



УДК 551.510.42 (517.3-25)

## **Оценка загрязнения воздушной среды г. Улан-Батора автотранспортом**

В. К. Аргучинцев ([avk@geogr.isu.ru](mailto:avk@geogr.isu.ru))

А. В. Аргучинцева ([arg@math.isu.ru](mailto:arg@math.isu.ru))

Бат-Эрдэнэ Ариунсанаа ([sanaa\\_hi2002@yahoo.com](mailto:sanaa_hi2002@yahoo.com))

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема загрязнения атмосферного воздуха г. Улан-Батора автотранспортными средствами. На основе математической модели строятся области распространения загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от автомобилей в районе регулируемых перекрестков дорог. Оценивается уровень загрязнения атмосферного воздуха на территории, прилегающей к центру города.

**Ключевые слова:** город, загрязнение, атмосфера, автотранспорт, моделирование.

### **Введение**

Большой вклад в общее загрязнение городской среды вносит автотранспорт, количество которого во всем мире постоянно растет. Исключением не является и Монголия, в частности г. Улан-Батор. В отработанных газах двигателей внутреннего сгорания обнаруживаются продукты неполного сгорания нефтяных топлив, а также неорганические соединения тех или иных веществ, присутствующих в топливе, – это примеси газообразные (окись углерода CO, двуокись серы SO<sub>2</sub>, сернистый газ HS, окислы азота NO<sub>2</sub> и др.), жидкие (сернистая кислота, бензол, ртуть и др.) и твердые (пыль, сажа, свинец и др.). На распределение выбросов загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы города влияет множество факторов: количество и продолжительность атмосферных осадков, температура и стратификация, направление и скорость ветра, интенсивность солнечной радиации, рельеф местности и ориентация улиц, качество дорожного покрытия, плотность застройки и озеленение улиц, вид используемого топлива и скорость автомобиля, циклы вынужденных торможений и начала движений и пр. К загрязняющему фактору относят также шум.

Движение автотранспортных средств в составе плотных транспортных потоков отличается от движения одиночного автомобиля. Связанное с этим изменение условий движения (скоростей, ускорений) влечет изменение нагрузочно-скоростных режимов работы двигателей, количества выбросов вредных веществ, шума, расхода топлива транспортного средства. Так, на-

пример, на выбросы оксида углерода значительное влияние оказывает рельеф дороги и режим движения автомашины. При ускорении и торможении в отработавших газах увеличивается содержание оксида углерода почти в 8 раз.

На рисунке 1 показана зависимость выброса окиси углерода легковым автомобилем от скорости его движения. Наименьшее выделение этого газа наблюдается при скорости движения 70 км/ч [11].

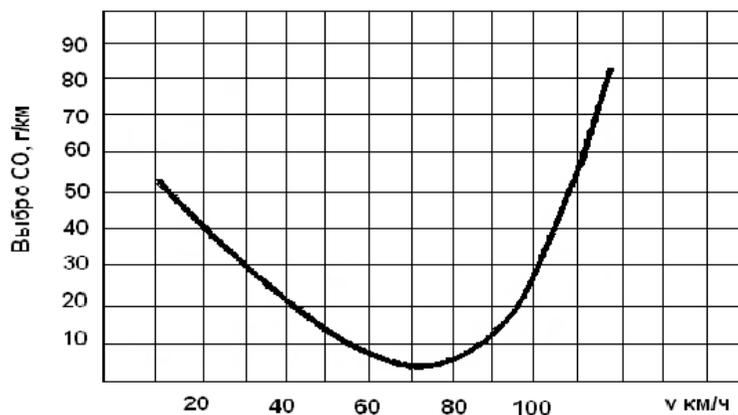


Рис. 1. Зависимость выброса окиси углерода в атмосферу от скорости движения легкового автомобиля

Переобогащение горючей смеси в режиме разгона ведет к увеличению выброса несгоревшего топлива, продуктов его неполного сгорания и окислов азота. Особенно переобогащается горючая смесь в режиме принудительного холостого хода, т. е. при торможении двигателем. В этом случае количество окиси углерода в выхлопных газах может достигать 12 %.

### **Структура автотранспортных средств и пропускная способность автодорог г. Улан-Батора**

По статистическим данным, в 2013 г. в Улан-Баторе было 257 498 автомобилей, из них: легковых – 184 371, грузовых – 51 409, автобусов – 11 430 и транспортных средств особого назначения – 10 288 [8]. На рисунке 2 показана динамика роста числа транспортных средств в городе [2; 8].

