

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

МРНТИ 87.17.03

Н.А.Ибрагимова¹, А.А.Косякова¹, А.С.Тайсарина¹

¹Казахстанско-Немецкий университет,
г. Алматы, Казахстан

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА В АЛМАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ

Аннотация. Проведена оценка эмиссии поступления CO_2 автомобильным транспортом г. Алматы. Определен уровень накопления кислотных оксидов, биогенных элементов и тяжелых металлов в коре древесных растений и почве вдоль автомобильной магистрали. Установлено, что вклад г. Алматы в эмиссию парниковых газов составляет 14 % в общем объеме поступления по Казахстану в 2015 г. Наибольшие концентрации кислотных оксидов и тяжелых металлов отмечаются в почве "нижней части города", что приводит к ингибированию деления клеток корня *Allium sera* и хромосомным аберрациям. Алматы может по праву занимать лидирующее положение по выбросам парниковых газов в центральноазиатском регионе. Содержание кислотных оксидов, биогенных элементов и тяжелых металлов в коре и почве может свидетельствовать о неравномерном их распределении в зависимости от рельефа, а также от автомобильной нагрузки автомагистрали.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, кислотные оксиды, тяжелые металлы, *Picea abies*, *Allium sera*, автотранспорт



Түйіндеме. CO_2 автомобиль келігімен Алматы қаласы және жинақтау деңгейі үшін түскен қышқылдық оксид, биогендік элементтер және ауыр металдардың ағаш өсімдіктердің тамырлары және топырағы бойындағы автомобиль магистралін жүргізу эмиссиясын бағалау. 2015 жылдың жалпы көлемінде салым Қазақстан республикасы Алматы қаласыда парниктік газдардың эмиссиялары 14 %-ды құрайды. Қышқыл оксидтерінің концентрациясы мен ауыр металдар "қаланың төменгі бөлігінде", – ингибирование белу жасушалар тамырдың *Allium sera* және хромосомным аберрациям

байқалады. Алматы қаласы орталық Азия аймағындағы құқықтық атқаруға парниктік газдар шығындылары бойынша көшбасшы. Қышқыл оксидтері, биогендік элементтер және ауыр металдар қыртысының және топырақтың жасағанын растауы мүмкін біркелкі бөлу байланыстары жер бедерінің және тәуелді автомобиль жүктемесінің автомагистральдары.

Түйінді сөздер: көлік, атмосфералық ауаның ластануы, қышқыл оксидтері, ауыр металдар, *Picea abies*, *Allium cepa*.



Abstract. We assessed the estimation of CO₂ emissions by motor transport of Almaty city and determined the level of accumulation of acid oxides, biogenic elements, heavy metals in the bark of woody plants and soil along the highway. The contribution of Almaty in the emission of greenhouse gases is 14 % from the total volume of income in the Republic of Kazakhstan in 2015. The highest concentrations of acid oxides and heavy metals are found in the soil of the "lower part of the city", which leads to inhibition of the division of the cells of the root of *Allium cepa* and chromosomal aberrations. Almaty city can rightfully occupy a leading position on greenhouse gas emissions in the Central Asian region. The content of the acid oxides, nutrients and heavy metals in the soil and in the bark may be indicative of their uneven distribution, depending on the terrain and on the car load motorway.

Key words: motor transport, air pollution, acid oxides, heavy metals, *Picea abies*, *Allium cepa*.

Введение

Как известно, вклад автомобильного транспорта в загрязнение окружающей среды на локальном уровне зависит от географических и климатических особенностей. При этом эмиссии транспортных средств остаются основным источником загрязнения в городах и рассматриваются в качестве главных поставщиков парниковых газов. Основные загрязнители воздуха – окись углерода CO, оксиды азота NO_x, включая NO и NO₂ и твердые частицы (ТЧ) [1], которые являются основной причиной заболеваемости и смертности населения урбанизированных территорий. Например, существует положительная связь между концентрациями NO₂ и CO в атмосферном воздухе и увеличения случаев сердечно-сосудистых заболеваний [2,3]. Известно, что вдоль дороги между зданиями автомобильные выбросы могут попадать в ветровой вихрь, что приводит к более высокой концентрации загрязняющих веществ на автомагистрали, поэтому про-

блема загрязнения атмосферного воздуха с использованием косвенных способов оценки является актуальной [4].

