табл. 1. В результате анализа пространственного распределения рассеянных элементов в снежном покрове, почве и компонентах лесных фитоценозов установлено, что наибольший вред наносится, как правило, непосредственно опушечным территориям вдоль автодорог. Можно выделить 3 зоны загрязнения: первая (5-метровая) – с концентрацией элементов, в 2 и более раз превышающей средний уровень; вторая (5–35 м) – среднего накопления; третья (35–300 м) – с содержанием поллютантов ниже среднего. Открытые территории способствуют переносу загрязнителей, главным образом с воздушным потоком, на более дальние от проезжей части участки. При отсутствии на полях защитного древесного барьера в снежном покрове (а летом – в растительности) доля загрязнителей значительна на 300-метровом

расстоянии от дороги, а наивысшие их концентрации приходятся на первые 150 м от нее.

По результатам проведенного анализа загрязнения придорожных территорий комплексом техногенных металлов и компонентов ПГР установлено, что в них происходит долговременное накопление различных привнесенных элементов и формируются относительно четкие градиенты их содержания в пространстве. В результате изучения аккумуляции и распределения веществ-загрязнителей в придорожных растительных сообществах можно сделать следующие выводы:

- масштабы проявления загрязнения придорожных экосистем зависят от категории дороги, ее положения в рельефе, интенсивности движения транспортных средств, объема и качества вносимых ПГР (чистая соль или в смеси с песком);
- загрязнение растительных сообществ прослеживается не менее чем на 300 м от дорожного полотна; на этом отрезке валовое содержание тяжелых металлов больше их базовых величин, но не превышает предельно допустимые концентрации (ПДК);
- следствие применения в зимний период на автодорогах NaCl в качестве ПГР – значительное увеличение содержания ионов хлора и натрия в компонентах придорожных биогеоценозов, а наибольшее число отклонений выявлено в зеленых мхах лесных экосистем;
- сравнение анализов смывов с хвои придорожных насаждений с контрольными

Расстояние от полотна дороги, м	Тяжелые металлы					Компоненты ПГР		
	Ni	Co	Pb	Cu	Zn	Cd	Cl-	Na+
0–5	24,1 ± 1,85	2,7 ± 0,50	12,6 ± 0,82	38,9 ± 3,58	34,0 ± 2,70	>9,4 ± 0,12	69,9 ± 16,89	110,8 ± 16,90
10	25,7 ± 1,21	3,2 ± 0,46	11,5 ± 0,74	35,5 ± 2,39	30,7 ± 1,58	>9,4 ± 0,05	58,2 ± 11,41	61,2 ± 16,21
20	27,3 ± 1,84	3,7 ± 0,45	11,9 ± 0,72	33,8 ± 2,08	30,4 ± 1,72	>9,4 ± 0,09	58,2 ± 6,82	38,3 ± 5,99
35	25,7 ± 2,57	4,1 ± 0,48	10,6 ± 0,77	33,1 ± 2,58	29,5 ± 1,20	>9,4 ± 0,04	52,1 ± 8,67	18,0 ± 3,50
150	25,1 ± 2,12	3,8 ± 0,47	12,2 ± 0,78	34,9 ± 2,54	28,4 ± 0,12	>9,4 ± 0,04	49,0 ± 10,93	14,8 ± 5,67
300	22,8 ± 1,82	3,5 ± 0,55	12,7 ± 0,82	30,3 ± 2,70	28,4 ± 0,15	>9,4 ± 0,05	39,2 ± 2,49	5,0 ± 0,37
Среднее значение	25,1	3,5	11,9	34,4	30,3	9,4	54,2	41,9

Таблица 1. Средние показатели элементов загрязнителей (мг/кг сухого вещества) в почве лесных фитоценозов на различном удалении от дорожного полотна

показывает, что у дорог содержание практически всех токсичных элементов и соединений превышает их значения в 2 и более, а ионов натрия и хлора – в десятки раз даже через месяц после начала вегетации;

