

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15>

**АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ОТ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ В ГОРОДЕ УФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Научная статья

**Чиглинцева Е.С.<sup>1,\*</sup>, Хазиахметов Р.М.<sup>2</sup>, Чиглинцев Д.С.<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

<sup>3</sup> Башнефть, Уфа, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (forworkandstudyelena[at]mail.ru)

**Аннотация**

Загрязнение атмосферного воздуха от автотранспорта в городской среде является глобальной проблемой во всем мире. Особенность автомобильно-дорожного комплекса заключается в том, что его невозможно изолировать от мест обитания людей и чем больше плотность населения, тем выше потребность в автомобильном транспорте. При постоянном воздействии выхлопных газов на организм человека могут развиваться иммунодефицит, бронхиты, страдают сосуды головного мозга, нервная система и другие органы. Кроме того, большая часть токсичных веществ, входящих в состав выхлопных газов, может взаимодействовать друг с другом и с другими компонентами атмосферы, что способствует образованию смога. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, связанные с оценкой влияния вредных выбросов от передвижных источников на состояние атмосферного воздуха.

Целью данной статьи является анализ воздействия выбросов от транспортных средств на воздушную среду в городе Уфа с использованием геоинформационных систем.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферного воздуха, автотранспорт, городская среда, выбросы.

**AN ANALYSIS OF THE IMPACT OF VEHICLE EMISSIONS ON THE AIR ENVIRONMENT IN UFA USING GEOINFORMATION SYSTEMS**

Research article

**Chiglintseva E.S.<sup>1,\*</sup>, Khaziakhmetov R.M.<sup>2</sup>, Chiglintsev D.S.<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

<sup>3</sup> Bashneft, Ufa, Russian Federation

\* Corresponding author (forworkandstudyelena[at]mail.ru)

**Abstract**

Atmospheric air pollution from vehicles in the urban environment is a global problem all over the world. The specific feature of the motor-road complex is that it cannot be isolated from human habitats and the higher the population density, the higher the need for motor transport. With constant exposure of the human body to exhaust gases, immunodeficiency, bronchitis, brain vessels, nervous system and other organs can develop. In addition, most of the toxic substances included in exhaust gases can interact with each other and with other components of the atmosphere, which contributes to the formation of smog. In this regard, studies related to the evaluation of the impact of harmful emissions from mobile sources on the state of atmospheric air are of particular relevance.

The aim of this article is to analyse the impact of vehicle emissions on the air environment in Ufa using geographic information systems.

**Keywords:** atmospheric air pollution, motor transport, urban environment, emissions.

**Введение**

В городе Уфа – столице республики Башкортостан, довольно острой проблемой является ухудшение качества воздушной среды. На сегодняшний день сохраняется высокий темп жилой застройки в районах, подверженных влиянию промышленных зон города и автотранспорта [1]. Наблюдение за загрязнением атмосферного воздуха именно от автотранспортных средств в большинстве районов города не ведется, и получить объективные показатели, а, следовательно, и разработать должные меры по охране атмосферного воздуха невозможно.

**Методы и принципы исследования**

Предлагаемая авторами методика расчета уровня загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выбросами позволяет проводить исследования на новом системном и техническом уровне с использованием следующего программного обеспечения:

- Унифицированная Программа Расчёта Загрязнения Атмосферы (УПРЗА) фирмы «Интеграл»;
- АТП-Эколог;
- ГИС-Эколог.

Анализ воздействия на атмосферный воздух загрязняющих веществ от автотранспорта в городе Уфа согласно методике, предлагаемой авторами, осуществляется в следующей последовательности:

1. Проводится анализ транспортной сети города;
2. Выявляются наиболее загруженные транспортные участки;
3. Рассчитывается временной отрезок, в который автотранспорт оказывает наиболее негативное влияние;

4. Рассчитывается количество автотранспорта, проходящие через выявленные участки и производится деление автотранспорта на виды в зависимости от дорожных ограничений, действующих на каждом конкретном участке;
5. Производится расчет вредных выбросов с использованием программного обеспечения «АТП-Эколог»;
6. В программе УПРЗА «Эколог» производится расчет рассеивания вредных выбросов (с учетом климатических характеристик города Уфа) [2], [3], [4], [5].

### Основные результаты и обсуждение

Далее представлены результаты проведенного авторами анализа.

