

Научная статья

УДК 504.3.054

doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-145-159

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Алсу Валерьевна Семакина

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

alsen13@list.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы, связанные с сбором, анализом и картографической интерпретацией данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха на территории РФ. В рамках данного исследования проведен пространственный анализ изменчивости структуры выбросов на территории РФ. Автором с применением методов математического моделирования и web-картографирования были получены карты объемов эмиссии поллютантов, типов выбросов, концентраций «основных» загрязняющих веществ и комплексного индекса загрязнения атмосферы на территории РФ. Покомпонентный анализ структуры выбросов по регионам РФ позволил выделить следующие типы структур выбросов: топливно-энергетический, металлургический, нефтедобывающий, газотранспортный, полиотраслевой (в т.ч. с высоким и низким промышленным потенциалом). Технологический подход, используемый в данной классификации, позволяет определить приоритетные источники-загрязнители (предприятия, отрасли), ответственные за формирование того или иного уровня загрязнения в пределах субъекта РФ. Для пространственного анализа уровня загрязнения был осуществлен расчёт концентраций основных поллютантов и комплексного. Анализируя полученный картографический материал, можно выделить 4 крупных ареала загрязнения атмосферного воздуха: Норильский, Центрально-Уральский, Поволжский, Печоро-Воркутинский. Наряду с крупными ареалами загрязнения можно отметить локальное снижение качества атмосферного воздуха вблизи крупных городов. Полученный картографический материал представлен на геопортале «Комфортная среда» (komfortsreda.udsu.ru) в разделе «Россия». Размещение на геопортале «Комфортная среда» картографического материала может представлять интерес для населения как с профессиональной точки зрения (экологи, застройщики и др.), так и с позиции личной заинтересованности в выборе наиболее благополучных в экологическом отношении территорий проживания.

Ключевые слова: атмосферный воздух, выбросы поллютантов, уровень загрязнения атмосферы, РФ

Для цитирования: Семакина А.В. Картографирование загрязнения атмосферного воздуха на территории Российской Федерации // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 4 (71). С. 145–159. doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-145-159

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-145-159

MAPPING OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Alsu V. Semakina

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

alsen13@list.ru

Abstract. The paper deals with issues related to the collection, analysis, and cartographic interpretation of data characterizing the state of atmospheric air in the territory of the Russian Federation. As part of the study, a spatial analysis of the variability of the emissions structure was carried out. Using mathematical modeling and web mapping methods, the author obtained maps of pollutant emissions, types of emissions, concentrations of ‘main’ pollutants, and a complex index of atmospheric pollution. A component-by-component analysis of the emissions structure by regions of the Russian Federation identified the following types of the structure: fuel-and-energy, metallurgical, oil production, gas transportation, and multi-industry type (with the latter represented by two types – with high and low industrial potential). The technological approach used in this classification makes it possible to identify priority sources of pollutants (enterprises, industries) responsible for the formation of a particular level of pollution within a particular entity of the Russian Federation. For the spatial analysis of the pollution level, the concentrations of the main pollutants were calculated and, by comprehensively analyzing the obtained cartographic material, 4 large areas of atmospheric air pollution were identified: Norilsk, Central Ural, Volga, Pechora-Vorkuta. Along with these, a local decrease in the quality of atmospheric air near large cities can be noted. The resulting cartographic material is presented on the Comfortable Environment geportal (komfortsreda.udsu.ru) in the ‘Russia’ section. It may be of interest to the population both from a professional point of view (this concerning environmentalists, developers, etc.) and from a position of personal interest in choosing the most environmentally friendly areas of residence.

Keywords: atmospheric air, emissions of pollutants, air pollution level, Russian Federation

For citation: Semakina, A.V. (2024). Mapping of atmospheric air pollution in the territory of the Russian Federation. *Geographical Bulletin*. No. 4(71). Pp. 145–159. doi: 10.17072/2079-7877-2024-4-145-159



Введение

Потребность в репрезентативной, корректной и своевременной информации о состоянии окружающей среды связана с формированием на современном этапе развития общества понимания значимости роли данного фактора в экономическом и политическом развитии страны. Среди всех компонентов окружающей среды атмосферный воздух характеризуется наибольшей динамичностью и одновременно с этим оказывает значительное воздействие на состояние здоровья населения. При этом картографическая визуализация данных о состоянии окружающей среды является самым корректным способом отражения пространственной информации, а карта – самым доступным каналом такого рода информации.

Многообразие источников информации о состоянии атмосферного воздуха, ее видов, подходов к сбору и картографическому представлению, а также наличие высокого спроса на подобного рода информацию приводят к накоплению разнообразных по степени репрезентативности картографических материалов, отражающих состояние атмосферного воздуха. Релевантность используемой информации и подхода к ее картографической визуализации напрямую влияет на качество предоставляемой информации и на эффективность административно-управленческих решений, принимаемых на базе данного рода информации.

