

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ISSN 1997-8650 (Print)
ISSN 2587-8255 (Online)

ENGINEERING SURVEY Vol. XVII • Том XVII 3/2023

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация
«Инженерные изыскания
в строительстве» —
Общероссийское отраслевое
объединение работодателей



АНКЕРНЫЕ
СИСТЕМЫ
MALININ GROUP



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Кочев А.Д.

Карстово-суффозионные воронки г. Москвы8

Кропоткин М.П., Вовкогон Д.И.

Сравнительный анализ использования различных подходов к оценке устойчивости склоновых массивов в условиях сейсмического воздействия22

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Семакина А.В.

Возможности оценки фоновых концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе расчетным путем36

Дорошенко С.В., Илюшина П.Г., Гудков Н.С.

Применение методов дистанционного зондирования Земли при проведении оценки накопленного экологического вреда на островах Российской Арктики48

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Камышев А.А., Бондарев В.П., Чалов С.Р.

Проблемы учета русловых процессов при инженерно-гидрометеорологических изысканиях (результаты анализа экспертных мнений)62

Перечень научных специальностей с указанием соответствующих им отраслей науки, которым соответствует основное содержание рецензируемого научного издания:

- | | |
|---|--|
| 1.6.1. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика (геолого-минералогические науки); | 1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (географические науки); |
| 1.6.6. Гидрогеология (геолого-минералогические науки); | 1.6.17. Океанология (географические науки); |
| 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки); | 1.6.17. Океанология (геолого-минералогические науки); |
| 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (географические науки); | 1.6.17. Океанология (физико-математические науки); |
| 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (технические науки); | 1.6.19. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия (технические науки); |
| 1.6.8. Гляциология и криология Земли (географические науки); | 1.6.20. Геоинформатика, картография (географические науки); |
| 1.6.8. Гляциология и криология Земли (геолого-минералогические науки); | 1.6.20. Геоинформатика, картография (геолого-минералогические науки); |
| 1.6.9. Геофизика (геолого-минералогические науки); | 1.6.20. Геоинформатика, картография (технические науки); |
| 1.6.9. Геофизика (физико-математические науки); | 1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки); |
| 1.6.9. Геофизика (технические науки); | 1.6.21. Геоэкология (географические науки); |
| 1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки); | 1.6.22. Геодезия (технические науки); |
| 1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (геолого-минералогические науки); | 2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки); |
| | 2.1.10. Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки). |

ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

Kochev A.D.

Karst-suffosion funnels in Moscow 8

Kropotkin M.P., Vovkogon D.I.

Comparative analysis of the use of different approaches to assessing the stability of slope massifs in conditions of seismic impact 22

ENGINEERING-ECOLOGICAL SURVEYS

Semakina A.V.

Possibilities of estimating pollutants' background concentrations in atmospheric air by calculation 36

Doroshenko S.V., Ilyushina P.G., Gudkov N.S.

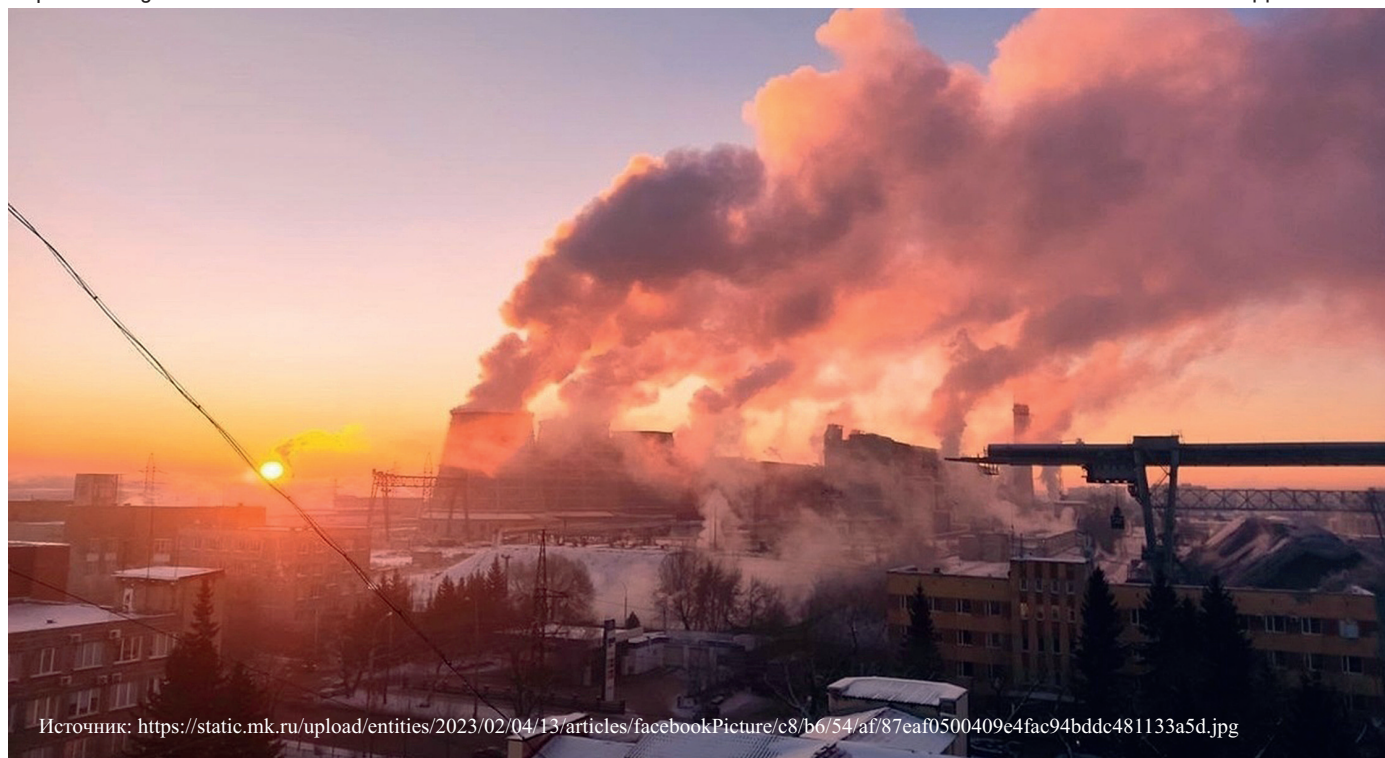
Use of remote sensing methods in assessing accumulated environmental damage on the islands of the Russian Arctic 48

ENGINEERING-HYDROMETEOROLOGICAL SURVEYS

Kamyshev A.A., Bondarev V.P., Chalov S.R.

Problems of accounting for fluvial processes in engineering-hydrometeorological surveys (results of expert opinion analysis) 62





Источник: <https://static.mk.ru/upload/entities/2023/02/04/13/articles/facebookPicture/c8/b6/54/af/87eaf0500409e4fac94bdc481133a5d.jpg>

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПОЛЛЮТАНТОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ РАСЧЕТНЫМ ПУТЕМ

СЕМАКИНА А.В.

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия, alsen13@list.ru

Адрес: ул. Университетская, д. 1, г. Ижевск, 426034, Россия

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 22.08.2023 / Принята к публикации 24.09.2023 / Дата публикации 30.09.2023

© ООО «Геомаркетинг», 2023

Аннотация: актуальность исследования обусловлена, с одной стороны, недостаточным объемом результатов государственного мониторинга состояния атмосферного воздуха и, с другой стороны, высокой стоимостью выполнения инструментальных измерений и невозможностью в существующей экономической ситуации расширить имеющуюся мониторинговую сеть. Традиционный подход к определению фоновых концентраций опирается на репрезентативные в метрологическом и методическом отношении данные инструментальных измерений, но в то же время предусматривает использование аппроксимаций на основе математико-статистических методов обработки исходной информации. Целью данного исследования является оценка возможностей математического моделирования при характеристике фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. В исследовании были использованы следующие методы: математическое моделирование, картографический метод, методы математико-статистические, визуальный анализ. В качестве математической модели расчета рассеяния наиболее распространенных примесей в атмосферном воздухе была использована модель В.А. Петрухина и В.А. Вишенского. В представленной работе был осуществлен расчет рассеяния основных поллютантов от крупнейших источников как для территории Российской Федерации в целом, так и в отдельности для Приволжского и Уральского федеральных округов, Удмуртской Республики и Республики Башкортостан. Высокая сходимость полученного картографического материала (согласно верификации, выполненной с применением математико-статистических, картографических методов и визуального анализа), позволяет говорить о возможности применения методов математического моделирования при оценке фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для территорий, не охваченных натурными исследованиями. Это особенно важно с учетом высокой стоимостью выполнения инструментальных измерений. При этом важно отметить, что для повышения качества оценки достоверности расчетных результатов необходимо проведение наблюдений на территориях вне населенных пунктов и обсуждение полученных результатов.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха; фоновые концентрации; мониторинг; математическое моделирование; методика В.А. Петрухина и В.А. Вишенского; картографический метод

Ссылка для цитирования: Семакина А.В., 2023. Возможности оценки фоновых концентраций поллютантов в атмосферном воздухе расчетным путем. Инженерные изыскания, Том XVII, № 3, с. 36–47, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2023-17-3-36-47>.

