

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Климова Д.Н., Андреева Е.С.

*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: espmeteo@yandex.ru*

Взвешенные вещества представляют собой группу загрязнителей воздуха различной крупности и свойств с выраженным негативным воздействием на респираторную и сердечно-сосудистую системы человека. Имеют сложный состав, в котором присутствуют органические и неорганические вещества, включая дисперсные частицы, а также возбудители аллергии и плесневые культуры. Основная опасность взвешенных частиц обуславливается не составом, в который могут входить различные химические соединения, а очень малым диаметром – от 0,1 мкм до 10 мкм, что позволяет им проникать в легкие и кровеносную систему. При вдыхании каждый день порядка 30–60 мг пыли и взвешенных веществ могут обостряться аллергические реакции; частицы менее 10 мкм способны проникать глубоко в легкие, а вещества менее 2,5 мкм беспрепятственно попадают из легких в кровеносную систему. В районах с высокой концентрацией взвешенных частиц растет распространенность бронхолегочных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. В связи с этим крайне важным становится определение точного количества и состава пыли в атмосферном воздухе, что подчеркивает необходимость оптимизации существующих сетей мониторинга. Отсюда целью данного исследования является оптимизация системы управления качеством атмосферного воздуха в пределах Ростова-на-Дону для обеспечения достаточного уровня экологической безопасности населения. В результате реализации цели исследования произведена оптимизация сети мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и обосновано добавление семи дополнительных стационарных станций. Расчет канцерогенного риска здоровью населения позволил выявить чрезвычайно высокий (недопустимый) уровень опасности в отношении бенз(а)пирена. Опасный уровень неканцерогенного риска установлен для оксида углерода. Районирование по степени загрязнения городского воздуха взвешенными веществами, включая взвешенные частицы, позволило выделить три района с рядом секторов. Как представляется авторам, проведенная оптимизация системы управления качеством воздуха города позволит существенно повысить уровень экологической безопасности населения в ближайшем будущем.

Ключевые слова: атмосфера, мониторинг, индекс загрязнения атмосферы, предельно допустимая концентрация, класс опасности загрязняющего вещества

OPTIMIZATION OF THE MONITORING SYSTEM OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN ENSURING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF LARGE CITIES

Klimova D.N., Andreeva E.S.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: espmeteo@yandex.ru

Suspended substances are a group of air pollutants of various sizes and properties with a pronounced negative impact on the human respiratory and cardiovascular systems. They have a complex composition in which organic and inorganic substances are present, including dispersed particles, as well as allergy pathogens and mold cultures. The main danger of suspended particles is not due to the composition, which can include various chemical compounds, but to a very small diameter – from 0.1 microns to 10 microns, which allows them to penetrate into the lungs and circulatory system. When inhaled every day, about 30–60 mg of dust and suspended solids, the population may exacerbate allergic reactions; particles less than 10 microns are able to penetrate deep into the lungs, and substances less than 2.5 microns freely enter the circulatory system from the lungs. In areas with a high concentration of suspended particles, the prevalence of bronchopulmonary, cardiovascular and oncological diseases is increasing. In this regard, it becomes extremely important to determine the exact amount and composition of dust in the atmospheric air, which highlights the need to optimize existing monitoring networks. Hence, the purpose of this study is to optimize the system of atmospheric air quality management within Rostov-on-Don to ensure a sufficient level of environmental safety of the population. As a result of the goal of the study, the air pollution monitoring network was optimized and the addition of 7 additional stationary stations was justified. The calculation of the carcinogenic risk to public health made it possible to identify an extremely high (unacceptable) level of danger in relation to benzo(a)pyrene. A dangerous level of non-carcinogenic risk has been established for carbon monoxide. Zoning according to the degree of pollution of urban air with suspended solids, including suspended particles, made it possible to identify 3 districts with a number of sectors. It seems to the authors that the optimization of the city's air quality management system will significantly increase the level of environmental safety of the population in the near future.

Keywords: atmosphere, monitoring, air pollution index, maximum permissible concentration, hazard class of the pollutant

Урбанизация, как объективный процесс, обусловленный социально-экономическими причинами, сопряжена с развитием экономики регионов, созданием более безопасных и здоровых условий жизни для на-

селения. В этом смысле указанный процесс несет с собой не только положительные, но и отрицательные изменения, поскольку наиболее существенный вклад в уровень загрязнения приземного слоя воздуха вносят

промышленные районы крупных городов и урбанизированных зон [1–3].

