



УДК 004.42

DOI:10.18413/2411-3808-2018-45-1-111-117

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ РАССЕЙВАНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ****COMPUTER ANALYSIS OF AIR POLLUTION DISPERSION BY ROAD-BUILDING MACHINERY****Я.Б. Ерошенко, К.К. Самхарадзе  
Ya.B. Eroshenko, K.K. Samkharadze**Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: eroshenko@bsu.edu.ru, koba2111@mail.ru

**Аннотация**

В данной статье отмечены экологические проблемы зарубежных стран, описаны основные причины загрязнения окружающей среды, проведено исследование по численности населения Земли, по числу природных чрезвычайных ситуаций, произошедших на территории РФ, затратам на охрану атмосферного воздуха, дана оценка экологической ситуации в России, отражена актуальность вопроса исследования воздушного бассейна при строительстве автодорог, выделены наиболее вредные загрязняющие вещества, оказывающие наибольшее негативное воздействие на экосистему и здоровье людей, на основании Методов расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух дорожно-строительной техникой разработана компьютерная программа.

**Abstract**

In this article, environmental problems of foreign countries are noted, the main causes of environmental pollution are described, a study is made of the population of the Earth, the number of natural emergencies occurring on the territory of the Russian Federation, the costs of protecting the air, the environmental situation in Russia, reflects the relevance of the study of the air basin in the construction of highways, identified the most harmful pollutants that have the greatest negative impact on the ecosystem and human health, based on methods for calculating the dispersion of pollutant emissions into the atmospheric air of road a computer program has been developed by construction equipment. The program allows to calculate emissions separately for each type of road construction equipment and calculate the concentration of substances with all equipment at once. Calculations of emissions and concentrations are presented in the form of graphs and for the sake of clarity, the maximum permissible concentrations are presented for each concentration.

**Ключевые слова:** численность населения, экология, окружающая среда, выбросы в атмосферу, предельно-допустимая концентрация, дорожно-строительные машины.

**Keywords:** population size, ecology, environment, air emissions, maximum allowable concentration, road construction machines.

**Введение**

Экологическая ситуация в России была всегда предметом активного исследования и на протяжении многих лет продолжает сохранять свою актуальность. Для отражения основных экологических проблем создано множество электронных ресурсов [Экология – новости, 2017], аналитическими агентствами проводятся всевозможные исследования и создаются рейтинги [Объективные количественные оценки экологической эффективности бизнеса, власти и СМИ, 2017], многие научные труды посвящаются улучшению состояния



окружающей среды, на государственном уровне принимаются соответствующие нормативные документы.

Интерес к данной проблеме проявляется и на зарубежном уровне. Американский эколог Аллен Гершкович на протяжении работы в Совете обороны природных ресурсов занимался вопросами загрязнения атмосферного воздуха при сжигании отходов и посвятил данному вопросу свои научные труды, в которых открыто призывал весь мир к отказу сжигать отходы [Hershkowitz, 1986].

В данной статье речь пойдет о проблемах загрязнения воздушного бассейна дорожно-строительной техникой. Вследствие того, что строительство различных объектов является в основном кратковременным событием, то ухудшение состояния окружающей среды в данном случае контролируется редко. Любой проект на строительство того или иного объекта содержит расчеты по загрязнению атмосферного воздуха, почвы, воды и расчетные показатели часто превышают предельно-допустимые значения, установленные на государственном уровне.

### Исследование проблемы

В настоящее время население Земли достигло семимиллиардной величины. По оценке Департамента по экономическим и социальным вопросам Организации Объединённых Наций на 1 июля 2017 года Землю населяет 7528040 тыс. человек, причем в Китае и Индии проживает более 1/3 всего населения, а Россия находится в этом рейтинге на 9 месте с численностью около 147000 тыс. человек [Демография, 2017].

По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) этот показатель к 2017 г. относительно 2010 г. вырос почти на 4 млн. чел., а ежегодный прирост в среднем составил 0,2% (рис. 1) [Список стран по населению, 2017].

