

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ДУБРАВЫ

© 2023 Л.В. Ширнина¹, С.Н. Казарцева²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии,
г. Воронеж (Россия)

²Воронежский государственный педагогический университет, г. Воронеж (Россия)

Поступила 31.01.2023

Аннотация. В дубраве, пересеченной скоростной магистралью «Москва – Воронеж» («Дон»), подвергающейся круглосуточному воздействию целого комплекса негативных факторов, исходящих от круглосуточно движущихся автомобилей, впервые изучили напочвенный покров с целью выявления видового состава растений, плотности проективного покрытия и биомассы в зависимости от степени загрязнения среды автотранспортными эмиссиями. Материал – напочвенный травяной покров. Методы – закладка и обследование постоянных пробных площадей и площадок для детальных учетов. Установлены: неравномерность распределения растений в травяном покрове и разделение их на группы, различные по отношению к степени загрязнения выбросами автотранспорта, достоверное снижение всех показателей в условиях критического уровня загрязнения ($ПДК_{\infty} > 100$) – сокращение флористического списка в 1,6–2,8 раза, плотности проективного покрытия на 42,5% и биомассы на 41 и 37% по сравнению с контролем. Два вида-эдиктатора напочвенного покрова – осока волосистая и звездчатка ланцетолистная предположительно могут быть биоиндикаторами критического уровня загрязнения автотранспортными эмиссиями.

Ключевые слова: дубрава, напочвенный травяной покров, влияние автотранспортных эмиссий.

Введение

Развитие дорожной сети в Воронежской области является мощным техногенным фактором влияния на окружающую среду. В случае прохождения автодорог через участки лесных насаждений, круглосуточные выбросы токсичных газов, пыли, сажи, технического масла, стирающихся резины и асфальта, а также акустические вибрации и выделение тепла от работающих двигателей, воздействуют на растительные сообщества, изменяют обычные условия произрастания деревьев и трав, что приводит к нарушениям их жизненного состояния (Ширнина и др., 2002). Особенно высокий уровень загрязнения придорожных биогеоценозов, в 2.5 раза,

наблюдается в период вегетации растений, с апреля по октябрь, когда интенсивность движения транспорта по магистральным участкам автодорог составляет более половины годового объема автотрафика (Ширнина, 2008). Для установления степени и направленности таких изменений необходим длительный мониторинг в градиенте уровня выбросов. Автотранспортные эмиссии негативно воздействуют на все компоненты биогеоценоза, но в особенно сильной степени – на наиболее уязвимые травянистые растения, поскольку распространение выбросов концентрируется в нижнем слое атмосферы, на уровне почвы (Соловьев и др., 1984). Дубравы Центрального Черноземья относят к наиболее ценным лесным насаждениям, со сложной многоярусной структурой и богатым напочвенным покровом. Учитывая большую роль напочвенного покрова в формировании эдафических условий леса, исследу-

Ширнина Лариса Владимировна, ведущий научный сотрудник, доктор с.-х. наук, larisashirmina@mail.ru;
Казарцева София Николаевна, старший преподаватель, кандидат с.-х. наук, sofia_ksn@mail.ru

дования его состояния и состава актуальны.

Цель наших исследований – выявить влияние автотранспортных выбросов на состояние напочвенного покрова дубравы.

В задачи исследований входили: изучение и анализ видового состава травянистых растений дубравы в градиенте автотранспортного загрязнения, а также наиболее важных параметров напочвенного травяного покрова – плотности проективного покрытия и фитомассы.

В регионе исследований (Центральное Черноземье) подобные данные отсутствуют.

Материалы и методы

Состав и особенности развития напочвен-

ного травяного покрова изучали в северной нагорной дубраве (возраст дуба 75–80 лет), произрастающей в 20 км к северу от г. Воронежа и пересеченной магистральным участком скоростной автотрассы «Москва – Воронеж» (487–492-й км; географические координаты 51.812576°N, 39.225359°E: движение в двух направлениях со среднегодовой интенсивностью 8–12–18 тыс. ед/сут. автотранспорта шести категорий). Для исследований были заложены общепринятыми методами (Уткин, 1974; Анучин, 1985) три постоянные пробные площади (ППП), сходные по составу, возрасту, бонитету, полноте и типу лесорастительных условий (рис. 1).