- аккумуляция соединений хлора происходит в 10-метровой полосе вдоль автомагистралей и обусловлена механическим поступлением веществ при разбрызгивании растаявших снеговых вод с растворами солей с дорожного покрытия при движении автотранспорта, а также дальностью разброса снега роторными снегоуборочными машинами. Сопоставление данных по содержанию хлоридов в снежном покрове показало превышение фонового уровня на всех профилях исследования; превышение ПДК отмечено в единичных точках магистральных автодорог на расстоянии 5–10 м от дорожного полотна;
- наблюдается тенденция к увеличению ионов хлора и цинка в почве, меди и кобальта –

в почве и растительных компонентах относительно данных 10-летней давности. При сохранении существующего режима обслуживания дорог в зимний период имеется угроза достижения порога токсичности ионов хлора для растений (100 мг/кг в почве) [5, 6], после которого угнетение их роста и развития – лишь вопрос времени;

- сравнительный анализ содержания свинца в компонентах лесных фитоценозов на одних и тех же участках дороги в различный временной период показал, что за 10 лет количественные показатели элемента имеют тенденцию к значительному снижению, что, возможно, является положительным результатом смены качества парка автомобилей и топлива.

Таким образом, транспортные выбросы в почву и растительность вдоль автодорог характеризуются двумя комплексами элементов: солевыми компонентами (Na⁺, Cl⁻) и тяжелыми металлами (Pb, Zn, Ni, Co, Cd, Cu). Солевое загрязнение по масштабам и интен-

сивности многократно превосходит засорение тяжелыми металлами и является одной из основных причин деградации растительности в опущенных зонах вдоль автострад.

Солевые компоненты ПГР (ионы натрия и хлора) в больших концентрациях токсичны для всех компонентов биогеоценозов [7]. В биоцикл придорожных насаждений они попадают в результате снегоуборочных работ, с дорожными стоками и при попадании в виде аэрозолей при движении транспорта [8]. Создаваемые им турбулентные потоки воздуха способствуют распространению водно-солевых взвесей вверх (средняя высота повреждения – 15–17 м) и их оседанию на хвое и побегах деревьев (рис. 1). Весной часть солей, аккумулированных в снеге, удаляется с талым стоком; оставшаяся становится источником засоления почв. Его уровень постепенно снижается по мере промывания атмосферными осадками, достигая минимума к началу осени [3, 7, 9].

Хлориды в больших концентрациях токсичны для большинства видов растений, у которых осевшая на хвое и побегах соль вызывает обезвоживание, а при проникновении в ткань – повреждение. Ее мелкодисперсные частицы приводят к солевому ожогу деревьев, изменению их анатомической, морфологической структуры, уменьшению количества хлорофилла, смещению физиолого-биохимических показателей, внешние признаки которого – некроз хвои и листьев, отставание в росте и развитии, преждевременное опадение листьев. Отличительная особенность отрицательного воздействия

ПГР на состояние лиственных деревьев и кустарников, произрастающих вдоль автодорог, состоит в повреждении вегетативных почек, а не листьев. Это приводит к образованию «розоватости» вегетативных побегов (рис. 2) [7, 9]. Воздействие хлоридов проявляется в биохимических нарушениях процессов ассимиляции и метаболизма в клетках растений, отмирании ткани и блокировке проводящих путей, что ведет к ослаблению и гибели всего растения.

Автомагистрали являются также источником загрязнения почв, которое влияет на изменение их кислотности, ионообменных свойств органо-генных горизонтов, характера естественных миграционных потоков элементов в системе «почва – растение», что в конечном итоге приводит к засолению земель, в том числе сельскохозяйственных. Рост содержания хлоридов оказывает отрицательное действие на активность почвенной микрофлоры и вызывает ее частичную гибель, с чем связано уменьшение ферментативной активности подстилки и плодородного слоя. Засоление особенно опасно на пониженных участках, куда скатываются большие массы талых и дождевых вод с растворенной в них солью. Чрезмерное использование песчано-соляной смеси для борьбы с наледями приводит к тому, что остаточные количества ПГР скапливаются в грунте, что негативно сказывается на состоянии зеленых насаждений уже в период вегетации.