Как видим, за последние 13 лет в городе количество автотранспорта увеличилось почти в 6 раз, при этом количество автобусов (обеспечение общественным транспортом) выросло лишь вдвое. Бензин используют 55,6 % автомобилей, дизельное топливо – 32,1 %, газ – 3,7 %, электрические двигатели – 8,6 %. Отрицательно на экологической ситуации сказывается и тот факт, что в Улан-Баторе в целом еще велика доля устаревшего автотранспорта: эксплуатирующегося более 10 лет – 67 %, 4–9 лет – 25 %, до 3 лет – лишь 8 % [8]. Пропускная способность дорог до 2008 г. была удовлетворительна (табл. 1).

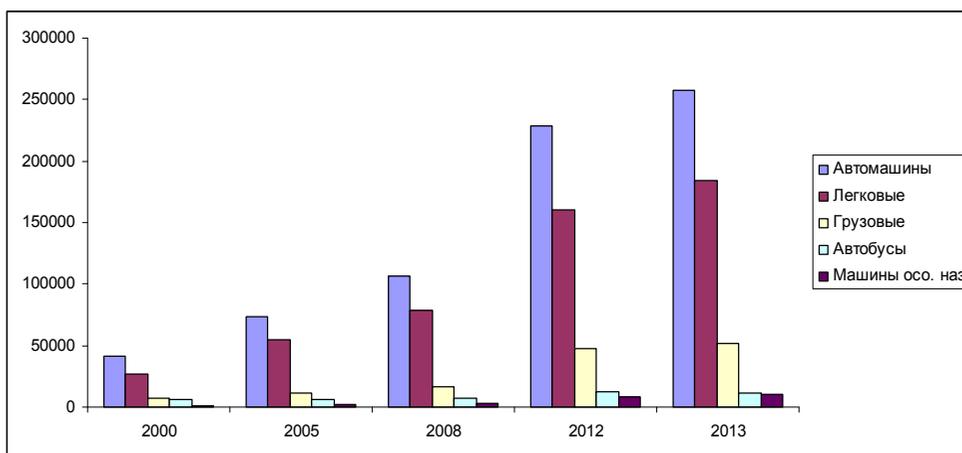


Рис 2. Количество автотранспорта в г. Улан-Баторе

Таблица 1

Пропускная способность основных перекрестков главной дороги города и интенсивность движения в 2008 г. [4]

Название перекрестка	Пропускная способность, маш./ч	Среднесуточная интенсивность, маш./ч	Интенсивность в часы пик, маш./ч
Восточный перекресток	6359	5953	6815
Западный перекресток	7393	6633	7854
Перекресток МонГУ	5192	4909	6109
Перекресток МонГПУ	6654	4829	6045
Центральная почта	7990	6658	7955
Зоос гоел	5545	4666	5908

Из таблицы 1 видно, что в пиковые часы почти на всех перекрестках интенсивность машин в 2008 г. немного превышала пропускную способность дороги (на 500–900 маш./ч). В 2013 г. (см. рис. 2) количество автотранспорта в городе увеличилось уже вдвое, вследствие чего на дорогах в настоящее время возникают большие пробки.

### Загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом г. Улан-Батора

Более полноценные исследования загрязнения воздуха автотранспортом в городе проведены в 2008 г. сотрудниками Монгольского государственного политехнического университета, Центра экологии и устойчивого развития, Института термической техники и производственной экологии, а в 2010 г. – JICA – Japan International Cooperation Agency. В исследованиях использовались разные методы: факторный метод [12] и метод расчета на основе регистрации автотранспортных средств. В таблице 2 представлены результаты этих исследований.

Таблица 2

Выбросы загрязняющих веществ автотранспортом г. Улан-Батора [6; 12]

Метод исследования	Количество автотранспорта		Загрязняющие вещества, т/год			
	Бензин	Дизель	PM10	SOx	NOx	CO
МонГТУ: 2008 (факторный метод)	56134	19018	177,5	109,7	3612,2	6116,6
ЛСА: 2010 (метод регистрации)	93129	38073	226	236	4840	28088

Используя данные о количестве автотранспорта в 2013 г., мы выполнили расчеты по методике, разработанной специалистами ЛСА (табл. 3).

