Развитие «зеленых» транспортных услуг

А. А. Чеботаев,
д.т.н., профессор ФГБУ «Научный центр по комплексным транспортным проблемам» Министерства транспорта РФ

А. М. Ивахненко,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент» Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ),

Е. Ю. Фадеева,
к.т.н., доцент кафедры «Менеджмент» МАДИ

Д. А. Чеботаев,
Менеджер ICT Logistics

Последние 30 лет в разных странах отмечаются высокие темпы развития промышленного и сельскохозяйственного производства. Это приводит к более интенсивному использованию природных ресурсов и к увеличению воздействия человека на среду обитания. При этом возникает проблема усиливающегося антропогенного давления на природную экосистему и человека.

Проблемы охраны водных, воздушных ресурсов вышли за пределы границ государств вследствие глобализации хозяйства и переноса воздушных масс. Во многих регионах планеты они считаются негативными в области взаимодействия литосферы, гидросферы и атмосферы. Поиск способов полной ликвидации неблагоприятных последствий пока не привел к успеху.

Определяющую роль в этом играет Киотский протокол, а с 4 ноября 2016 г. и Парижское соглашение – международный акт 196 стран, с помощью которого сделана попытка повлиять на климатические изменения на Земле, ограничив повышение температуры двумя градусами. Он предполагает использование рыночных механизмов для ограничения выброса парниковых газов (двуокиси углерода CO_2, метана CH_4, закиси азота N_2O) и рекомендует ввести альтернативные, в частности электрические, источники энергии, а также рациональное природопользование и торговлю квотами между странами. Так, по соглашению вводится «углеродный сбор» 15 долл. за тонну выбросов, что нереально для индустриальных стран[1].

Дальнейшее развитие цивилизации будет происходить под воздействием техногенных последствий, в том числе с участием транспортной системы. При функционировании — при перевозке пассажиров, товаров и грузов — транспорт продолжает потреблять значительное количество первичных и вторичных топливно-энергетических ресурсов, в частности атмосферный кислород, выбрасывая загрязняющие, токсичные вещества.

Кроме того, в процессе перевозок транспорт влияет и на социально-экономическую среду. Это связано с повышением звукового давления, вибрацией, транспортными происшествиями, излучениями и др.

Сегодня накоплена статистическая информация значительного объема о тесной связи транспортной деятельности и ее влияния на социально-экономическую среду, водную среду, флору, фауну, почву, воздух с усиливающимися выбросами парниковых газов. В последнее время основное внимание экологов и транспортников привлекает один из массовых глобальных параметров – выбросы парникового газа CO_2. При сжигании топлива кроме CO_2 выбрасываются N_2O – закись азота (с эквивалентом потепления к CO_2 310), CH_4 – метан (с эквивалентом к CO_2 21), SF6 – гексафторид, гидро– и перфторуглероды (Росстат. Охрана окружающей среды в России 2014–2016. С. 88).