POSSIBILITIES OF ESTIMATING POLLUTANTS' BACKGROUND CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERIC AIR BY CALCULATION

ALSU V. SEMAKINA

Udmurt State University; Izhevsk, Russia; alsen13@list.ru

Address: Bld. 1, Universitetskaya St., 426034, Izhevsk, Russia

Original paper

Received 22 August 2023 / Accepted 24 September 2023 / Published 30 September 2023

© Geomarketing LLC, 2023

Abstract: the relevance of the study is due to, on the one hand, insufficient volume of results from state monitoring of atmospheric air conditions and, on the other hand, the high cost of instrumental measurements and the impossibility of expanding the monitoring network in the current economic situation. The traditional approach to determining background concentrations, is based on metrologically and methodically representative instrumental measurement data, but in the same time it involves the use of approximations based on mathematical and statistical methods for processing initial data. The purpose of this study is to evaluate the possibilities of mathematical modeling in characterizing pollutants' background concentrations in atmospheric air. The following methods were used in the study: mathematical modeling, cartographic method, mathematical and statistical methods, visual analysis. The model of V.A. Petrukhin and V.A. Vishensky was used as a mathematical model for calculating the scattering of the most common impurities in atmospheric air. In the current work the main pollutants' scattering from the largest sources was calculated for the territory of the Russian Federation as a whole, as well as the Volga and Ural Federal Districts, the Udmurt Republic and the Republic of Bashkortostan. The high convergence of the obtained cartographic material (according to verification performed using mathematical and statistical, cartographic methods and visual analysis) allows us to assert the possibility of using mathematical modeling methods in assessing background concentrations for territories not covered by field studies. This is especially important given the high cost of instrumental measurements. It is important to note that in order to improve the quality of the assessment of the reliability of calculated results, it is necessary to conduct field studies in areas outside settlements and to discuss obtained results.

Key words: atmospheric air pollution; background concentrations; monitoring; mathematical modeling; V.A. Petrukhin and V.A. Vishensky methodology; cartographic method

For citation: Semakina A.V., 2023. Possibilities of estimating pollutants' background concentrations in atmospheric air by calculation. *Engineering Survey*, Vol. XVII, No. 3, pp. 36–47, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2023-17-3-36-47>.

Введение

В соответствии с Федеральным законом № 7-ФЗ от 10.01.2002 «Об охране окружающей среды» к основным положениям законодательства в области охраны окружающей среды относится обязанность государства предоставлять заинтересованным лицам информацию о состоянии атмосферного воздуха. Мониторинг, прогноз, оценка состояния атмосферного воздуха, а также предоставление заинтересованным структурам и лицам актуальной информации о его загрязнении должны производиться природоохранными органами исполнительной власти согласно гл. 23 Федерального закона № 96-ФЗ от 04.05.1999 «Об охране атмосферного воздуха». В РФ используются подходы к наблюдению за состоянием атмосферы, включающие мониторинг выбросов от промышленных источников (традиционно информация накапливалась камеральным путем, но в последнее время вводятся в эксплуатацию системы автоматического мониторинга выбросов [10]); мониторинг состояния воздуха (концентраций загрязняющих веществ (ЗВ)); монито-

ринг условий рассеяния выбросов. С точки зрения конечного пользователя (населения, административно-управленческого аппарата, природоохранного контролирующего органов), наиболее информативными являются данные, полученные в результате мониторинга состояния атмосферы (концентраций ЗВ). При этом получить данные в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 273 от 06.06.2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» о концентрациях ЗВ в атмосферном воздухе можно как на основании данных мониторинга, так и с применением математических расчетов. В сравнении со вторым вариантом, первый способ является более трудоемким, дорогостоящим (расчет проводится на основании рекомендаций Р 52.04.835-2015 «Методика расчета стоимости услуг по предоставлению информации о фоновых концентрациях загрязняющих веществ по данным мониторинга загрязнения атмосферного воздуха») и способен отражать экологическую ситуацию только

на ограниченной территории в определенный промежуток времени.

В целях нормирования выбросов природопользователей было введено понятие «фоновая концентрация». Этот показатель характеризует загрязнение атмосферного воздуха, формируемое всеми источниками выбросов на исследуемой территории (кроме источника выбросов, для которого рассчитывается фон). За фоновую концентрацию в соответствии с временными рекомендациями «Фоновые концентрации загрязняющих веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на период 2024–2028 гг.» (далее — Временные рекомендации) принимается статистически достоверная максимальная разовая концентрация (95%-ной обеспеченности), полученная инструментальным путем. В общем случае в результате статистической обработки данных государственной мониторинговой сети получают корреляционные связи (пересчитываемые каждые пять лет) между концентрациями наиболее распростра-

ненных поллютантов и численностью населения. При этом если предприятие располагается вне города, то фоновые концентрации рекомендуется определять посредством применения метода математической интерполяции. Такой подход к определению фоновых концентраций, с одной стороны, опирается на репрезентативные в метрологическом и методическом отношении данные инструментальных измерений, с другой стороны, характеризуется высокой степенью аппроксимации, связанной с применением математико-статистических методов обработки исходных данных. Погрешность, формирующаяся при математических манипуляциях со статистическими данными, может достигать 20–25% [6].

В настоящее время наблюдается дефицит объективной количественной информации о состоянии атмосферного воздуха (данных о концентрациях ЗВ) в РФ. При этом в обществе формируется понимание значимости влияния факторов окружающей среды (в т.ч. состояния атмосферного воздуха) на здоровье населения [1, 14]. Все это приводит к появлению общедоступных бесплатных, а также коммерческих сервисов и ресурсов для предоставления информации о состоянии атмосферного воздуха. Примерами таких сервисов могут служить BreezoMeter [19], «ЭКОВИЗОР» [15], R-NOX [16]. К их существенным недостаткам можно отнести сложность оценки метрологической и методологической репрезентативности данных, а также применение довольно примитивных подходов к пространственной интерпретации данных (привязка данных одного датчика к территории всего города, либо использование методов математической интерполяции на основании количества датчиков, недостаточно для формирования достоверной пространственной картины загрязнения).

Дефицит информации о состоянии окружающей среды, нерепрезентативность используемых исходных данных о состоянии атмосферы, полученных при выполнении мониторинга или некорректность их интерпретации могут быть использованы, в том числе, как инструмент политического или социального манипулирования [9, 11]. Прикрытие «экологическими» лозунгами особых интересов локальных групп иногда становится инструментом для лоббирования экономических, технологических, социальных решений, не связанных с охраной окружающей среды и здоровья населения. В некоторых случаях воз-

можно применение «экологического шантажа» [5, 7]. С другой стороны, достаточно широко распространен опыт использования приемов «гринвошинга» (дословно «зеленого отмывания») предприятиями с целью введения потребителей (населения) в заблуждение относительно экологичности производства, продукции или услуги [17, 18].

В связи со сложившейся ситуацией в области обеспечения населения объективными данными о состоянии окружающей среды (в т.ч. атмосферного воздуха) Правительство РФ поддержало законопроект об ужесточении штрафов за сокрытие, умышленное искажение или несвоевременное сообщение полной и достоверной экологической информации о загрязнении окружающей среды. Кроме того, 2024 г. готовится к принятию Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации» о создании единой всероссийской информационной системы. Однако в ближайшее время не следует ожидать качественного прорыва и решения проблемы дефицита информации о состоянии атмосферного воздуха, поскольку предоставляемые в информационную систему сведения будут опираться на существующую материально-техническую базу, в настоящее время задействованную в государственной мониторинговой сети наблюдений за состоянием окружающей среды. Информационная система позволит просто объединить в одном месте те данные, которые ранее публиковались уполномоченными ведомствами самостоятельно [4].

Таким образом, на данный момент отмечается дефицит достоверных количественных данных о состоянии атмосферного воздуха (в т.ч. о фоновых концентрациях поллютантов), получаемых государственной мониторинговой сетью РФ. На основании имеющейся информации можно прогнозировать следующие сценарии развития ситуации.