На данный момент дефицит объективной количественной информации о состоянии атмосферного воздуха по данным государственного мониторинга в РФ, с одной стороны, и формирование общественного понимания степени влияния факторов окружающей среды (в т.ч. состояния атмосферного воздуха) на здоровье населения [1, 24], с другой стороны, приводят к появлению общественных и коммерческих сервисов и ресурсов предоставления информации о состоянии атмосферного воздуха, содержащих данные, которые не всегда отвечают требованиям репрезентативности. Дефицит данных о состоянии окружающей среды, нерепрезентативность используемых исходных данных о состоянии атмосферы, полученных в ходе общественного мониторинга, или некорректность их интерпретации могут быть использованы как инструмент политического или социального манипулирования [25, 36]. Прикрытие «экологическими» лозунгами особых интересов локальных групп может осуществляться для лоббирования экономических, технологических, социальных решений, не связанных с охраной окружающей среды и здоровья населения. В некоторых случаях возможно применение «экологического шантажа» [16, 51]. При этом достаточно широко распространен опыт использования приемов «гринвошинга» (дословно «зеленого отмывания») предприятиями с целью введения потребителей (населения) в заблуждение относительно экологичности производства, продукции или услуги [27, 28]. Таким образом, остро стоит вопрос формирования репрезентативного картографического материала, отражающего достоверную в пространственно-временном отношении картину состояния атмосферного воздуха на территории РФ.

Объектом исследования является химическое загрязнение атмосферного воздуха РФ. Предмет исследования – совокупность подходов к оценке и картографической интерпретации данных о состоянии атмосферного воздуха. Целью данного исследования является картографирование состояния атмосферного воздуха на территории РФ. Для достижения поставленной цели был сформулирован ряд задач:

1. Анализ и выбор источника информации, используемого для картографирования атмосферных проблем на территории РФ;
2. Анализ и выбор комплекса показателей, отражающих уровень загрязнения атмосферы на территории РФ;
3. Определение способов картографического изображения атмосферных проблем на территории РФ;
4. Картографирование загрязнения атмосферного воздуха на территории РФ и анализ полученных результатов.

Материалы и методы исследования

Получение исходной информации о состоянии атмосферного воздуха

В связи с высокой динамичностью атмосферы, использование ранее проведенных исследований, касающихся состояния атмосферного воздуха, в качестве источника информации оправдано лишь в части ретроспективной оценки динамики показателей. Опираясь на классификационный подход, основанный на научных методах и технических приемах получения информации, источники информации о состоянии атмосферного воздуха можно группировать по следующим категориям:

1. Мониторинг концентраций ЗВ и факторов рассеяния;
2. Статистические данные об объемах эмиссии загрязняющих веществ;
3. Методы дистанционного зондирования Земли;
4. Методы математического моделирования;
5. Натурные исследования других природных сред, косвенно характеризующих состояние атмосферного воздуха.

В рамках данного исследования характеристика состояния атмосферного воздуха РФ осуществлялась на основании следующих источников информации:

- мониторинг концентраций ЗВ и факторов рассеяния, проводимый в рамках государственной сети мониторинга;
- статистические данные об объемах выбросов, собираемые и систематизируемые в рамках реализации ведомственных функций Минприроды и Росприроднадзора;
- методы математического моделирования.

Экология и природопользование

Семакина А.В.

Мониторинг концентраций ЗВ в атмосферном воздухе в РФ на государственном уровне опирается на сложившуюся в рамках метеорологических исследований относительно редкую сеть постов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В настоящее время отмечается недостаточная степень обеспеченности территории РФ пунктами мониторинга качества атмосферного воздуха. Так, согласно Приказу Минприроды России от 30.07.2020 N 524 [26], на 2020 г. в 1115 российских городах должно функционировать не менее 1843 пунктов мониторинга качества атмосферного воздуха. Согласно отчету Росгидромета за 2021 г., их количество составляет всего 692 шт., или 37,5 % от минимальной нормативной потребности. В 2022 г. отметилась тенденция лишь к уменьшению количества постов. При этом в 8 субъектах РФ (республики Адыгея, Алтай, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Калмыкия, Марий Эл и Чеченская, Ненецкий автономный округ) полностью отсутствуют посты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха. Таким образом, мониторинг состояния атмосферного воздуха осуществляется в 20 % городов России. Мониторинг состояния атмосферы вне населенных пунктов практически не проводится. В рамках данного исследования в связи с недостаточностью данных представляется невозможным использовать этот источник информации для пространственного анализа уровня загрязнения атмосферного воздуха. В то же время данные государственной мониторинговой сети были применены при верификации показателей загрязнения атмосферы, полученных с применением методов математического моделирования.

Статистическая обработка данных об объемах эмиссии загрязняющих веществ. Информация об объемах выбросов поллютантов, содержащаяся в статистических данных, накапливается и систематизируется по каждому предприятию в формах «2-ТП (воздух)», проектах нормативно-допустимых выбросов (НДВ) с целью администрирования платежей за негативное воздействие и оформления разрешения на выброс. Информация об объемах выбросов и уровнях загрязнения на территории РФ была получена по данным ежегодно публикуемых «Ежегодников состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России», Государственных докладов о состоянии окружающей природной среды регионов и РФ.