Каждая страна разрабатывает свои собственные стратегии по снижению выбросов от автотранспорта. Так, в настоящее время в г. Алматы курсируют 600 экологически чистых автобусов и 850 троллейбусов, работающих на электроэнергии. Это результат совместного проекта с Европейским банком реконструкции и развития. Несомненно, экологически чистый транспорт необходим Алматы, поскольку 80 % вредных выбросов в атмосферу города производит именно транспорт [5].

Цель исследований – провести оценку эмиссии поступления CO_2 автомобильным транспортом г. Алматы и уровень накопления кислотных оксидов, биогенных элементов и тяжелых металлов в коре древесных растений и почве вдоль автомобильной магистрали.

Методы исследования. Эмиссию CO_2 определяли согласно [6]. По другим парниковым газам – метану и закиси азота, полученные значения переводили в CO_2 -эквивалент и при расчете по выбросам метана умножали эту величину на коэффициент 21 и по выбросам закиси азота – на коэффициент 310. Типы транспортного средства определяли на основании статистических данных Министерства национальной экономики Комитета по статистике [7]. Согласно официальным данным, средний годовой пробег автомобиля одного жителя г. Алматы составляет 15480 км, или 42 км в день. Автолюбители, проживающие в пригороде, в среднем проезжают почти в 2 раза больше, т.е. 28 900 км в год [8].

В исследованиях были определены 2 точки отбора проб (коры и почвы): "верхней части города" (перекресток аль-Фараби - Фурманова) и "нижней части города" (перекресток Райымбека - Розыбакиева). pH определяли на pH-метр (PH3210 Set Tw). Электропроводность – с помощью кондуктомера Tetra Con 325/Cond 3110 SET2. Кислотные оксиды, фосфаты, общий углерод, общий азот и свинец определяли в водном экстракте коры ели обыкновенной (*Picea abies*) и почве по общепринятым методикам на спектрофотометре Spectroquant Spectro

Pharo 100 (Merck). Отбиралась навеска используемых проб мас-сой 25 г в 100 мл дистиллированной воды. Исследования проводили через 24 ч после пробоподготовки.

Цитогенетические исследования выполняли на объекте *Allium cepa L.*, определяя число клеток на различных стадиях митоза при общем числе проанализированных клеток не менее 2 тыс. на каждую луковицу, и высчитывали митотический индекс каждой фазы. Статистическая обработка проводилась с использованием критерия Стьюдента.

Результаты исследования. Изучение статистической информации позволило определить, что наибольшее число автомобилей представлено легковым транспортом и наиболее популярными считаются автомобили с объемом двигателя 1500-2000 см³, доля которых в 2015 г. составляла 52,3 % из общего числа транспортных средств г. Алматы [9]. При этом значительное количество – автомобили старше 10 лет. Как известно, с увеличением срока эксплуатации возрастает количество выбросов, что связано с изношенностью двигателя и его составляющих, а также с низкими налоговыми сборами для этих автомобилей. Показатели выбросов парниковых газов автомобильным транспортом г. Алматы представлены на рис. 1-3. Определение эмиссии CO₂ транспортом показало, что суммарный выброс углекислого газа от всех типов автомобилей составляет 18345243305,09 т ежегодно, CH₄ – 636298979,50 т CO₂ – эквивалент в год и N₂O – 910834902,8 т CO₂ эквивалент в год.

Проведенные натурные исследования автотранспортных потоков на перекрестках Фурманова - аль-Фараби и Райымбека - Розыбакиева позволили определить интенсивность транспортного потока. Так, для перекрестка Фурманова - аль-Фараби составляет 10685 транспортных средств в час и для перекрестка Райымбека - Розыбакиева – 11060 транспортных средств в час "пик"! (с 17.00 до 18.00).

