

**ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА И
ПЕРСПЕКТИВЫ ДОСТИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ
НЕЙТРАЛЬНОСТИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ
АВТОМАГИСТРАЛИ**

Д-р техн. наук, профессор **Ю.В. Трофименко**,
аспирант **А.С. Виноградова**
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ))
Конт. информация: anastasia.grapeson@gmail.com

В статье рассматриваются пути сокращения углеродного следа и достижения углеродной нейтральности автомагистрали путем анализа поглотительной способности придорожных экосистем, изменения скоростного режима и замещения автотранспортных средств с двигателями внутреннего сгорания на электромобили и гибриды.

Ключевые слова: углеродный след, углеродная нейтральность, автомагистраль, придорожные экосистемы, парниковые газы.

Сокращение углеродного следа и достижение углеродной нейтральности становится ключевой целью технологического развития отраслей, включая дорожное хозяйство.

Одним из важных антропогенных источников выбросов парниковых газов (ПГ) является автомобильный транспорт, а точнее сжигание топлива в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) при движении в составе транспортных потоков на дорожной и улично-дорожной сети, в том числе на отдельных участках дорог.

Для сокращения углеродного следа и достижения углеродной нейтральности следует рассмотреть мероприятия, способствующие уменьшению выбросов парниковых газов и сведению их к нулю при реализации этапов жизненного цикла автомагистрали с учетом поглотительной способности CO₂ придорожными экосистемами.

Объектом исследования является скоростная автомобильная дорога Москва – Санкт-Петербург М-11 «Нева». Технические характеристики скоростной автомобильной дороги следующие:

- категория дороги – IА (автомагистраль), протяженность – 645 км;
- расчетная скорость – 150 км/ч;
- количество полос движения – 4, 6, 8, 10;
- ширина полосы движения – 3,75 м;
- ширина разделительной полосы – 5 м;

- ширина обочины – 3,5 м.

Автоматгистраль проходит по территориям Московской, Тверской, Новгородской и Ленинградской областям в обход крупных населенных пунктов и пересекает ряд лесничеств: Дмитровское, Клинское, Тверское, Торжское, Фировское, Окуловское, Маловишерское, Новгородское, Чудовское и Любанское.

При проведении оценки поглотительной способности придорожных экосистем, примыкающих к автомагистрали на всем ей протяжении с обеих сторон в пределах полосы 100 м от края проезжей части дороги, рассмотрены следующие компоненты:

- фитомасса лесной растительности;
- мертвая древесина;
- лесная подстилка;
- органическое вещество почвы.

Большая часть автомагистрали проходит через лесные земли (86 %), оставшаяся часть через луговые земли (12 %), земли населенных пунктов и водно-болотистые угодья (~2 %).

Леса вблизи рассматриваемой дороги представлены пятнадцатью лесообразующими видами древесной растительности. Преобладающими из них являются насаждения берёзы – около 31 % лесопокрытой площади, ели – 25 %, сосны – 20 %, осины – 22 %, ольхи – 2 % (рис. 1).

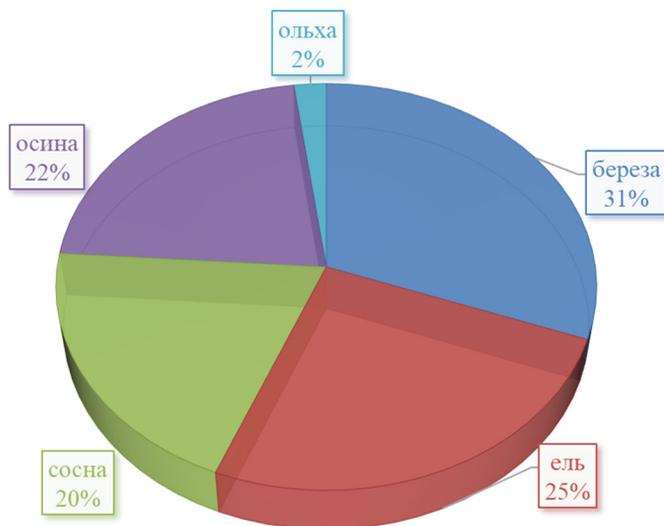


Рис. 1. Преобладающие виды древесных пород

В целом на долю хвойных насаждений приходится около 55 % площади занятых лесными насаждениями земель, а на лиственных – 45 %. В соответствии с утвержденной МПР методикой [1] был проведен расчёт поглощения углерода лесными насаждениями в пределах полосы 100 м от края проезжей части дороги на протяжении всей трассы (рис. 2). На основании анализа полученных значений следует, что лесные земли ежегодно накапливают 1668,08 тыс. т С (6116,30 тыс. т CO₂). Из них биомасса древостоя составляет 689,19 тыс. т С (2527,01 тыс. т CO₂ в год), на долю мёртвой древесины приходится 166,33 тыс. т С (609,8 тыс. т CO₂), подстилки – 131,43 тыс. т С (481,93 тыс. т CO₂), почвы – 681,13 тыс. т С (2497,49 тыс. т CO₂).