Таблица 3

Выбросы загрязняющих веществ автотранспортом г. Улан-Батора

Метод исследования	Количество автотранспорта		Загрязняющие вещества, т/год			
	Бензин	Дизель	PM10	SOx	NOx	CO
Факторный метод	143296	82580	969,43	514,48	18182,01	19191,42
Метод регистрации ЛСА	143296	82580	636,74	560,49	7747,42	27654,44

Как видим (см. табл. 3), результаты расчетов, выполненные разными коллективами по двум различным методикам, сильно отличаются.

В октябре 2013 г. проведены натурные наблюдения по изучению автотранспортных потоков (интенсивности движения) на перекрестке «4-й магазин» (в центре города). Ситуационный план исследуемой территории представлен на рис. 3. Наблюдения проводились за автомобилями трех категорий: легковые, легковые с дизельными двигателями (джипы), автобусы (в центре города запрещено движение грузовых транспортных средств). Подсчет проходящих по данному участку автодороги транспортных средств проводился в течение 20 мин в часы пик: 8.20–8.40, 14.20–14.40, 18.20–18.40 (табл. 4).

На первом этапе были проведены расчеты по методике [5], используемой для оценки загрязнения воздушной среды в районе регулируемого перекрестка автодорог. Согласно этой методике, при расчетной оценке уровней загрязнения воздуха в зонах перекрестков следует исходить из наибольших значений содержания вредных веществ в отработавших газах, характерных для режимов движения автомобилей в районе пересечения автомагистралей (торможение, холостой ход, разгон).

Результаты расчетов по выбросам загрязняющих веществ автотранспортными средствами в районе регулируемого перекрестка «4-й магазин» (ул. Университетская) выполнены с использованием формул и рекомендованных таблиц для расчета коэффициентов по методике [5] (табл. 5).

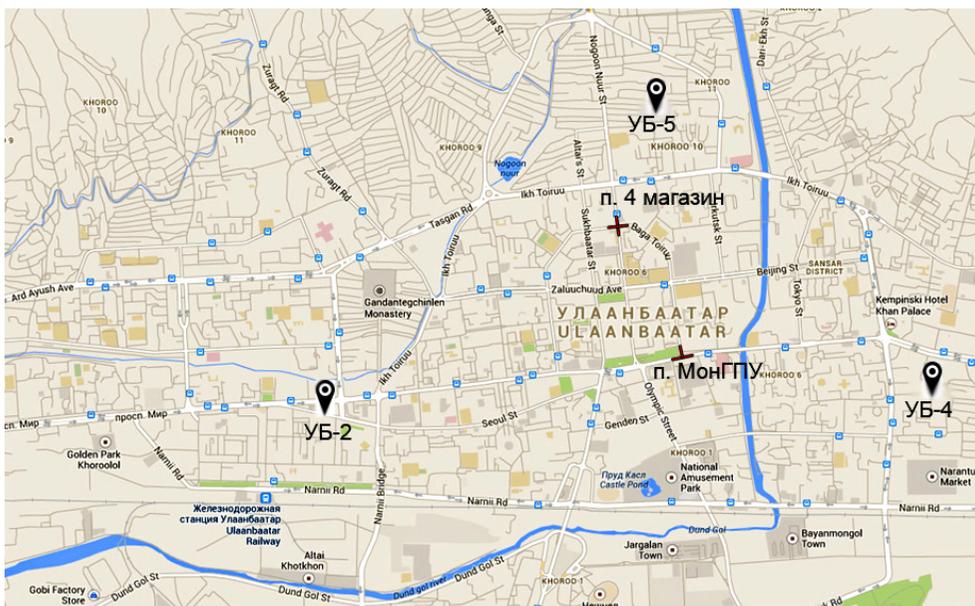


Рис. 3. Перекресток «4-й магазин»:  $\perp$ ,  $\perp$  – исследуемые перекрестки,  $\text{📍}$  УБ-2 – стационарные посты наблюдений

Таблица 4  
Количество автомобилей по данным наблюдений на перекрестке дороги «4-й магазин»

Время наблюдения	Тип автотранспортных средств			Общее кол-во автомобилей
	Легковые автомашины	Автобусы, маршрутные такси	Авто с диз. двигателем	
<b>Рабочий день</b>				
8:20–8:40	891	51	149	1091
14:20–14:40	891	40	131	1062
18:20–18:40	850	32	214	1096
Среднее	877	41	165	1083
<b>Выходной день</b>				
8:20–8:40	698	47	89	834
14:20–14:40	677	46	166	889
18:20–18:40	738	53	181	972
Среднее	704	49	145	898

Таблица 5  
Выбросы загрязняющих веществ автотранспортными средствами на перекрестке «4-й магазин»

Тип автотранспортного средства	Выбросы, г/с			
	PM	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Легковые /бензин	0,0180	0,0012	0,04	0,15
Легковые /дизель	0,0020	0,0002	0,02	0,02
Автобусы	0,0060	0,0008	0,07	0,10
Всего	0,0260	0,0022	0,13	0,27

Из таблицы видно, что максимальное количество выбросов приходится на легковые автомобили. Это пропорционально количеству автотранспортных средств, зафиксированных на данном участке дороги при натуральных наблюдениях (см. табл. 4).