1. Площадь территории города Уфа составляет 707,9 км<sup>2</sup>. Территория города включает 7 районов: Ленинский, Октябрьский, Орджоникидзевский, Советский, Дёмский, Калининский, Кировский [6]. Численность населения города Уфа по состоянию на начало 2023 года составила 1 131 тысячу человек с плотностью населения 1 599 чел./км<sup>2</sup>. Общая длина дорожной сети города Уфа по состоянию на апрель 2023 года составляет 1 760 километров.

Количество автотранспорта, проходящего через дорожную сеть города Уфа, за период с 2007 года по 2022 год выросло в 17 раз [7].

Строительство новых автомагистральных дорог, в том числе дублирующих наиболее загруженные районы, и расширение действующей дорожной инфраструктуры в указанный период практически не осуществлялось.

Наиболее значимым проектом по расширению транспортной инфраструктуры в городе Уфа является строительство проспекта Салавата Юлаева, основной этап которого был завершен в 2007 году. Дальнейшее развитие проекта по продлению проспекта до Орджоникидзевского района и далее до Бирского тракта приостановлено в 2008 году. При этом прирост населения города Уфа за аналогичный период составил 11,9%, а, следовательно, и пропорционально произошло увеличение используемого автотранспорта. Также значительными темпами осуществляется строительство новых жилых районов без пропорционального развития транспортной инфраструктуры [8].

Оптимальная скорость движения – 60 км/ч, а во время транспортных пробок, когда скорость автомобилей не превышает 10-15 км/ч, вредные выбросы в атмосферу резко увеличиваются (рис. 1).

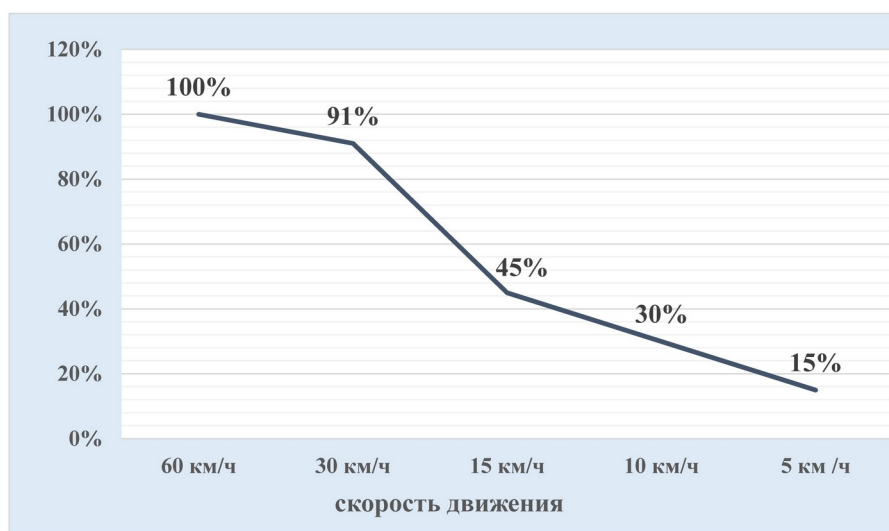


Рисунок 1 - Пропускная способность автодороги в зависимости от скорости движения транспортного потока  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.1>

Таким образом, изменение агломерации города, приводящее к росту автотранспортных потоков в городе, производится без пропорциональных трансформаций дорожной сети [9].

Вышеуказанные причины приводят к снижению средней скорости автотранспортных средств в наиболее загруженные периоды времени до 5 км/ч. Также наличие многочисленных участков, регулируемых светофорами, влияет на частоту торможения и разгона транспорта, что в свою очередь приводит к образованию дополнительных объемов выхлопных газов.

2. Сбор данных для выявления наиболее загруженных участков города Уфа осуществлялся с помощью программного обеспечения Яндекс. Карты и 2GIS. Проанализирована выборка данных в количестве 252 суток в разное время года.

Исследование проводилось на улицах города Уфа, выбранных как наиболее загруженные автомобильным транспортом (рис. 2 и табл. 1).