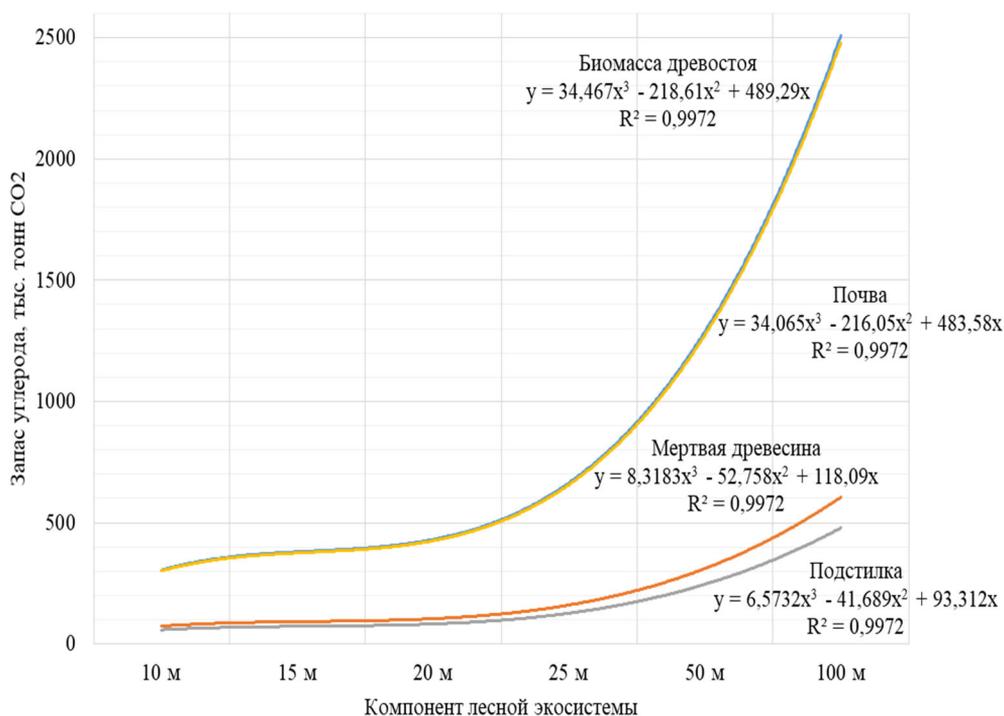


Рис. 2. Расчетные показатели поглотительной способности лесных земель на разных расстояниях от края проезжей части по обе стороны дороги

При сопоставлении расчетных показателей различных частей лесной экосистемы (**рис. 3**) следует, что объём депонированного углерода практически в равных количествах приходится на биомассу древостоев и почву.