1. *Негативный сценарий.* Учитывая существующие бюджетные ограничения государство не сможет расширить и автоматизировать сеть мониторинга состояния атмосферного воздуха и выявления негативного воздействия на него. Отношение к проблеме недостаточного информационного обеспечения населения сведениями о качестве воздуха будет дифференцированным: приоритет будет отдаваться городам с наиболее сложной экологической ситуацией. Усиление протестных настроений со стороны населения бу-

дет сопровождаться ростом количества «народных сетей» мониторинга с непроверенными и низкокачественными данными. Существенно увеличится риск реализации сценария «около экологического» манипулирования общественным настроением в ходе осуществления хозяйственной деятельности.

2. *Положительный сценарий.* Объем финансирования для реализации задач мониторинга качества атмосферы вырастет, выбор используемых автоматизированных решений расширится с соответствующей доработкой нормативной базы. Значительно увеличится число постов государственной сети мониторинга. Увеличение количества данных и оперативности их получения позволит предоставлять в режиме реального времени пространственную картину состояния атмосферного воздуха не только в крупных городах, но и на остальной территории страны. Развитие системы мониторинга по такому сценарию делает возможным оперативное реагирование на инциденты, связанные с загрязнением атмосферы, даст возможность развития системной работы по улучшению качества окружающей среды. При всей позитивности данного сценария, в текущей экономической ситуации автор склонен считать его утопичным.

3. *Стабильный сценарий.* На фоне текущего уровня финансирования государственные органы в области охраны окружающей среды не смогут расширить и автоматизировать сеть мониторинга состояния атмосферного воздуха и выявления негативного воздействия на него в полном объеме. Дефицит данных, полученных при выполнении натуральных исследований, будет компенсироваться использованием методов математического моделирования с применением возможностей методов с машинным обучением, искусственного интеллекта. Сочетание расчетных методов, применение которых не требует больших материальных затрат, с данными, полученными на постах государственной мониторинговой сети, позволит получать достоверную пространственную информацию о состоянии атмосферного воздуха в режиме онлайн. Интерпретация пространственных данных с применением ресурсов геоинформационных систем и с учетом информации о физико-химических свойствах атмосферного воздуха, значимых источниках выбросов, особенностях поведения в атмосфере поллютантов, позволит представлять населению информацию о загрязнении атмосферы с привязкой к конкретной мест-

ности в наиболее удобном виде (онлайн-карты). Административно-управленческие решения будут приниматься с учетом скоординированной базы данных, содержащей кадастры выбросов, результаты государственного мониторинга качества воздуха и ее оценки в картографическом виде с применением математического моделирования. Примерами подобных зарубежных онлайн-баз данных (в т.ч. картографических), используемых в крупных городах Европы (например, Стокгольме, Осло, Париже, Вене, Берлине, Лиссабоне, Афинах), являются Swedish AirViro [22], AirWare [20], AirQUIS [13], EnviMan [21].

Объект исследования в представленной работе — химическое загрязнение атмосферного воздуха территориальных единиц различного масштаба. Цель — оценка возможностей математического моделирования при характеристике фоновых концентраций ЗВ в атмосферном воздухе при выполнении инженерно-экологических изысканий и проектировании. Для ее достижения были сформулированы следующие задачи:

- 1) оценка актуальности проблемы, связанной с получением и последующей публикацией данных о фоновых концентрациях ЗВ в атмосферном воздухе;
- 2) определение фоновых концентраций ЗВ для территории РФ в целом и отдельных регионов;
- 3) оценка репрезентативности данных о фоновых концентрациях поллютантов в атмосферном воздухе, полученных с применением методов математического моделирования.

Методика проведения исследования

Алгоритмы сбора, систематизации, расчета, математической обработки данных о состоянии атмосферного воздуха при оценке фоновых концентраций поллютантов на мезо- и мелкомасштабном уровне

При получении концентраций ЗВ с применением методов математического моделирования в общем случае используются данные об объемах выбросов стационарных источников (учет передвижных источников на данный момент затруднен в связи с отсутствием данных официальной статистики по указанному виду негативного воздействия) и о характере атмосферных процессов, влияющих на условия рассеяния. Информация об объемах выбросов и уровнях загрязнения (используемая в дальнейшем при верификации расчетных

значений) содержится в официальных источниках: серии ежегодников «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России» и ежегодных государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды РФ в целом и в регионах. Особенностью информации об уровнях загрязнения атмосферного воздуха, публикуемой в указанных источниках, является выборочный характер: информация, как правило, предоставляется по 20–40 городам, характеризующимся наибольшими уровнями загрязнения. Необходимо отметить, что объем и содержательность данных об уровнях загрязнения, представленных в региональных государственных докладах, в значительной мере отличаются для различных регионов и периодов времени. В связи с разным ингрдиентным составом загрязнений, наиболее репрезентативно при пространственном анализе больших по площади территорий, по мнению автора, использовать интегральный показатель в виде комплексного индекса загрязненности атмосферы (КИЗА). КИЗА определяется как сумма парциальных индексов, рассчитываемых как отношение среднегодовой концентрации ЗВ к его предельно допустимой концентрации (ПДК), приведенной к степени опасности диоксида серы. Значения КИЗА ранжируются в интервалах, содержащих количественные значения. Общее количество населенных пунктов, по которым за 2022 г. в официальных источниках представлена информация о состоянии атмосферного воздуха посредством показателя КИЗА на территории РФ, составило около 100. Таким образом, опираясь на результаты, публикуемые в официальных источниках, невозможен качественный пространственно-временной анализ уровней загрязнения. В то же время, данная информация может быть использована для верификации результатов математического моделирования процессов рассеяния примеси. Данные об условиях переноса примесей в атмосферном воздухе во многом определяются характером атмосферных процессов в пределах рассматриваемой территории. При определении среднегодовых фоновых концентраций ЗВ, для снижения влияния межгодовых флуктуаций метеорологических условий, целесообразно использовать климатические характеристики местности, отражающие особенности атмосферных процессов за длительный период времени. В связи с ограниченным числом метеостанций, которые

осуществляют сбор данных об условиях рассеяния, и наличием значительных территорий, не охваченных данными исследованиями, автором для получения недостающей информации был использован метод интерполяции [8].

Методика расчета рассеяния в атмосфере ЗВ, выделяемых стационарными источниками

В ходе данного исследования автором был проведен обзор математических моделей, используемых при оценке состояния атмосферного воздуха. Среди математических моделей, позволяющих провести оценку состояния атмосферы больших по площади территорий, можно выделить модель В.А. Петрухина и В.А. Вишенского [12]. Ее главными достоинствами являются упрощенный вид учета параметров источника, попытка оценить химическую активность примесей и учет метеопараметров переноса примеси в атмосфере. В свою очередь, аппроксимация учитываемых факторов позволяет учесть влияние выбросов на состояние атмосферного воздуха в заданной точке множества источников на расстоянии до 1000 км. Для территорий Удмуртской Республики и Республики Башкортостан, Приволжского и Уральского федеральных округов шаг расчетной сетки составил 10 км, для территории РФ в целом — 50 км. Опытным путем было определено, что удовлетворительная сходимость расчетных результатов с данными мониторинга получается при исключении участков, удаленных от учетных источников выбросов на расстояние до 5 км (соответствует концепции понятия «фоновые концентрации»).

Результаты и обсуждение

В результате расчета рассеяния выбросов от стационарных источников были получены значения концентраций на территории РФ для следующих поллютантов: оксиды азота, взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, летучие органические соединения, значения КИЗА. Картографическая визуализация полученных расчетным путем значений осуществлена в программе QGIS с использованием изолиний с послойной окраской (рис. 1).