Внесение ПГР стало причиной формирования солонцеватости почв – нового явления для придорожных территорий, которое происходит в результате периодической смены про-



Рис. 1. Высота повреждения крон деревьев в среднем достигает 15–17 м над уровнем полотна дороги

цессов засоления (ранней весной) и рассоления (летом). Вследствие этого содержание обменного натрия в грунте растёт. По данным, полученным в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси, сезонная динамика накопления остаточных количеств ПГР в плодородном слое имеет 2 выраженных пика – в апреле и июле, а глубина залегания ионов натрия в летний период превышает 1 м [10, 11]. Хотя в условиях Беларуси этот процесс обстоятельно не изучен, феномен формирования солонцеватых земель вдоль Московской кольцевой автомобильной дороги хорошо известен: «безлесную придорожную полосу отвода можно считать зоной техногенного галогенеза, а сформировавшиеся здесь почвы, загрязняемые аэральным путем, определить как импัลверизационные поверхностные солончаковые конструкторы» [12].

Действие засоления на растительные организмы связано с двумя основными причинами: ухудшением водного баланса и токсическим влиянием высоких концентраций солей.

Первая причина. Засоление приводит к созданию в почве низкого (резко отрицательного) водного потенциала, поэтому поступление воды в растение сильно затруднено [13]. В физиологии есть такое понятие, как механизм корневого давления. Он состоит в том, что благодаря осмотическому явлению вода поглощается корнями растений. Фактор, уменьшающий интенсивность этого процесса, – высокая концентрация солей в почвенном растворе. При большом содержании натрия в почве, даже если ее влажность соответствует полевой влагоемкости, всасывание воды корнями может почти полностью прекратиться.

Высокая доля солей натрия вызывает структурные проблемы в почве; по мере увеличения его содержания растёт риск диспергирования агрегатов. Описана существенная разница между флокулированной (агрегированной) и диспергентной структурой почвы. Флокуляция (комкообразование) важна: вода движется через большие поры, а корни растений растут в основном в поровом

пространстве. При диспергентности почвенные поры блокируются, что препятствует движению воды и дренированию во всех видах грунтов, кроме содержащих наибольший процент песка. Натрий – менее активный флокулятор по сравнению с кальцием, поскольку имеет меньший заряд и размер его иона в воде значительно больше. Замена натрия кальцием перед выщелачиванием стабилизирует структуру почв, а их гипсование позволяет удалить избыток обменного натрия, отрицательно влияющего на физические свойства. Это один из способов химической мелиорации солонцов и солонцеватых грунтов. В результате гипсования натрия, растворенный в грунте, замещается кальцием. В итоге улучшаются физические, физико-химические и биологические свойства почвы, что благоприятно сказывается на ее плодородии.

Вторая причина. Под влиянием натриевых солей происходит нарушение ультраструктуры клеток, в частно-

сти изменения в хлоропластах, а при высокой концентрации – повреждение мембранных структур, вследствие чего возрастает их проницаемость, теряется способность к избирательному накоплению веществ. Надо также учесть, что большая концентрация натрия препятствует накоплению других катионов, в том числе и таких необходимых для жизни растения, как калий и кальций. Другая сторона вредного воздействия солей – нарушение метаболических процессов. В работах Б.П. Строганова [14] показано, что под влиянием солей в растениях нарушается азотный обмен, накапливается аммиак и другие ядовитые продукты.

Один из рациональных путей решения проблемы засоления придорожных территорий – подбор ассортимента, способного выдерживать негативную антропогенную нагрузку, в том числе хлоридное загрязнение [15–17]. Под солеустойчивостью подразумевается способность растений в силу анатомо-физиологических осо-

бенностей выдерживать поступление в грунт вредных легкорастворимых солей [18].