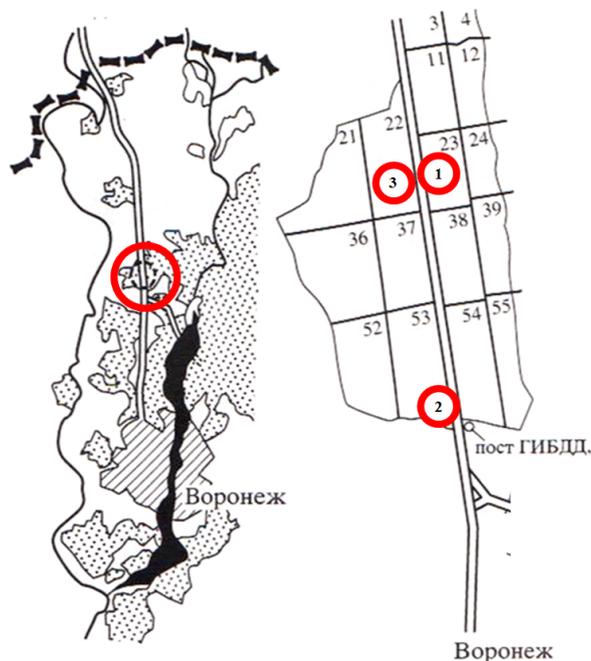


Рис. 1. Карта (слева) и схема (справа) расположения ППП в придорожной дубраве автотрассы Москва – Воронеж на участке 487–492-й км:

○ – место нахождения участка наблюдений, ① – ППП 1, 2, 3.

Fig. 1. A map (on the left) and a layout (on the right) of the permanent study plots in the roadside oak forest next to the Moscow – Voronezh federal road (the 487–492 km section):

○ – location of the plot, ① – permanent study plots 1, 2, 3.

Форма пробных площадей прямоугольная, вытянутая по направлению движения транспорта, площадь 0.3, 0.6, 0.64 га. ППП 1 расположена на расстоянии 10 м от дорожного полотна, где регистрируется основной объем

поллютантов от автотранспорта. Непрерывный поток автомобилей дает объем выбросов, который мы принимаем за средний. Вторая ППП расположена у поста ГАИ и пункта весового контроля, где повышенный

уровень загазованности обусловлен скоплением автомашин, идущих в режиме торможения у поста ГАИ, остановки на пункте весового контроля и последующего разгона при возобновлении движения, в результате чего количество вредных выбросов увеличивается в среднем 5,5-кратно (Евгеньев, 1996), антропогенной нагрузкой – посещением лесного массива пассажирами автобусов, остановка которых расположена рядом. В результате ослабления и довольно активного отпада деревьев на этой ППП периодически проводятся рубки ухода, вследствие чего полнота древостоя на ППП 2 снижена до 5 ед. Контрольная ППП 3 расположена на удалении 210 м от дорожного полотна, то есть в условиях фонового уровня загрязнения (Flückiger, Oertly, 1978), обеспеченного периферической частью факела суммарных выбросов предприятий города Воронежа.

Наблюдения вели в течение сезона вегетации 1986–1990 гг. (эпизодически), 2002–2003 гг. (регулярно через 7–15 суток). Учет проективного покрытия вели в рамках сетки - разбивка территории на квадраты 20 × 20 м.

Для детальных учетов в каждом квадрате закладывали по 5 равномерно расположенных (4 по углам и одна в центре) учетных площадок, размером 1 × 1 м (Ярошенко, 1969). На них глазомерно определили общее проективное покрытие травяного покрова. Определение растений производили по В.Ф. Маевскому (2006). Для весового анализа травостоя на каждой учетной площадке срезали острым ножом все растения на площади 0,25 м², в верхнем правом углу и в матерчатых мешочках доставляли в лабораторию для взвешивания (общее и по фракциям – видам растений) на весах ВЛКТ-500. Статистическую обработку данных производили методом сравнения средних по критерию Стьюдента (Лакин, 1980).

Результаты и обсуждение

Общий список выявленных травянистых растений включает 62 вида, относящихся к 55 родам и 26 семействам (табл. 1).