В целом, анализируя полученный картографический материал, можно отметить, что большая часть территории РФ характеризуется благоприятным состоянием атмосферного воздуха (КИЗА менее 2,5). Наряду с этим можно выделить четыре крупных ареала загрязне-

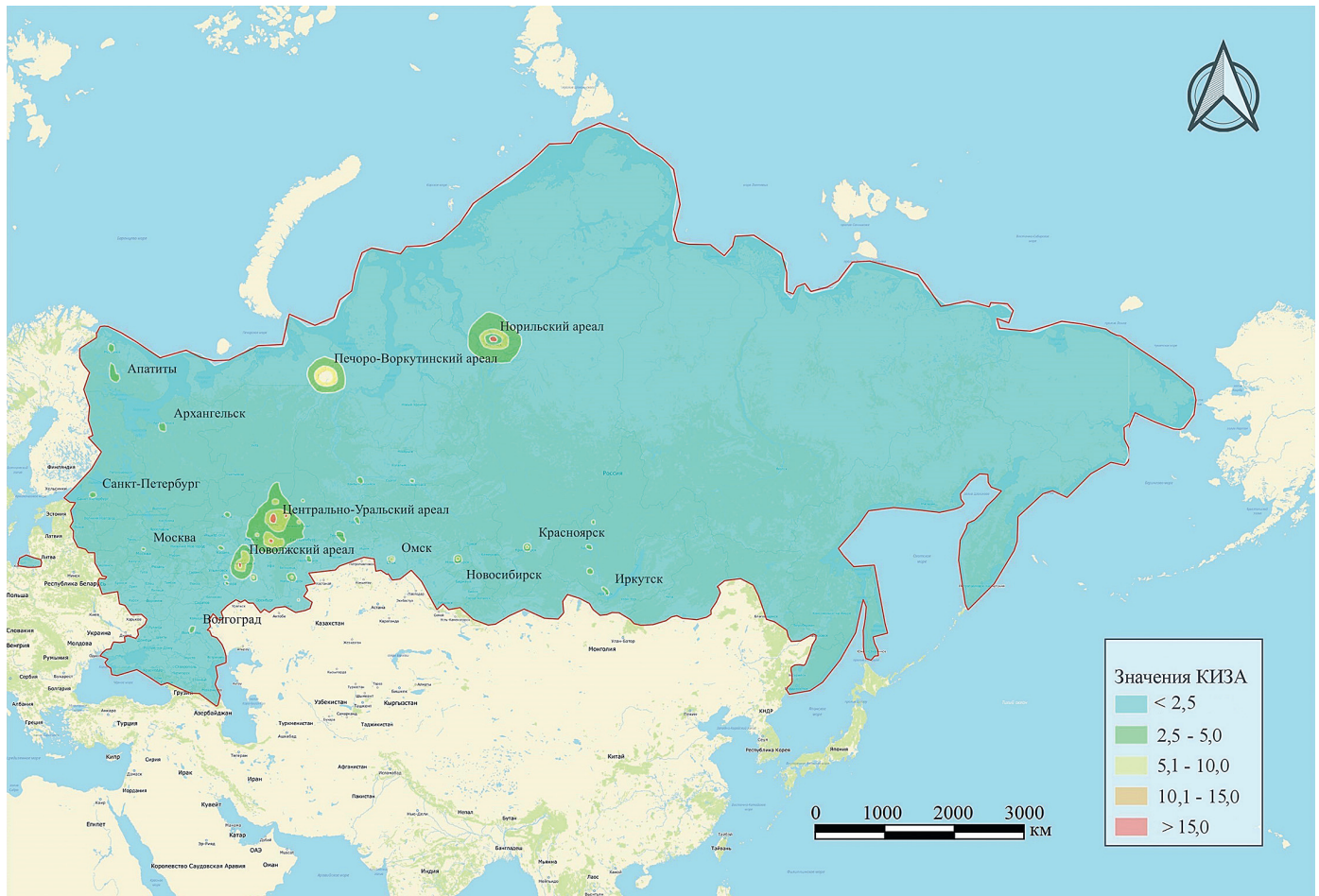


Рис. 1. Среднегодовые значения КИЗА на территории РФ, полученные с применением математического моделирования. Картографическая основа: 2GIS Map

Fig. 1. Average annual values of the complex index of atmospheric pollution in the territory of the Russian Federation, obtained using mathematical modeling. Base material: 2GIS Map

ния атмосферного воздуха: Норильский, Центрально-Уральский, Поволжский, Печоро-Воркутинский. Основной вклад в формирование высоких значений КИЗА Норильского ареала загрязнения приходится на высокие концентрации диоксида серы, связанного с функционированием крупного металлургического производства (ПАО «ГМК «Норильский никель»»). Наличие Печоро-Воркутинского ареала загрязнения атмосферы обусловлено взвешенными веществами, поступающими в атмосферный воздух в результате функционирования предприятий топливно-энергетической и добывающей отраслей. Высокие значения КИЗА в Центрально-Уральском ареале загрязнения связаны с высокими концентрациями в пределах указанной территории оксидов азота, диоксида серы и оксида углерода. Поволжский ареал загрязнения обусловлен высокими концентрациями в атмосферном воздухе летучих органических соединений, взвешенных веществ. Наряду с крупными ареалами загрязнения можно отметить локальное снижение качества атмосфер-

ного воздуха (площадью территорий до 10 тыс. км²) вблизи крупных городов (Новосибирск, Красноярск, Иркутск, Братск, Омск, Магнитогорск, Волгоград, Москва, Санкт-Петербург, Архангельск, Апатиты и т.д.).

В результате математического моделирования рассеяния выбросов от стационарных источников, несмотря на ожидания, не был выделен ареал повышенного загрязнения атмосферы вблизи крупного источника выбросов — г. Москвы. По мнению автора, в значительной степени на получившийся результат оказали влияние следующие факторы.

1. По данным официальной статистики, лишь приблизительно 20% (или 70 тыс. т) суммарных выбросов на территории г. Москвы приходится на их стационарные источники. Основной вклад в загрязнение вносят передвижные источники выбросов, не учтенные при реализации математической модели рассеяния выбросов в связи со спецификой сбора и предоставления исходной информации. В то же время, по данным многочисленных исследований,

дальность переноса ЗВ от наиболее значимого передвижного источника (автодороги) варьируется в диапазоне 100–200 м и достигает максимальных значений 400 м. Таким образом, ведущая роль в формировании фоновых концентраций ЗВ вне населенных пунктов приходится на нагретые выбросы от высоких источников, способные к переносу на значительные расстояния.

2. Пространственный, временной и количественный анализ данных официальной статистики об объемах выбросов ЗВ показал необходимость верификации получаемых значений с использованием других источников информации. Так, в ходе выполнения автором проектных работ по определению расчета нормативов допустимых выбросов (лежащих в основе отчетности по форме 2-ТП и интегрируемых в дальнейшем в официальные статистические данные об объемах выбросов от различных территориальных единиц) для крупнейшего (но не единственного) предприятия г. Москвы были получены значения валовых годовых выбросов 54 тыс. т. По-

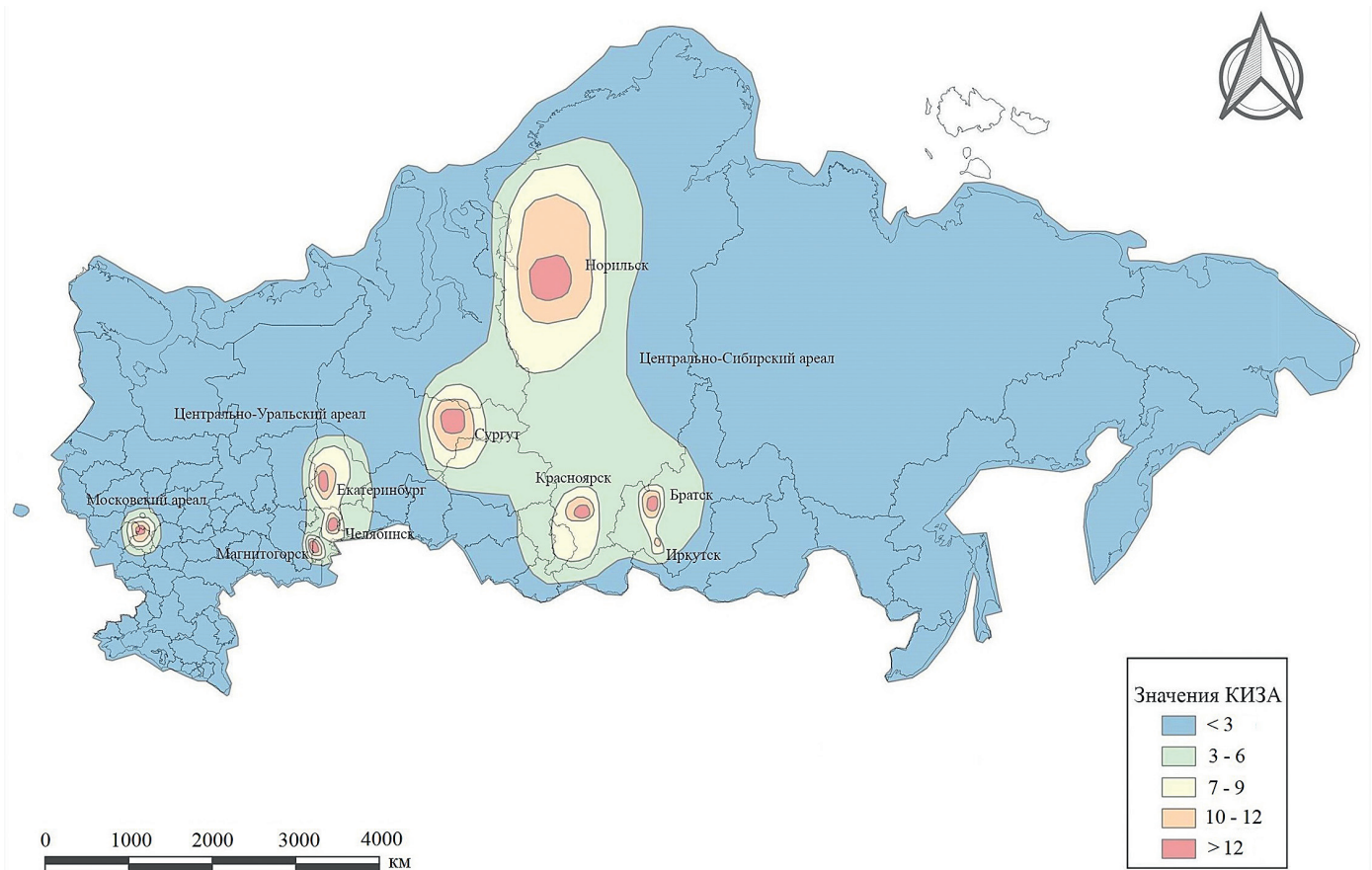


Рис. 2. Среднегодовые значения КИЗА на территории РФ, полученные по данным государственной мониторинговой сети. Картографическая основа: 2GIS Map