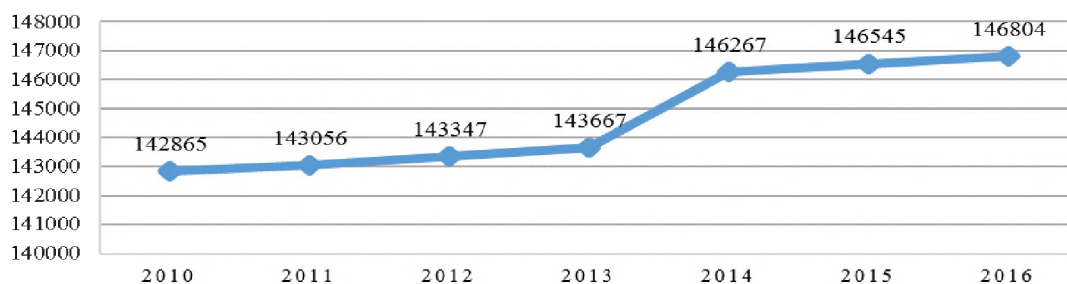


Рис. 1. Рост численности населения России, тыс. чел.  
Fig. 1. Growth of the population of Russia, thousand people

На фоне роста численности населения увеличивается и число природных чрезвычайных ситуаций, произошедших на территории РФ (рис. 2) [Окружающая среда, 2017].

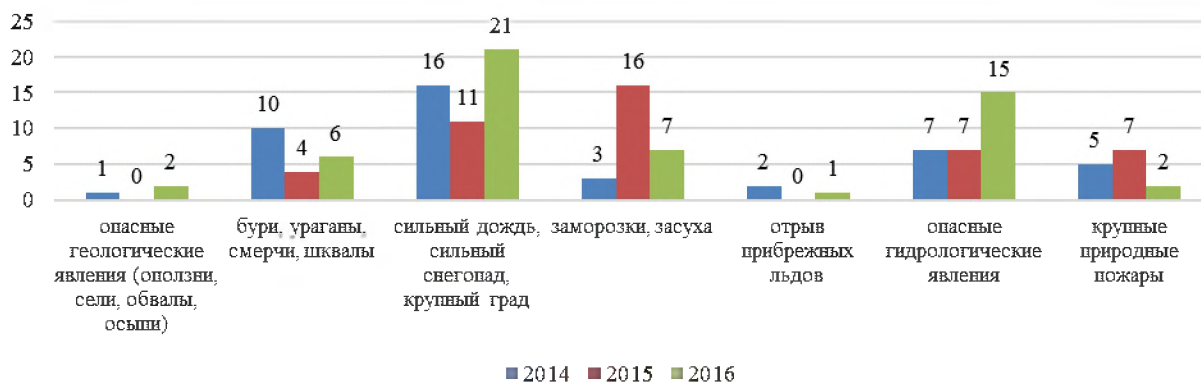


Рис. 2. Природная экологическая ситуация в России за 2014 – 2016 гг.  
Fig. 2. The natural ecological situation in Russia for 2014 – 2016

Все это свидетельствует о повышении уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду. И действительно, по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) состояние атмосферы ухудшается из года в год.

В I полугодии 2017 г. уже зафиксировано 26 случаев высокого загрязнения атмосферного воздуха, из них 4 случая признаны аварийными [Информационно-аналитические материалы по результатам мониторинга загрязнения окружающей среды, 2017].

С другой стороны, доля затрат на охрану атмосферного воздуха в 2016 г. составляла всего лишь 17,31% от общих затрат на охрану окружающей среды, причем величина затрат в части охраны атмосферного воздуха снизилась относительно 2014 г. на 10105 млн. руб., тогда как по всем остальным направлениям природоохранной деятельности эти затраты росли (рис. 3) [Окружающая среда, 2017].