Методы математического моделирования как источник информации о состоянии атмосферного воздуха, позволяют с теоретической точки зрения объяснить количественные и качественные характеристики состояния атмосферного воздуха, решать диагностические и прогностические задачи, восполнять недостающую информацию о характере рассеяния примеси в атмосферном воздухе [8]. В ходе исследования атмосферных процессов формировались различные подходы в их оценке и моделировании. Основы атмосферной диффузии примеси были сформулированы Дж. Тейлором, Фридманом, Келером [46; 48; 50]. Теоретическое обоснование результатов наблюдений процессов турбулентной диффузии в пограничных слоях атмосферы содержится в работах Мониной А.С., Обухова А.М., Яглома А.М. [22; 23], Берлянда М.Е. [6], Лайхтмана Д.Л. [18], Зилитинкевича С.С. [9] и др. Одномерная дифференциальная модель диффузии примеси была разработана Левиным А.В. [19]. Статистический подход был создан Сеттоном О.Г. [29]. Численные методы исследования диффузии примеси в турбулентной среде были успешно развиты группой советских ученых под руководством Марчука Г.И. [20]. Основы геофизической теории турбулентности сформулированы в работах [6; 22; 32]. К работам по эмпирическому исследованию пограничных слоев атмосферы относятся [31; 53]. Распространение примеси в турбулентной среде рассматривалось в [2, 14, 47].

На основе анализа существующих подходов к математическому моделированию рассеяния примесей при оценке процессов рассеяния примеси для больших по площади территорий была выбрана модель В.А. Петрухина и В.А. Вишенского, базирующаяся на принципах гауссовой модели распространения примеси [49]. Преимуществом данной модели является упрощенный вид учета параметров источника (в качестве источника загрязнения можно рассматривать населенные пункты). В то же время, наряду с упрощенным учетом характеристик источников выброса, можно отметить попытку оценить химическую активность примесей (введение показателя продолжительности присутствия их в атмосфере) и учет метеопараметров переноса примеси в атмосфере (высота слоя перемешивания, скорость и направление ветра в слое перемешивания). Простота расчета позволяет оценить влияние выбросов на состояние атмосферного воздуха в заданной точке множества источников на значительном удалении.

Исходя из сформированных баз данных о выбросах на территории РФ, расчет был выполнен по 5 загрязняющим веществам: оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, летучие органические соединения (ЛОС), взвешенные вещества. Опытным путем (перебор вариантов) определено, что удовлетворительная сходимость расчетных результатов с данными мониторинга была получена при исключении участков территорий, удаленных от учтенных источников выбросов на расстояние до 5 км. Для территории РФ шаг расчетной сетки составил 50 км. Размер шага вычислялся как техническими возможностями ПК, так и необходимостью при повышении детальности учета условий эмиссии и особенностей подстилающей поверхности.

Показатели, характеризующие состояние атмосферного воздуха

Исследования состояния атмосферного воздуха почти всегда носят выборочный характер (например, осуществляется измерение концентрации конкретного вещества в определенный момент времени, в заданной точке). При формировании выводов о состоянии атмосферного воздуха проводятся пространственно-временная интерпретация полученных исходных данных, расчет показателей. Качество выводов в свою очередь зависит от репрезентативности используемых показателей.

Анализируя все многообразие используемых в мире показателей загрязнения атмосферного воздуха, можно сформулировать следующие выводы:

1. Наблюдаются различия в подходах к оценке состояния атмосферного воздуха в России и за рубежом. Основным отличием российского подхода в интегральной оценке уровня загрязнения атмосферы (комплексного индекса загрязнения атмосферы, или КИЗА) от большинства зарубежных является период осреднения данных о концентрации загрязнителей, что связано с различным функциональным предназначением индексов. В России наиболее применимы среднегодовые значения КИЗА. Европейский годовой индекс YASAQI используется аналогичным образом, что и КИЗА. В то же время, ориентируясь на значения индекса CAQI с помощью специализированных онлайн-ресурсов, жители Евросоюза могут сравнить состояние атмосферы в городах в реальном времени [3]. Некоторые из рассмотренных индексов (например, AQNI Канады, AQI США, AQC Австралии, DAQI Великобритании), наряду с прогнозом о состоянии воздуха на ближайшее время, предусматривают советы по планированию активности для населения [45]. Такой подход гарантирует хорошую осведомленность населения о текущем состоянии, но при попытке анализа данных за длительный срок результаты могут быть неверно интерпретированы, поскольку большая часть таких показателей учитывает негативный эффект для здоровья населения с точки зрения краткосрочного влияния поллютантов.

2. Несмотря на значительное многообразие, подходы к получению исходных данных и расчету интегральных показателей методологически в России и за рубежом не противоречат друг другу. При проведении определенных математических манипуляций часть значений зарубежных показателей может быть интерпретирована, исходя из российских стандартов и наоборот (исключением являются интегральные показатели КИЗА, AQI и AQNI). Необходимо указать и на различные подходы к используемым единицам измерения концентраций поллютантов в атмосфере (ppm, мг/м³), а также значения предельно-допустимых концентраций.