По этому признаку выделены следующие категории:

- **сильноустойчивые к соляному загрязнению:** аморфа кустарниковая; боярышники колючий и кроваво-красный; вяз малый; гледичия трехлопучковая; ива вавилонская; клен Гиннала; лох узколистный; можжевельник казацкий; свидина кроваво-красная; тамариски изящный, мелкоцветковый, развесистый, Хохенакера; тополя бальзамический, Болле, Жака, черный (особенно пирамидальная форма); шелковица белая; в том числе виды, проявляющие склонность к инвазиям, использование которых ограничено: арония черноплодная, дуб красный, карагана древовидная (акация желтая), облепиха обыкновенная, пузыреплодник калинолистный, робиния ложноакациевая (акация белая), свидина побегообразующая, тополь белый, шиповник морщинистый;
- **среднеустойчивые к соляному загрязнению:** бересклет бородавчатый; барбарис Тунберга; береза маньчжурская; бук лесной; вязы гладкий, равнинный, шершавый; дуб черешчатый; жимолость татарская; ивы ломкая и белая; кизил обыкновенный; кизильник блестящий; клены полевой, татарский, серебристый, остролистный; крушина слабительная; лох смешиваемый; миндаль низкий; осина; рябина обыкновенная; скумпия обыкновенная; сирень обыкновенная; слива приземистая; смородины золотистая, черная; сосны обыкновенная,



Рис. 2. «Розеточность» вегетативных побегов березы вдоль Минской кольцевой автомобильной дороги

черная альпийская; сумах уксусный; тополя гибридный, дельтовидный, канадский, Симона; шиповники коричноморщинистый, майский (коричный), сизый, Шерарда; форзиция европейская; ясень пенсильванский;

- **слабоустойчивые к соляному загрязнению:** бархат амурский; береза повислая; бересклет европейский; бирючина обыкновенная; все виды боярышников, за исключением колючего и кроваво-красного; вишня кустарниковая; груши дикая, обыкновенная; ель европейская; жескер слабительный; ивы козья, корзиночная, остролистная, пепельная, пурпурная, пяти-тычинковая; ирга колосистая и ольхолистная; кизил шведский; клены красный и ложноплатановый (явор); липы американская, амурская, войлочная; магония падуболистная; магалебка обыкновенная; миндаль трехлопастной; можжевельник виргинский; орех серый; робиния клейкая; сирени венгерская, Генри; сливы колючая (терн), растопыренная, степная, терновая; смородины альпийская, колосистая, красная; снежноягодник приречный; спиреи белая, Бумальда, зверобоелистная, ложноивови-листная, многоцветковая, ниппонская, средняя, японская; тополя берлинский, душистый, корейский, лавролистный, седоватый; чубушники мелколистный и обыкновенный; шиповники виргинский, войлочный, гололистный, даурский, кустарниковый, ржаво-красный, собачий, столбистый, франкфуртский, щитконосный, Юндзилла; черемуха Маака, ясени

зеленый, ланцетол-листный, обыкновенный, орехолистный, остроплодный;

- **очень слабоустойчивые и неустойчивые к соляному загрязнению.** К данной категории относится большинство используемых древесных и кустарниковых видов, особенно стоит обратить внимание на конский каштан обыкновенный, липу мелколистную и др.

Уход за дорогами за рубежом

В 1995 г. в России было принято решение использовать в качестве ПГР хлорид натрия. Зимой 2001–2002 гг. от NaCl на дорожных покрытиях страны решили отказаться и использовать вместо него хлористые кальций и магний (твердые средства «Биомаг» или жидкие «Нордекс»). Начиная с зимы 2005–2006 гг. отказались и от применения хлористого магния («Биомаг») из-за тенденций к накоплению аниона магния. Хотя оба препарата были признаны экологически безопасными и достаточно эффективными, часть реагентов обнаружили свойство создавать «масляную» пленку на дороге, в результате чего тормозной путь автомобилей увеличивался в несколько раз.