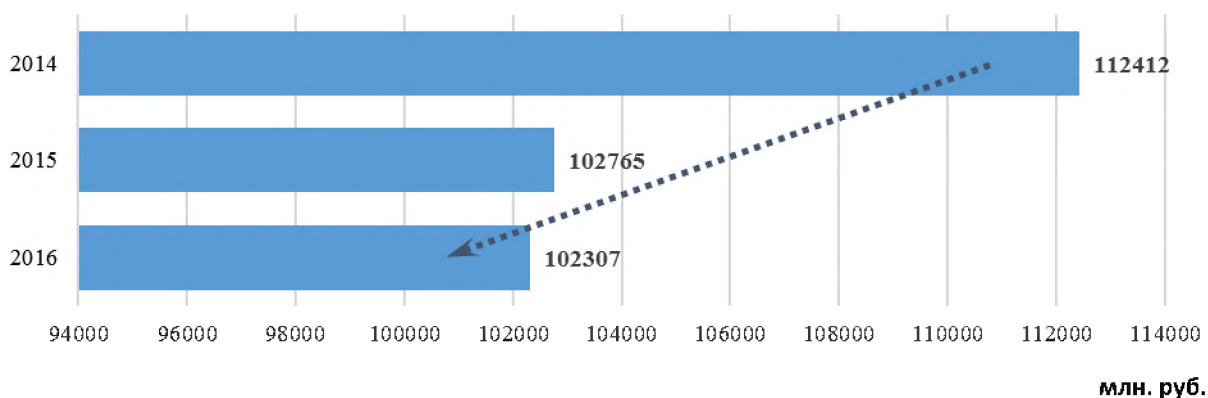


Рис. 3. Динамика затрат на охрану атмосферного воздуха за 2014 – 2016 гг.

Fig. 3. Dynamics of expenses for the protection of atmospheric air for 2014 – 2016

Загрязнение окружающей среды происходит из различных источников. Сброс отработанных вод промышленными предприятиями, создание искусственных водохранилищ, потребление воды различными хозяйственными объектами и др. негативно влияет на качество и количество водных ресурсов [Черноморец, Петина, Коваленко, Зайцева, 2017].

Бурение нефтяных и газовых скважин ухудшает экологию прибрежных районов и качество жизни населения этих районов [Dwight, 1990].

Сжигание отходов производства способствует загрязнению воздушной среды и почвы твердыми частицами окиси углерода и ртути, причем установки для сжигания отходов часто не соответствуют действующим нормативным требованиям [Tangri, 2003].

Транспортно-дорожный комплекс (ТДК) не является исключением. Например, в Белгородской области выхлопные газы автотранспорта составляют 57,5% от общего количества вредных выбросов в атмосферу региона [Экология Белгородской области, 2017].

Известно, что превышение ПДК вредных веществ в воздухе способствует развитию заболеваний органов дыхания у людей, увеличению онкологических заболеваний, развитию слепоты из-за возникновения катаракты [Луканин, Трофименко, 2013].

А при попадании в воздух от источников выбросов некоторые загрязняющие вещества (например, оксиды азота) образуют еще более опасные вещества [Майорова, Тищенко, Черенцова, 2014].

В Великобритании, например, выделяется приблизительно пять миллион тонн этих газов каждый год, Китай – восемнадцать миллион тонн, США – больше чем двадцать миллионов тонн. Далее в воздухе эти газы преобразуются и выпадают в виде кислотных дождей, которые очень опасны для здоровья [Border, Rosemary Pollution, 2008].



### Решение проблемы исследования

Непосредственно строительство дорог связано с применением определенных типов дорожно-строительных машин, предназначенных для каждого вида работ. Например, для подготовительных работ используют корчеватели, рыхлители, для земляных работ – скреперы, грейдеры, бульдозеры, для укладки и уплотнения дорожного покрытия – асфальтоукладчики, катки и т.д. [Васильев, Васильев, Прусак, Урусов, 1997]

Загрязнение воздушного бассейна дорожно-строительной техникой связано с выбросами таких продуктов сгорания топлива, как оксида азота, диоксида серы, оксида углерода, сажи, неорганической пыли, сероводорода, предельных углеводородов и др. [Владимиров, 2010].

По каждому источнику загрязнения максимальная разовая концентрация не должна превышать предельно допустимых норм (ПДК), установленных ГН 2.1.6.1338-03. Например, для оксида азота она не должна быть выше 0,4 мг/м<sup>3</sup>, для диоксида серы – 0,5 мг/м<sup>3</sup>, оксида углерода – 5 мг/м<sup>3</sup> и т.д. [Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 № 114 «О введении в действие ГН 2.1.6.1338-03», 2017].