3. Большой информативностью и объективностью обладают прямые количественные показатели. К прямым показателям состояния атмосферного воздуха автором были отнесены количественные характеристики, дающие непосредственную оценку объемов выбросов (г/сек или т/год) и уровней загрязнения атмосферного воздуха (мг/м³, доли ПДК, КИЗА) [38]. Объективность такого рода показателей подкрепляется методологическими и метрологическими аспектами, учитываемыми при получении исходных данных. В качестве противопоставления прямых показателей автором были выделены косвенные показатели (качественные и количественные характеристики, дающие опосредованную оценку объемов воздействия, уровней загрязнения). Количественные показатели, в свою очередь, выражают числовую определенность факторов загрязнения (например, размеры площадного источника загрязнения), условий рассеяния (например, повторяемость штилевых погодных условий) и состояния атмосферного воздуха (например, концентрация определенного поллютанта в атмосфере или КИЗА). Количественные показатели получают путем непосредственного учета, измерений, математических расчетов. В качестве противопоставления количественным показателям автором были выделены качественные показатели, не дающие числовой оценки загрязнения атмосферного воздуха (данные показатели опираются на оценки соотношения текущего и эталонного состояния атмосферного воздуха, факторов загрязнения и условий рассеяния). В то же время использование прямых количественных показателей ограничивается дороговизной, сложностью и трудоемкостью получения исходных данных.

4. В целом, для повышения качества оценки и прогноза структуры атмосферных проблем по отдельным частям исследуемой территории необходимо применять сочетание показателей.

В дальнейшем на основании сформулированных выводов при характеристике состояния атмосферного воздуха РФ были использованы следующие показатели: объемы выбросов (в т.ч. валовые и удельные) по регионам, концентрации загрязняющих веществ в мг/м³, комплексный индекс загрязнения атмосферы.

Подходы к картографическому изображению

Анализируя подходы к мезо- и мелкомасштабному картографированию атмосферных проблем на территории РФ, можно сформулировать следующие выводы:

1. Наиболее распространенным методом передачи пространственной информации о состоянии атмосферы (степень загрязнения атмосферы, способность атмосферы к самоочищению) является способ изолиний [4; 11; 21; 30; 35; 41]. При этом использование этого метода требует наличия значительного объема пространственной информации или использования методов математического моделирования. В обоих случаях это заметно затрудняет использование метода изолиний для характеристики состояния атмосферы. Следует также отметить, что этот метод сам по себе приводит к формированию обедненного изображения, что связано с высокой динамикой воздушной среды и, как следствие, в большинстве случаев постепенной и относительно небольшой дифференциацией характеристик состояния атмосферы, что, в свою очередь, приводит к образованию больших однородных полей на карте, которые необходимо насыщать дополнительной информацией.

2. Способ изолиний хорошо сочетается со способом значков (или структурных значков), характеризующих состояние атмосферы или объемы эмиссии ЗВ в конкретной точке. Примером могут служить карты [12; 41].

3. Карты с применением способов картограмм и картодиаграмм [5; 10; 34] широко используются, просты в создании и легки для восприятия. В то же время выбросы, как правило, локализованы в конкретных точках, и их привязка к прилегающей территории субъекта административно-территориального деления искажает восприятие и возможные результаты оценки масштабов негативного воздействия на атмосферу.

4. Анаморфозы представляют собой особый род карт, на которых в основу площади территориальной единицы заложена не реальная топографическая площадь, а величина некоторого показателя. При этом обязательным условием является максимальное сохранение очертаний субъектов. При характеристике объемов выбросов построение такой карты повышает наглядность, но в содержательном отношении она аналогична способам картограмм и картодиаграмм, а отсутствие топографической сомасштабности в передаче размеров отдельных регионов неизбежно приводит к искажению их границ и, как следствие, к затрудненному восприятию изображения.

5. Следствием применения однотипной цветовой шкалы может стать снижение восприятия карты. Примером может служить карта [5].

6. Ранговая оценка на картах [34] предоставляет возможность сопоставить масштабы негативного воздействия на атмосферный воздух (или условия рассеяния) внутри анализируемой территории, но не позволяет точно трактовать напряженность экологической ситуации и сопоставить ее с другими регионами.

7. Для повышения содержательности карты практикуется составление двухплановых карт, когда на первом плане помещается часть информации, воспринимаемая как общий фон и читаемая с расстояния, а вторая часть информации «утапливается» в первой – дается более мелкими знаками и читается с ближнего расстояния. Другим способом повышения информативности карты является использование карт-врезок. Примером могут служить карты [15, 35]. Такой подход позволяет избежать перегрузки основного содержания карты, одновременно повышая ее информативность.