Сейчас для борьбы со льдом коммунально-дорожные службы России используют:

- на основе хлорида натрия – соль техническую (галит);
- на основе хлористого кальция и магния – жидкий хлористый кальций модифицированный (ХКМ); хлористый кальций твердый, ингибированный фосфатами (ХКФ); «Биомаг» твердый, модифицированный хлористым магнием;

- смеси хлористых кальция и натрия «Айсметт»;
- на основе ацетатов аммония и калия (соли или эфиры уксусной кислоты): «Анти-снег»-1 – ацетат аммония; «Нордекс-II» – ацетат калия. При этом практически все реагенты, в которые входят соли и эфиры уксусной кислоты, способны вызывать неспецифические реакции кожи, слизистых и бронхов. После их применения резко увеличилось количество жалоб от людей, страдающих астмой, атопическим дерматитом, аллергодерматозами, аллергическими заболеваниями кожи.

В некоторых районах Москвы в настоящее время в качестве эксперимента применяют жидкий «ЭСБГ» (на основе композиции солей кальция и магния с добавлением биофильных элементов) и твердый «Биодор» (реагент форматной группы), который после применения разлагается на природные составляющие. Благодаря своему химическому составу эти материалы не оказывают вредного воздействия на зеленые насаждения и применяются на аэродромах, а также в парковых и лесных зонах и на особо охраняемых природных территориях.

Хлористый кальций и его аналоги проходили испытания в Италии, Франции, Швейцарии, Германии и США. «Рискнула» его использовать одна только Швейцария, в которой морозов не бывает. В Норвегии и Швеции вообще не употребляют никакой химии, просто убирают заносы снегоуборочной техникой. В Финляндии и Нидерландах пользуются рецептом

времен царской России: солевой мраморной крошкой.

Таким образом, состояние растительности вдоль основных автомагистралей в последние годы обусловлено загрязнением окружающей среды в придорожных полосах комплексом тяжелых металлов и компонентами противогололедных реагентов на основе хлорида натрия в сочетании с комплексом других негативных факторов, как связанными, так и не связанными с эксплуатацией дорог. Следует отметить, что попытка объединить все вариации происходящих процессов накопления и распределения элементов в различных компонентах придорожных фитоценозов может привести к определенным ошибкам, не позволяющим отнести их к выводам. Тем не менее акцент на изучение последствий применения ПГР безусловно оправдан, так как формирует представления о современном состоянии окружающей

среды вдоль дорог и является базовым материалом для дальнейших исследований. И если сегодня мы констатируем, что аккумуляция веществ-загрязнителей, как правило, не достигает опасного уровня, влияющего на жизненно необходимые функции растительных сообществ, то угроза их вовлечения в биологический круговорот, последней ступенью которого является человек, бесспорно существует. ■