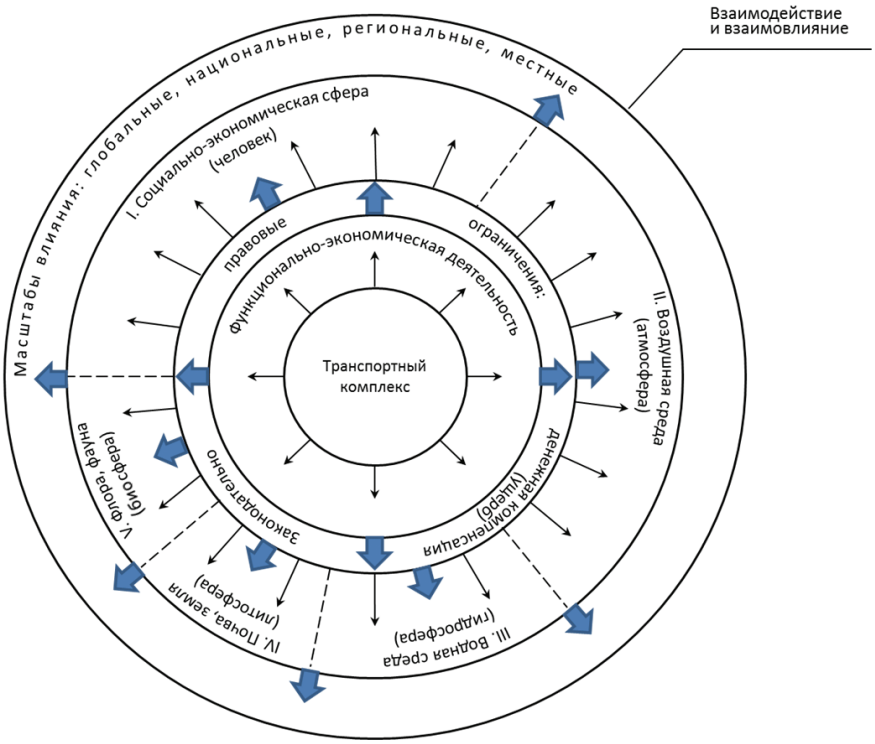

Рис. 1. Взаимодействие транспортного комплекса и окружающей среды

[1] Санитарно-гигиенические нормы атмосферного воздуха и других сред здесь не рассматриваются.

Таблица 1. Термохимические уравнения горения видов моторного топлива, влияющего на потенциал глобального потепления [3, с. 405, 406]

Вид моторного топлива	Термохимическое уравнение	Полное горение, кг/кг топливо, глобальные		Теплотворная способность, МДж/кг
		CO_2	O_2	
Бензин	$2C_8H_{18}+9O_2=16CO_2+18H_2O$	3,1	3,5	44,0
Дизельное топливо	$4C_{16}H_{31}+95O_2=64CO_2+62H_2O$	3,16	3,4	42,1
Диметиловый эфир*, синтетическое топливо	Дегидрация метанола: $2CH_3OH=CH_30CH_3+H2O$	1,9	2,2	28,4
Метан (сжатый)	$CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O$	2,8	4,0	33,9 МДж/м^3
Пропан (52 %), смесь	$C_3H_8+5O_2=3CO_2+4H_2O$	3,02	3,61	46,6
Бутан (48 %), смесь	$2C_4H_{10}+97O_2=8CO_2+10H_2O$	3,02	3,61	46,6
Керосин	$4C_{16}H_{33}+97O_2=64CO_2+66H_2O$	3,15	3,32	43,0
Этанол	$C_2H_5OH+3O_2=2CO_2+3H_2O$	1,9	2,1	26,8
Метанол	$2CH_3OH+3O_2=2CO_2+4H_2O$	1,4	1,5	20,0
Водород	$2H_2+O_2=2H_2O$ чистое горение	-	8,0	121,0
Уголь (на тепловых электростанциях)	$C+O_2=CO_2$	2,55	2,12	29,0

***Другая технология (Gasto Liguid).**

На основании этих соображений и с учетом ранее выполненных работ **[1, 2]** разработана схема взаимовлияния транспортного комплекса и окружающей среды, где учтены нормативные, социально-экономические связи, дифференцированные на местные, национальные и глобальные масштабы влияния (*рис. 1*).

В настоящее время транспорт потребляет топливо различных видов, которое тем или иным образом влияет на окружающую среду. Разработанная нами методическая процедура позволяет при необходимости выполнять сравнительные расчеты антропогенных выбросов высвобождающегося углерода в виде CO_2 и извлечения из атмосферы O_2, используя в качестве исходных данных термохимические уравнения горения рассматриваемое как энергетическая деятельность (*табл. 1*).

Из данных, приведенных в *табл. 1*, видно, что «минимальный» выброс глобального тепличного газа наблюдается при сжигании в транспортных двигателях тех видов моторного топлива, в химических формулах которых есть кислород, что снижает потребность его отбора из атмосферы. Поэтому при разработке мероприятий по снижению выбросов CO_2 целесообразно использовать данные этой *таблицы*[2]. Очевидно, что более «зелеными» транспортными средствами будут те, которые в качестве моторного топлива используют метанол, диметиловый эфир, метан, в перспективе — водород. С позиций потепления климата водород наиболее приемлем для снижения разогрева планеты. Так, полный учет экологического потенциала глобального потепления по CH_4 равен 21, по N_2O – 310. Поэтому выброс в результате неполного горения 1 кг метана эквивалентен 21 кг CO_2, закиси азота – 310 кг CO_2. Это необходимо учитывать при определении полного объема парникового газа.