Поэтому одним из основных мероприятий по охране атмосферного воздуха является регулярный контроль за техническим состоянием дорожно-строительных машин (ДСМ) и проверка содержания в выхлопных газах вредных веществ [Ушаков, Ольховикова, 2013].

Для этих целей Министерством природных ресурсов и экологии РФ были утверждены «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (далее Методы) [Приказ Минприроды России от 06 июня 2017 г. №273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»].

Данные Методы послужили основанием для разработанной авторами настоящей статьи программы «ЭкоСтройДор», основная цель которой заключается в оценке и контроле выбросов ЗВ в атмосферный воздух ДСМ.

Работа программы начинается с ввода данных, характерных определенному типу ДСМ, и выбору значений специальных коэффициентов, характерных для проекта пользователя.

Основным параметром расчета является такой показатель, как мощность выброса в единицу времени, автоматический расчет которого с помощью программы «ЭкоСтройДор» был описан ранее [Ерошенко, Самхарадзе, 2017].

Расчет максимальной приземной разовой концентрации ЗВ ( $c_m$ ), (мг/м<sup>3</sup>) при выбросе ЗВ в атмосферу осуществляется согласно Методам по формуле 1:

$$c_m = \frac{A \times M \times F \times m^* \times \eta}{H^{7/3}} \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе;

$M$  – масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферный воздух в единицу времени (мощность выброса), г/с;

$F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе;

$m^*$  – безразмерный коэффициент, учитывающий условия выброса из устья источника выброса;

$H$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (определяется в соответствии с главой VII настоящих Методов);

$H$  – высота источника выброса, м.



Для тестирования разработанной программы был произведен расчет максимальной приземной концентрации ЗВ для участка строительства автодороги с категорией региона A=180, при F=1.

После ввода данных для каждого типа ДСМ и добавления в окно программы группы машин, нажатием на кнопку «Расчитать» был осуществлен расчет мощности выбросов ЗВ в атмосферу и максимальной приземной концентрации ЗВ. Для наглядности изменение данных величин отображается на гистограммах. (рис. 4).

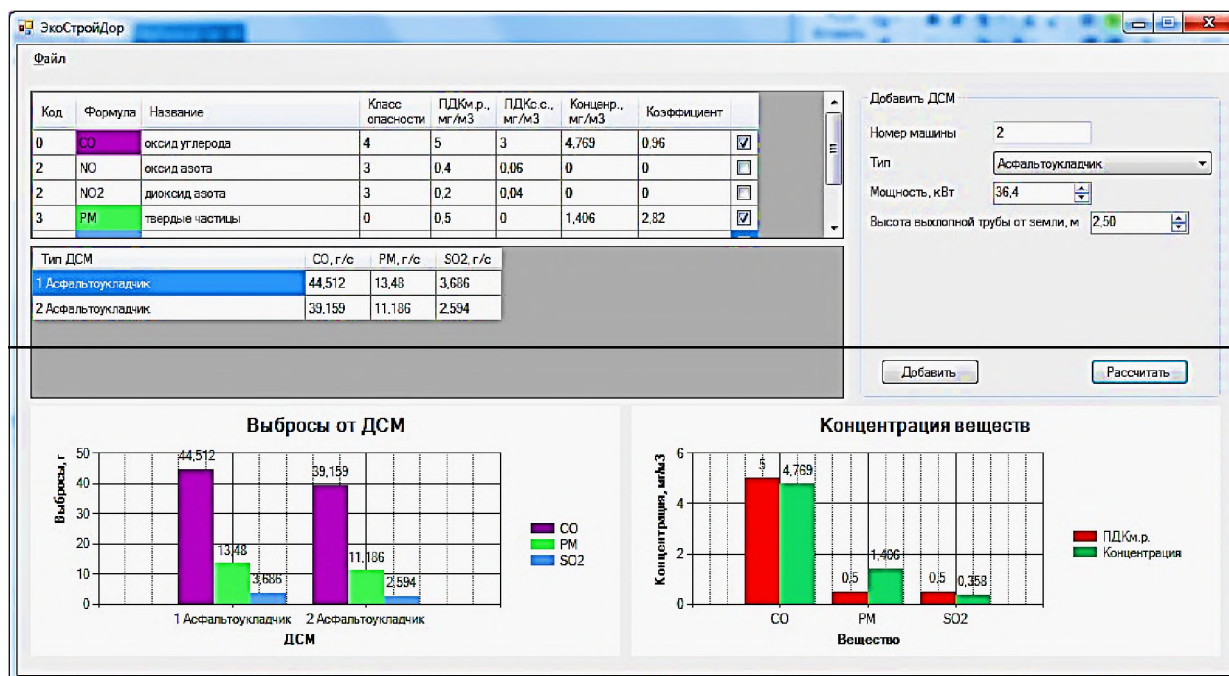


Рис. 4. Выполнение расчетов в программе  
Fig. 4. Performing calculations in the program