Рисунок 2 - Карта дорог Уфы с наиболее загруженными автотранспортом участками (выделены синим цветом)  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.2>

Таблица 1 - Наиболее загруженные автотранспортом участки города Уфа

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.3>

| № участка | Наименование участка                       | Протяженность участка, м |
|-----------|--|--------------------------|
| 1         | Бирский тракт                              | 600                      |
| 2         | ул. Комарова                               | 800                      |
| 3         | Парк Калинина – Бульвар Славы              | 1 000                    |
| 4         | Уфимское шоссе                             | 2 500                    |
| 5         | Улица Жукова                               | 4 500                    |
| 6         | Улица Перспективная                        | 4 400                    |
| 7         | Госцирк – Спортивная                       | 1 500                    |
| 8         | Дворец Спорта – Проспект Октября           | 1 500                    |
| 9         | Улица 50-летия СССР – улица Менделеева     | 1 000                    |
| 10        | Улица Зорге                                | 2 700                    |
| 11        | Улица Дзержинского                         | 600                      |
| 12        | Улица Коммунистическая                     | 1 200                    |
| 13        | Улица Цюрупы – улица Айская – улица Кирова | 5 000                    |
| 14        | Улица Менделеева                           | 1 100                    |
| 15        | Мост через реку Белая                      | 2 400                    |
| 16        | Улица Сочинская                            | 2 300                    |

|    |                       |       |
|----|-----------------------|-------|
| 17 | Улица Софьи Перовской | 900   |
| 18 | Село Миловка          | 2 000 |
| 19 | Демское шоссе         | 2 100 |
| 20 | Улица Бородинская     | 1 700 |
| 21 | Оренбургский тракт    | 600   |
| 22 | Село Нагаево          | 3 000 |

При проведении исследования оценивался временной интервал загрузки транспортной сети, виды используемых автотранспортных средств и их количество.

3. Наибольшая загрузка транспортной сети города Уфа наступает в следующие временные периоды:

1) будние дни 8.00-10.00 часов (по уфимскому времени);

2) будние дни 17.30-19.30 часов (по уфимскому времени).

Высокая загрузка транспортной сети города в указанные временные периоды связана с началом и окончанием рабочего дня у 80% населения города.

4. Производится расчет количества автотранспорта по выявленным участкам. Количество автотранспортных средств рассчитано с применением технологии GPS/ГЛОНАСС, а также дорожных камер круглосуточного наблюдения Уфанет. Указанные системы позволяют в режиме реального времени отслеживать точное местоположение пассажирского транспорта и грузовой техники.

В таблице 2 приведено количество автотранспортных средств города Уфа в 8.00-10.00 ч и 17.30-19.30 ч по уфимскому времени на наиболее загруженных дорожных участках.

Таблица 2 - Количество автотранспортных средств города Уфа в 8.00-10.00 ч и 17.30-19.30 ч по уфимскому времени на наиболее загруженных дорожных участках

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.4>

| № участка | Автобусы, шт. | Строительная техника, шт. | Автомобили, шт. | Общее количество транспорта, шт. |
|-----------|---------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 1         | 75            | 6                         | 185             | 266                              |
| 2         | 50            | 4                         | 124             | 178                              |
| 3         | 125           | 10                        | 308             | 443                              |
| 4         | 313           | 25                        | 770             | 1 108                            |
| 5         | 563           | 45                        | 4 154           | 4 762                            |
| 6         | 551           | 44                        | 1 354           | 1 949                            |
| 7         | 188           | 15                        | 1 385           | 1 588                            |
| 8         | 188           | 15                        | 924             | 1 127                            |
| 9         | 125           | 10                        | 616             | 751                              |
| 10        | 338           | 27                        | 2 493           | 2 858                            |
| 11        | 75            | 6                         | 185             | 266                              |
| 12        | 150           | 12                        | 370             | 532                              |
| 13        | 626           | 50                        | 3 077           | 3 753                            |
| 14        | 138           | 11                        | 677             | 826                              |
| 15        | 300           | 24                        | 2 216           | 2 540                            |
| 16        | 288           | 23                        | 708             | 1 019                            |
| 17        | 113           | 9                         | 554             | 676                              |
| 18        | 251           | 20                        | 616             | 887                              |
| 19        | 263           | 21                        | 647             | 931                              |
| 20        | 213           | 17                        | 524             | 754                              |
| 21        | 75            | 6                         | 554             | 635                              |
| 22        | 375           | 30                        | 924             | 1 329                            |

5. Далее производится расчет выбросов вредных веществ от автотранспорта в программе АТП-«Эколог». Результаты расчета отражены в таблице 3.

Таким образом, суммарный выброс по 7 загрязняющим веществам составил 198,21 т/год. Наибольший вклад в загрязнение воздушной среды от автотранспорта вносит вещество углерод оксид.