С развитием и популяризацией компьютерных технологий в конце XX в. произошли существенные изменения в способах создания и публикации карт. Повсеместно для создания карт (в т.ч. карт загрязнения атмосферного воздуха) стали использоваться ГИС, а позднее (с начала XXI в.) и web-технологии. Размещение в сети Интернет картографического материала в виде электронных карт (структурированных информационных изображений, отображающих картографическую ситуацию в заданном масштабе в растровой форме), динамических карт (электронных карт, воспроизводящих при демонстрации эффект движения, перемещения, изменения всего изображения или отдельных объектов) и онлайн-карт (веб-приложений, инструментов для интерактивного отображения картографической информации в стандартном веб-браузере) [33] открывает доступ к информации о состоянии атмосферного воздуха широкому кругу пользователей. При этом пользователи получают возможность работать с картографической информацией, применяя удобные инструменты поиска, просмотра и анализа, не имея на компьютере ничего, кроме веб-браузера и доступа к сети Интернет.

Анализируя существующие картографические сервисы, отражающие состояние атмосферного воздуха, можно сформулировать следующие выводы:

1. Наиболее распространенным способом картографического изображения, используемым при картографировании состояния атмосферного воздуха в рассмотренных картографических онлайн-сервисах, является способ значков [13]. В то же время предоставление информации о концентрациях ЗВ без пространственной интерпретации (только в пунктах, где были произведены измерения) приводит к тому, что данный аспект обработки информации осуществляется конечным пользователем, часто не обладающим необходимыми знаниями о динамике атмосферных процессов.

2. Пространственная интерпретация данных о загрязнении окружающей среды, размещенных на некоторых сервисах, производится посредством математической (нахождение неизвестных промежуточных значений с помощью нескольких известных), а не географической (учитывающей особенности местности, факторы поступления ЗВ и их рассеяния) интерполяции по ограниченному (часто недостаточному) количеству постов [40; 44]. Использование недостаточного количества постов, а также отсутствие учета атмосферных процессов приводит к формированию схематической картины загрязнения, неполно отражающей реальную ситуацию.

3. Специфика исходной информации во многих случаях предопределяет используемые способы картографического изображения. Так, полученные при помощи методов дистанционного зондирования Земли данные являются первично интегрированными в пространственном отношении и на картах предоставляются способом изолиний [42].

4. Применение качественной интерпретации и публикация рекомендаций по отдельным видам деятельности с учетом текущего уровня загрязнения [37; 52], с одной стороны, безусловно облегчают восприятие информации для конечного пользователя, с другой стороны, отсутствие доступа к критериям оценки снижает значимость данных рекомендаций при принятии административно-управленческих решений. Так, многообразие подходов к качественной интерпретации показателя качества воздуха AQI [3], используемых на разных ресурсах, а иногда даже в пределах одной карты [13], затрудняет пространственный анализ значимости атмосферных проблем.

5. Использование в качественной оценке состояния атмосферного воздуха показателя AQI без количественной характеристики концентраций отдельных компонентов может ввести в заблуждение относительно вклада факторов загрязнения (природных и антропогенных). Так, высокие значения AQI (и, соответственно, очень низкое качество воздуха) в пределах Сахары, Тибета, Монголии связаны с высокими концентрациями взвешенных частиц, поступающих в атмосферу в результате дефляции (природный источник эмиссии), а высокие значения AQI вблизи автодорог Лондона связаны с высокими значениями взвешенных веществ и оксидов азота, поступающих в атмосферный воздух главным образом от техногенных источников [52]. Химический состав и

Экология и природопользование
Семакина А.В.

степень опасности ЗВ, входящих в группу «взвешенные вещества», различается в зависимости от этиологии. В общем случае взвешенные вещества, поступающие в атмосферный воздух в процессе дефляции горных пород, будут менее опасны для здоровья, чем ЗВ, поступающие в атмосферный воздух с выхлопами автотранспорта и выбросами от предприятий.

6. Отсутствие доступа к механизмам получения исходной информации делает невозможным корректную оценку достоверности данных и снижает их значимость. Так, на сайте компании AccuWeather размещена информация, что данные относительно качества воздуха и прогнозов получены со стороннего сервера (Plume Labs) и не проходили проверку на точность и достоверность, и качество мониторинга воздуха в значительной степени зависит от ограничений оборудования и датчиков, а также кратковременных колебаний, которые могут приводить к неточности показаний [37].

7. Отсутствие научного рецензирования, с одной стороны, и возможность создания примитивного картографического онлайн-сервиса с применением шаблонов-сайтов (например, Bootstrap [43]) практически любым пользователем, с другой стороны, приводят к появлению ресурсов, содержащих некорректную информацию. Дефицит доступной достоверной информации, предоставляемой официальными источниками, наряду с отсутствием критериев качества размещаемой информации, создает прецеденты профанации в области экологического картографирования [39]. Размещение недостоверной или некорректной информации на онлайн-ресурсах, доступных для широкой аудитории, в свою очередь, формирует возможности влиять на общественное мнение в качестве инструмента политического и социального манипулирования.

