



УДК 504.3.054 (470.325)

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА PROBLEMS OF ASSESSMENT OF ECOLOGICAL STATE OF AIR

А.О. Полетаев, А.Г. Корнилов
A.O. Poletaev, A.G. Kornilov

*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: 777797@bsu.edu.ru, kornilov@bsu.edu.ru

Аннотация. Представлен краткий обзор методов оценки экологического состояния атмосферного воздуха. Показаны основные проблемы получения и интерпретации результатов оценки, полученных с помощью методов ОНД-86, УПРЗА, Land Use Regression, с использованием средств ArcGIS и др. Использование этих методов позволяет с определенным уровнем точности, соответствующим уровню их затратности, оценить загрязненность атмосферного воздуха городских территорий. Показана возможность использования упрощенного метода выделения ключевых участков на основе эколого-функционального зонирования для получения достаточно детализированной картины экологической ситуации. Выявлены особенности распределения содержания в приземном слое атмосферного воздуха ряда загрязнителей (оксида углерода, оксида азота, диоксида азота, пыли неорганической и соединений свинца) в зависимости от типа территорий. Показана тесная связь между показателями соединений азота и свинца в приземном слое воздуха городских территорий.

Résumé. The short review of methods of assessment of an ecological condition of free air is submitted. The main problems of receiving and interpretation of the results of assessment received by means of the methods OND-86, UPRZA, Land Use Regression with use of means of ArcGIS, etc. are shown. Use of these methods allows to estimate impurity of free air of urban areas at the particular level of accuracy corresponding to the level of their cost intensity. The possibility of use of the simplified method of selection of key sites on the basis of the ecologic and functional zoning for receiving detailed picture of an ecological situation is shown. Features of distribution of some pollutants (carbon monoxide, nitrogen oxide, dioxide of nitrogen, dust inorganic and compounds of lead) in a free air ground layer depending on type of territories are revealed. Close connection between indexes of compounds of nitrogen and lead in air ground layer of urban areas is shown.

Ключевые слова: экологическая ситуация городских территорий, автотранспортное загрязнение атмосферного воздуха, оценка загрязнения атмосферного воздуха.

Key words: ecological situation of urban areas, motor transportation pollution of free air, assessment of pollution of free air.

Оценка экологического состояния воздуха чаще всего выражается через содержание в ней примесей, которое очень изменчиво во времени и пространстве. Кроме этого содержание загрязнителей в атмосферном воздухе зависит как от хозяйственной деятельности человека, так и от природных явлений (пожары, пыльные бури). Под влиянием погодных условий фоновое загрязнение при постоянных выбросах от предприятий то усиливается, то ослабевает [Сверлова, 2009]. Все это создает сложности для объективного определения экологического состояния атмосферы, и в связи с этим существует множество методик оценки загрязнения атмосферного воздуха.

Существуют специализированные геоинформационные аналитические системы, реализованные в НИУ «БелГУ» с использованием ГИС-технологий, данных мониторинга атмосферного воздуха, а также результатов лидарных измерений [Боровлев и др., 2013]. Ряд авторов предлагает метод оценки загрязнения атмосферного воздуха по городу на основе построения карт распределения показателей загрязнения по отдельным стационарным пунктам города. Карты



позволяют учесть распределение каждого ингредиента (выше ПДК) или обобщенного показателя загрязнения над территорией города. Часто используются такие программы для расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ, как ОНД-86 и УПРЗА. ОНД-86 – методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. УПРЗА – унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы, созданная на основе ОНД-86. Весьма широко применяется методика ОВОС для оценки опасностей загрязнения воздушной среды. Степень загрязнения воздуха оценивается по кратности и частоте превышения ПДК с учётом класса опасности, суммации биологического действия загрязняющих веществ. Общим и информативным показателем загрязнения воздуха является КИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы. Он применяется для сравнения загрязнения атмосферы различных участков исследуемой территории (городов, районов и т. д.) и для оценки временной (многолетней) тенденции изменения состояния загрязнения атмосферы [Касьяненко, 2008].