Таблица 3 - Суммарные выбросы по анализируемым дорожным участкам

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.5>

| Код в-ва | Название вещества                | Валовый выброс (т/год) |
|----------|----------------------------------|------------------------|
| 0301     | Азота диоксид (Азот (IV) оксид)  | 13,991617              |
| 0304     | Азот (II) оксид (Азота оксид)    | 2,273638               |
| 0328     | Углерод (Сажа)                   | 1,072837               |
| 0330     | Сера диоксид-Ангидрид сернистый  | 3,052527               |
| 0337     | Углерод оксид                    | 151,867417             |
| 2704     | Бензин (нефтяной, малосернистый) | 21,808817              |
| 2732     | Керосин                          | 4,139990               |
| Итого    |                                  | 198,21                 |

6. Производится расчет средней минимальной и среднемесячной температуры окружающего воздуха [10]. Для целей данного расчета принимаются следующие входные данные:

- в следующих месяцах значения среднемесячной и средней минимальной температур совпадают: Январь, Февраль, Март, Апрель, Май, Июнь, Июль, Август, Сентябрь, Октябрь, Ноябрь, Декабрь;
- месяцы с близкими значениями объединяются в 3 периода. Объединенные периоды представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики периодов года для расчета валовых выбросов загрязняющих веществ

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.6>

| Период года  | Месяцы                                  | Всего дней |
|--------------|---|------------|
| Теплый       | Май; Июнь; Июль; Август; Сентябрь;      | 105        |
| Переходный   | Апрель; Октябрь;                        | 42         |
| Холодный     | Январь; Февраль; Март; Ноябрь; Декабрь; | 105        |
| Всего за год | Январь – Декабрь                        | 252        |

Рассчитывается средняя минимальная и среднемесячная температура окружающего воздуха города Уфа для каждого периода. Результаты расчета среднемесячная и средняя минимальная температура воздуха в градусах Цельсия приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Среднемесячная и средняя минимальная температура воздуха, °С

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.7>

| Характеристики                      | I     | II    | III  | IV  | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X   | XI   | XII   |
|-------------------------------------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| Среднемесячная температура, °С      | -14,9 | -13,7 | -6,7 | 4,4 | 13,3 | 17,3 | 18,9 | 16,8 | 11,1 | 2,8 | -5,1 | -11,2 |
| Расчетные периоды года              | X     | X     | X    | П   | T    | T    | T    | T    | T    | П   | X    | X     |
| Средняя минимальная температура, °С | -14,9 | -13,7 | -6,7 | 4,4 | 13,3 | 17,3 | 18,9 | 16,8 | 11,1 | 2,8 | -5,1 | -11,2 |

Примечание: X – холодный период, T – теплый период, П – переходный период

На рисунке 3 отображены результаты рассеивания загрязняющих веществ в соответствии с рассчитанными выбросами от исследуемых дорожных участков, загруженных автотранспортными средствами.