Fig. 2. Average annual values of the complex index of atmospheric pollution in the territory of the Russian Federation, obtained according to the data of the state monitoring network. Base material: 2GIS Map

лученные значения заставляют задуматься о возможных случаях занижения данных официальной статистики в связи с неполным учетом всех источников стационарных выбросов.

Для статистического подтверждения достоверности полученных результатов был использован критерий χ^2 и определен ранговый коэффициент корреляции [6]. Для верификации расчетных значений КИЗА использовались данные об уровне загрязнения атмосферы в населенных пунктах, полученные в ходе государственного мониторинга. Необходимо отметить следующую специфическую особенность используемой выборки данных — поскольку в ежегодниках публикуются сведения о состоянии атмосферы в городах с наиболее сложной в этом отношении ситуацией («30 самых грязных городов России»), а государственная сеть мониторинга традиционно располагается в крупнейших городах и вблизи крупных предприятий-загрязнителей, то сформированный реестр будет характеризовать уровень загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах с наивысшими значениями этого показателя и не будет от-

ражать фоновое состояние атмосферы на окружающей территории. В связи с этим сходимость результатов натурных и расчетных значений КИЗА возможно определить только по зафиксированному предельным (максимальным) значениям уровня загрязнения атмосферы. При степени свободы 52 критерий χ^2 , полученный расчетным путем, превышал его критический уровень, что свидетельствует о достоверности полученных результатов. В свою очередь, коэффициент ранговой корреляции Спирмена R_s получился равным 0,501, что свидетельствует о средней тесноте связи. Такой показатель превышал критическое значение коэффициента ранговой корреляции при степени надежности 0,999, и данная связь характеризовалась как высокая значимая корреляция.

Анализ результатов показал, что значения КИЗА (определенного на основании расчетных фоновых концентраций ЗВ) в значительной части случаев совпадали с данными мониторинга: 50% (26 из 52) характеризовались расхождением количественных значений КИЗА в пределах 1. Для 48% (25 из 52) населенных пунктов расчетные значе-

ния КИЗА были ниже на 5. Расхождения в значениях связаны как с присутствием в атмосферном воздухе ряда специфических загрязнителей, учитываемых при выполнении государственного мониторинга (например, аммиак, серная кислота, этилбензол, сероводород в г. Медногорске), так и с относительно часто формируемыми в пределах конкретных территорий неблагоприятными метеорологическими условиями, которые не учитываются в расчетной математической модели.

Для г. Перми расчетные значения КИЗА оказались выше, чем по данным натурных измерений, на 7,4. Высокие расчетные значения показателя КИЗА вблизи г. Перми связаны, главным образом, с особенностями аппроксимации процессов переноса примеси в используемой модели, не учитывающей влияние на интенсивность трансграничного переноса условий поступления в атмосферу ЗВ: наземный (высота выброса до 2 м, в соответствии с руководящим документом «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»), низкий (от 2 до 10 м включительно), средний (от 11 до 50 м

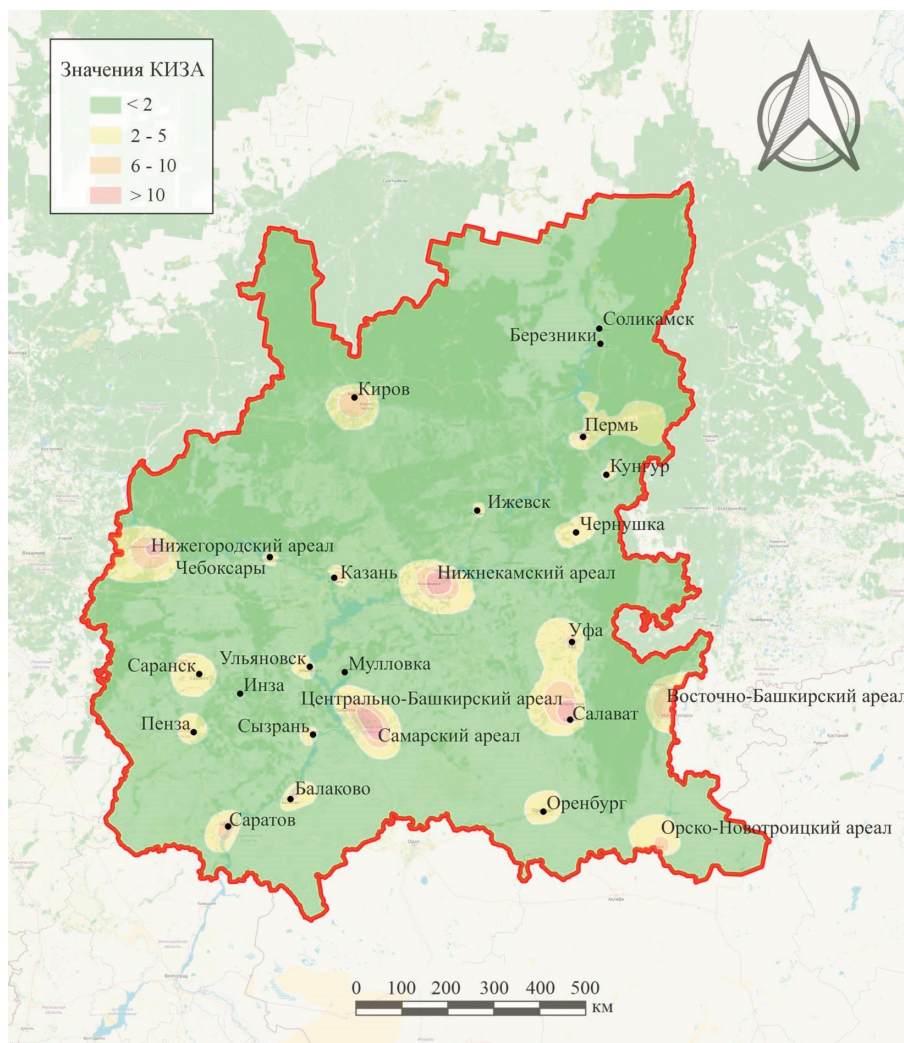


Рис. 3. Среднегодовые значения КИЗА на территории Приволжского Федерального округа, сформированные выбросами от стационарных источников. Картографическая основа: OSM Standart

Fig. 3. Average annual values of the complex index of atmospheric pollution in the territory of the Volga Federal District, formed by emissions from stationary sources. Base material: OSM Standart

включительно) или высокий источник (более 51 м). Также имеет значение температура выброса. Так, температура выброса холодных источников в значительной степени не отличается от температуры внешней среды, в связи с чем данные выбросы не характеризуются вертикальным подъемом, в то время как нагретые выбросы благодаря большому значению вертикального градиента поднимаются на большую высоту и переносятся на значительные расстояния [3] и т.д.

В ходе верификации полученных расчетных значений с применением метода математической интерполяции была получена карта фоновых концентраций основных загрязнителей и КИЗА по данным государственного мониторинга и Временных рекомендаций (рис. 2).

Визуальный анализ рис. 2 позволил выделить на территории РФ ряд ареалов повышенного загрязнения атмосферного воздуха: Московский, Центрально-Уральский, Центрально-Сибир-

ский. Центры указанных ареалов в общем случае совпадали с центрами ареалов загрязнения, полученных расчетным путем (исключение составил Московский ареал загрязнения). Сравнительный анализ рис. 1, 2 показал в целом сходимость по показателю КИЗА в крайних значениях. В то же время ареалы повышенного загрязнения атмосферного воздуха, полученные в ходе математической интерполяции данных инструментальных измерений, характеризовались более размытыми контурами и значительными размерами, что связано с высокой степенью осреднения и довольно ограниченным количеством исходных точек для интерполяции. Так, при проведении математического моделирования (см. рис. 1) расчет уровня загрязнения осуществлялся для 40 тыс. контрольных точек, а при создании карты фоновых значений КИЗА по данным инструментальных измерений (с применением математико-стати-

стических методов аппроксимации) (см. рис. 2) — чуть менее 1 тыс.