Каков «вклад», например легкового автомобиля, работающего на бензине или дизельном топливе, в выбросы CO_2? Если взять «средний» легковой бензиновый автомобиль с расходом топлива 7,8 кг/100 км и с годовым пробегом 20 тыс. км, то в соответствии с данными *табл. 1*, выброс CO_2 составит 4836 кг в год. Для двухмиллионного городского парка автомобилей годовой выброс CO_2 составит 9,7 млн т. Введение норм топливной экономичности для вновь выпускаемых легковых автомобилей позволит снизить и выбросы CO_2. В странах ЕС Еврокомиссия вводит ограничения на средние выбросы CO_2 до 120–145 г/км, что равносильно снижению удельного расхода топлива для выпускаемых автомобилей до 5–7 л/100 км. Рекомендуемая норма Европарламента ЕС в 2021 г. составит 95 г/км.

Есть и другой авторский налогово-автомобильный вариант снижения удельных расходов моторного топлива. Для этого воспользуемся кривой А. Лаффера (*рис. 2*). По мере роста налоговых ставок на моторное топливо растет бюджет, естественно, увеличивается и расход топлива, в том числе выбросы. Но это происходит до точки $Б_{-pmax}$. После точки $Б_{-pmax}$ дальнейшее повышение налоговых ставок на моторное топливо, т. е. его удорожание, приведет к уменьшению бюджетных поступлений: точки Н_с-Б_с. В этих условиях, конечно, снижаются и выбросы в окружающую среду. Задача совместного влияния рассмотренных факторов весьма сложна и для каждого конкретного случая должна решаться самостоятельно, с учетом региональных особенностей.

Какие же проблемы окружающей среды, связанные с потеплением, ожидают нас в будущем? Возникает проблема истощения запасов нефти, газа, угля и других ископаемых, которые в значительной степени определяют объемы выброса CO_2 при сгорании. В далекой перспективе для удовлетворения жизненно важных потребностей населения представляется целесообразным снизить риск возникновения неблагоприятных экологических последствий от избытка CO_2 с помощью замкнутых циклов производства топлива и его потребления (идея В. Штайгера, ФРГ) (*рис. 3*).

На *рис. 3* показано, что реализация обратной связи с использованием растительной массы и солнечной энергии[3] полностью ликвидирует неблагоприятные для будущих поколений энергодефицитные последствия при

[2] При этом не надо забывать, что в России на каждого жителя приходится 5,4 тыс. га «чисто» лесной растительности. Способность наших лесов поглощать CO_2 (в эквиваленте) составляет 700 млн т в год (Росстат. Россия в цифрах. 2016. С. 290, 291).

[3] От Солнца Земля получает $2{,}1\times10^{18}$ Дж световой энергии.