8. Большинство сервисов не обладает или в ограниченной степени обладает ресурсом обратной связи. В свою очередь, отлаженная система обратной связи с пользователями позволила бы более эффективно совершенствовать картографический сервис согласно запросам пользователей, поскольку именно конечные пользователи являются самой многочисленной по составу цензурой на содержательность, своевременность, достоверность, актуальность и востребованность предоставляемой информации.

На основе сформулированных выводов для характеристики состояния атмосферного воздуха на территории РФ были выбраны следующие способы картографического изображения: способ изолиний с послойной окраской, способы картограмм и картодиаграмм.

С учетом изложенных принципов были созданы карты объемов выбросов основных поллютантов по регионам РФ, концентраций ЗВ и комплексного индекса загрязнения атмосферы. Апробация полученных картографических материалов осуществлялась путем создания под руководством автора геопортала «Комфортная среда» (komfortsreda.udsu.ru) [17] и их дальнейшего размещения в разделе «Россия». В качестве геоинформационного инструмента, реализующего задачу web-визуализации электронных карт, был использован модуль «qgis2web» программного продукта QGIS.

Результаты и обсуждение

Анализируя полученную карту суммарных выбросов от стационарных и передвижных источников по субъектам административно-территориального деления РФ (рис. 1) [17], можно выделить 4 региона, на которые приходится 29,7 % суммарных выбросов страны, а суммарный объем выбросов от источников антропогенного происхождения превышает 1 млн т в год (Красноярский край, Кемеровская область, Ханты-Мансийский АО, Свердловская область). Необходимо отметить, что эти регионы характеризуются развитым промышленным потенциалом, и основная доля выбросов (87–96 %) приходится на стационарные источники.

В среднем пространственная картина загрязнения атмосферы выбросами от стационарных источников и от всех источников суммарно в значительной степени совпадает (карта валовых выбросов от стационарных источников, [17]). Используя показатель удельных загрязнений (объемов выбросов на единицу площади), можно дать оценку масштабов антропогенной нагрузки на окружающую среду, поскольку часто значительные объемы выбросов регионов располагаются на больших по площади территориях (например, на 4 субъекта-лидера суммарных выбросов приходится почти 1/5 часть площади страны). В среднем по России значение удельных выбросов составляет 4,5 т/км² в год, а для большей части регионов (62 шт.) не превышает 2 т/км² в год. Анализируя карту удельных выбросов от стационарных источников (рис. 2) [17], можно отметить следующий регион-лидер удельных выбросов – Кемеровская область (18,4 т/км² в год).

В связи с особенностями административного статуса (город федерального значения), статистические данные об объемах выбросов также предоставляются по городам Москва, Санкт-Петербург, Севастополь. Плотность выбросов в городах федерального значения в связи с малой занимаемой площадью и концентрацией производственных мощностей составляет от 51 до 131 т/км² в год. Необходимо отметить, что, несмотря на безусловно значительные валовые объемы выбросов, характерные для указанных городов, высокие значения удельных выбросов связаны в большей степени с особенностями осреднения первичной статистической информации и в целом с типичной концентрацией производств (и источников выбросов) в пределах городских территорий. Так, при учете выбросов г. Санкт-Петербурга в составе выбросов Ленинградской области, удельные выбросы приближаются к среднероссийским значениям и составляют 5,2 т/км² в год. А при выделении выбросов от источников, расположенных на территории г. Ижевска (находящегося в пределах Удмуртской республики с плотностью выбросов 4 т/км² в год), значения удельных выбросов составят 111 т/км² в год.

Экология и природопользование
Семакина А.В.