Расчетным путем были получены значения концентраций ЗВ и КИЗА для территории Приволжского и Уральского федеральных округов (рис. 3, 4).

Проведение расчета рассеяния выбросов от стационарных источников для территорий более крупного масштаба позволяет визуализировать ареалы загрязнения, не отраженные в более мелком масштабе в результате генерализации. На основании анализа полученного картографического материала на территории Приволжского и Уральского федеральных округов были выделены некоторые ареалы загрязнений, приуроченные к крупным промышленным центрам (Восточно-Башкирский, Центрально-Башкирский, Самарский, Нижегородский, Нижнекамский, Орско-Новотроицкий, Южно-Уральский, вблизи крупных промышленных городов). Кроме указанных ареалов загрязнения,

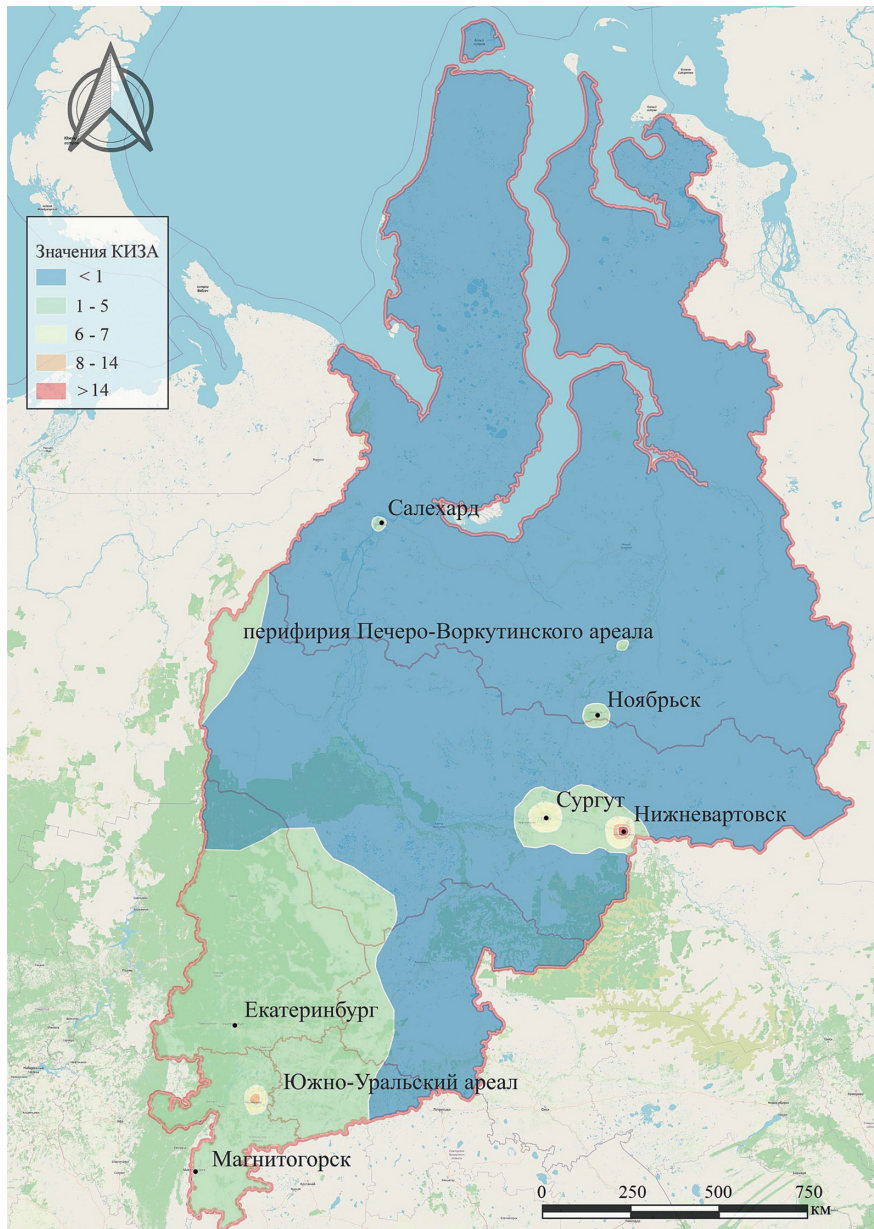


Рис. 4. Среднегодовые значения КИЗА на территории Уральского Федерального округа, сформированные выбросами от стационарных источников. Картографическая основа: 2GIS Map

Fig. 4. Average annual values of the complex index of atmospheric pollution in the territory of the Ural Federal District, formed by emissions from stationary sources. Base material: 2GIS Map

формирующихся стационарными источниками выбросов, которые расположены в пределах указанных территорий, в восточной части Уральского Федерального округа отмечается незначительное повышение уровня загрязнения в связи с поступлением в атмосферный воздух загрязнителей от нестационарных источников выбросов (западная периферия Печеро-Воркутинского ареала загрязнения). Значения КИЗА в центральной части данных ареалов превышали 10. Загрязнение атмосферы в пределах указанных территорий формировалось в результате присутствия в атмосферном воздухе загрязнителей в концентрациях, в пять раз превышающих предельно допустимые значения, и было связано с

функционированием предприятий металлургического сектора, нефтедобычи и нефтепереработки.

Верификация созданного картографического материала на основании сравнения расчетных значений и значений КИЗА, полученных при проведении государственного мониторинга, показала высокую корреляцию (при степени свободы 39 χ^2 , вычисленный расчетным путем, превышает χ^2 -критический (0,999), коэффициент ранговой корреляции Спирмена R_s получился равным 0,442). Для 64% (25 из 39) населенных пунктов значения КИЗА характеризовались расхождением в пределах 1. Для 31% (12 из 39) населенных пунктов расхождение значений КИЗА составляли менее 5. При-

мерами таких городов являются Инза, Соликамск, Березники, Ижевск. Расхождения значений КИЗА более 5 были зафиксированы для городов Салават и Мулловка. Необходимо отметить, что для большей части городов данной группы (8 из 14) расчетные значения КИЗА ниже значений, полученных при ведении мониторинга состояния атмосферы. Вероятнее всего, это связано с особенностью математической модели, учитывающей вклад в загрязнение только наиболее распространенных ЗВ, в то время как на фактическое загрязнение атмосферы, помимо основных загрязнителей, оказывают влияние специфические примеси (например, формальдегид в г. Ижевске; фенол, серово-