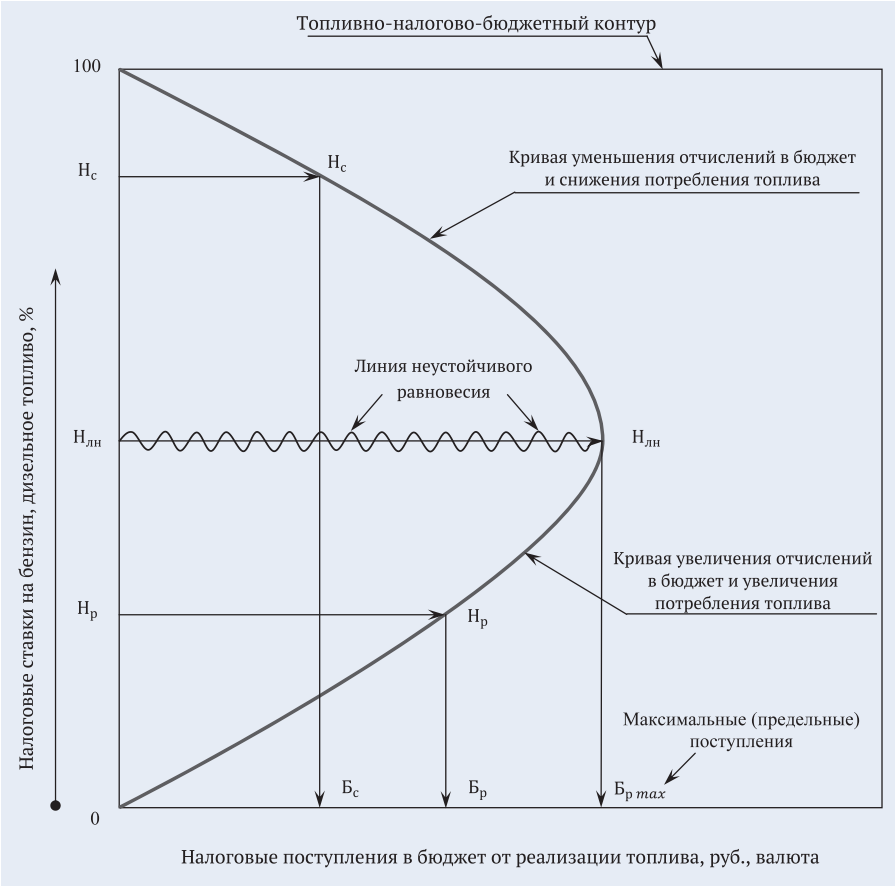

Рис. 2. Теоретическая зависимость бюджетных поступлений от изменения налоговых ставок на топливо

снижении риска нагрева планеты. К сожалению, проблема вредных выбросов токсичных веществ в окружающую среду при этом остается нерешенной. Частично справиться с этой проблемой помогает уран. Деление грамма урана по энергоэффективности равносильно сжиганию 2,5–3,0 т угля и соответствующего объема метана с выбросом 7,5–9,0 т CO_2.

Кроме транспорта на потенциал глобального потепления большое влияние имеет загрязнение среды обитания человека – приземного слоя атмосферы.

Влияние выбросов транспорта на приземный слой атмосферы

В крупных городах, мегаполисах стремительно расширяются масштабы экологических проблем в приземном слое атмосферы, что вызывает необходимость нормирования токсичных выбросов от используемых транспортных средств, особенно автомобилей. Почти 90 % вредных веществ (твердых частиц PM – 10, оксида углерода CO, оксидов азота NO_x, углеродов C_nH_m и оксидов серы SO_x), поступающих в городской приземный слой атмосферы, обусловлены выбросами отработавших газов транспортных средств. По нашим расчетам, ежесуточно на каждого жителя страны приходится 47–50 г токсичных веществ, 45 % которых составляет доля транспортных источников.

Окружающая среда (в частности, выбросы токсичных веществ) в значительной степени влияет на жизненный цикл человека и его заболеваемость. Загрязнение городской атмосферы вызывает у населения раковые, легочные, глазные заболевания. Существуют международные экологические нормы в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 83 и № 49 с полной массой автомобилей до 3,5 и более 3,5 т, которые в ЕС реализуются в виде от Евро 0 до Евро 5 и 6. С 1958 по 2016 г. нормы выбросов CO снизились с 85 до 5,45 г/кВт·ч, или в 16 раз, C_mH_n — с 5 до 2,38 г/кВт·ч, или в 21 раз, NO_x — с 17 до 5,0 г/кВт·ч, или в 3,4 раза. Для всех выпускаемых автомобилей с 2016 г. нормы Евро 5 обязательны в увязке с качеством используемого типа моторного топлива. С августа 2014 г. действуют нормы Евро 6.

На основании анализа мировых тенденций можно заключить, что для снижения негативных антропогенных воздействий на человека и окружающую среду необходимо развивать следующие направления:

- использование альтернативных видов топлива (природного газа, водорода на топливных элементах, гибридных двигателей);
- совершенствование силовых агрегатов с целью увеличения их КПД;
- совершенствование конструкций транспортных средств для снижения их массы, коэффициента сопротивления качению шин, повышение аэродинамических свойств автомобиля;
- повышение топливной экономичности, т. е. увеличение пробега на 1 л топлива.