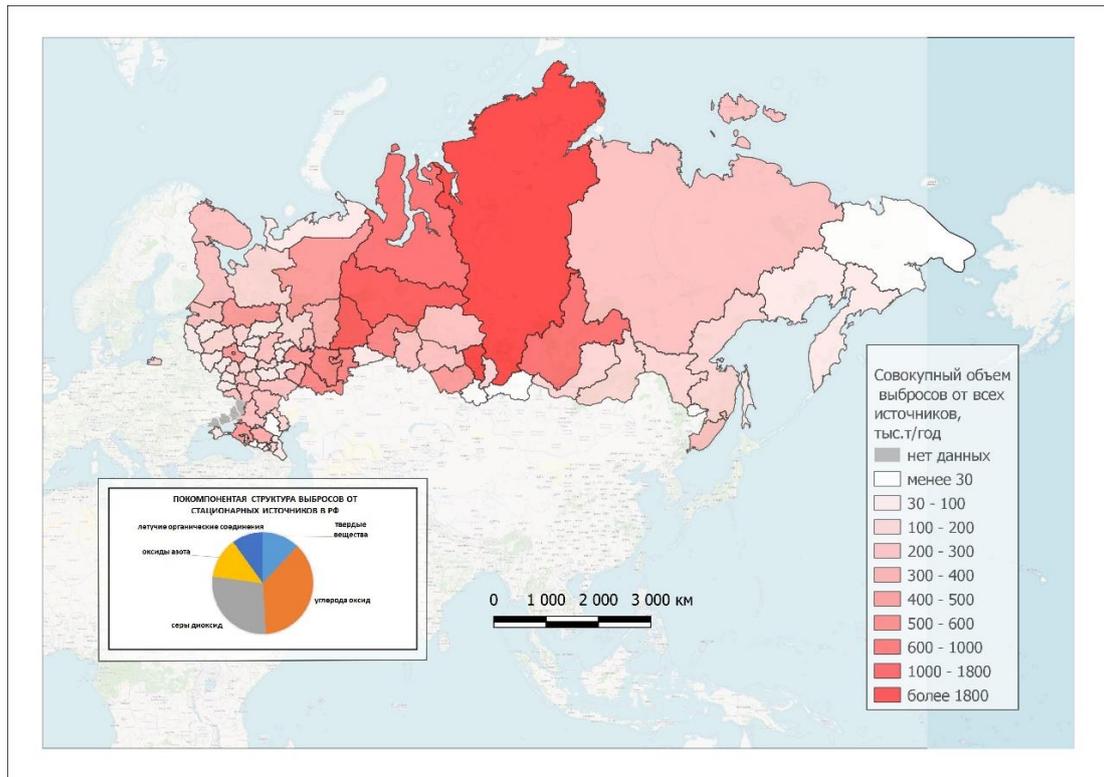


Рис. 1. Карта суммарных выбросов от стационарных и передвижных источников по субъектам административно территориального деления РФ в 2022 г.

Fig. 1. Map of total emissions from stationary and mobile sources by administrative-territorial entities of the Russian Federation in 2022

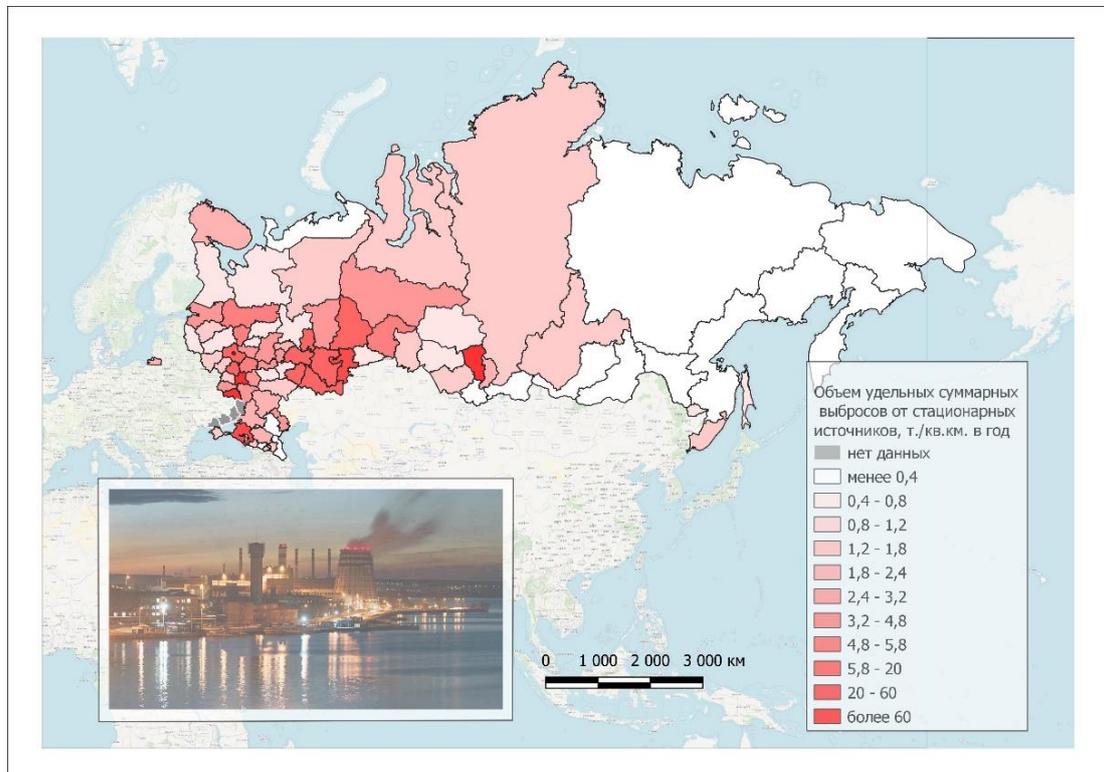


Рис. 2. Карта удельных суммарных выбросов от стационарных и передвижных источников по субъектам административно территориального деления РФ в 2022 г.

Fig. 2. Map of specific total emissions from stationary and mobile sources by administrative-territorial entities of the Russian Federation in 2022

В среднем в РФ на стационарные источники приходится 75,8 % выбросов, с ростом их доли до 98 % в промышленно развитых регионах. По валовым объемам выбросов от стационарных источников регионы РФ можно разделить на следующие категории:

1. Регионы, характеризующиеся значительной площадью и высоким промышленным потенциалом. Валовый объем выбросов в таких регионах составляет значение более 100 тыс. т (34 % всех выбросов РФ). Примером таких субъектов являются Иркутская, Оренбургская, Тюменская, Свердловская, Челябинская, Мурманская области, Красноярский край, Ямало-Ненецкий и Ханты Мансийский АО и т.д.