По гистограммам видно, что по некоторым ЗВ превышены предельно-допустимые значения, а в таблице указано степень превышения.

На основании п. 5.9 Методики расстояние от источника выброса, на котором приземная концентрация ЗВ достигает своего максимального значения при опасной скорости ветра ( $u_m = 0,5$  м/с) равна:  $x_m = 11,4$  метров.

При скорости ветра больше, чем  $u_m$  метеорологические условия считаются неблагоприятными. Например, при скорости ветра  $u = 8$  м/с максимальная концентрация ( $c_{m,u}$ ) ЗВ определяется в зависимости от безразмерного коэффициента  $\tau$ , зависящего от отношения  $u/u_m$ , и от расчетного значения максимальной концентрации ( $c_m$ ) того или иного ЗВ. Например для оксида углерода (CO) максимальная концентрация при неблагоприятных условиях  $c_{m,u} = 0,018$  (мг/м<sup>3</sup>). Тогда расстояние, на котором достигается такая концентрация определяется в зависимости от безразмерного коэффициента  $\rho$ , также зависящего от отношения  $u/u_m$ . Для оксида углерода (CO) оно будет  $x_{m,u} = 154$  м.

### Заключение

Таким образом, экологическая обстановка в нашей стране является одной из главных проблем общества, загрязнение окружающей среды негативно влияет не только на саму экосистему, но и на человека. Одним из источников загрязнения воздушной среды является дорожно-строительная техника. Для контроля за выбросами от данных источников разработана специализированная программа «ЭкоСтройДор», существующая версия которой позволит конкретнее определить точечный источник выброса ЗВ, по которому наблюдается превышение ПДК, среди всех источников, участвующих в



процессе, и своевременно принять меры по устранению нарушений в части загрязнений атмосферного воздуха при работе дорожно-строительной техники. Программа предназначена для использования на автотранспортных предприятиях, а также в организациях, осуществляющих экологический контроль.

### Список литературы References

1. Васильев А.А., Васильев И.А., Прусак Б.Н., Урусов М.М. 1977. Дорожно-строительные машины. Справочник. М.: Машиностроение. 392.  
Vasilyev A.A., Vasilyev I.A., Prusak B.N., Urusov M.M. 1977. Road-building cars. Reference book. M.: Mechanical engineering. 392. (in Russia)
2. Владимиров В.М. 2010. Оценка ущерба от загрязнения воздушной среды при строительстве автомобильных дорог. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 18.  
Vladimirov V.M. 2010. Assessment of damage from air pollution during road construction. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 18. (in Russia)
3. Демография. Федеральная служба государственной статистики URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (дата обращения: 18.09.2017).  
Demography. Federal Service of State Statistics. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (accessed 18.09.2017). (in Russia)
4. Ерошенко Я.Б., Самхарадзе К.К. 2017. Мониторинг загрязнения воздушного бассейна строительной техникой. Научный журнал «Инновации в науке» №8 (69). 32.  
Eroshenko Ya.B., Samkharadze K.K. 2017. Monitoring of pollution of the air basin construction equipment. Scientific magazine "Innovatsii V Nauke" No. 8 (69). 32. (in Russia)
5. Информационно-аналитические материалы по результатам мониторинга загрязнения окружающей среды. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/91/> (дата обращения: 18.09.2017).  
Information and analytical materials on the results of environmental pollution monitoring. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available at: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/91/> (accessed 18.09.2017). (in Russia)
6. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. 2013. Промышленно-транспортная экология. М.: Высшая школа. 273.  
Lukanin V.N., Trofimenko Yu.V. 2013. Industrial-transport ecology. Moscow: Higher School. 273. (in Russia)
7. Майорова Л.П., Тищенко В.П., Черенцова А.А. 2014. Защита атмосферы. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет. 115.  
Majorova L.P., Tishchenko V.P., Cherentsova A.A. 2014. Protection of the Atmosphere. Khabarovsk: Pacific State University. 115. (in Russia)
8. Объективные количественные оценки экологической эффективности бизнеса, власти и СМИ. Независимое Экологическое Рейтинговое Агентство. URL: <http://nera.biodat.ru> (дата обращения: 09.10.2017).  
Objective quantitative assessments of the environmental performance of business, government and the media. Independent Environmental Rating Agency. Available at: <http://nera.biodat.ru> (accessed 09.10.2017). (in Russia)
9. Окружающая среда. Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/environment/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/#) (дата обращения: 18.09.2017).  
Environment. Federal State Statistics Service. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/en/statistics/environment/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/statistics/environment/#) (accessed 18.09.2017). (in Russia)
10. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 № 114 «О введении в действие ГН 2.1.6.1338-03». Справочно-информационная система «КонсультантПлюс». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_42954/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42954/) (дата обращения: 18.09.2017).

Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 114 of May 30, 2003, "On the Implementation of GN 2.1.6.1338-03". Reference and Information System "ConsultantPlus". Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_42954/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42954/) (accessed 18.09.2017). (in Russia)

11. Приказ Минприроды России от 06 июня 2017 г. №273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/#ixzz4sqFY4uHz> (дата обращения: 12.09.2017).

Order of the Ministry of Natural Resources of Russia of June 06, 2017 No. 273 "On the approval of methods for calculating the dispersion of harmful (polluting) substances in the atmosphere". Information portal GARANT.RU. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/#ixzz4sqFY4uHz> (accessed 12.09.2017). (in Russia)

12. Список стран по населению. «Википедия». URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_стран\\_по\\_населению](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_населению) (дата обращения: 10.09.2017).

List of countries by population. "Wikipedia". Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_стран\\_по\\_населению](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_населению) (accessed 10.09.2017). (in Russia)

13. Ушаков В.В., Ольховикова В.М. 2013. Строительство автомобильных дорог. М.: Кнорус. 576.

Ushakov V.V., Olkhovikova V.M. 2013. Construction of highways. Moscow: Knorus. 576. (in Russia)

14. Черноморец А.А., Петина М.А., Коваленко А.Н., Зайцева Н.О. 2017. Графоаналитическая модель динамики распространения подземных вод. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 2(251): 75-80.

Chernomorets A. A., Petina M. A., Kovalenko A. N., Zaitseva N.O. 2017. Graphoanalytical model of dynamics of underground water distribution // Nauchnye vedomosti BelGU. Jekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies]. 2(251): 75-80. (in Russia)

15. Экология - новости 21.10.2017 18:52. Всероссийский Экологический Портал. URL: <http://ecoportal.su> (дата обращения: 05.10.2017).

Ecology - news 21.10.2017 18:52. All-Russian Ecological Portal. Available at: <http://ecoportal.su> (accessed 05.10.2017). (in Russia)

16. Экология Белгородской области. «Дыши свободно.ру». URL: <http://www.dishisvobodno.ru/ekologiya-belgorodskoy-oblasti.html> (дата обращения: 13.09.2017).

Ecology of the Belgorod Region. «Dyshi svobodno.ru». Available at: <http://www.dishisvobodno.ru/ekologiya-belgorodskoy-oblasti.html> (accessed 13.09.2017). (in Russia)

17. Border, Rosemary. 2008. Pollution. Oxford: Oxford University Press. 22.

18. Hershkowitz, Allen. 1986. Garbage burning: lessons from Europe: consensus and controversy in four European state. New York: An INFORM Report. 51.

19. Holing, Dwight. 1990. Coastal alert: ecosystems, energy, and offshore oil drilling. Natural Resources Defense Council, Central Coast Regional Studies Program. Washington: Island Press. 126.

20. Tangri, Ne. 2003. Waste Incineration: A Dying Technology, Essential Action for GAIA Global Anti-Incinerator Alliance/ Global Alliance for Incinerator Alternatives.