Таблица 1

Распределение видов растений на ППП
Species' distribution on the permanent study plot

Семейство	Вид	Номер ППП		
		1	2	3**
Adoxaceae	<i>Adoxa moschatellina</i> L.	+	–	–
Aristolochiaceae	<i>Asarum europeum</i> L.	+	+	+
Boraginaceae	<i>Myosotis sparsiflora</i> Mican ex Pohl	–	–	+
	<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.	+	+	+
Campanulaceae	<i>Campanula persicifolia</i> L.	+	–	+
Caryophyllaceae	<i>Silene nutans</i> L.	+	–	–
	<i>Stellaria holostea</i> L.	+	+	+
Compositae	<i>Achillea millefolium</i> L. *	+	–	–
	<i>Arctium lappa</i> L. *	–	+	–
	<i>A. minus</i> (Hill) Bernh. *	–	+	–
	<i>Artemisia vulgaris</i> L. *	+	–	–
	<i>Centaurea</i> sp. *	+	–	–
	<i>Pyretrum corymbosum</i> (L.) Scop.	+	–	–
	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	+	–	+
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. *	+	–	–	
Crassulaceae	<i>Sedum acre</i> L.	+	–	–
Cyperaceae	<i>Carex pilosa</i> Scop.	+	+	+
	<i>C. praecox</i> Schreb. *	+	–	–
Dipsacaceae	<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult. *	+	–	–
Fumariaceae	<i>Coridalis bulbosa</i> (L.) DC.	+	+	–
Geraniaceae	<i>Geranium silvaticum</i> L.	+	+	–

Gramineae	<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	+	–	–
	<i>A. gigantea</i> Roth *	+	–	+
	<i>Dactylis glomerata</i> L.	+	–	+
	<i>Melica nutans</i> L.	+	–	+
	<i>Poa annua</i> L. *	+	–	–
Guttiferae.	<i>Hypericum perforatum</i> L.	+	=	+
Labiatae.	<i>Glechoma hederacea</i> L.	+	+	+
	<i>Origanum vulgare</i> L.	+	–	+
	<i>Phlomis tuberosa</i> (L.) Moench	+	–	+
	<i>Stachys officinalis</i> (L.) Trevis.	+	–	+
Liliaceae	<i>Convallaria majalis</i> L.	+	+	+
	<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	+	+	+
	<i>Scilla sibirica</i> Haw.	+	+	+
Fabaceae	<i>Astragalus glycyphyllos</i> L.	+	–	+
	<i>Lathyrus pisiformis</i> L. *	+	–	–
	<i>L. vernus</i> (L.) Bernh,	+	+	+
	<i>Securigera varia</i> (L.) Lassen	+	–	–
	<i>Trifolium alpestre</i> L.	+	–	+
	<i>Vicia cracca</i> L.	+	–	–
	<i>V. sepium</i> L.	–	+	+
Polemoniaceae	<i>Polemonium coeruleum</i> L.	+	–	–
Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i> L. *	+	–	–
Primulaceae	<i>Primula veris</i> L.	+	+	+
Ranunculaceae	<i>Anemonoides ranunculoides</i> (L.) Holub	+	+	+
	<i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.	+	–	–
	<i>Ranunculus acris</i> L. *	+	–	–
Rosaceae	<i>Fragaria vesca</i> L.	+	–	+
	<i>Geum rivale</i> L.	+	+	+
	<i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch.	+	–	–
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i> L. *	+	–	–
	<i>G. boreale</i> L.	+	–	+
	<i>G. verum</i> L. *	+	+	–
Scrophulariaceae	<i>Scrophularia nodosa</i> L.	+	–	+
	<i>Verbascum lychnitis</i> L. *	+	–	–
	<i>Veronica chamedrys</i> L.	+	–	+
Umbelliferae	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	+	+	+
	<i>Angelica sylvestris</i> L.	–	–	+
	<i>Peucedanum oreoselinum</i> (L.) Moench	+	–	–
Valerianaceae	<i>Valeriana officinalis</i> L.	–	–	+
Violaceae	<i>Viola</i> sp.	+	–	–
	<i>V. sp.</i>	+	+	+
Всего видов на ППП, шт. (в том числе не лесных, %)		56 (25)	20 (15)	33 (6,1)

Примечания: * – растения, относящиеся к другим фитоценотипам; ** – контроль.

Наиболее насыщен видовой состав на ППП 1 со средним уровнем загрязнения выбросами автомобилей, на втором месте контроль и на третьем – самая загрязненная ППП 2, где список видов самый немногочис-

ленный. Основная часть растений в напочвенном покрове представлена видами, обычными для дубрав. Кроме того, установлено присутствие растений других фитоценотивов (табл. 2).