Подобные расчеты были выполнены и для другого перекрестка (см. рис. 3, перекресток МонГТУ).

Полученные результаты расчетов использованы в качестве входной информации в математическую модель [1] для оценки распространения загрязняющих веществ от передвижных источников.

В Монголии приняты несколько иные, в отличие от России, стандарты качества атмосферного воздуха. В таблице 6 приведены для отдельных ингредиентов значения предельных допустимых концентраций (ПДК).

Таблица 6

Сравнение значений ПДК Монголии [7] и России [3; 10]

Ингредиент	Монголия		Россия	
	Вид ПДК	Значение ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Вид ПДК	Значение ПДК, мг/м <sup>3</sup>
СО	0,5 ч	60	средняя суточная максим. разовая	3
	1 ч	30		5
	8 ч	10		
SO <sub>2</sub>	10 мин	0,5	средняя суточная максим. разовая	0,05
	20 мин	0,45		0,5
	24 ч	0,02		
	1 год	0,01		
NO <sub>2</sub>	20 мин	0,085	средняя суточная максим. разовая	0,04
	24 ч	0,04		0,2
	1 год	0,03		
Пыль	0,5 ч	0,5	средняя суточная максим. разовая	0,15
	24 ч	0,15		0,5
	1 год	0,1		
PM10*	24 ч	0,1	средняя суточная максим. разовая	0,06
	1 год	0,05		0,3
PM2,5*	24 ч	0,05	годовая	0,04
			средняя суточная	0,035
	1 год	0,025	максим. разовая	0,16
			годовая	0,025

\* В настоящее время вопрос о внедрении в действующую систему нормирования и учета выбросов нормативов ПДВ (ВСВ) для взвешенных частиц PM10 и PM2,5 методически недостаточно проработан. В связи с этим ОАО «НИИ Атмосфера» рекомендует не нормировать выбросы взвешенных частиц PM10 и PM2,5 до введения в действие соответствующего методического обеспечения, включающего инструментальные и расчетные методы определения PM10 и PM2,5 в выбросах, расчеты рассеивания этих веществ в атмосферном воздухе с учетом фонового загрязнения атмосферы и методы контроля за соблюдением установленных нормативов выбросов взвешенных частиц PM10 и PM2,5 [9].

Как видно из табл. 6, значения ПДК Монголии и России отличаются не только количественно, но и по смысловой нагрузке.

**Математическое моделирование загрязнения перекрестков города**

Для анализа влияния застройки и метеорологических характеристик на распространение загрязняющих веществ, поступающих от автотранспорта, была проведена серия численных экспериментов по модели [1]. Расчеты проводились для крупномасштабных потоков различных направлений при следующих значениях параметров: шаг по времени выбирался с учетом критерия Куранта; вертикальный градиент фоновой температуры –  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ; верхняя граница области счета задавалась на высоте  $100\text{ м}$ ; шаги по горизонтали и вертикали  $2\text{ м}$ ; горизонтальное разрешение  $100\times 100$  точек. Фрагменты расчетов приведены на рис. 4 и 5, которые иллюстрируют результаты моделирования воздушных течений и переноса примесей от автотранспорта для центральных улиц г. Улан-Батора.

Сравним полученные расчеты (см. рис. 4 и 5) с табл. 6. По российскому стандарту в центре города есть превышения для СО ПДК. К сожалению, ПДК более чем на  $8\text{ ч}$  в стандарте Монголии отсутствует.