Показатели кислотности коры и почвы находятся на уровне кислотных значений, а электропроводность – в диапазоне от 28,7 до 144,6 мк См/см. Определение концентрации NO₂⁻, NO₃⁻ и SO₄⁺² в водном экстракте коры ели обыкновенной показало, что наи-

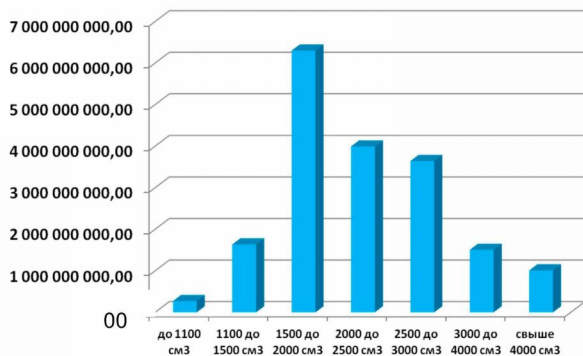


Рис. 1. Эмиссии CO₂

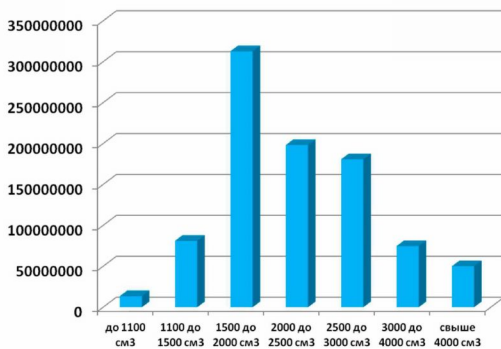


Рис. 2. Эмиссии N₂O

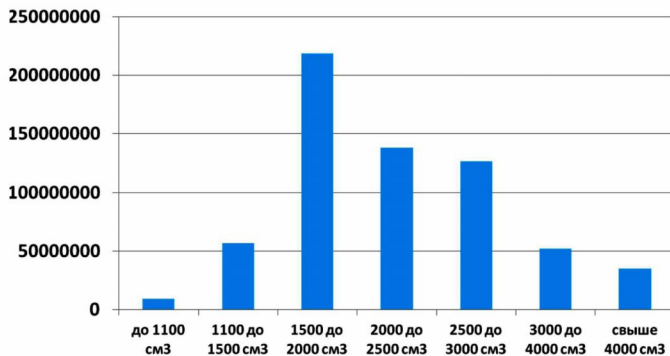


Рис. 3. Эмиссии CH₄

Таблица 1

**Концентрация биогенных элементов и тяжелых металлов
в водных экстрактах коры ели обыкновенной *Picea abies*, М±м**

Показатель	Место взятия пробы, перекресток		ПДК
	аль-Фараби - Фурманова	Райымбека - Розыбакиева	
РН	5,5±0,2	4,7±0,2	–
Электропроводность, мкСм/см	144,6±10,4	28,7±5,6	–
SO ₄ ⁻² , мг/дм ³	62,3±8,4	<50	500
NO ₂ ⁻² , мг/дм ³	26,9±1,8	13,6±3,3	3,0
NO ₃ ⁻ мг/дм ³	64,0±9,1	41±6,1	45,0
PO ₄ ⁻² , мг/дм ³	6,8±0,9	5,2±5,7	3,5
Общий органический азот, мг/дм ³	53,6±8,3	45,3±7,3	–
Общий органический углерод, мг/дм ³	153,3±35,8	200,0±46,9	–
Pb ⁻² , мг/дм ³	1,8±0,1	2,8±0,1	0,03
Cd ⁻² , мг/дм ³	2,7±0,5	3,4±0,4	0,001