Количественное распределение растений различных фитоценотивов на ППП
Quantitative distribution of the plants on the permanent study plot

Название фитоценотива растений	Число видов на ППП, %		
	1	2	3
Лесные	75	84,2	85,4
Луговые, степные, рудеральные	25	15,8	6,3

Разница в представительстве видов между ППП со средним уровнем загрязнения и контролем объясняется тем, что здесь кромка леса примыкает к открытой обочине (10-метровая полоса отчуждения) с редкими куртинками травянистых слабо развитых растений. Плотность древостоя на этом участке леса несколько ниже (7 ед.), чем в контроле (ППП 3–8 ед.), а подлесок редкий и немногочисленный. Здесь наиболее вероятно возможность беспрепятственного проникновения разными путями растений под полог леса. В частности, 25% видов, согласно классификации Н.С. Камышева и К.Ф. Хмелёва (1974), обычно встречаются на лугах, в степях и рудеральных местообитаниях. О возможности широкого распространения видов растений в другие местообитания и регионы свидетельствуют широкомасштабные исследования А.Я. Григорьевской с соавторами (2004).

Наименьшее число видов зарегистрировано на ППП 2, расположенной у поста ГАИ, в условиях максимальной загазованности. Обочина на этом участке автотрассы покрыта лесом с подлеском, что препятствует свободному проникновению не лесных видов, поэтому относительное их число меньше, чем на ППП 1, при среднем уровне техногенного влияния.

Анализируя распределение видов растений по ППП отмечаем наличие нескольких групп видов. Две из них, почти равновеликие по числу видов (15 и 14), различаются по степени их устойчивости к автотранспортным эмиссиям. В первую можно отнести лесные фитоценотивы, зарегистрированные на всех участках дубрав, разных по степени загазованности: *Asarum europaeum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria holostea*, *Carex pilosa*, *Glechoma hederacea*., *Convallaria majalis*, *Polygonatum multiflorum*, *Scilla sibirica*, *Lathyrus vernus*., *Vicia sepium*, *Primula veris*, *Anemonjides ranunculoides*, *Geum rivale*, *Aegopodium podagraria*., *Viola* sp. Все эти виды

– типично дубравные и их выносливость, вероятно, обусловлена генотипической устойчивостью.

Вторая группа состоит из растений разных фитоценотивов, как лесных (36%), так и степных (16%), луговых (11%) и рудеральных (11%), которые толерантны до уровня средней степени загрязнения, но не выдерживают условий повышенного загрязнения: *Campanula persicifolia*, *Tanacetum vulgare*, *Agrostis gigantea*, *Dactylis glomerata*, *Poa annua*, *Hypericum perforatum*, *Stachys officinalis*, *Origanum vulgare*, *Astragalus glycyphyllos*., *Trifolium alpestre*, *Fragaria vesca*., *Galium boreale*, *Scrophularia nodosa*, *Veronica chamedrys*. Эти растения произрастают на контрольной ППП 3 и при среднем уровне воздействия изучаемого фактора. Такая структура характерна для дубрав, потерявших свою специфичность и являющихся амфиценозами, открытыми для проникновения других ценоморф (Бельгард, 1980). Известно, что антропогенное воздействие способствует уменьшению видового разнообразия за счет более широкого распространения антропо-толерантных видов (Фрей, Оя, 1982).

Третью группу составляют единичные растения, которые не переносят автотранспортных поллютантов и встречаются только в условиях контроля (фоновое загрязнение среды): *Myosotis sparsiflora*, *Angelica sylvestris*, *Valeriana officinalis*.

В четвертую группу вошли два вида, зарегистрированных только в условиях сильного загрязнения: *Arctium lappa*, *A. minus* на ППП 2. Скорее всего, причина состоит в антропогенном факторе – непреднамеренное занесение сорных видов.

Остальные виды встречаются только в условиях среднего (25 видов на ППП 1) или среднего и высокого (3 вида на ППП 1,2) уровня автотранспортного загрязнения.

Четкой зависимости структуры напочвенного покрова от уровня выбросов нет.

О реакции напочвенного покрова на автотранспортные выбросы свидетельствуют не только число видов, но и общее состояние травяного покрова, в частности, равномерность его распределения по поверхности почвы, общее проективное покрытие и био-

масса, отражающая биологическую продуктивность. Подобных данных в литературной информации нами не выявлено.

Развитие напочвенного покрова в придорожной дубраве не равномерно (рис. 2).