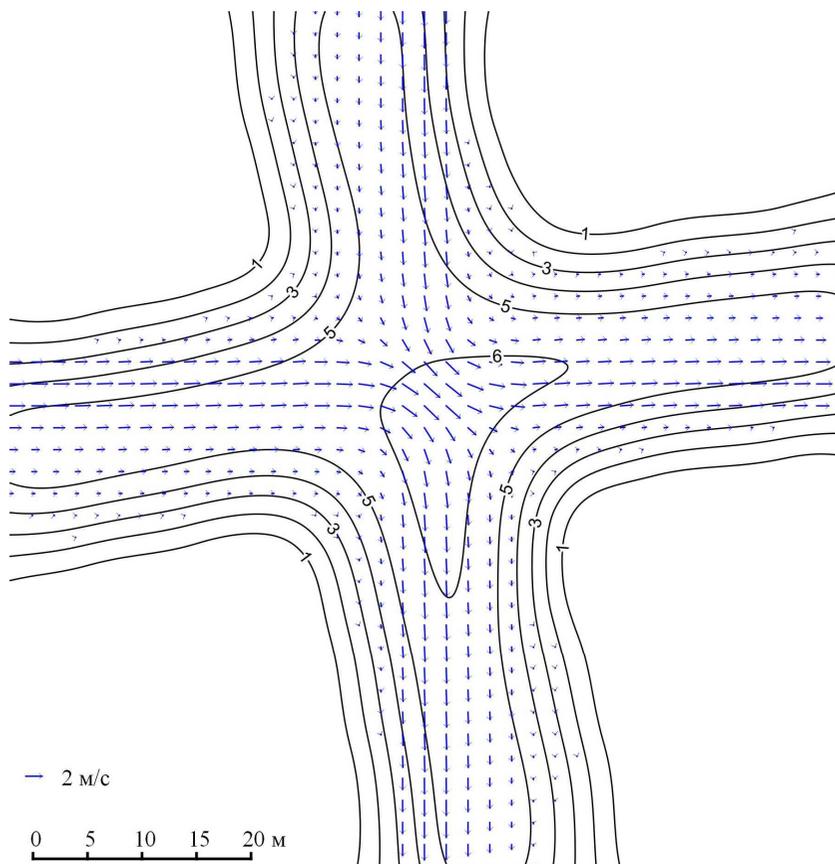


Рис. 4. Векторное поле скорости при северо-западном ветре и распределение концентраций примесей СО в районе перекрестка «4-й магазин», изолинии даны в  $\text{мг}/\text{м}^3$

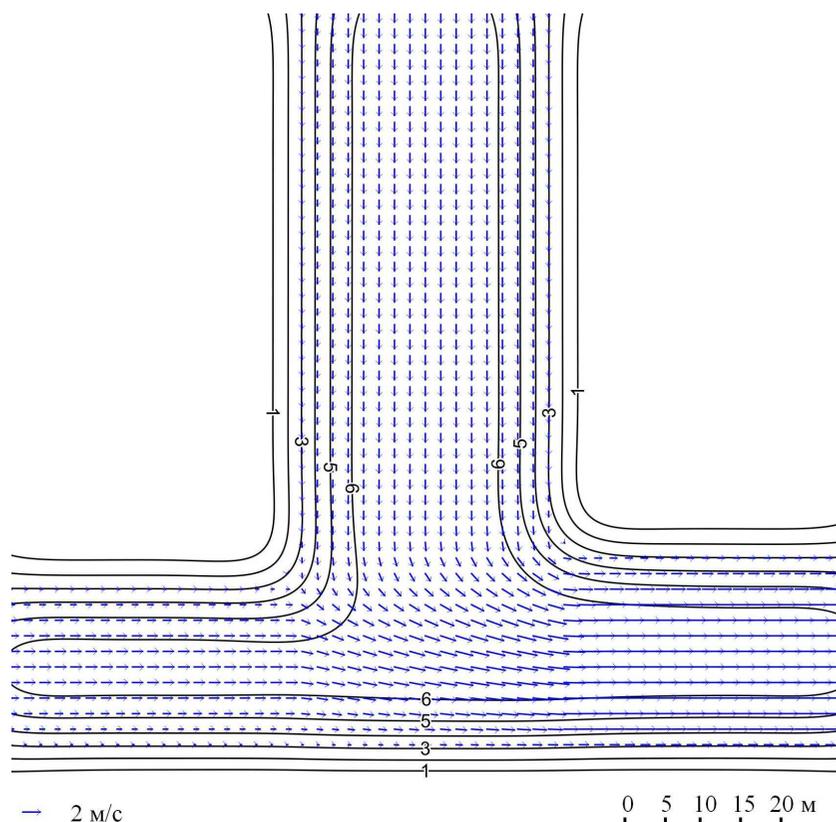


Рис. 5. Векторное поле скорости при северо-западном ветре и распределение концентраций примесей СО в районе перекрестка «МонГТУ». Обозначения те же, что и на рис. 4

Стационарные посты наблюдений за загрязнением атмосферы довольно-таки удалены от рассматриваемых перекрестков. Наиболее близки к рассматриваемым перекресткам пункты УБ-2, УБ-4, УБ-5 (см. рис. 3). Разброс в данных наблюдений: в пункте УБ-2 – от 1,3 до 6,2 мг/м<sup>3</sup>, в пункте УБ-4 – от 0,6 до 5 мг/м<sup>3</sup>, в пункте УБ-5 – от 0,3 до 13 мг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

Возможности модели и получаемые результаты могут быть использованы для создания экологического паспорта города и полезны при принятии управленческих решений по улучшению качества атмосферного воздуха и оздоровлению экологической обстановки.