Эффективным методом оценки экологического состояния атмосферного воздуха является построение математических моделей. Например, метод Land Use Regression, заключающийся в построении математических моделей загрязнения воздуха на основе экспериментальных данных о загрязнении и данных геоинформационных систем (ГИС), обладает лучшим на данный момент пространственным разрешением, позволяя с более или менее высоким уровнем дифференциации строить картину экологической ситуации в тех или иных населенных пунктах. Метод получил достаточно широкую и положительную апробацию, в первую очередь в зарубежных странах. В России также предпринимаются попытки создания более совершенных методов на основе метода Land Use Regression [Антропов, 2012]. В то же время метод не лишен некоторых недостатков: это достаточно трудоемкое тестирование экологической ситуации на ключевых участках; размеры ключевых участков, т. н. круговых буферных зон, составляют ареалы по предикторам, например, на основе данных плотности дорожной сети диаметром от 100 м, а по предикторам на основе данных о типах землепользования от 300 до 1000 м [Антропов, 2010], что вызывает вопросы в адекватности сопоставления разномасштабных показателей в интегральную карту. Многие предикторы, например, по «плотности населения», имеют неоднозначное влияние на интерпретацию пространственной динамики загрязнения. Так, например, если в масштабах города повышение плотности населения может увязываться с ростом показателя интенсивности автотранспортных потоков и, соответственно, ростом уровней загрязнения, то в квартальном масштабе, особенно в масштабе размеров и ареалов предикторов, зависимость может иметь и обратный характер. Все это вызывает необходимость трудоемкой индивидуальной подгонки соответствующих математических моделей для каждого населенного пункта, и обуславливает не всегда высокие коэффициенты детерминации между предикторами и уровнями загрязнения окружающей среды, например, в Монреале (Канада) он в отдельные периоды наблюдения опускался до $r^2=0.55$ [Антропов, 2010]. Модель California Line Sours Dispersion Model (CALINE-4) базируется на гауссовой модели факела и дает оценку концентраций ингредиентов в радиусе не более 500 м от автомагистрали. Простота реализации указанной модели и небольшой объем требуемой для нее входной информации обеспечили ее широкое использование. Однако результаты моделирования часто можно рассматривать только как качественные оценки, так как в модели не учтены многие факторы, влияющие на рассеивание примеси, например – особенности городской застройки, рельеф местности, метеорологические характеристики. Модель Danish Operational Street Pollution Model (OSPM) ориентирована на расчет примесей от автотранспорта с учетом городской аэрографии и метеорологических условий. К достоинствам модели можно отнести возможность рассмотрения различных конфигураций городских каньонов, ширины и высоты зданий и включение в расчеты механической турбулентности, порождаемой движением автомобилей, учет которой особенно значим при работе двигателя на холостом ходу или при штительных условиях. К недостаткам OSPM можно отнести

невозможность учета деформации общего ветрового потока в зависимости от конфигурации застройки и оценки уровня загрязнения воздуха в точках, удаленных от автомагистралей [Аргучинцева А.В. и др., 2009].

Необходимо отметить, что и прочие вышеперечисленные подходы к оценке экологической ситуации на территории городов достаточно узкоспециализированные и не всегда адекватно отображают реальную картину с экологической ситуацией. Например, территория г. Белгорода достаточно обширна и разнородна по геоморфологическим условиям для того, чтобы составить дифференцированную картину на основании данных всего одной метеостанции, расположенной на северной окраине города. Проблемой является также невозможность организации сети мониторинга за качеством атмосферного воздуха в зонах интенсивного движения автотранспорта [Егорова и др., 2013]. Расчетные методы (ОНД-86) ориентированы на решение вопросов достижения или не достижения граничных концентраций при условии проявления определенной совокупности неблагоприятных метеорологических условий, что также фактически не дает реальной картины формирования экологической ситуации на территории города.

При попытке интерпретации фактических результатов опробования, проведенного нами, на одной из пробных площадей г. Белгорода с помощью стандартных средств ArcGIS были получены картограммы (рис.), которые не вполне адекватно отображают текущую ситуацию.