Как известно, на территории Российской Федерации мониторингу загрязнения воздуха в пределах крупных городов и урбанизированных зон уделялось большое внимание. Так, необходимые методические разработки документов и оборудования для проведения мониторинга состояния атмосферного воздуха появились еще в 1970-х гг. Однако в тот период времени эколого-социальная роль взвешенных веществ, включая взвешенные частицы PM_{2,5} и PM₁₀, еще не была ясна, в связи с чем отдельных наблюдений за указанными частицами не было предусмотрено. В настоящее время по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Международного агентства изучения рака (МАИР) взвешенные частицы разной крупности (PM_{2,5} и PM₁₀) не только активно участвуют во всех физических процессах, протекающих в нижнем слое атмосферы, активно воздействуя на климатическую систему Земли, но и ухудшают качество воздуха, повышая главным образом канцерогенные риски здоровью населения. Так, по данным периодических бюллетеней МАИР взвешенные вещества, включая взвешенные частицы, уже в 2016 г. были признаны канцерогенными, доказана их роль в росте частот онкогенных заболеваний органов дыхания и мочевыделительной системы. Важно отметить, что на взвешенных частицах в связи с различной крупностью могут присутствовать включения из микрокомпонентов выбрасываемых токсичных веществ, как первичных, так и вторичных, уже содержащихся в воздухе ранее. В ряде государств с начала XXI в. в этой связи стали создаваться сети мониторинга взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀. В пределах Российской Федерации подобной сети мониторинга частиц PM_{2,5} и PM₁₀ до настоящего времени не имеется, однако несколько специализированных постов расположены в пределах Европейской части страны и Восточной Сибири.

Отсюда, как представляется авторам, наиболее актуальной проблемой для Российской Федерации в данный момент является создание расширенной сети мониторинга взвешенных веществ, включая взвешенные частицы различной крупности (PM_{2,5} и PM₁₀), которая должна входить в состав единой системы государственного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Получение объемной информации о составе и концентрации основных загряз-

няющих воздух урбанизированных сред и городов, являясь наиболее важной составляющей системы управления качеством атмосферного воздуха, позволит выявлять территории с высоким уровнем экологического риска, а разработка эффективных мероприятий по снижению уровня установленной опасности позволит оптимизировать указанную выше систему, обеспечивая экологическую безопасность населения.

Таким образом, целью данного исследования является оптимизация системы управления качеством атмосферного воздуха в пределах Ростова-на-Дону для обеспечения достаточного уровня экологической безопасности населения.

Основными задачами при этом являются следующие:

- изучение и оптимизация существующей системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха;
- осуществление количественных оценок канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения, обусловленных загрязнением городского воздуха;
- районирование территории города с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с итогами оценки канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью населения для разработки потенциальных мер по улучшению качества воздуха.

Материалы и методы исследования

Для реализации цели были использованы материалы Ежегодников Федерального государственного бюджетного учреждения Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО») за 2016–2021 гг. [4]. В числе использованных методов были литературно-исторический анализ научных источников, математико-статистические и графо-аналитические методы осмысления информации.

Результаты исследования и их обсуждение

Взвешенные вещества, представляющие собой смесь твердых частиц различного диаметра, включая частицы диаметрами 2,5 мкм (PM_{2,5}) и 10 мкм (PM₁₀), находящихся во взвешенном состоянии, поступают в нижний слой воздуха практически повсеместно, так как связаны с различными причинами, как антропогенными (выбросы промышленного производства и пр.), так и природными (пыльные бури, извержения вулканов, обвалы и оползни в горных районах) [5–8].

В настоящее время в ряде государств национальные правительства осуществляют общенациональный мониторинг загрязнения воздуха, устанавливают национальные стандарты качества окружающего воздуха и стандарты выбросов от различных источников. В частности, разработка и ввод в действие национального плана действий Китая по предотвращению и контролю загрязнения воздуха (2013–2017 гг.) привели к снижению уровня $PM_{2,5}$ на 40% в некоторых его регионах. Кроме того, многие страны подписали региональные соглашения, такие как, например, Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, для решения проблемы загрязнения воздуха в результате переноса загрязнений на большие расстояния. В Российской Федерации вопросам мониторинга загрязнения воздуха всегда уделялось и уделяется большое внимание.