большие значения этих оксидов отмечены в ели, произрастающей в "верхней части города", и составляло 26,9±1,8 мг/дм³ (9ПДК), 64,0±9,1 мг/дм³ (1,4ПДК) и 62,3±8,4 мг/дм³ соответственно. Изучение общего органического азота, углерода и полифосфатов выявило одинаковые значения вне зависимости от места прорастания ели: "нижняя часть города" или "верхняя часть города". Так, полученные значения по азоту находились в диапазоне 45,3-53,6 мг/дм³, а по углероду – 153,3-200,0 мг/дм³ и полифосфатам – 5,2-6,8 мг/дм³ (1,5-1,9 ПДК) (табл. 1). Показатели кислотных оксидов в водных почвенных экстрактах существенно не отличались в зависимости от места сбора проб. Концентрация NO₂⁻ составляла 3,4-4,4 ПДК и полифосфатов – 2,1-2,2 ПДК на исследуемых перекрестках города (табл. 2).

Таблица 2

**Концентрация биогенных элементов и тяжелых металлов
в водных экстрактах почвы, М±m**

Показатель	Место взятия пробы, перекресток		ПДК
	аль-Фараби - Фурманова	Райымбека - Розыбакиева	
РН	5,6±0,7	6,1±0,6	–
Электропроводность, мкСм/см	60,0±12,0	64,2±13,6	–
SO ₄ ⁻² , мг/дм ³	63,3±12,0	64,±15,0	500
NO ₂ ⁻² , мг/дм ³	10,1±2,6	13,3±1,6	3,0
NO ₃ ⁻ мг/дм ³	32,0±8,0	36,0±6,0	45,0
PO ₄ ⁻² , мг/дм ³	7,8±1,2	7,5±1,4	3,5
Pb ⁻² , мг/дм ³	3,8±0,8	5,3±0,6	0,03
Cd ⁻² , мг/дм ³	4,6±0,8	6,4±0,8	0,001

Определение концентрации свинца и кадмия выявило значительное превышение ПДК: наибольшие значения отмечены как в коре, так и в почве "нижней части города". В коре концентрация свинца и кадмия составляла 2,8±0,1 мг/дм³ (93 ПДК) и 3,4±0,4 мг/дм³ (3400 ПДК), в почве – 5,3±0,6 мг/дм³ (177 ПДК) и 6,4±0,8 мг/дм³ (6400 ПДК) соответственно (см. табл.1 и 2).

При изучении прорастаемости *Allium sera* выявлено, что число корешков, выращенных в водных экстрактах почвы с перекрестков города, было несколько меньше, но их длина – больше, по сравнению с луком, выращенным в дистиллированной воде (табл. 3).

Цитогенетический анализ выявил достоверно значимое снижение митотического индекса клеток апикального участка меристематической ткани корня лука *Allium sera*, выращенного в водном экстракте почвы, собранной на аль-Фараби - Фурманова и Райымбека - Розыбакиева. Также отмечается достоверно значимое снижения уровня митотических индексов метафазы, анафазы, телофазы и ана-телофазы по сравнению с аналогичными

Таблица 3

Количество и длина корешков *Allium* сера, выращенного в водном экстракте почвы, $M \pm m$

Место отбора пробы	Количество, шт.		Длина, см
	луковиц	корешков	
Контроль (дистиллированная вода)	10	25±6	2,2±0,5
аль-Фараби - Фурманова	10	17±4	4,0±0,9
Райымбека - Розыбакиева	10	21±5	3,7±0,2*

Примечание: при $p \leq 0,05$.

показателями в клетках меристемы корня лука, выращенного в дистиллированной воде (табл. 4).

Таблица 4

Митотический индекс (MI) и фаз клеточного цикла, $M \pm m$

Показатель, %	Контроль (дистиллированная вода)	Место отбора	
		аль-Фараби - Фурманова	Райымбека - Розыбакиева
MI	56±6	41±7	38±4*
MI профазы	79±23	96±12	97±16
MI метафазы	1,1±0,05	0,7±0,02*	0,5±0,09*
MI анафазы	8,8±0,4	1,1±0,03*	0,9±0,07*
MI телофазы	12,3±1,4	2,2±0,5*	1,7±0,6*
MI ана-телофазы	21±7	3,3±0,5*	2,6±0,6*

Примечание: при $p \leq 0,05$.