Получены обобщающие данные при дифференцированном учете КПД производства различных видов моторного топлива и электроэнергии и их использовании на «колесе». Наибольший «зеленый» итоговый КПД наблюдается у дизельного двигателя, работающего на сжиженном (0,208) и сжатом (0,203) природном газе (при использовании топлива в эксплуатации 0,23). Автомобили дизельные с электроприводом (КЭУ) имеют итоговый КПД 0,181 (при использовании топлива в эксплуатации 0,29). Бензиновые автомобили характеризуются итоговым «зеленым» КПД 0,135 (при использовании топлива в эксплуатации 0,23). Итоговый «зеленый» КПД «чистого» дизельного двигателя 0,169 (при использовании топлива в эксплуатации 0,27). Низкий итоговый КПД наблюдается у экологических электромобилей – всего 0,161 при КПД использования электроэнергии на «колесе» 0,71.

Из этих данных следует, что наиболее «зелеными» транспортными средствами для мегаполисов следует считать КЭУ дизельные с электроприводом и работающие на природном газе.

Влияние других видов транспорта на приземный слой атмосферы незначительно. У воздушного транспорта, например, выбросы происходят на высоте 914 м, в основном на высоте крейсерских полетов.

Шум – акустический загрязнитель воздуха, генерируемый автомобилями, — не должен превышать медицинскую норму 84 дБА (ГОСТ Р 52231-2004 и др). На воздушном транспорте по ИКАО допускается в жилой застройке не более 80 дБА днем и 78 дБА ночью при максимальных уровнях давления от 90 до 108 дБА.

Общие принципы оценки уровня «зелености» при перевозках

Для общей характеристики при взаимодействии окружающей среды, человека и транспорта в транспортно-экологических исследований предлагается ввести новое научное комплексное понятие «безвредность». Под «безвредностью», «зеленостью» понимается различная степень антропогенного и социально-экономического воздействия транспорта на воздушную, водную среду, флору, фауну и почву, а также на человека с минимальным ущербом. Понятие «безвредность» характеризует уровень вредности, который принимается за весь срок службы транспортных средств. Приемлемый риск характеризует временный риск, с которым можно согласиться. Очевидно, что масштаб такого влияния транспорта носит местный, региональный, национальный и глобальный характер (см. *рис. 1*). Таким образом, с помощью понятия «безвредность» можно точнее оценить «зеленость» вида транспорта, которая включает экологические, социальные и глобальные параметры, а также безопасность движения.

Для оценки степени такого влияния необходимо определить индикаторы, критерии, с помощью которых специалисты, политические деятели и широкая общественность могли бы контролировать взаимодействие транспорта с окружающей средой. В полемике о различных методах оценки «зелености» различных видов транспортных средств мы предлагаем использовать известную органолептическую методическую процедуру – метод субъективного восприятия квалифицированными специалистами специфических свойств токсических веществ, шума, показателей безопасности движения и других определяющих факторов. Метод рекомендуется применять при выборе тех или иных решений при установлении «безвредности» видов транспорта. Указанные решения слабо структурированы вследствие многих учитываемых показателей, поэтому органолептический метод основывается на установлении комплекса взвешиваемых критериев.

Для упрощения выполнения сравнительных расчетов примем, что удельный вес однофункциональных критериев для каждого вида транспорта одинаков. Критерии по степени влияния делятся на три квалиметрических уровня. Для определения уровня «зелености» вида