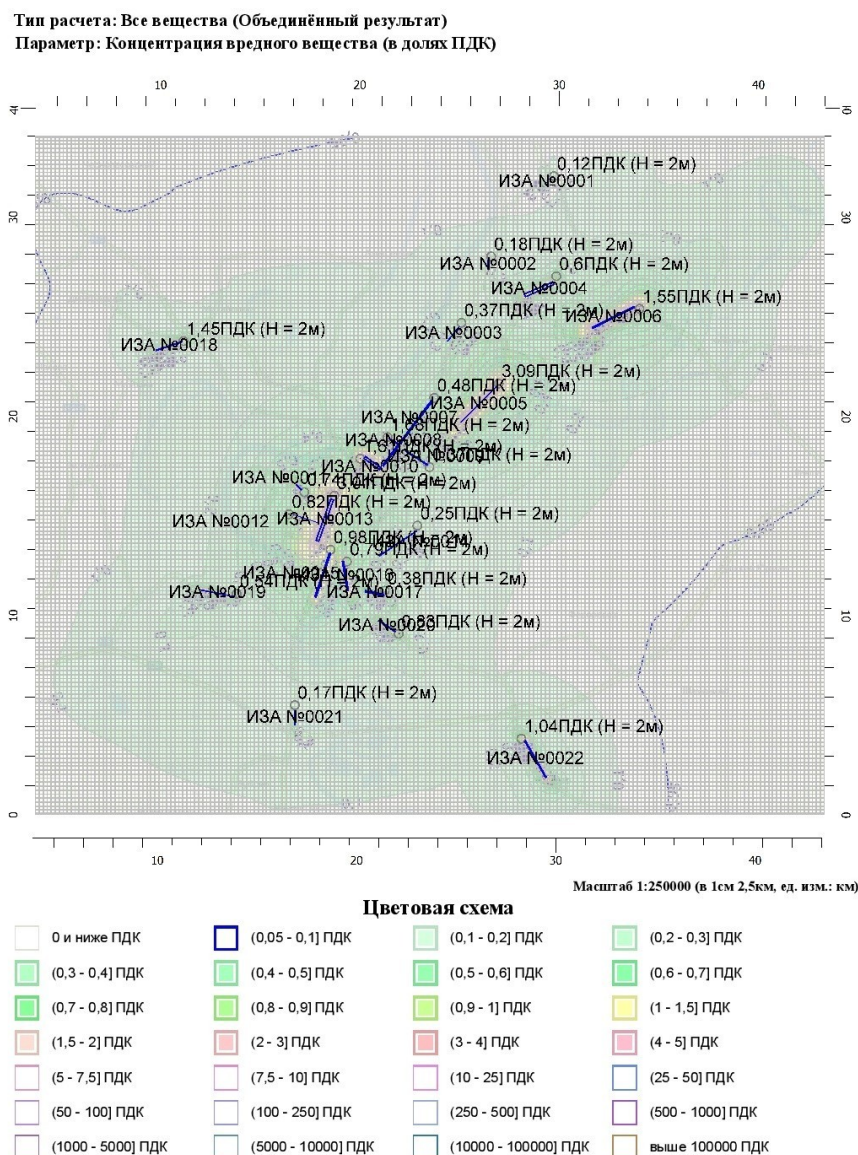


Рисунок 3 - Карта рассеивания по всем веществам (объединенный результат)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.15.8>

Согласно расчету, выполненному в программе УПРЗА-«Эколог», превышения 1 ПДК выявлены на участках 5 (улица Жукова), 6 (улица Перспективная), 8 (Дворец Спорта-Проспект октября), 10 (улица Зорге), 13 (Улица Цюрупы, улица Айская, улица Кирова), 18 (село Миловка), 22 (село Нагаево) по веществам азота диоксид, углерод оксид, и группе суммации азота диоксид и серы диоксид.

Таким образом можно сделать вывод, что количество выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников напрямую зависит от их скорости движения, а также протяженности загруженного автотранспортом дорожного участка.

### Заключение

Проведенный авторами анализ загрязнения воздуха от транспортных средств в городе Уфа с использованием геоинформационных систем и специальных программ показал, что автомобили являются причиной повышенного содержания вредных веществ в атмосферном воздухе, что безусловно может негативно отразиться на здоровье жителей Уфы. Поэтому первоочередной задачей на сегодняшний день является разработка мероприятий, направленных на снижение воздействия выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в окружающую среду.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Баширова Ч.Ф. Качество атмосферного воздуха в республике Башкортостан / Ч.Ф. Баширова // Молодой ученый. — 2019. — № 31(269). — С. 31-34.
2. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом). — Утвержд. Министерством Транспорта Российской Федерации 28 октября 1998 г. — М., 1998.
3. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для авторемонтных предприятий (расчетным методом). — Утвержд. Министерством Транспорта Российской Федерации 28 октября 1998 г. — М., 1998.
4. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом). — Утвержд. Министерством Транспорта Российской Федерации 28 октября 1998 г. — М., 1998
5. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. — Введ. в действие письмом Ростехнадзора от 24 декабря 2004 г. № 14-01-333. — СПб, 2012.
6. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2021 году» // Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. — 2022. — URL: [https://ecology.bashkortostan.ru/upload/uf/07c/kqr34by6g3pmcioxmkjc60xxp5dgl1bt/Gosdoklad\\_2022.pdf](https://ecology.bashkortostan.ru/upload/uf/07c/kqr34by6g3pmcioxmkjc60xxp5dgl1bt/Gosdoklad_2022.pdf) (дата обращения: 22.05.23).
7. Галеева Э.М. К вопросу о комплексной оценке состояния окружающей среды в г. Уфа. / Э.М. Галеева, Р.Г. Галимова, Д.С. Теплова // Российский журнал прикладной экологии. — 2018. — № 1(13). — С. 47-51.
8. На проект ушло 167 млн: что известно о строительстве проспекта Салавата Юлаева до Черниковки в Уфе // Ufa1.ru. — 2023. — URL: <https://ufa1.ru/text/transport/2023/01/21/71994797/> (дата обращения: 22.05.23).
9. Автомобиль в современной Уфе: есть ли будущее? // Реальное время. — 2020. — URL: <https://realnoevremya.ru/articles/166099-avtomobil-v-sovremennoy-ufe-est-li-budushee/> (дата обращения: 10.05.23).
10. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха г. Уфа // Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. — URL: <http://www.meteorb.ru/monitoring/air-pollution-ufa> (дата обращения: 01.05.23).