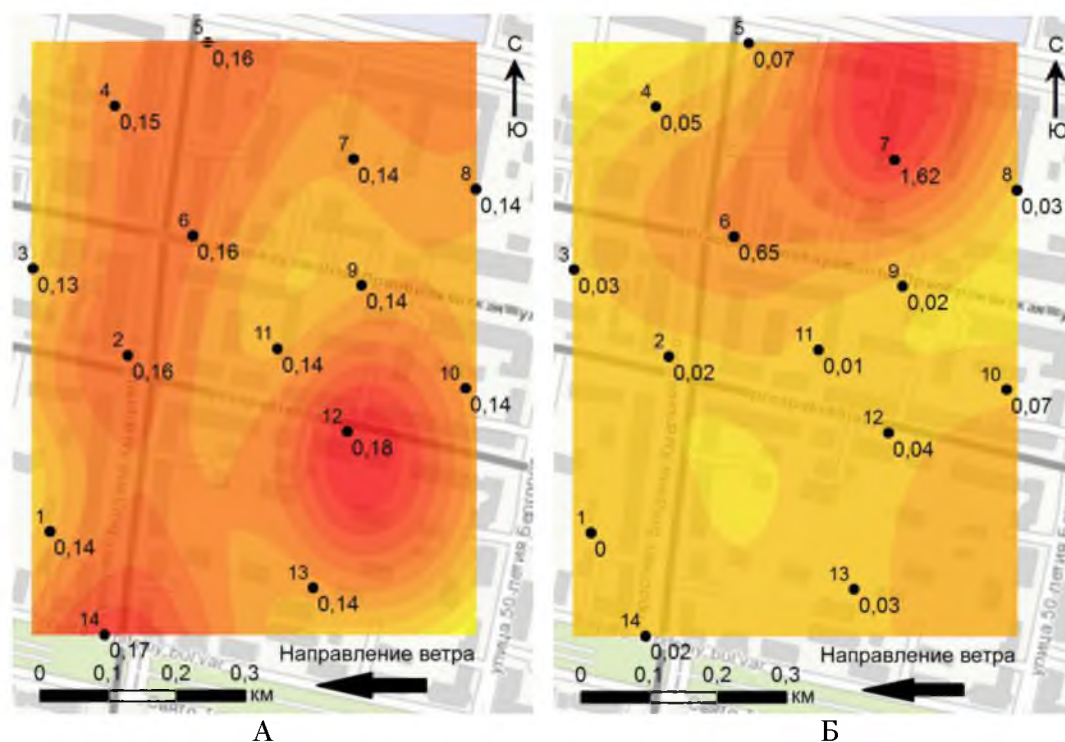


Рис. Некорректные картины распределения оксида углерода (А) и оксида азота (Б) в долях ПДК в центральной части г. Белгорода, полученная с помощью средств ArcGIS
Fig. The incorrect pictures of distribution of carbon monoxide (A) and nitrogen oxide (B) in maximum allowable concentration shares in the central part of Belgorod received by ArcGIS

В первую очередь потому, что методики построения картограмм ориентированы на поиск точечных источников выбросов, в то время как ведущими источниками, содержащими CO , NO_x , соединения свинца, формальдегид, в крупных промышленных городах, в том числе в г. Белгороде являются совокупности автотранспортных потоков, имеющих вид пересекающихся линейных объектов [Мионов, Корнилов, 2008; Корнилов, Гордеев, 2012; Гордеев и др., 2015]. Поэтому, при рассмотрении данных картограмм, полученных с помощью метода интерполяции,



создается ложное впечатление, что во дворах присутствуют некие локальные источники выбросов.

В целях получения первичной укрупненной оценки экологической ситуации на территории г. Белгорода нами был использован метод выделения ключевых территорий на основе эколого-функционального зонирования г. Белгорода с последующим заложением пробных площадок на ключевых территориях с использованием детальных профилей, пересекающих основные линейные источники выброса (автомагистралей) разной степени интенсивности.