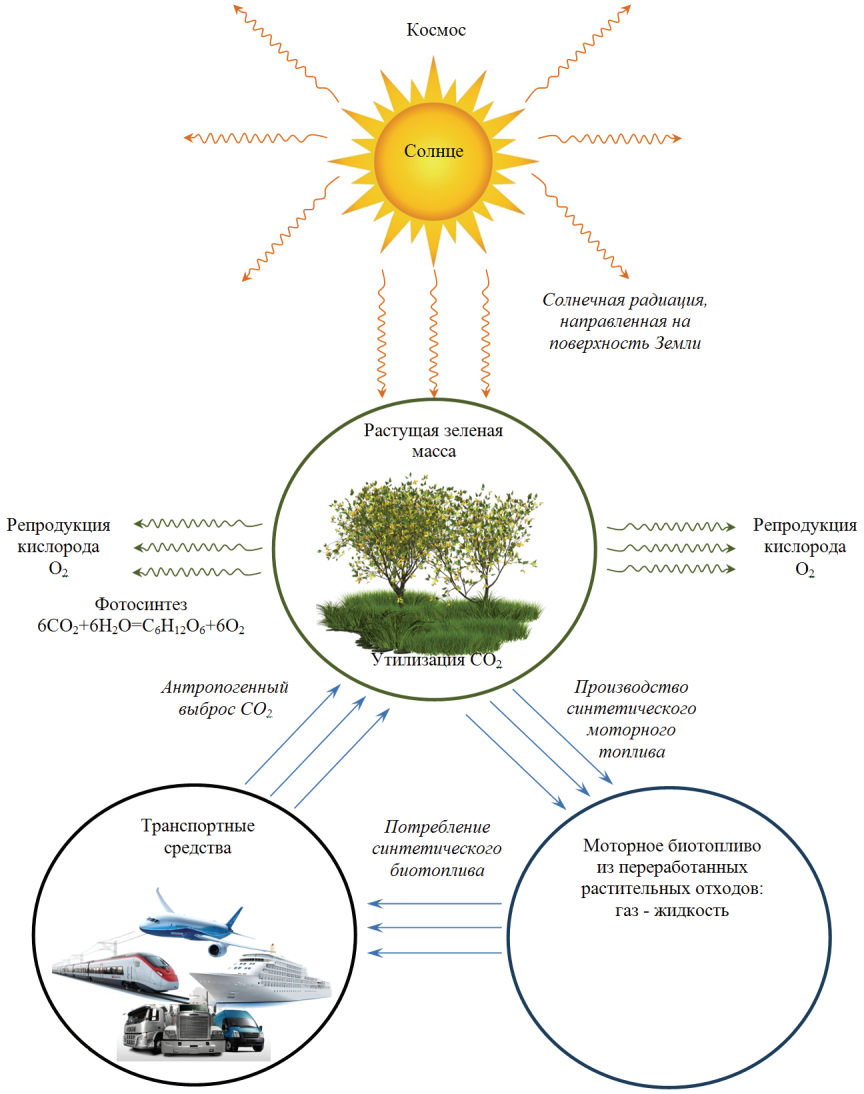

Рис. 3. Технологически оптимальный вариант замкнутого солнечно-цивилизованного цикла утилизации природой выбрасываемого транспортом тепличного газа

транспорта устанавливаются критерии-знаки (баллы): «+» означает слабое отрицательное воздействие на человека и окружающую среду; «++» – умеренное взаимодействие, «+++» – наиболее сильное воздействие. При сравнении получается, что чем больше итоговая сумма баллов, тем ниже степень «зелености» вида транспорта.

Статистические исследования по изучению антропогенного воздействия транспорта, разработанная методическая процедура, учет многоаспектных данных, а также ранние публикации **[1–3]** позволили разработать уровень «зелености» видов транспорта. С учетом усиливающегося влияния напряженности электромагнитных полей на транспорте, особенно с электроприводом от сети, полученные результаты могут использоваться для эффективного решения будущих экологических проблем на разных уровнях управления охраной окружающей среды (*табл. 2*).

Ожидаемые дискуссии по установлению уровня «зелености» транспортных средств будут полезным шагом в направлении создания методологии по учету влияния транспорта на окружающую среду и человека.

Из анализа ранжированных данных в *табл. 2* следует, что наиболее «зеленые» виды транспорта – водный и трубопроводный. Более «зеленый» городской — низкоуглеродный электротранспорт, включая гибридные электромобили. Данные *табл. 2* доказывают важность поиска компромисса при оценке «зелености» транспортных средств, используемых в городских агломерациях и мегаполисах.