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Bashirova Ch.F. Kachestvo atmosfernogo vozduha v respublike Bashkortostan [Air Quality in the Republic of Bashkortostan] / Ch.F. Bashirova // Molodoj uchenyj [Young Scientist]. — 2019. — № 31(269). — P. 31-34. [in Russian]
2. Metodika provedeniya inventarizacii vybrosov zagryznajushhih veshhestv v atmosferu dlja avtotransportnyh predpriyatij (raschetnym metodom) [Methodology for Conducting an Inventory of Emissions of Pollutants into the Atmosphere for Motor Transport Enterprises (calculation method)]. — Approved by the Ministry of Transport of the Russian Federation on October 28, 1998. — M., 1998. [in Russian]
3. Metodika provedeniya inventarizacii vybrosov zagryznajushhih veshhestv v atmosferu dlja avtoremontnyh predpriyatij (raschetnym metodom) [Methodology for Conducting an Inventory of Emissions of Pollutants into the Atmosphere for Car Repair Enterprises (calculation method)]. — Approved by the Ministry of Transport of the Russian Federation on October 28, 1998. — M., 1998. [in Russian]
4. Metodika provedeniya inventarizacii vybrosov zagryznajushhih veshhestv v atmosferu dlja baz dorozhnoj tehnik (raschetnym metodom) [Methodology for Conducting an Inventory of Emissions of Pollutants into the Atmosphere for Road Equipment Bases (calculation method)]. — Approved by the Ministry of Transport of the Russian Federation on October 28, 1998. — M., 1998. [in Russian]
5. Metodicheskoe posobie po raschetu, normirovaniju i kontrolju vybrosov zagryznajushhih veshhestv v atmosferyj vozduh [Methodological Manual for the Calculation, Standardization and Control of Emissions of Pollutants into the Atmospheric Air]. — Introduced by the letter of Rostekhnadzor on December 24, 2004 № 14-01-333. — SPb, 2012. [in Russian]
6. Gosudarstvennyj doklad o sostojanii prirodnyh resursov i okruzhajushhej sredy Respubliki Bashkortostan v 2021 g. [State Report "On the State of Natural Resources and the Environment of the Republic of Bashkortostan in 2021"] // Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Bashkortostan. — 2022. — URL: [https://ecology.bashkortostan.ru/upload/uf/07c/kqr34by6g3pmcioxmkjc60xxp5dgl1bt/Gosdoklad\\_2022.pdf](https://ecology.bashkortostan.ru/upload/uf/07c/kqr34by6g3pmcioxmkjc60xxp5dgl1bt/Gosdoklad_2022.pdf) (accessed: 22.05.23). [in Russian]
7. Galeeva Je.M. K voprosu o kompleksnoj ocenke sostojanija okruzhajushhej sredy v g. Ufa [On the Issue of a Comprehensive Assessment of the State of the Environment in Ufa] / Je.M. Galeeva, R.G. Galimova, D.S. Teplova // Rossijskij zhurnal prikladnoj jekologii [Russian Journal of Applied Ecology]. — 2018. — № 1(13). — P. 47-51. [in Russian]



8. Na proekt ushlo 167 mln: chto izvestno o stroitel'stve prospekta Salavata Julaeva do Chernikovki v Ufe [The project took 167 million: what is known about the construction of Salavat Yulaev Avenue to Chernikovka in Ufa] // Ufa1.ru. — 2023. — URL: <https://ufa1.ru/text/transport/2023/01/21/71994797/> (accessed: 22.05.23). [in Russian]
9. Avtomobil' v sovremennoj Ufe: est' li budushhee? [A car in modern Ufa: is there a future?] // realnoevremya.ru. — 2020. — URL: <https://realnoevremya.ru/articles/166099-avtomobil-v-sovremennoj-ufe-est-li-budushee> (accessed: 10.05.23). [in Russian]
10. Monitoring zagryaznenija atmosfernogo vozduha g. Ufa [Monitoring of atmospheric air pollution in Ufa] // Bashkir Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. — URL: <http://www.meteorb.ru/monitoring/air-pollution-ufa> (accessed: 01.05.23). [in Russian]