Как представляется авторам, именно в пределах городов, как крупных населенных пунктов с числом жителей более 100 тыс. чел., необходимо совершенствовать систему управления качеством воздуха. В частности, в настоящее время такая система должна включать по крайней мере следующие три аспекта:

– непосредственный мониторинг качества воздуха для измерения и характеристики текущих уровней загрязнения воздуха и его динамики для решения ряда последующих задач;

– количественные определения канцерогенных и неканцерогенных рисков здоро-

вья населения как результатов повышений уровня загрязнения воздуха;

– районирование территории города (населенного пункта) с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с итогами оценки интенсивности выбросов и источников выделения загрязняющих веществ для разработки потенциальных мер по улучшению качества воздуха.

В этой связи реализация такой трехступенчатой системы управления качеством атмосферного воздуха в пределах крупных городов и населенных пунктов может позволить существенно снизить темп стремительного ухудшения его качества в начале XXI в.

Мониторинг уровня загрязнения воздуха, как первый и основной пункт указанной выше системы управления качеством воздуха, позволяет решать несколько ключевых задач: накопление данных инструментальных наблюдений с созданием специальной базы данных, а также прогнозирование уровня загрязнения воздушного слоя на некоторую перспективу на основе разработанных математических моделей с включенных в них эмпирических параметров.

Так, в пределах территории Ростова-на-Дону, на примере которого удобно рассмотреть принципы совершенствования системы управления качеством атмосферного воздуха как одного из городов-миллионеров юга России, на 2022 г. имеются семь стационарных станций мониторинга, таких как городские («фоновые») – 2, 55, 21; промышленные – 44, 52; автотранспортные станции – 29, 51 (рис. 1).

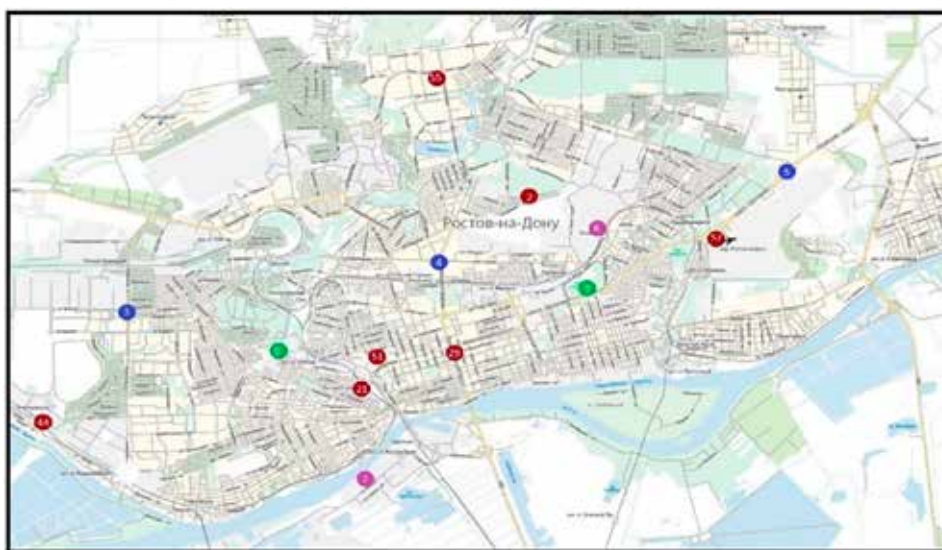


Рис. 1. Предлагаемое расположение стационарных станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в пределах г. Ростова-на-Дону

По-видимому, представленная выше сеть мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха не является достаточной для города-миллионера с постоянно растущим числом жителей и городских микрорайонов. Кроме того, существенным недостатком указанной выше сети является и тот факт, что взвешенные вещества входят в перечень контролируемых примесей, взвешенные частицы PM_{2,5} и PM₁₀ в данном перечне отсутствуют. Поэтому, по мнению авторов исследования, в настоящее время рекомендуется добавить к существующим семи стационарным станциям еще как минимум семь станций мониторинга взвешенных частиц, которые необходимо разместить:

- вблизи крупных транспортных магистралей с автомобильными заторами и интенсивным движением (3 станции: 3, 4, 5);
- вблизи промышленных зон в пределах городской среды (2 станции: 6, 7);
- внутри парковых зон (2 фоновые станции: 8 и 9) (рис. 1).