Генотоксичные эффекты проявлялись в виде хромосомных aberrаций ("запаздывание", фрагменты, грануляция клеток и мосты). Наблюдаемые типы хромосомных аномалий представлены на рис. 4.

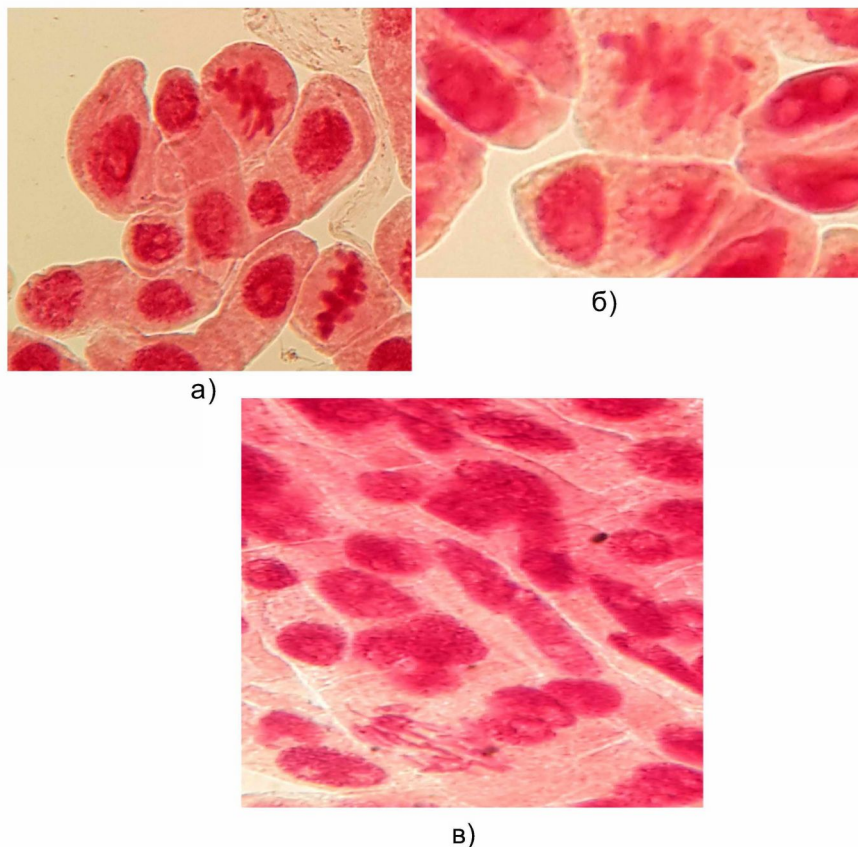


Рис. 4 . Типы хромосомных aberrаций в клетках меристемы корня *Allium cepa*: а) задержка клеточного деления ("запаздывание"); б) фрагмент; в) мосты и микроядро

Обсуждение результатов. Город Алматы может по праву занимать лидирующее место по выбросам парниковых газов в центральноазиатском регионе. Содержание кислотных оксидов, биогенных элементов и тяжелых металлов в коре и почве может свидетельствовать о неравномерном их распределении в зависимости от рельефа и обуславливаться автомобильной нагруз-

ки автомагистрали. Каждая страна разрабатывает свои собственные стратегии с целью снижения выбросов автотранспорта, но их можно разделить на 3 большие группы:

- модернизация городского планирования (создание скоростного транспорта) и рационального землепользования [10];
- разработка новых источников энергии;
- ужесточение стандартов по выбросам [11].

На основании проведенного анализа экологической ситуации в г. Алматы и выполненных экспериментальных исследований можно предложить несколько механизмов оптимизации транспортного трафика в городе.