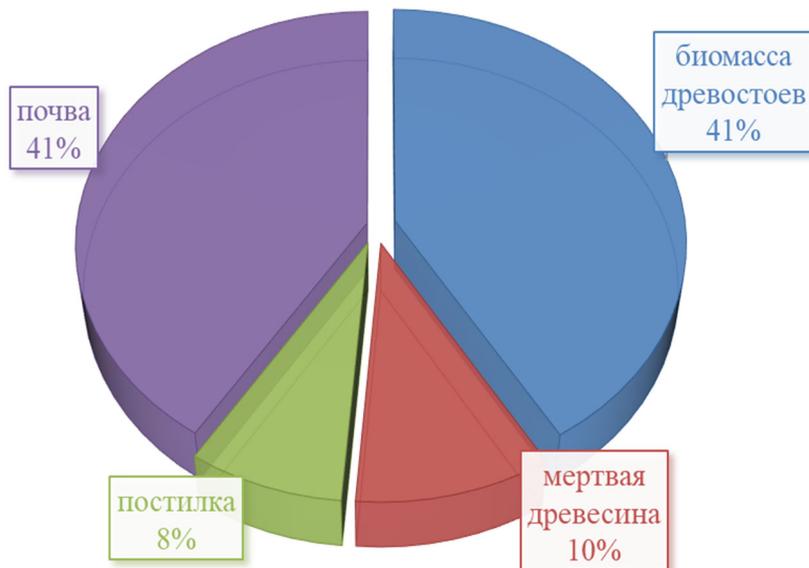


Рис. 3. Запас углерода различными компонентами лесной экосистемы

По результатам расчета нетто-поглощения углерода в биомассе древостоя различными лесными древесными породами было установлено, что в пределах полосы 100 м от края проезжей части дороги бóльшая доля накопленного углерода приходится на насаждения березы 226,10 тыс. т С (829,04 тыс. т CO₂), далее на хвойных насаждения (ель) с запасом углерода 175,59 тыс. т С (643,84 тыс. т CO₂), осина (запас углерода 148,24 тыс. т С (543,54 тыс. т CO₂), и, наконец, сосна и ольха с запасом углерода 125,91 тыс. т С (461,69 тыс. т CO₂) и 13,34 тыс. т С (48,91 тыс. т CO₂) соответственно (**рис. 4**).

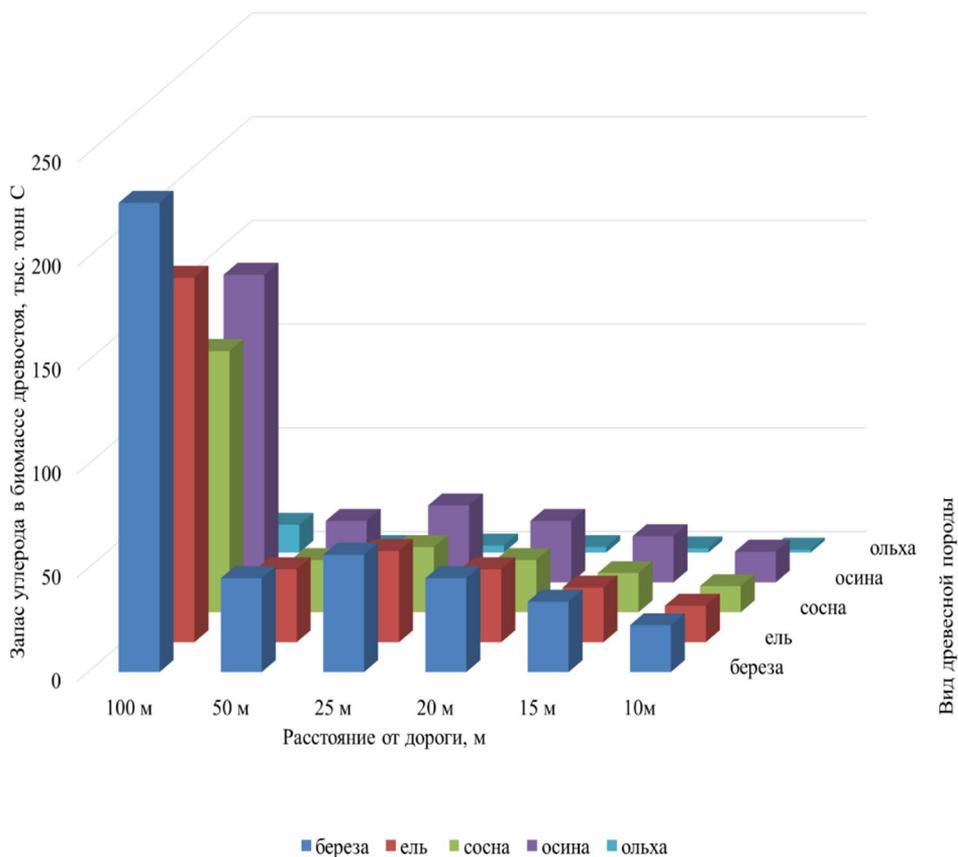


Рис. 4. Распределение запаса углерода в биомассе древостоев по виду древесной породы на разных расстояниях от края проезжей части по обе стороны дороги

В результате оценки распределения запасов углерода в биомассе насаждений в зависимости возраста с учетом данных [2] установлено, что больше всего углерода накапливается в спелых и перестойных насаждениях (рис. 5).