В качестве одного из ключевых участков был выбран фрагмент центральной части г. Белгорода, на котором пункты наблюдений (их пространственное расположение показано на рисунке) размещены в соответствии с пунктом 3.4.4. «Руководства по контролю загрязнения атмосферы» РД 52.04.186-89, согласно которому: точки наблюдения выбираются на городских улицах в районах с интенсивным движением транспорта и располагаются на различных участках улиц в местах, где часто производится торможение автомобилей и выбрасывается наибольшее количество вредных примесей; в кварталах старой застройки (сплошные ряды зданий с отдельными арочными проемами в них) места для размещения пунктов наблюдения выбираются в центре внутриквартального пространства. Затем в октябре 2016 года были измерены концентрации ряда загрязнителей в приземном слое атмосферного воздуха с помощью газоанализатора ГАНК-4. Значения концентраций загрязняющих веществ занесены в таблицу 1.

Таблица 1
Table 1

Значения концентраций (С) загрязняющих веществ и их доля от ПДК в пунктах наблюдений
The concentrations (C) of pollutants and their proportion of MPC in the observation points

№ п.н. ¹	Оксид углерода		Оксид азота		Диоксид азота		Соединения свинца		Пыль неорганическая	
	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК
Пункты на дворовых территориях										
1	1.92	0.38	0.0012	0.00	0.0082	0.04	0.00007	0.07	0.0205	0.14
3	1.48	0.30	0.0133	0.03	0.0129	0.06	0.00006	0.06	0.0192	0.13
4	1.96	0.39	0.0205	0.05	0.0157	0.08	0.00009	0.09	0.0228	0.15
7	1.37	0.27	0.6490	1.62	0.0084	0.04	0.00006	0.06	0.0212	0.14
8	1.61	0.32	0.0108	0.03	0.0163	0.08	0.00008	0.08	0.0214	0.14
10	1.73	0.35	0.0276	0.07	0.0150	0.08	0.00009	0.09	0.0216	0.14
11	1.82	0.36	0.0027	0.01	0.0158	0.08	0.00011	0.11	0.0206	0.14
13	1.71	0.34	0.0132	0.03	0.0152	0.08	0.00010	0.10	0.0214	0.14
Пункты на уличной части										
2	1.79	0.36	0.0081	0.02	0.0104	0.05	0.00010	0.10	0.0241	0.16
5	1.87	0.37	0.0290	0.07	0.0084	0.04	0.00007	0.07	0.0236	0.16
6	1.78	0.36	0.2580	0.65	0.0168	0.08	0.00014	0.14	0.0233	0.16
9	1.95	0.39	0.0098	0.02	0.0070	0.04	0.00009	0.09	0.0206	0.14
12	1.86	0.37	0.0172	0.04	0.0150	0.08	0.00011	0.11	0.0273	0.18
14	2.32	0.46	0.0082	0.02	0.0147	0.07	0.00014	0.14	0.0262	0.17

Примечание: ¹ – номера пунктов наблюдений (см. рисунок).



Рассматривая пространственное распределение загрязняющих веществ (см. табл. 1), можно отметить пределы, в которых изменяются концентрации загрязнителей в долях ПДК (табл. 2). Явно прослеживается повышение содержания оксида углерода, соединений свинца и пыли неорганической в атмосферном воздухе при переходе от дворовых территорий к уличной части. При более подробном статистическом анализе таблицы 1 было отмечено, что между значениями концентраций диоксида азота и значениями концентраций соединений свинца присутствует тесная связь ($r=0.72$) для пунктов на дворовых территориях, и весьма тесная связь ($r=0.87$) для пунктов на уличной части; коэффициент детерминации составляет соответственно $r^2=0.52$ и $r^2=0.76$. Это подтверждает тот факт, что данные загрязняющие вещества поступают в атмосферный воздух от автотранспорта, а также факт достаточно широкого использования этилированного топлива вопреки действующим законодательным ограничениям.

Таблица 2
Table 2

Пределы изменений концентраций загрязнителей в долях ПДК для пунктов наблюдений, расположенных в центральной части г. Белгорода, 12.10.2016
Limits of changes of concentration of pollutants in maximum allowable concentration shares for points of the observations located in the central part of Belgorod, 12.10.2016

Пункты	Оксид углерода	Оксид азота	Диоксид азота	Соединения свинца	Пыль неорганическая
На дворовых территориях	0.27–0.39	0.00–1.62	0.04–0.08	0.06–0.11	0.13–0.15
На уличной части	0.36–0.46	0.02–0.65	0.04–0.08	0.09–0.14	0.14–0.18