Создание в городе экологических зон малым выбросом (Low Emission Zones, LEZs), запрещение въезда наиболее загрязняющих транспортных средств. LEZ считается наиболее эффективной мерой для уменьшения транспортного потока и, как результат – загрязнение атмосферного воздуха [12]. В настоящее время такие зоны введены в 13 европейских странах [13]. Так, в Европе, согласно принятым директивам, все транспортные средства классифицируются по так называемому "Евро" в зависимости от технических характеристик и в отношении их уровней выбросов от 1 до 6, где "LEZ 1" – ограничение въезда дизельных автомобилей европейского стандарта эмиссии ниже Евро-2 и бензиновых автомобилей европейского стандарта без каталитических нейтрализаторов.

Одним из наиболее развитых примеров применения этого способа оптимизации можно найти в Германии, где экологические зоны малым выбросом (LEZ) были введены с 2008 г. и сейчас – 11 в федеральных землях. Большинство зон функционируют 24 ч и 365 дней в году [14].

В качестве другого эффективного способа можно рассмотреть стратегию синхронизации светофоров, оправдывающую себя в высокой плотности дорожной сети (High-density grid road network, HGRN). Структура HGRN является ортогональным образцом шахматной доски, с узкими 2-полосными или 4-полосными дорогами, находящимися на расстоянии 100-300 м друг от друга. Именно синхронизация сигнала светофора может служить

эффективной мерой при образовании "пробок", с целью повышения эффективности и стабильности движения, контроля за образованием и распределением очередей, поддержания непрерывного потока транспортного трафика. Различают 2 вида синхронизации светофоров: "одна длинная зеленая" (LG) и "два длинного красного" (LR).

Первый тип предусматривает непрерывный трафик при средней скорости для всех типов транспортных средств через несколько перекрестков.

Второй тип (LR) аналогичен практически первому, но красный цвет светофора должен гореть дольше [15].

Причем обязательным условием для внедрения HGRN является ее однородность, т. е. наиболее эффективным будет ее использование в районе города, где величина объема трафика, в каждой единице площади одинакова (постоянна) [16]. Большинство используемых моделей HGRN основано на фиксированном времени сигнала светофора [17]. Наиболее оправданным является кооперативное действие нескольких пересечений улиц. Так, при обнаружении "пробок" на одном из перекрестков сигнал передается и на соседние перекрестки [18].

Другой способ – контроль максимального давления (MP): на каждом перекрестке контролируются только очереди, прилегающие к конкретному перекрестку и, как результат – разгрузка прилегающих перекрестков за счет изменения сигнала светофора [19]. Различные способы HGRNs используются во многих городских центрах по всему миру, например, в районе Манхэттен (Нью-Йорк), Гинза (Токио), Банд (Шанхай), Синьцзекоу (Нанкин) и др. [20].

Учитывая дефицит экологических ресурсов г. Алматы, власти стремятся оптимизировать городскую транспортную систему за счет активизации общественного транспорта. В частности, в начале 2015 г. приобретено 200 экологически чистых автобусов общим числом 600 автобусов. Количество общественного транспорта, работающего на электроэнергии, составляет сегодня 850 ед. Это результат 4-летнего совместного проекта с Европейским банком реконструкции и развития. В общей слож-

ности количество экологически чистого общественного транспорта в Алматы, в том числе частных компаний, работающего на газе, составляет в настоящий момент 70 %, т. е. подавляющее большинство [21].

Выводы

1. Вклад г. Алматы в эмиссии парниковых газов составляет 14 % в общем объеме поступления в Республике Казахстан в 2015 г.

2. Наибольшая концентрация кислотных оксидов и тяжелых металлов отмечается в почве "нижней части города", что является причиной к ингибированию деления клеток корня *Allium* сера и хромосомным абберациям.

Список литературы

1 *Anderson H.R.* Air pollution and mortality: A history // *Atmospheric Environment*. – 2009. – Vol. 43. – P. 142-152.

2 *Chang L.-T., Chuang K.-J., Yang W.-T.* et al. Short-term exposure to noise, fine particulate matter and nitrogen oxides on ambulatory blood pressure: A repeated-measure study // *Environmental Research*. – 2015. – Vol. 140. – P. 634-640.

3 *Berard E., Bongard V., Dallongeville J.* et al. Expired-air carbon monoxide as a predictor of 16-year risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality // *Preventive Medicine*. – 2015. – Vol. 81. – P. 195-201.