Согласно расчётам поглотительной способности луговых земель выявлено (рис. 6), что на расстоянии 100 м от края проезжей части дороги и на протяжении всей трассы они ежегодно накапливают 78,04 тыс. т С (тыс. 286,16 т CO₂). Из них биомасса подстилки составляет 9,81 тыс. т С (тыс. 35,96 т CO₂), а почва накапливает 68,24 тыс. т С (тыс. 250,20 т CO₂).

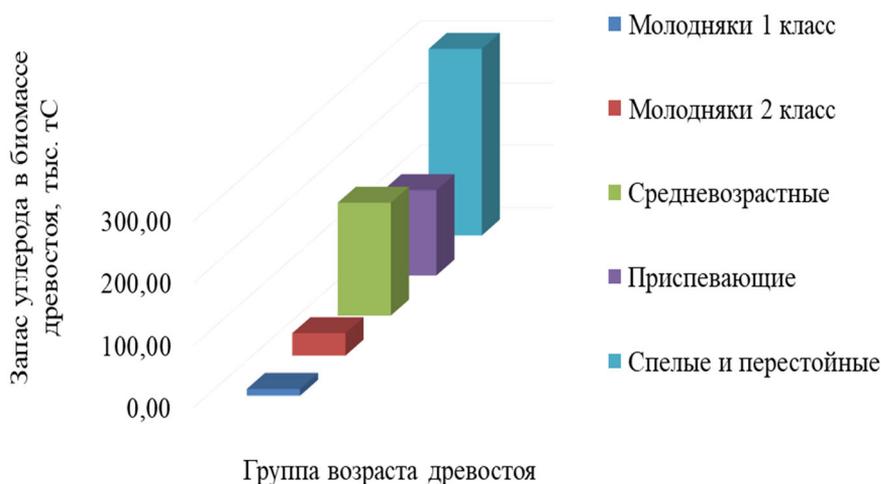


Рис. 5. Распределение запаса углерода в биомассе древостоев по возрасту древостоя (расстояние 100 м от края проезжей части по обе стороны дороги)

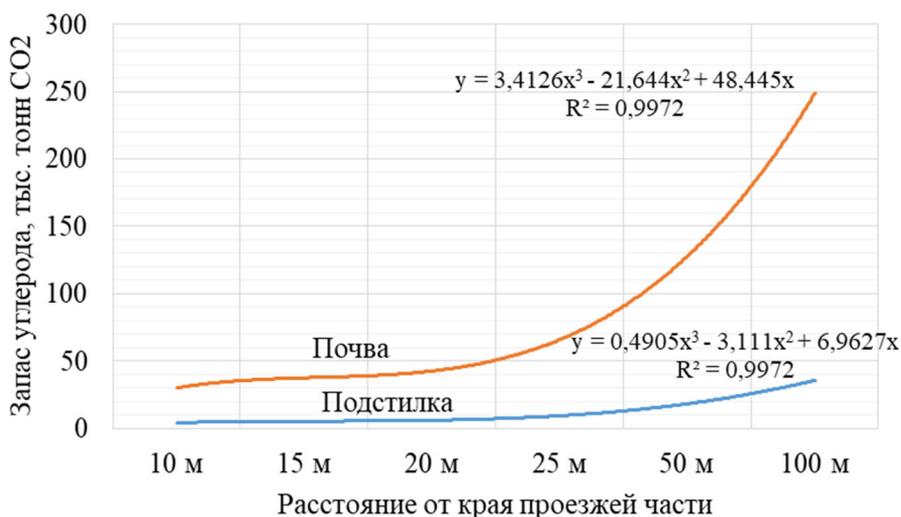


Рис. 6. Расчетные показатели поглотительной способности луговых земель на разных расстояниях от края проезжей части по обе стороны дороги

В итоге было установлено, что при строительстве дороги за счет вырубке лесов при трассировании, отчуждении площади территории,

занимаемой экосистемами, непосредственно под полотном дороги и полосе отвода на всем протяжении автомагистрали потери углерода (CO₂) составили 921,71 тыс. т CO₂.