ного уровня, влияющего на жизненно необходимые функции растительных сообществ, то угроза их вовлечения в биологический круговорот, последней ступенью которого является человек, бесспорно существует. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Судник А.В. Оценка степени загрязнения придорожных экосистем комплексом техногенных металлов и хлоридов / А.В. Судник, И.П. Вознячук / Мониторинг і ацэнка стану расліннага свету / Мат-лы V Міжнар. навук. канф., Мінск – Белавежская пушча, 8–12 кастрычніка 2018 г. – Минск, 2018.
2. Судник А.В. Влияние противогололедных реагентов на зеленые насаждения вдоль улиц и дорог г. Минска / А.В. Судник, О.Е. Ефимова, А.П. Яковлев // Леса Евразии – Белорусское Поозерье. Мат-лы XII Междун. конф. молодых ученых, посвящ. 145-летию Г.Ф. Морозова, НП «Браславские озера», Браслав, Беларусь – Аукштайтский национальный парк, г. Игналина, Литва, 30 сент. – 6 окт. 2012 г. – М., 2012.
3. Судник А.В. Воздействие автомобильных дорог на природно-растительные комплексы и животный мир Беларуси: состояние, реальные и потенциальные угрозы, мониторинг / А.В. Судник, Р.В. Новицкий // Мат-лы науч.-техн. конф., посв. 50-летию РУП «БелдорНИИ», Минск, 25–26 окт. 2012 г.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). 5-е изд., перераб. и доп. – М., 1985.
5. Аккумуляция ионов хлора почвами и ассимиляционными органами деревьев в городских насаждениях Минска / Е.А. Сидорович [и др.] // Проблемы озеленения городов: альманах. Вып. 10. – М., 2004.
6. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей / С.В. Какарека, В.С. Хомич, Т.И. Кухарчик и др.; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск, 1998.
7. Яковлев А.П. Влияние солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в городской среде / А.П. Яковлев, А.В. Судник // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике Беларусь: тез. Респ. науч.-практ. семинара, Минск, 26–27 апреля 2018 г. / НАН Беларуси; ЦБС НАН Беларуси; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск, 2018.
8. Бельков М.В., Бураков В.С., Кириш В.В., Максимова И.А., Райков С.Н., Судник А.В. Лазерный атомно-эмиссионный анализ аэрозольного загрязнения зеленых насаждений противогололедными реагентами // Прикладная спектроскопия. 2010. Т. 77, №2. С. 292–298.
9. Центральный ботанический сад НАН Беларуси: сохранение, изучение и использование биоразнообразия мировой флоры / В.В. Титок [и др.]; под ред. В.В. Титка, В.Н. Решетникова. – Минск, 2012.
10. А.В. Судник. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах / А.В. Судник, И.П. Вознячук // Лесной вестник. 2020. Т. 24. №6. С. 83–95.
11. Яковлев А.П. Устойчивость древесно-кустарниковых растений к негативному влиянию противогололедных материалов / А.П. Яковлев [и др.] // Антропогенная трансформация ландшафтов: мат-лы IV Республиканской науч.-методич. конференции – Минск, 2008.
12. Лысиков А.Б. Солевое загрязнение придорожных лесных насаждений // Актуальные проблемы лесного комплекса / Под общей редакцией Е.А. Памфилова. Сборник научных трудов. Выпуск 44. – Брянск, 2016.
13. Физиология растений: Учебник для студ. вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – М., 2005.
14. Строганов Б.П. Физиологические основы солеустойчивости растений (при разнокачественном засолении почв) / Б.П. Строганов. – М., 1962.
15. А.В. Судник. О воздействии строительства и содержания автомобильных дорог на придорожную растительность / А.В. Судник, И.П. Вознячук // Наука и инновации. 2021. №11 (225). С. 34–41.
16. Судник А.В. Типовая схема проектирования мероприятий по минимизации воздействия автомобильных дорог на растительность придорожных территорий / А.В. Судник, А.П. Яковлев / Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов // Мат-лы III Междун. науч.-практ. конф., посвященной 110-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского, 7–9 октября 2015 г., Минск, Беларусь. В 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск, 2015.
17. Судник А.В. Разработка комплекса мер по минимизации воздействия строительства и содержания автодорог на растительность придорожных территорий // Сборник научных трудов «Природные ресурсы и окружающая среда». – Минск, 2016.
18. Судник А.В. Ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами / А.В. Судник, А.П. Яковлев, А.Н. Скуратович // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 6–7 апреля 2016 г. / Отв. ред. А.В. Скок; М-во образования Рос. Федерации, Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. – Брянск, 2016.

Статья поступила в редакцию 06.04.2021 г.

■ **Summary.** The article provides data on the results of pollution of roadside areas by a complex of technogenic metals and components of antiglaze reagents. Salt pollution in scale and intensity is many times greater than the pollution with heavy metals and is one of the main causes of vegetation degradation in border areas along highways. The consequences of impact of pollution on roadside territories by sodium and chlorine ions on the ecological state of soil and plants were described. Assortment of tree-shrub plants that are resistant to pollution by antiglaze reagents was selected according to the results of the salt tolerance analysis of wild-growing and cultivated species of trees and shrubs (221 species) of the flora of Belarus used in landscaping roads and settlements.

■ **Keywords:** road, roadside territory, antiglaze reagents (AGR), ions of sodium (Na⁺) and chlorine (Cl⁻), pollution, state of plants.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-1-72-78>