Таблица 3
Table 3

Усредненные значения концентраций (С) загрязняющих веществ и их доля от ПДК на различных типах территорий г. Белгорода
Average values of concentration (C) pollutants and their share from maximum allowable concentration on various types of territories of Belgorod

Тип территории	Оксид углерода		Оксид азота		Диоксид азота		Соединения свинца		Пыль неорганическая	
	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК	С, мг/м ³	Доля от ПДК
Дворовые территории	1.70	0.34	0.0923	0.23	0.0134	0.07	0.00008	0.08	0.0211	0.14
Уличная часть	1.93	0.39	0.0551	0.14	0.0121	0.06	0.00011	0.11	0.0242	0.16
Придорожная часть	2.46	0.49	0.0765	0.19	0.0244	0.12	0.00020	0.20	0.0320	0.21

Таблица 3 показывает, как различаются усредненные значения концентраций загрязнителей на различных типах территорий. Усредненные значения для придорожной части были вычислены на основании ранее полученных данных в 2015 г. Придорожная часть является наиболее загрязненной и концентрации загрязняющих веществ закономерно убывают по мере удаления от дорог. Возможно, в силу высокой подвижности и высокого уровня локальной циркуляции или по каким-либо иным причинам в пределах разовых исследований 2016 г. для соединений азота подобное ожидаемое распределение концентраций не наблюдается, что указывает на необходимость накопления более объемной базы данных для более достоверных интерпретаций.

Необходимо также отметить, что на результаты проведенных измерений концентраций загрязняющих веществ в исследуемый период оказывали влияние следующие метеопараметры – ветер, дующий с востока со скоростью 7 м/с, атмосферное давление – около 750–751 мм рт. ст. [Архив погоды в Белгороде (аэропорт)]. Такие погодные условия не способствовали накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха.

Выводы

Обзор методов оценки экологического состояния атмосферного воздуха показал, что проблемы оценки экологического состояния воздуха в настоящее время остаются актуальными, так как существующие методики, в основе которых лежат различные подходы, не лишены недостатков. В то же время, их использование позволяет с определенным уровнем точности, соответствующим уровню их затратности, оценить загрязненность атмосферного воздуха в различных пространственных и временных масштабах. Были выяснены проблемы интерпретации картограмм, построенных средствами ArcGIS с помощью метода интерполяции на основании данных полевых наблюдений. Показана возможность использования метода выделения ключевых участков на основе эколого-функционального зонирования для получения достаточно детализированной картины экологической ситуации. Рассмотрены закономерности распределения загрязнителей в зависимости от типов территорий, которые показывают, что по мере удаления от автотранспортных потоков содержание в воздухе загрязняющих веществ снижается. В частности, средняя концентрация оксида углерода составляла 1.70 мг/м³ на дворовых территориях, 1.93 мг/м³ на уличной части и 2.46 мг/м³ на придорожной части. Была установлена тесная связь ($r=0.72$) между значениями концентраций диоксида азота и значениями концентраций соединений свинца для пунктов на дворовых территориях и весьма тесная связь ($r=0.87$) для пунктов на уличной части для этих же загрязнителей; коэффициент детерминации составляет соответственно $r^2=0.52$ и $r^2=0.76$. Это подтверждает факт достаточно широкого использования этилированного топлива вопреки действующим законодательным ограничениям.