Для оценки валовых выбросов ПГ транспортными средствами (ТС) требуются данные о трафике разных типов ТС в составе транспортных потоков на всем протяжении скоростной автомобильной дороги (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1

*Количество проездов по скоростной автомобильной дороге
в зависимости от количества полос движения
(данные ГК «Автодор»)*

<i>Участок дороги</i>	<i>Количество полос движения</i>	<i>Количество проездов в год, ед.</i>
19-29 км	10	173 009
30-37 км	8	92 271
38 км, 646-661 км	6	51 903
39-645 км	4	3 500 542
<i>Всего</i>		<i>3 817 725</i>

Таблица 2

*Состав транспортного потока на автомагистрали, доли
(данные ГК «Автодор»)*

<i>Тип АТС</i>	<i>Вид топлива</i>			
	<i>бензин</i>	<i>дизельное</i>	<i>СУГ*</i>	<i>СПГ**</i>
<i>Участок 19-38км, 646-661 км</i>				
Легковые	0,954	0,039	1,000	0,000
Грузовые	0,046	0,887	0,000	0,000
Автобусы	0,000	0,073	0,000	1,000
<i>Всего</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>
<i>Участок 39-645 км</i>				
Легковые	0,951	0,045	1,000	0,000
Грузовые	0,049	0,948	0,000	0,000
Автобусы	0,000	0,007	0,000	1,000
<i>Всего</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>	<i>1,000</i>

Примечание: АТС – автотранспортные средства.

**СУГ – сжиженный углеводородный газ;*

*** – сжатый (компримированный) природный газ.*

Для оценки объемов выбросов ПГ при сжигании моторного топлива транспортными средствами в период эксплуатации автомагистрали использовалась расчетная методика COPERT [3].

При сопоставлении расчетных показателей поглощения и эмиссии диоксида углерода при эксплуатации автомагистрали (рис. 7) выявлено, что на расстоянии примерно 25 м от края проезжей части дороги наблюдается баланс CO₂, выделяемого при сгорании моторного топлива ТС в транспортных потоках и поглощаемого придорожными экосистемами в целом по всей длине автомагистрали. При большем расстоянии от края проезжей части дороги количество депонированного придорожными экосистемами диоксида углерода превышает его выделение транспортными потоками.

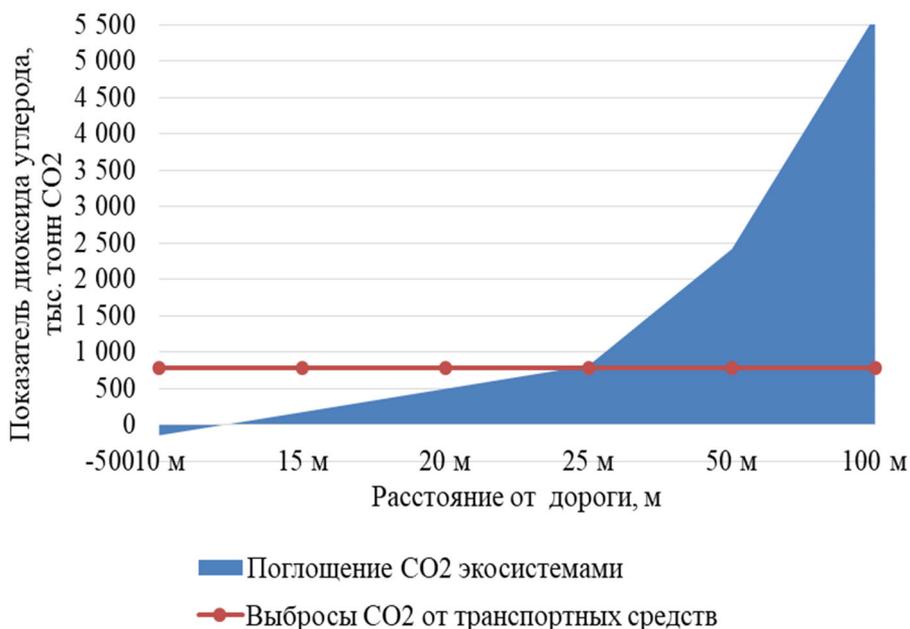


Рис. 7. Оценка углеродного следа транспортных потоков на автомагистрали М-11 «Нева» с учетом поглощения углерода придорожными экосистемами на разных расстояниях от края проезжей части по обе стороны дороги

Для сокращения углеродного следа и достижения углеродной нейтральности автомагистрали рассмотрены следующие мероприятия: изменение скорости движения транспортного потока и структуры

автомобильного парка по типу энергоустановки (виду моторного топлива, энергии).