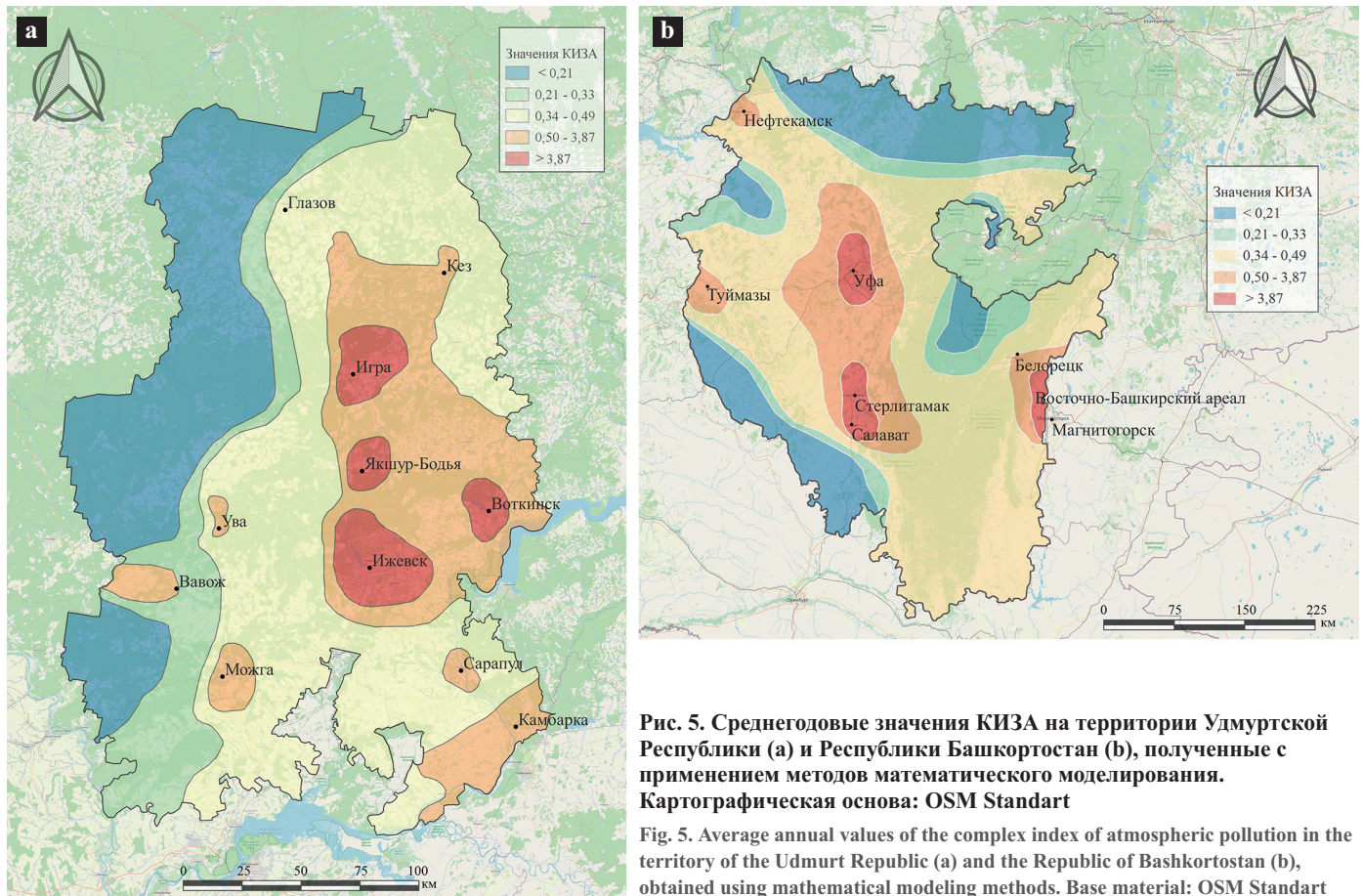


Рис. 5. Среднегодовые значения КИЗА на территории Удмуртской Республики (а) и Республики Башкортостан (б), полученные с применением методов математического моделирования. Картографическая основа: OSM Standart

Fig. 5. Average annual values of the complex index of atmospheric pollution in the territory of the Udmurt Republic (a) and the Republic of Bashkortostan (b), obtained using mathematical modeling methods. Base material: OSM Standart

дород, аммиак в городах Соликамске и Березниках).

Анализируя результаты статистической верификации расчетных значений, полученных как для территории РФ в целом, так и для Приволжского и Уральского федеральных округов, можно отметить рост сходимости результатов с данными государственного мониторинга при укрупнении масштаба, что связано как с исключением из выборки населенных пунктов Восточной Сибири (высокий уровень загрязнения которых связан, главным образом, с присутствием в атмосфере специфических, неучтенных в математической модели примесей и частой повторяемостью неблагоприятных метеорологических условий, в т.ч. связанной с орографическими особенностями территории), так и со снижением погрешностей получаемых данных в результате уменьшения степени генерализации.

В результате математического моделирования процессов рассеяния выбросов от стационарных источников были получены значения концентраций основных загрязнителей и КИЗА для территории Удмуртской Республики и Республики Башкортостан (рис. 5).

Анализ данных картографической визуализации результатов математического моделирования для территории

Удмуртской Республики (см. рис. 5, а) позволил выделить следующие ареалы повышенных значений КИЗА (более 3): Игринский, Якшур-Бодьинский, Завьяловский, Воткинский. Основной вклад в загрязнение указанных районов вносят оксиды углерода и углеводороды (предельные углеводороды и летучие органические соединения), поступающие в атмосферный воздух в результате функционирования нефтедобывающих и газотранспортных предприятий. Необходимо отметить, что при расчете средних значений концентраций ЗВ учитывались также метеорологические условия территории и наличие источников, расположенных соседних регионах. Так, например, повышение значений КИЗА (до 2) в южной части Удмуртской Республики (в пределах Граховского и Алнашского районов, в пределах которых преимущественно развито сельское хозяйство с малыми суммарными объемами выбросов) связано с переносом загрязнителей от промышленного узла «Нижекамск — Набережные Челны» Республики Татарстан. Западные, малозаселенные в промышленном отношении районы имеют более низкие значения КИЗА (менее 1). Низкие уровни загрязнения атмосферного воздуха связаны с отсутствием как значимых выбросов в пределах указанных территорий,

так и переноса ЗВ с территорий соседних регионов. Статистическая верификация полученных данных невозможна в связи с тем, что исследования состояния атмосферного воздуха в ходе функционирования государственной мониторинговой сети проводятся только в пределах одного города в Удмуртской Республике — Ижевске. Согласно данным официальных источников [2], значение КИЗА в 2022 г. составило 10. В то же время ведущими загрязнителями в г. Ижевске стали не учитываемые в математической модели специфические загрязнители, такие как формальдегид (среднегодовая концентрация составила 4,5 ПДК) и бенз(а)пирен (среднегодовая концентрация составила 1,3 ПДК).

Высокой степенью сходимости отличалась полученная расчетным путем карта значений КИЗА Республики Башкортостан (см. рис. 5, б). В пределах указанной территории были выделены следующие ареалы с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха: Стерлитамакско-Салаватский, Уфимский, Восточно-Башкирский. Последний ареал формируется как в связи с выбросами на территории Республики Башкортостан (г. Белорецк), так и в связи с выбросами на соседней территории предприятия в г. Магнитогорск. Расчетные значения КИЗА для четырех населенных


пунктов (Уфа, Салават, Стерлитамак, Туймазы), в которых осуществляется государственный мониторинг состояния атмосферного воздуха, имели расхождение с фактическими в пределах 1.

Выводы

В представленной работе был осуществлен расчет рассеяния выбросов ЗВ от крупнейших источников для территории РФ в целом, Приволжского и Уральского федеральных округов, Удмуртской Республики и Республики Башкортостан. Были получены расчетные фоновые концентрации наиболее распространенных поллютантов и значения КИЗА. Данные результаты были сопоставлены со значениями концентраций, получаемых в ходе государственного мониторинга состояния атмосферного воздуха. Оценка достоверности результатов осуществлялась с применением математико-статистического и картографического методов. Несмотря на некоторые имеющиеся несоответствия расчетных значений КИЗА с данными государственного мониторинга,

можно отметить достаточно высокую сходимость результатов.

Высокая сходимость полученного картографического материала (согласно верификации с применением математико-статистических, картографических методов и визуального анализа), наряду с высокой стоимостью выполнения инструментальных измерений, объясняют необходимость применения математических и математико-статистических методов при оценке атмосферного фона вне крупных населенных пунктов, охваченных регулярными наблюдениями государственной сети мониторинга. Опираясь на предположение о приоритетности вклада выбросов высоких стационарных источников в формирование фоновых концентраций основных ЗВ вне населенных пунктов, вполне допустимым представляется использование при определении долгопериодного атмосферного фона математической модели расчета рассеяния выбросов от стационарных источников по слою перемешивания. Использование математической модели при определении концентраций вне охваченных

натурными исследованиями населенных пунктов позволяет наряду с применением метода интерполяции (используемым и при определении концентраций традиционным путем, согласно Временным рекомендациям), учитывать такие параметры как, климатические условия рассеяния, химическую активность примеси. Исходя из опыта деятельности автора по экологическому проектированию, для территорий, расположенных на значительном удалении от населенных пунктов, на данный момент принимаются нулевые значения фоновых концентраций. Учет условий рассеяния в математической модели В.А. Петрухина и В.А. Вишенского позволит получить более точные (и отличные от нуля) значения концентраций поллютантов, а сама модель за счет своей относительной простоты не будет иметь технических ограничений в использовании. В свою очередь, для повышения качества оценки достоверности расчетных результатов необходимо проведение натурных исследований на территориях вне населенных пунктов и обоснование полученных результатов. 