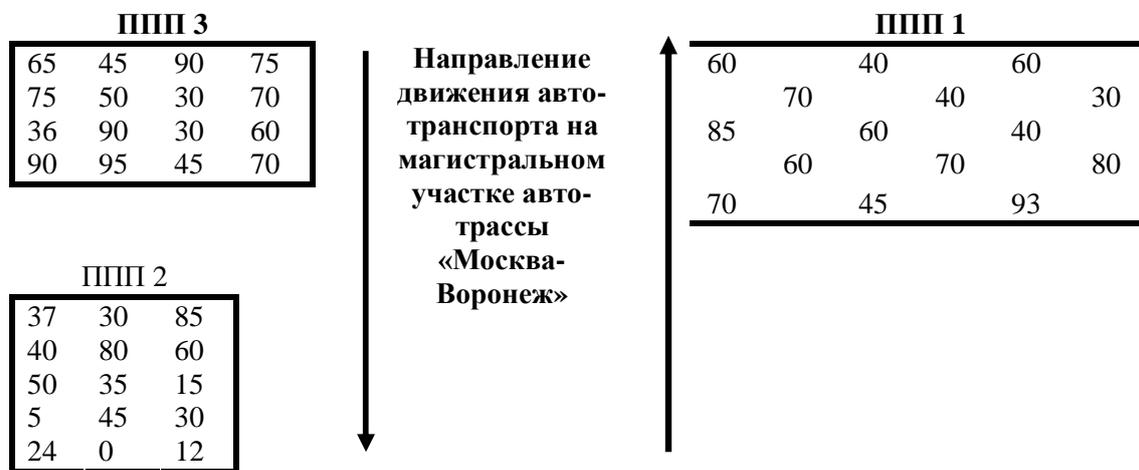


Рис. 2. Распределение напочвенного травяного покрова в придорожной дубраве, % покрытой площади на учетных площадках ППП (разбивка на квадраты 20 × 20 м).
Fig. 2. The herbage cover species' distribution in the roadside oak forest, % of the covered area on the permanent study plot (with 20 × 20 m grid).

При достижении критического уровня загрязненности (на ППП 2 при ПДК_{со} > 100) проективное покрытие травостоя достоверно ($t_{ф0,05} = 3.19$) снижается на 42.5%. Биомасса трав убывает с увеличением объемов и токсичности выхлопных газов соответственно на 41 и 37% по сравнению с контролем. Достоверная разница ($t_{ф0,05} = 2.05, 2.39$) по сырому и воздушно-сухому весу трав наблюдалась между ППП в зоне наибольшего количества токсикантов и фоновым уровнем загрязнения.

Показатели проективного покрытия эдификаторов напочвенного покрова дубрав – звездчатки ланцетолистной (*Stellaria holostea*) и осоки волосистой (*Carex pilosa*) достоверно ($t_{ф0,05} = 2,86; 2,50$) снижаются в самой токсичной зоне автотрассы, по сравнению с ППП 1 и 3 на 81 и 57% соответственно. Эти виды явно обладают биоиндикационными свойствами и могут применяться для выявления критического уровня автотранспортного загрязнения.

Заключение

В напочвенном покрове дубравы, находящейся под постоянным влиянием автотранспортных эмиссий наблюдаются изменения видового состава, плотности проективного покрытия и биомассы растений. Виды растений различаются по уровню устойчивости к автотранспортным эмиссиям, их распределение неравномерное. Между количеством и составом видов травянистых растений в напочвенном покрове, с одной стороны, и степенью загазованности воздушной среды, с другой, статистически значимая зависимость не выявлена, поскольку она определяется комплексом экологических факторов.

Негативные изменения состава видов, плотности напочвенного покрова и его биомассы отмечены при всех уровнях воздействия – фоновом, среднем и максимальном. Достоверное снижение показателей плотности проективного покрытия и массы травянистых растений регистрируются только при достижении критического уровня автотранспортных эмиссий.

Два вида-эдификатора напочвенного покрова дубравы – осока волосистая и звездчат-

ка ланцетолистная обладают свойствами био- индикаторов автотранспортного загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список русскоязычной литературы

Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1960. 53 с.

Бельгард А.Л. К вопросу об экологическом анализе и структуре лесных фитоценозов в степи // Вопросы биологической диагностики лесных биоценозов Присамарья: Тр. компл. эксп. Днепропетровск: ДГУ, 1980. С. 12-43.

Григорьевская А.Я., Стародубцева Е.А., Хлызова Н.Ю., Агафонов В.А. Адвентивная флора Воронежской области: исторический, биогеографический, экологический аспекты: Монография. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. 320 с.

Камышев Н.С., Хмелев К.Ф. Растительный покров Воронежской области и его охрана. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1974. 184 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. специальностей вузов. 3 изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

Маевский П.Ф. Флора средней полосы Европейской части России. М., 2006. 600 с.