Из **рис. 8** следует, что при скорости движения транспортного потока 130 км/ч выбросы CO₂ составят 785 тыс. т, т.е. примерно столько, сколько и при скорости движения 35 км/ч (плотное движение). Это всего лишь на 10,6 % больше, чем при скорости транспортного потока 70 км/ч. Отсюда следует, что изменение скорости транспортного потока как способ достижения углеродной нейтральности можно опустить из рассмотрения.

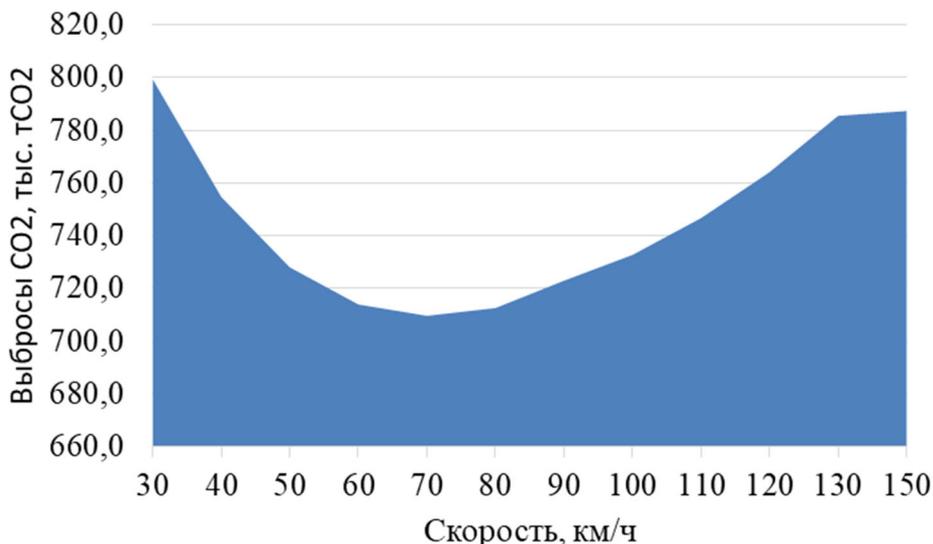


Рис. 8. Зависимость выбросов CO₂ от скорости транспортных потоков на протяжении всей автомобильной дороги

Как показал выполненный анализ, основным мероприятием для достижения углеродной нейтральности является насыщение автомобильного парка (транспортного потока) транспортными средствами на газомоторном топливе (природный газ), электротяге, в том числе с использованием топливных элементов и водорода в качестве источника энергии на борту ТС в компримированном, сжиженном или связанном виде (гидриды).

Выполненные прогнозные оценки изменения структуры парка транспортных средств России (транспортных потоков на дорожной сети) по типу электроустановок и виду топлива на период до 2050 года по сценарию декарбонизации транспорта (1,5 градуса), что соответствует требованиям Парижского соглашения по климату [4, 5], показали, что к 2040

году доля электротранспорта и автомобилей с ДВС сравняется, а к 2050 году автомобильный парк (транспортный поток) может состоять исключительно из электромобилей, в том числе на водороде (топливные элементы), и гибридов. На **рис. 9** приведены прогнозные оценки выбросов CO₂ с прогнозируемой структурой транспортного потока на рассматриваемой автомагистрали.

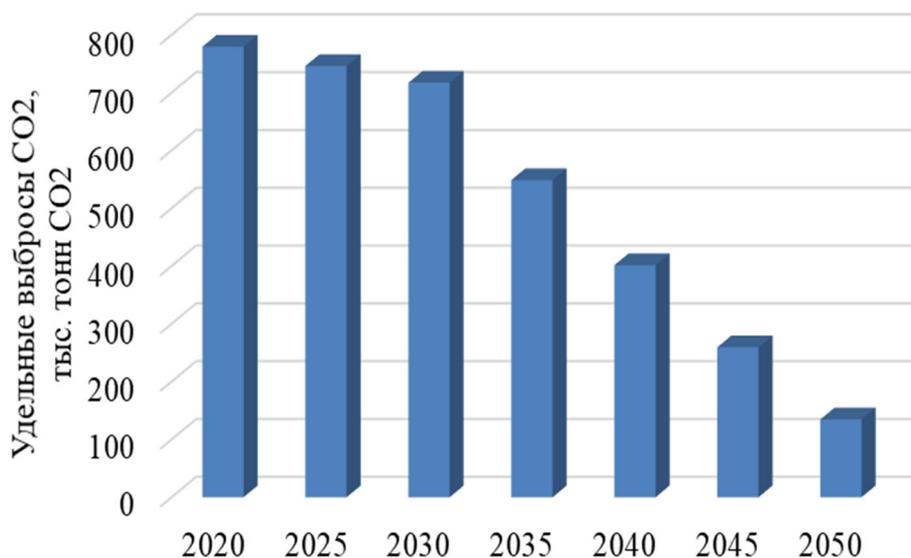


Рис. 9. Прогноз выбросов CO₂ транспортным потоком при изменении структуры по типу энергоустановок и виду топлива (энергии) на автомагистрали М-11 «Нева», тыс. т/год