Таким образом, разработанные методические процедуры по установлению уровня «безвредности», «зелености» транспорта могут использо-

Таблица 2. Уровень «зеленности», «безвредности» видов транспорта

Вид транспорта	Глобальные критерии, индикаторы			Влияние на атмосферу (среду обитания человека)						Влияние на социально-экономическую сферу		Влияние (в том числе радиоактивное) на почву (землю), флору, фауну	Влияние на водную среду (гидросферу)	Суммарный критерий оценки
	Выброс тепличного газа CO_2 при сгорании топлива в двигателях и тепловых электростанциях	Потребление кислорода O_2 при сгорании топлива в двигателях и тепловых электростанциях	Выброс веществ, влияющих на озоновый слой атмосферы и образование приземного озона O_3, выброс метана CH_4 и др.	Выброс токсичных веществ при сгорании топлива в двигателях и испарение топлива	Тепловое излучение от работающих двигателей	Образование частиц пыли при движении, износе деталей и путевых структур	Внешний и внутренний шум (звук)	Электромагнитное излучение (индукция, напряженность электрического и магнитного полей мкТл, А/м)	Ускорение, замедление вибрации (частота колебаний) при движении	Ландшафтноградостроительные устройства территории	Безопасность движения и полетов; выбросы веществ при происшествиях с опасными грузами			
Автомобильный	+++	+++	+	+++	+	+	++	++	++	++	+++	+++	+	27
Железнодорожный*	+*	+*	+	+*	+	+	++	+	++	+	++	++	+	17
Воздушный	++	++	+	++	+	–	+++	+	++	-	+	++	+	18
Городской электрический	+*	+*	–	+*	+	+	+	++	++	+	+	+	–	13
Внутренний водный	+	+	+	+	+	–	+	+	+	–	+	–	++	11
Газопроводный	++*	++*	+	+*	+	–	+	+	–	–	–	+	–	10
Нефте– и продуктопроводный	+*	+*	–	+*	+	–	–	+	–	–	–	++	–	7
Морской	+	+	+	+	+	–	+	+	+	–	+	–	++	11

Балльная оценка «зеленности»: «+» – слабое воздействие на человека и окружающую среду, «++» – умеренное, «+++» – сильное воздействие, прочерк – нет воздействия.

* С учетом выработки электроэнергии на тепловых электростанциях.

ваться на разных уровнях управления (страны, региона, города), а также при реализации и внедрении методологии менеджмента Plan – Do – Check – Act (планирование, выполнение, контроль, действие) для любых функционирующих организаций в соответствии с «Национальным стандартом Российской Федерации системы Экологического менеджмента»[4].

Предложенная методика «безвредности» будет способствовать формированию будущей среды разума – ноосферы (по В. И. Вернадскому) как одного из составных элементов устойчивого общественного развития.

Конечно, дальнейшее социально-экономическое развитие в значительной степени зависит и от уровня экологической безопасности транспортной системы, определяющей выбросы в среду обитания человека. Представляется целесообразным в связи с этим разработать новый закон «Об очистке атмосферного воздуха в приземном слое атмосферы» с установлением индекса качества и с учетом естественного объема потребления городским жителем 5–10 л воздуха в минуту.

[4] СанПин 2.2.4 1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».

Литература

1. Чеботаев А. А. Генезис «Маятника экономики в регулируемых рыночных отношениях». М.: Колос, 2003.
2. Чеботаев А. А. Геотранспортные ресурсы России. М.: Экономика, 2007.
3. Управление охраной окружающей среды на транспорте. Вып. 2. М.: НИИАТ, 2000.
4. Альтернативные источники энергии для транспорта и энергетики больших городов. Ч. 1. М.: Прима-Пресс, 2005.
5. ГОСТ Р ИСО 14001-2007. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. Национальный стандарт Российской Федерации системы экологического менеджмента.
6. Hood C., Briner G., Rocha M. GHG or not GHG: Accounting for diverse mitigation contributions in the post-2020 climate framework. OECD/IEA Climate Change Expert Group Papers. 2014. № 2. Paris: OECD Publishing, 2014..
7. CO_2 Emissions from Fuel Combustion. Paris: IEA, 2016.
8. Росстат. Россия в цифрах. 2016.
9. Луканин В. Н., Трофименко Ю. В. Промышленно-транспортная экология. М.: Высш. шк., 2001.
10. Транспорт и логистика в Арктике: Альманах. 2016. Вып. 2. М.: Техносфера, 2016.