## Список литературы

1. Моделирование и управление процессами регионального развития / А. В. Аргучинцева [и др.]. – М. : Наука, Физматлит, 2001. – 432 с.
2. *Байгальмаа Н.* Автомашинь өсөн нэмэгдэж буй хэрэглээ, түүний хүрээлэн буй орчинд үзүүлэх нөлөө (Рост использования автотранспорта и его влияние на окружающую среду). – 2008. – 10 с. (на монг. яз).
3. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10. Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338-03 (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19 апреля 2010 г. № 26). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест // Гарант [Электронный ресурс]: справочная правовая система.
4. Автотээврийн хэрэгслээс уудэлтэй Улаанбаатар хотын тувийн агаарын бохирдол, суруг нулуулгийг бууруулах асуудал (Проблемы загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом в центре города Улан-Батора и уменьшения их вредных воздействий) / Р. Мижиддорж [и др.]. – Улаанбаатар, 2008. – 102 с. (на монг. яз).
5. *Молодцов В. А.* Определение выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта : метод. указания / В. А. Молодцов, А. А. Гуськов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2014. – 22 с.
6. Монгол Улс Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах хяналтын чадавхийг бэхжүүлэх төсөл (Проект по улучшению и поддержанию мониторинга за загрязнением атмосферы города Улан-Батора). – Улаанбаатар, 2013. – 385 с. (на монг. и англ. яз.).
7. Монгол улсын Стандарт. – Улаанбаатар хот, 2007. – 150 с. (на монг. яз.).
8. Нийслэлийн эдийн засаг, нийгмийн байдал (Социально-экономическое состояние столицы) // Статистический бюллетень за 2012–2013 гг. – 35 с. (на монг. яз).
9. Письмо «НИИ Атмосфера» № 1-2079/10-0-1 от 05.10.2010 за подписью генерального директора ОАО «НИИ Атмосфера» А. Ю. Недре [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru/12175873/#ixzz34Uut2TcM>.
10. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 // Гарант [Электронный ресурс]: справочная правовая система.
11. *Фельдман Ю. Г.* Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха / Ю. Г. Фельдман. – М., 1975. – 160 с.
12. Emission estimation technique manual combustion engines. Version 2.3. October 2003, Australian Government. – 69 с.

## Estimating of Air Pollution Due to Emissions by Transport in Ulaanbaatar

V. K. Arguchintsev, A. V. Arguchintseva, Bat-Erdene Ariunsanaa

**Abstract.** The article is devoted to the problem of air pollution due to emissions of pollutants from transport of Ulaanbaatar. On the basis of mathematical model we are building area of pollution is distribution from transport of Ulaanbaatar for the cross-roads. Also we are assessing the level of air pollution in area, which adjoins the centre in town.

**Keywords:** city, pollution, atmosphere, transport, modeling.

*Аргучинцев Валерий Куприянович*  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой метеорологии  
и охраны атмосферы  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52–10–94, 52–10–88

*Arguchintsev Valery Kupriyanovich*  
Doctor of Sciences (Technics), Professor,  
Head of the Department of Meteorology  
and protection of the atmosphere  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 52–10–94, 52–10–88

*Аргучинцева Алла Вячеславовна*  
доктор технических наук, профессор,  
декан географического факультета  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 42–56–84

*Arguchintseva Alla Vyacheslavovna*  
Doctor of Sciences (Technics), Professor,  
Dean, Faculty of Geography  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (3952) 42–56–84

*Бат-Эрдэнийн Ариунсанаа*  
аспирант; преподаватель  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
Монгольский государственный университет  
Улан-Батор-14540, Монголия  
тел.: 89021721990

*Bat-Erdene Ariunsanaa*  
Postgraduate, Lecturer  
Irkutsk State University,  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
National University of Mongolia  
Ulaanbaatar-14540, Mongolia  
tel.: 89021721990