Следует, что при изменении структуры парка по типу топлива (энергии) выбросы диоксида углерода транспортным потоком на автомагистрали М-11 «Нева» в 2050 г. сократятся с 780 тыс. т до 134,87 тыс. т CO₂, и, начиная с 2040 г., может быть обеспечена углеродная нейтральность автомагистрали на всем ее протяжении, так как для поглощения выделяемого транспортными средствами CO₂ будет достаточно площади экосистем, находящихся в пределах менее 25 м от края проезжей части по обе стороны дороги, что следует из **рис. 7**.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении методических указаний по количественному определению объёма поглощения парниковых газов [Текст]: Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.06.2017 г. № 20-р (от ред. 20.01.2021). – 118 с.
2. Артемьева Е.Л. Исследование поглощения углекислого газа раствором моноэтаноламина в рамках дискретной модели учета растворителя / Е.Л. Артемьева, Т.Р. Просочкина, Е.А. Кантор // Башкирский химический журнал. – 2011. – № 2. – С. 35-38.
3. COPERT Versions [Электронный ресурс] – URL: <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/> (дата обращения: 07.10.2021).
4. Trofimenko Yu.V. Methods and results of forecasting number and structure of motor fleet in the Russian Federation by types of Engine and fuel used for calculation of greenhouse gases emission till 2050 / Yu.V. Trofimenko, V.V. Donchenko, V.I. Komkov // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – 8(6). – Pp. 2707–2711.
5. Trofimenko Yu.V. Forecast of energy consumption and greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050 / Yu.V. Trofimenko, V.I. Komkov, K.Yu Trofimenko // Transportation Research Procedia. – 2020. – № 50. – Pp. 698–707.

LITERATURE

1. Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po kolichestvennomu opredeleniyu ob"yoma pogloshcheniya parnikovyyh gazov [Tekst]: Rasporyazhenie Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 30.06.2017 g. № 20-r (ot red. 20.01.2021). – 118 s.
2. Artem'eva E.L. Issledovanie pogloshcheniya uglekislogo gaza rastvorom monoetanolamina v ramkah diskretnoj modeli ucheta rastvoritelya / E.L. Artem'eva, T.R. Prosochkina, E.A. Kantor // Bashkirskij himicheskij zhurnal. – 2011. – № 2. – S. 35-38.
3. COPERT Versions [Электронный ресурс] – URL: <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/> (дата обращения: 07.10.2021).
4. Trofimenko Yu.V. Methods and results of forecasting number and structure of motor fleet in the Russian Federation by types of Engine and fuel used for calculation of greenhouse gases emission till 2050 / Yu.V. Trofimenko, V.V. Donchenko, V.I. Komkov // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2020. – 8(6). – Pp. 2707–2711.

5. Trofimenko Yu.V. Forecast of energy consumption and greenhouse gas emissions by road transport in Russia up to 2050 / Yu.V. Trofimenko, V.I. Komkov, K.Yu Trofimenko // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – № 50. – Pp. 698–707.

.....
**WAYS OF REDUCING CARBON FOOTPRINT AND
PROSPECTS FOR ACHIEVING CARBON NEUTRALITY
IN THE LIFE CYCLE OF A HIGHWAY**

*Doctor of Engineering, Professor Yu.V. Trofimenko,
Post-graduate student A.S. Vinogradova
(Moscow Automobile and Road State
Technical University (MADI))
Contact information:*

The article considers ways to reduce carbon footprint and achieve carbon neutrality of a highway by analyzing the adsorption capacity of roadside ecosystems, changing the speed limit and replacing vehicles with internal combustion engines with electric vehicles and hybrids.

Key words: *carbon footprint, carbon neutrality, highway, roadside ecosystems, greenhouse gases.*

Рецензент: канд. техн. наук А.В. Бобков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 20.10.2021 г.