Список литературы

1. Аббасова Е.В., Ерохина Е.В., 2019. Право на достоверную информацию о состоянии окружающей среды. Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области, № 4(23), Том 1, с. 3–8.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Удмуртской Республики в 2022 году», 2023. Изд-во Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской Республики, АУ «Управление охраны окружающей среды и природопользования Минприроды Удмуртской Республики», Ижевск.
3. Гурова О.С., 2013. Основные принципы классификации источников загрязнения воздушной среды городских территорий Южного Федерального округа. Интернет-журнал Науковедение, № 5, URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11trgsu513.pdf> (дата обращения: 15.08.2023).
4. Гурьянов С., 2021. Народный контроль: как узнать о состоянии экологии. URL: <https://iz.ru/1267661/sergei-gurianov/narodnyi-kontrol-kak-uznat-o-sostoianii-ekologii> (дата обращения: 21.08.2023).
5. Жуков В., 2015. Экологический шантаж: кому он выгоден? URL: <https://interaffairs.ru/news/show/12922> (дата обращения: 14.08.2023).
6. Иванов В.А., Парамонов С.Г., Позднякова Е.А., 2023. Тренды концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе фоновых районов. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества, Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва, 2023, с. 117–121.
7. Кузнецов А., 2018. Борьба за здоровье, экологический шантаж или нечестная конкуренция. URL: <https://www.kp.ru/daily/26909/3955325> (дата обращения: 14.08.2023).
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Часть 1–6. Вып. 12. Гидрометеоздат, Ленинград.
9. Осокин Р.В., 2008. Политическое манипулирование в сфере экологической безопасности в современной России. Дис. ... канд. полит. наук, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов.
10. Штриплинг Л.О., Баженов В.В., 2014. Автоматизированная система мониторинга выбросов предприятий нефтеперерабатывающего профиля. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, № 7, с. 5–10.
11. Юдинцев И.Д., 2022. Экологическая повестка как инструмент политического манипулирования в условиях гибридных войн. Политконсультант, Том 2, № 2, ID 01PK222.
12. Petrukhin V.A., Vishensky V.A., 1989. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements. Changing composition of the troposphere, Extended abstracts of papers at the WMO technical Conference on the monitoring and assessment of changing composition of the troposphere, Sofia, Bulgaria, 1989, pp. 83–86.

13. Slordal L.H., McInnes H., Krognes T., 2007. The air quality management system AirQUIS. Information technologies in environmental engineering, Proceedings of the 3rd International ICSC Symposium, Oldenburg, Germany, 2006, pp. 21–33, https://doi.org/10.1007/978-3-540-71335-7_6.
14. Научно-практический портал «Экология производства», 2005. Экологи края обеспокоены загрязнением воздуха в Красноярске. URL: <https://www.ecoindustry.ru/news/view/4741.html> (дата обращения: 14.08.2023).
15. Онлайн-панель качества атмосферного воздуха в Российских городах «Эковизор», 2023. URL: <http://online.russiagreens.ru> (дата обращения: 14.08.2023).
16. Официальный сайт ООО «Р-НОКС», 2023. URL: <https://r-nox.ru/> (дата обращения: 14.08.2023).
17. Официальный сайт «Роскачество. Портал для умного покупателя», 2019. Greenwashing: как распознать псевдоэкологичные товары. URL: <https://rskrf.ru/tips/rassledovaniya/greenwashing-kak-raspoznat-psevdoekologichnye-tovary/> (дата обращения: 14.08.2023).
18. Официальный сайт Русского географического общества (РГО), 2023. Гринвошинг, или неужели вы платите за экологичность. URL: <https://www.rgo.ru/ru/article/grinvoshing-ili-neuzheli-vy-platite-za-ekologichnost> (дата обращения: 14.08.2023).
19. Онлайн-карта BreezoMeter, 2023. URL: <https://www.breezometer.com/air-quality-map/ru/air-quality/united-states/new-york> (дата обращения: 14.08.2023).
20. Официальный сайт Illuminet Sciences, Inc., 2023. The history of AirWare. URL: <http://airware.org/aboutus.asp> (дата обращения: 14.08.2023).
21. Официальный сайт OPSIS AB, 2023. Cloud services. URL: <https://www.opsis.se/en/services/cloud-services/> (дата обращения: 14.08.2023).
22. Портал AirViro, 2023. URL: <https://www.airviro.com/airviro/> (дата обращения: 14.08.2023).

References

1. Abbasova E.V., Erokhina E.V., 2019. Right to the reliable information on the condition of the environment. Vestnik Soveta Molodykh Uchenykh i Spetsialistov Chelyabinskoy Oblasti, No. 4(23), Vol. 1, pp. 3–8. (in Russian)
2. State report “On the state and protection of the environment of the Udmurt Republic in 2022”, 2023. Publishing house of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Udmurt Republic, Autonomous Institution “Department of Environmental Protection and Nature Management of the Ministry of Natural Resources of the Udmurt Republic”, Izhevsk. (in Russian)
3. Gurova O.S., 2013. Basic principles of classification of sources of air pollution in urban areas of the Southern Federal District. Internet-zhurnal Naukovedenie, No. 5, URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11trgsu513.pdf> (accessed: 15 August 2023). (in Russian)
4. Guryanov S., 2021. Public control: how to find out about the state of the environment. URL: <https://iz.ru/1267661/sergei-gurianov/narodnyi-kontrol-kak-uznat-o-sostoianii-ekologii> (accessed: 21 August 2023). (in Russian)
5. Zhukov V., 2015. Environmental blackmail: who benefits from it? URL: <https://interaffairs.ru/news/show/12922> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
6. Ivanov V.A., Paramonov S.G., Pozdnyakova E.A., 2023. Trends in concentrations of pollutants in the atmospheric air of background areas. Monitoring the state and pollution of the environment: surface climate, pollutants and climate-active substances, Materials of the III All-Russian scientific Conference with International participation, Moscow, 2023, pp. 117–121. (in Russian)
7. Kuznetsov A., 2018. The fight for health, environmental blackmail or unfair competition. URL: <https://www.kp.ru/daily/26909/3955325> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
8. Scientific and Applied Handbook on the Climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Part 1–6. Issue 12. Gidrometeoizdat, Leningrad. (in Russian)
9. Osokin R.V., 2008. Political manipulation in the sphere of environmental safety in modern Russia. PhD Thesis, Saratov State University, Saratov. (in Russian)
10. Shtripling L.O., Bazhenov V.V., 2014. Automated system of emissions monitoring of oil refining profile enterprises. Environmental Protection in Oil and Gas Complex, No. 7, pp. 5–10. (in Russian)
11. Yudinsev I.D., 2022. Environmental agenda as a tool of political manipulation in the context of hybrid wars. Political Science and Technology, Vol. 2, No. 2, ID 01PK222. (in Russian)
12. Petrukhin V.A., Vishensky V.A., 1989. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements. Changing composition of the troposphere, Extended abstracts of papers at the WMO technical Conference on the monitoring and assessment of changing composition of the troposphere, Sofia, Bulgaria, 1989, pp. 83–86.
13. Slordal L.H., McInnes H., Krognes T., 2007. The air quality management system AirQUIS. Information technologies in environmental engineering, Proceedings of the 3rd International ICSC Symposium, Oldenburg, Germany, 2006, pp. 21–33, https://doi.org/10.1007/978-3-540-71335-7_6.
14. Scientific and practical portal “Ecology of production”, 2005. Ecologists of the region are concerned about air pollution in Krasnoyarsk. URL: <https://www.ecoindustry.ru/news/view/4741.html> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)

15. On-line panel of air quality in Russian cities “Ecovisor”, 2023. URL: <http://online.russiangureens.ru> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
16. The official site of the R-NOX LLC, 2023. URL: <https://r-nox.ru/> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
17. The official site of the “Roskachestvo. Portal for the smart buyer”, 2019. Greenwashing: how to recognize pseudo-eco-friendly products. URL: <https://rskrf.ru/tips/rassledovaniya/greenwashing-kak-raspoznat-psevdoekologichnye-tovary/> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
18. The official site of the Russian Geographical Society (RGS), 2023. Greenwashing, or are you really paying for environmental friendliness. URL: <https://www.rgo.ru/ru/article/grinvoshing-ili-neuzheli-vy-platite-za-ekologichnost> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
19. Online map BreezoMeter, 2023. URL: <https://www.breezometer.com/air-quality-map/ru/air-quality/united-states/new-york> (accessed: 14 August 2023). (in Russian)
20. The official site of the Illuminet Sciences, Inc., 2023. The history of AirWare. URL: <http://airware.org/aboutus.asp> (accessed: 14 August 2023).
21. The official site of the OPSIS AB, 2023. Cloud services. URL: <https://www.opsis.se/en/services/cloud-services/> (accessed: 14 August 2023).
22. Portal AirViro, 2023. URL: <https://www.airviro.com/airviro/> (accessed: 14 August 2023).

Информация об авторе

СЕМАКИНА АЛСУ ВАЛЕРЬЕВНА

Доцент кафедры экологии и природопользования Института естественных наук Удмуртского государственного университета, к.г.н., г. Ижевск, Россия

Information about the author

ALSU V. SEMAKINA

PhD (Geography); Associate Professor in the Department of Ecology and Environmental Management, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University; Izhevsk, Russia

Источник: https://avatars.mds.yandex.net/i?id=2c09defc6b507d67e4cbd0bc93c6fa89_1-8484366-images-thumbs&n=13