Список литературы

References

1. Антропов К.М., Казмер Ю.И., Вараксин А.Н. 2010. Описание пространственного распределения загрязнения атмосферного воздуха промышленного центра методом Land Use Regression (обзор). *Экологические системы и приборы*, (1): 28–40.
Antropov K.M., Kazmer Ju.I., Varaksin A.N. 2010. Description of a spatial distribution of pollution of free air of the industrial center by the Land Use Regression method (review). *Ecological Systems and Devices*, (1): 28–40. (in Russian)
2. Антропов К.М. 2012. Математические модели загрязнения атмосферного воздуха мегаполиса и промышленного центра выбросами автотранспорта и промышленных предприятий. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 24.
Antropov K.M. 2012. Matematicheskie modeli zagrjaznenija atmosfernogo vozduha megalopolisa i promyshlennogo centra vybrosami avtotransporta i promyshlennyh predpriyatij [Mathematical models of pollution of free air of the megalopolis and industrial center emissions of motor transport and production enterprises]. Abstract. dis. ... cand. phys.-math. sciences. Ekaterinburg, 24. (in Russian)
3. Аргучинцева А.В., Аргучинцев В.К., Лазарь О.В. 2009. Оценка загрязнения воздушной среды автотранспортом. *География и природные ресурсы*, (1): 131–137.
Arguchinceva A.B., Arguchincev V.K., Lazar' O.V. 2009. Assessment of pollution of the air environment by motor transport. *Geografija i prirodnye resursy*, (1): 131–137. (in Russian)
4. Архив погоды в Белгороде (аэропорт). URL: [http://gp5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде_\(аэропорт\)](http://gp5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде_(аэропорт)) (18 января 2017).
Arhiv pogody v Belgorode (ajeroport) [Archive of weather in Belgorod (airport)]. Available at: [http://gp5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде_\(аэропорт\)](http://gp5.ru/Архив_погоды_в_Белгороде_(аэропорт)) (accessed 18 January 2017). (in Russian)



5. Боровлев А.Э., Лисецкий Ф.Н., Чепелев О.А. 2013. Развитие системы управления качеством атмосферного воздуха для города Белгорода. *Фундаментальные исследования*, (6): 922–929.

Borovlev A.Je., Liseckij F.N., Chepelev O.A. 2013. Development of a control system of quality of atmospheric air for the city of Belgorod. *Fundamental Research*, (6): 922–929. (in Russian)

6. Гордеев Л.Ю., Корнилов А.Г., Полетаев А.О. 2015. О влиянии автотранспорта на загрязнение атмосферного воздуха в горнопромышленных и селитебных районах региона КМА. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 31 (9): 168–175.

Gordeev L.Ju., Kornilov A.G., Poletaev A.O. 2015. About influence of motor transport on pollution of free air in mining and the residential areas of the region of KMA. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences*, 31 (9): 168–175. (in Russian)

7. Егорова О.С., Гоголь Э.В., Шипилова Р.Р., Тунакова Ю.А. 2013. Воздействие передвижных источников на качество атмосферного воздуха городов. *Вестник Казанского технологического университета*, 16 (19): 71–74.

Egorova O.S., Gogol' Je.V., Shipilova R.R., Tunakova Ju.A. 2013. Impact of mobile sources on quality of free air of the cities. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 16 (19): 71–74. (in Russian)

8. Касьяненко А.А. 2008. Современные методы оценки рисков в экологии: учебное пособие. М., Изд-во РУДН, 271.

Kas'janenko A.A. 2008. *Sovremennye metody ocenki riskov v jekologii: uchebnoe posobie* [Modern evaluation methods of risks in ecology: education guidance]. Moscow, Izd-vo RUDN, 271. (in Russian)

9. Корнилов А.Г., Гордеев Л.Ю. 2012. Мониторинг автотранспортного загрязнения воздушного бассейна города Белгорода в переходные периоды года. *Экологические системы и приборы*, (1): 46–50.

Kornilov A.G., Gordeev L.Ju. 2012. Monitoring of motor transportation pollution of the air basin of the city of Belgorod during transition periods of year. *Ecological Systems and Devices*, (1): 46–50. (in Russian)

10. Миронов А.А., Корнилов А.Г. 2008. О формировании зон загрязнения автотранспортных магистралей на примере выбросов оксида углерода и оксида азота в г. Чебоксары. *Проблемы региональной экологии*, (5): 139–144.

Mironov A.A., Kornilov A.G. 2008. About formation of zones of pollution of motor transportation highways on the example of emissions of carbon monoxide and nitrogen oxide in Cheboksary. *Regional environmental issues*, (5): 139–144. (in Russian)

11. Сверлова Л.И. 2009. Научные основы современного подхода к оценке уровня загрязнения атмосферного воздуха городов. *Успехи современного естествознания*, (7): 20–22.

Sverlova L.I. 2009. Scientific bases of modern approach to assessment of level of pollution of atmospheric air of the cities. *Advances in Current Natural Sciences*, (7): 20–22. (in Russian)