Соловьев В.А., Алексеев А.С., Лепнинский Ю.И., Лайранд И.И. Влияние загрязнения атмосферы на лесные экосистемы. Лекции. Л.: ЛТА, 1984. 48 с.

Уткин А.И. Изучение лесных биогеоценозов // Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. С. 281-317.

Фрей Т., Оя Т. Возможности экологического прогнозирования состояния окружающей среды // Проблемы современной экологии (экологические аспекты охраны окружающей среды в Эстонии): тезисы II республиканской экологической конференции. Тарту, 1982. С. 31-33.

Ширнина Л.В., Кирина М.В., Казарцева С.Н. Состояние придорожных дубрав в Воронежской области // Лесоведение. 2002. № 6. С. 29-35.

Ярошенко П.Д. Геоботаника. М.: Просвещение, 1969. 200 с.

Reference List

Anuchin N.P. Forest taxation. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1960. 53 p. (In Russian).

Belgard A.L. On the issue of ecological analysis and structure of forest phytocenoses in the steppe // Problems of biological diagnostics of forest biocenoses in the Samaria region: Proceedings of a complex expedition. Dnepropetrovsk: Dnepropetrovsk State University, 1980. P. 12-43. (In Russian).

Grigorievskaya A.Ya., Starodubtseva E.A., Khlyzova N.Yu., Agafonov V.A. Adventive flora of the Voronezh region: historical, biogeographical, ecological aspects: Monograph. Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 2004. 320 p. (In Russian).

Kamyshev N.S., Khmelev K.F. Vegetation cover of the Voronezh region and its protection. Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 1974. 184 p. (In Russian).

Lakin G.F. Biometrics: Textbook for biological specialties of universities. 3rd edition, revised and expanded. Moscow: Vysshaya shkola, 1980. 293 p. (In Russian).

Mayevsky P.F. Flora of the middle zone of the European part of Russia. Moscow, 2006. 600 p. (In Russian).

Solovyov V.A., Alekseev A.S., Lepninsky Yu.I., Lairand I.I. Influence of atmospheric pollution on forest ecosystems. Lectures. Leningrad: Forestry Engineering Academy, 1984. 48 p. (In Russian).

Utkin A.I. Study of forest biogeocenoses // Program and methodology of biogeocenological research. Moscow: Nauka, 1974. P. 281-317. (In Russian).

Frei T., Oja T. Possibilities of environmental forecasting of the state of the environment // Problems of modern ecology (environmental aspects of environmental protection in Estonia): abstracts of the II republican environmental conference. Tartu, 1982. P. 31-33. (In Russian).

Shirnina L.V., Kirina M.V., Kazartseva S.N. Status of roadside oak forests in the Voronezh region // Lesovedenie. 2002. No. 6. P. 29-35. (In Russian).

Yaroshenko P.D. Geobotany. Moscow: Education, 1969. 200 p. (In Russian).

Flückiger W., Oertly J.J. Der Einfluss verkehrsbedingter Luftverureinigungen auf den Befall der Eiche durch *Microsphaera alphitoides* // Phytopathologische Zeitschrift. 1978. Bd. 93, Heft 4. S. 363-366.

THE IMPACT OF VEHICLE EMISSIONS ON THE GROUND VEGETATION IN OAK FORESTS

© 2023 L.V. Shirnina¹, S.N. Kazartseva²

¹ All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Voronezh (Russia)

² Voronezh State Pedagogical University, Voronezh (Russia)

Annotation. This is the first time the ground vegetation was studied in an oak forest, crossed by the Moscow – Voronezh (Don) federal road and subject to a whole complex of negative factors caused by the round-the-clock traffic. The ground vegetation was examined in order to identify the species composition of the plants, to evaluate their projective cover and biomass, depending on the degree of environmental pollution by vehicle emissions. Study material – herbaceous ground vegetation. Study method – establishment of permanent study plots and plots for detailed surveys. It was established that: the plants in herbage cover are unevenly distributed; their division into groups depending on the degree of pollution by vehicle emissions was also uneven; under conditions of a critical pollution level all indicators statistically significantly decline (critical concentration > 100) – reduction of the flora list by 1,6–2,8 times, of the projective cover by 42,5% and of the biomass by 41 and 37% compared to the control. Two species that are edificators of the ground vegetation – hairy sedge (*Carex pilosa*) and greater stitchwort (*Stellaria holostea*) can presumably be used as bioindicators of a critical level of pollution by vehicle emissions.

Key words: oak forest, ground vegetation, impact of vehicle emissions.