Поскольку в настоящее время на территории Ростова-на-Дону нет станций и постов, осуществляющих наблюдения за концентрацией взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀, в составе которых могут присутствовать различные загрязняющие вещества, токсичные и канцерогенные, для осуществления оценок уровня экологического риска приземного слоя воздуха в пределах города были использованы данные непосредственных наблюдений за наиболее опасными для здоровья населения веществами [9]. Так, на втором этапе предложенной трехступенчатой системы управления качеством атмосферного воздуха была произведена количественная оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения как результатов повышения уровня загрязнения воздуха на основе методического документа Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке

риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (утверждено главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 05.03.2004 г.) [10].

В частности, канцерогенный риск (*CR*) в течение жизни определялся по формуле

$$CR = ADD \cdot SF, \quad (1)$$

где *SF* – фактор канцерогенного потенциала, (мг/(кг · сутки))⁻¹;

ADD – средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг · день);

$$ADD = [C \times cr \times ED \times EF] / [BW \times AT \times 365], \quad (2)$$

где *LADD* – среднесуточная доза поступления вещества в течение жизни, мг/кг · день,

C_i – концентрация вещества, мг/м³,

cr – скорость поступления среды (воздух), м³/день,

ED – продолжительность воздействия, годы,

EF – частота воздействия, дней/год,

BW – масса тела человека, кг,

AT – период усредненной экспозиции.

Результаты оценки канцерогенного риска по основным веществам, превышающим значения среднесуточных и максимальных разовых ПДК в течение 2015–2022 гг. в пределах Ростова-на-Дону, приведены в табл. 1.

Применяя известную интерпретацию полученных результатов, изложенную в документе [10], можно видеть, что уровень канцерогенного риска здоровью, обусловленный содержанием бензапирена является чрезвычайно опасным, недопустимым (табл. 1), что, конечно, требует разработки соответствующих мероприятий по его снижению [11–13].

В табл. 2 приведены результаты оценки неканцерогенного риска здоровью для веществ, превышающих значения среднесуточных и максимальных разовых ПДК в пределах г. Ростова-на-Дону за 2015–2022 гг. (табл. 2).

Таблица 1

Результаты оценки канцерогенного риска здоровью населения г. Ростова-на-Дону для приоритетных веществ по материалам отчетов Росгидромета за 2015–2022 гг. [4]

Вещество	<i>C_i</i> , мг/м ³	<i>Add</i> , мг/(кг · день)	<i>Sf_i</i> , (мг/(кг · сутки)) ⁻¹	<i>Cr</i>	Уровень опасности
Бензапирен	1,7	0,496	7,3	3,6176	Чрезвычайно опасный, недопустимый риск
Формальдегид	0,013	0,004	0,046	0,0002	Риск, вызывающий беспокойство
Сажа	0,087	0,025	0,0156	0,0004	Риск, вызывающий беспокойство

Таблица 2

Результаты оценки неканцерогенного риска здоровью населения г. Ростова-на-Дону по материалам отчетов Росгидромета за 2015–2022 гг. [4]

Вещество	C_i , мг/м ³	Rfc , мг/м ³	Hq	Уровень опасности
Оксид углерода	1,9	3,0	5,7	Опасный риск
Диоксид азота	0,048	0,04	0,00192	Допустимый, не вызывающий беспокойства
Взвешенные вещества	0,238	0,3	0,07140	Допустимый, не вызывающий беспокойства