4 *Zajic D., Fernando H.J.S., Calhoun R., Princevac M.* et al. Flow and turbulence in an urban canyon // *J. Appl. Meteorol. Climatol*. – 2011. – 50 (1). – P. 203-223.

5 Сетевое издание "Zakon.kz" Казахстанский информационный портал. 2017. - №1 // <http://m.zakon.kz/4686006-bakytzhan-sagintaev-my-ljubim-almaty-i.html> (был доступен 04.03.2017 г.).

6 *Kakouei A., Vatani A.* An estimation of traffic related CO2 emissions from motor vehicles in the capital city of, Iran // *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*. – 2012. – № 9 (13) – P. 9-13.

7 1999-2017 Сетевое издание "Zakon.kz" Казахстанский информационный портал. – 2017. – №1 // <http://auto.zakon.kz/4631417-strakhovshhiki-poschitali-skolko-v.htm> (был доступен 04.03.2017 г.).

8 Министерство национальной экономики Республики Казахстан Комитет по статистике. – 2017. – №1 // <http://stat.gov.kz> (был доступен 04.03.2017 г.).

9 *Sayeg P., Bray D.* Estimating changes in emissions from bus rapid transit: making best use of transport sector experience // *Wiley Interdisciplinary Reviews.* – 2012. – № 1 (3). – P.308-316.

10 *Tanaka K., Berntsen T., Fuglestedt J.S., Rypdal K.* Climate effects of emission standards: the case for gasoline and diesel cars // *Environmental Science and Technology.* – 2012. – № 46 (9). – P. 5205-5213.

11 *Bruckmann P., Wurzler S., Brandt A., Vogt K.* Erfahrungen mit Umweltzonen in Nordrhein Westfalen. In: Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesinstitut für Risikobewertung, Robert Koch-Institut, Umweltbundesamt, editor. *UMID Umwelt und Mensch - Informationsdienst*, Berlin. – 2011. – P. 27-33.

12 Sadler Consultants Ltd 2007-2017. Regulation of urban access in Europe. – 2017. – №1 // <http://urbanaccessregulations.eu> (was available 04.03.2017).

13 Umweltbundesamt Umweltzonen in Deutschland. – 2014. – №1 // <http://www.umweltbundesamt.de> (es war verfügbar 04.03.2017).

14 *Hu X., Lu J., Wang W. and Zhirui Y.* Traffic Signal Synchronization in the Saturate

15 High-Density Grid Road Network // *Comput Intell Neurosci.* - 2015: 532960. Published online 2015 Jan 13. doi: 10.1155/2015/532960.

16 *Yang J.Y., Wu M.W.* Quantification Study of CBD in China. Nanjing, China: Southeast University Press, 2004.

17 *Dans G., Gazis D.C.* Optimal control of oversaturated store-and-forward transportation networks // *Transportation science.* – 1976. – № 11. – P. 1-19.

18 *Li T., Zhao D., Yi J.* Adaptive dynamic programming for multi-intersections traffic signal intelligent control // *Proceedings of the 11th*

International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC '08), December 2008, Beijing, China. – P. 286-291.

19 *Varaiya P.* Max pressure control of a network of signalized intersections // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* – 2013. – 36. – P. 177-195.

20 *Langdon P.* *A Better Place to Live: Reshaping the American Suburb.* Amherst, Mass, USA: University of Massachusetts Press, 1997.

21 Сетевое издание "Zakon.kz" Казахстанский информационный портал. – 2017. – № 1 // <http://m.zakon.kz/4686006-bakytzhan-sagintaev-my-ljubim-almaty-i.html> (был доступен 04.03.2017 г.).

Ибрагимова Наиля Ахтамовна, кандидат биологических наук,
e-mail: nailya.73@mail.ru

Косякова Алена Аркадьевна, студентка 4 курса, e-mail:
alena_sennik@mail.ru

Тайсаринова Айсулу Саиновна, магистр, старший преподаватель,
e-mail: taisarinova@gmail.com