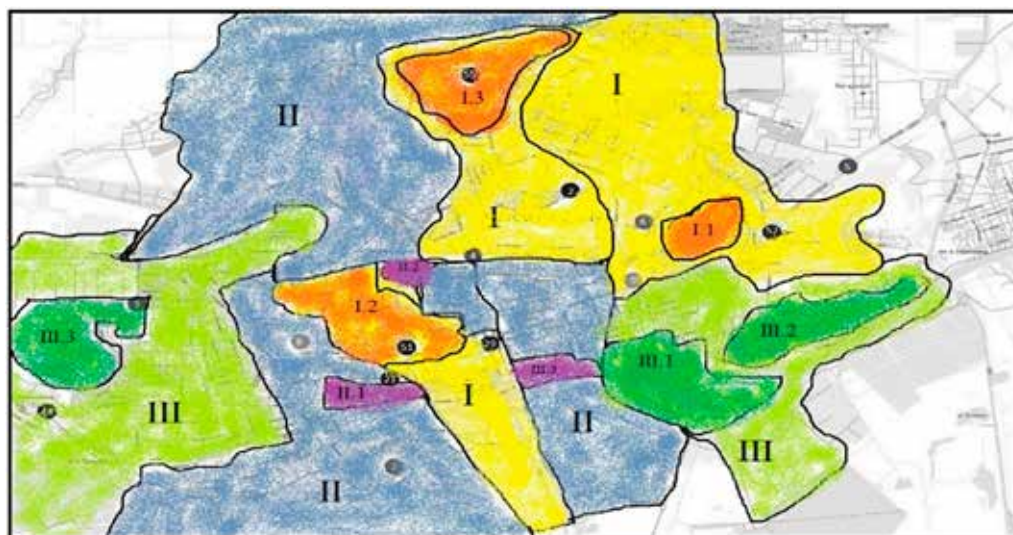


Рис. 2. Предлагаемое районирование г. Ростова-на-Дону

Неканцерогенный риск количественно оценивался на основе расчета коэффициента опасности (HQ) по формуле

$$HQ = C_i / RfC, \quad (3)$$

где C_i – средняя концентрация (для воздушной среды – мг/м³);

RfC – референтная (безопасная) концентрация (для воздушной среды – мг/м³).

В соответствии с документом [10], в результате расчетов неканцерогенного риска здоровью был выявлен опасный уровень неканцерогенного риска здоровью в отношении выявленного в приземном слое воздуха оксида углерода (табл. 2).

На третьем этапе реализации трехступенчатой системы управления качеством атмосферного воздуха проводилось районирование территории г. Ростова-на-Дону с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с итогами оценки интенсивности выбросов и источников выделения загрязняющих веществ для разработки потенциальных мер по улучшению качества воздуха по аналогии с произведенным ранее

в работах П.В. Климова и др. [1]. Как представляется авторам данного исследования, в основу районирования по критериям качества атмосферного воздуха целесообразно включить следующие параметры:

– для выделения более крупных секторов (районов) следует руководствоваться концентрациями канцерогенных веществ и уровнем канцерогенного риска, включая неканцерогенный;

– для выделения участков секторов (подрайонов) целесообразно учитывать число жителей.

В соответствии с вышеизложенным, в пределах городской территории Ростова-на-Дону удалось выделить следующие районы (рис. 2):

I – с *высоким уровнем* экологической опасности, характеризуемой наибольшей концентрацией взвешенных веществ и уровнями рисков: Первомайский, Ворошиловский, Ленинский районы г. Ростова-на-Дону.

II – со *средним уровнем* экологической опасности: Октябрьский, Кировский, Железнодорожный районы.

III – с *низким уровнем* экологической опасности: Советский и Пролетарский районы.

Внутри районов также были выделены следующие сектора (подрайоны) в соответствии с числом жителей (по приоритетности):

– район I: сектора I.1 – 2-й квартал Орджоникидзе, I.2 – Новое Поселение, I.3 – Северный;

– район II: сектора II.1 – Красный Город-Сад, II.2 – Рабочий городок, II.3 – Богатыновка;

– район III: сектора III.1 – Нахичевань, III.2 – Александровка, III.3 – Левенцовский.

Как представляется, проведенное районирование целесообразно для разработки ряда мероприятий по улучшению качества воздуха непосредственно в районе I и его секторах I.1, I.2, I.3. Из всего перечня имеющихся в настоящее время мер повышения качества приземного слоя воздуха наибольшей эффективностью, особенно для снижения концентрации содержащихся в воздухе взвешенных частиц PM_{2,5} и PM₁₀, отличаются зеленые насаждения, включая городские леса и лесопарки. Однако при изучении карты города и нормативных документов Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области было отмечено, что в пределах района I зеленые парковые насаждения либо практически отсутствуют, либо наблюдаются в недостаточном количестве; реальная площадь зеленых насаждений города, включая городские леса и лесопарки, составляет около 3,84–4 тыс. га. Хотя в соответствии со «СП. 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» площадь озелененных территорий общего пользования, включая городские леса и лесопарки, в Ростове-на-Дону должна составлять не менее 5 тыс. га. В связи с чем выполненное районирование может быть полезным при проведении работ по благоустройству города, включая санацию имеющихся и создание новых городских лесов, включая лесопарковые зоны. Кроме создания внутренних зеленых зон, как представляется, необходимым является санация и создание новых лесных полос вокруг Ростова-на-Дону, чтобы снизить вероятность воздействия на территорию города пылевых частиц, развеивающихся в результате пылевых бурь и суховеев, образующихся в Ростовской области и прилегающих к ней территорий [14, 15].

Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования изучена и оптимизирована существующая система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха; осуществлена количественная оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения, обусловленных загрязнением городского воздуха; проведено районирование территории города с выделением отдельных районов и секторов в соответствии с выявленными уровнями экологической опасности. Расчет рисков здоровью человека по таким веществам, как бензапирен, диоксид азота, оксид углерода, формальдегид, взвешенные вещества (пыль), сажа, показал, что по четырем веществам из шести изученных риски превышают допустимую норму, в некоторых случаях представляют большую опасность, как, например, в отношении бензапирена. Существующая сеть мониторинга уровня загрязнения атмосферного воздуха требует модернизации. Как представляется, предложенные дополнения к уже существующей сети позволят получить более полную картину движения и концентрации взвешенных частиц, что представляет теоретическую и практическую ценность для дальнейших исследований, в том числе не только медицинского характера.

Список литературы

1. Андреева Е.С., Климов П.В., Штенске К.С. Загрязнение атмосферного воздуха как один из факторов неканцерогенного риска здоровью населения города Ростова-на-Дону // *Geography and Natural Resources*. 2021. Vol. 42, Is. 1. P. 32–36.
2. Andreeva E.S., Lipovitskaya I.N., Lazareva E.O., Zharkova M.G., Andreev S.S. Ensuring the environmental safety of large cities based on an innovative approach to predicting atmospheric air pollution // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 852. 012007.
3. Андреева Е.С., Лазарева Е.О., Липовицкая И.Н. Применение метода «дерева принятия решений» для прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха г. Санкт-Петербург // *Вестник Московского государственного университета*. Серия 5. География. 2019. № 2. С. 55–60.
4. Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2015–2022 гг. // Главная геофизическая обсерватория им А.И. Воейкова [Электронный ресурс]. URL: http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=40:perechen-materialov-izdannyykh-ggo&catid=41&Itemid=24&lang=ru (дата обращения: 10.04.2023).
5. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Абдурашулова Н.А., Абуллаева М.С. О температурных эффектах пыльной мглы // *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*. 2020. Т. 53. № 6. С. 455–460.
6. Назаров Б.И., Маслов В.А., Абдуллаев С.Ф. Оптические и микрофизические параметры аридного пылевого аэрозоля // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2010. Т. 46. № 4. С. 505–511.

7. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А. Изменение оптических параметров сильно запыленного воздуха в условиях аридной зоны // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2007. Т. 50, № 7. С. 598–606.
8. Орловский Н.С., Орловская Л.Н., Индугу Р. Опасные и особо опасные пыльные бури в Средней Азии // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19, № 4 (57). С. 49–58.
9. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году / По ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. А.П. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2022. 239 с.
10. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических факторов, загрязняющих окружающую среду (Р. 2.1.10.1920-04). М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 143 с.
11. Булыгин Ю.И., Романов В.А., Панченко О.С., Денисов О.В. Повышение эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон металлообрабатывающих и деревообрабатывающих производств // Вестник Донского государственного технического университета. 2013. Т. 13, № 7/8 (75). С. 49–57.
12. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Легконогих А.Н., Гайденко А.Л. Математическое и компьютерное моделирование формирования параметров производственной среды в целях проектирования и оптимизации систем вентиляции помещений // Вестник Донского государственного технического университета. 2014. Т. 14, № 2 (77). С. 46–55.
13. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Маслов Е.И., Корончик Д.А., Тирацунян Л.Л. Модель массопереноса тяжелых примесей в вентилируемых помещениях участков обкатки и определение опасных зон загазованности по канцерогенам // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10, № 4 (47). С. 534–544.
14. De Wit A., Roerink G., Bartalev S., Virchenko O., Plotnikov D., Savin I., Kleschenko A. A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields // Open Data Journal for Agricultural Research. 2018. Т. 4. P. 22–27.
15. Клещенко А.Д., Долгий-Трач В.А. Агрометеорологический мониторинг – стратегия развития // Метеорология и гидрология. 2011. № 7. С. 96–105.