2. Регионы, характеризующиеся небольшими размерами, но высокой концентрацией промышленного потенциала. Удельные выбросы на единицу площади в таких регионах составляют значения более 50 т/км² в год. К таким регионам относятся Москва, Санкт-Петербург, Севастополь, Кемеровская область. На данные 4 субъекта приходится более 11 % суммарных выбросов страны. При этом суммарная площадь данных регионов составляет 0,6 % площади страны.

3. Регионы с малоразвитой промышленностью. Экономика региона представлена в основном сельским хозяйством, перерабатывающим сектором и сферой услуг. Объемы валовых выбросов не превышают 100 тыс. т. Объемы удельных выбросов составляют 1–5 т/км² в год.

По доле в структуре выбросов «основных» (типичных) ЗВ можно выделить:

1. Регионы, где «основные» ЗВ (оксид углерода, твердые частицы, оксиды азота, летучие углеводороды, диоксид серы) составляют более 60 % валовых выбросов. Выделение «основной» группы ЗВ связано с доминированием данной категории ЗВ в общей структуре выбросов (76 % всех выбросов РФ представлены данными поллютантами). К указанному типу относятся 58 субъектов РФ, на которые приходится 77 % валовых выбросов РФ. Примерами таких регионов являются республика Ингушетия, Костромская, Ярославская область, Самарская, Новосибирская области, Красноярский край, Москва, Санкт-Петербург и т.д.

2. На долю «основных» ЗВ приходится менее 60 %. В данной категории можно выделить две категории субъектов:

- Обладают невысоким промышленным потенциалом. Характерен незначительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха крупнейших отраслей-загрязнителей, таких как металлургия, теплоэнергетика, нефтепереработка. К таким регионам относятся Курганская, Тверская, Смоленская, Тамбовская, Курская, Пензенская, Псковская области, республики Марий Эл, Чувашская, Кабардино-Балкарская, Северная Осетия, Мордовия, Дагестан, Калмыкия.

- Обладают высоким промышленным потенциалом. Относительно невысокий вклад в суммарные выбросы «основных» ЗВ связан с присутствием в структуре выбросов разнообразных специфических ЗВ, характерных для предприятий химической промышленности, цветной металлургии, добывающей промышленности. К таким регионам относятся Кемеровская, Московская, Воронежская, Нижегородская области, республика Коми, Пермский, Краснодарский края, Севастополь.

Анализируя карту выбросов от автотранспорта по субъектам РФ (рис. 3) [17], можно отметить в целом незначительный вклад передвижных источников в валовые выбросы ЗВ по всем регионам РФ (в среднем по РФ доля выбросов от автотранспорта составляет 24,2 % от суммарных выбросов всех источников).

Выделяются следующие регионы-лидеры по выбросам от передвижных источников (с выбросами от автотранспорта более 100 тыс. т в год): Московская, Свердловская, Челябинская, Воронежская, Ростовская, Нижегородская, Саратовская, Калининградская области, Алтайский, Красноярский, Пермский, Ставропольский края, республики Татарстан и Карелия, Москва, Санкт-Петербург. Пространственный анализ данных об объемах выбросов показал рост доли передвижных источников в суммарных выбросах в регионах с низким промышленным потенциалом либо характеризующихся высокой степенью концентрации производства. Так, на долю выбросов от передвижных источников в таких субъектах, как республики Ингушетия, Чечня, Адыгея, Северная Осетия, Дагестан, Ивановская, Архангельская области, Алтайский край, Москва, Санкт-Петербург, Севастополь, приходится более 65 %.

Анализируя полученный материал, можно отметить, что в среднем для РФ характерна следующая структура выбросов «основных» ЗВ: 37 % – оксид углерода, 28 % – диоксид серы, 13 % – оксиды азота, 12 % – твердые вещества, 10 % – летучие органические соединения. В то же время в пространственном разрезе структура выбросов характеризуется значительной вариабельностью. Можно выделить следующие типы структур выбросов «основных» ЗВ (карта типов выбросов по субъектам РФ [17]) (рис. 4):

1. Топливо-энергетический тип – в структуре выбросов преобладают выбросы от ТЭС, ТЭЦ, котельных, представленные оксидами углерода (более 30 %), оксидами азота, взвешенными веществами (более 10 %). В случае предпочтения использования в качестве топлива угля, отмечается увеличение вклада в суммарный выброс твердых частиц (до 72 %). Примером таких регионов могут служить Карелия, Белгородская область, Чеченская республика, а также значительная часть субъектов Дальневосточного и Сибирского Федеральных округов (Камчатский край, Чукотский АО, Бурятия Хабаровский, Алтайский края) и т.д.

Экология и природопользование
Семакина А.В.

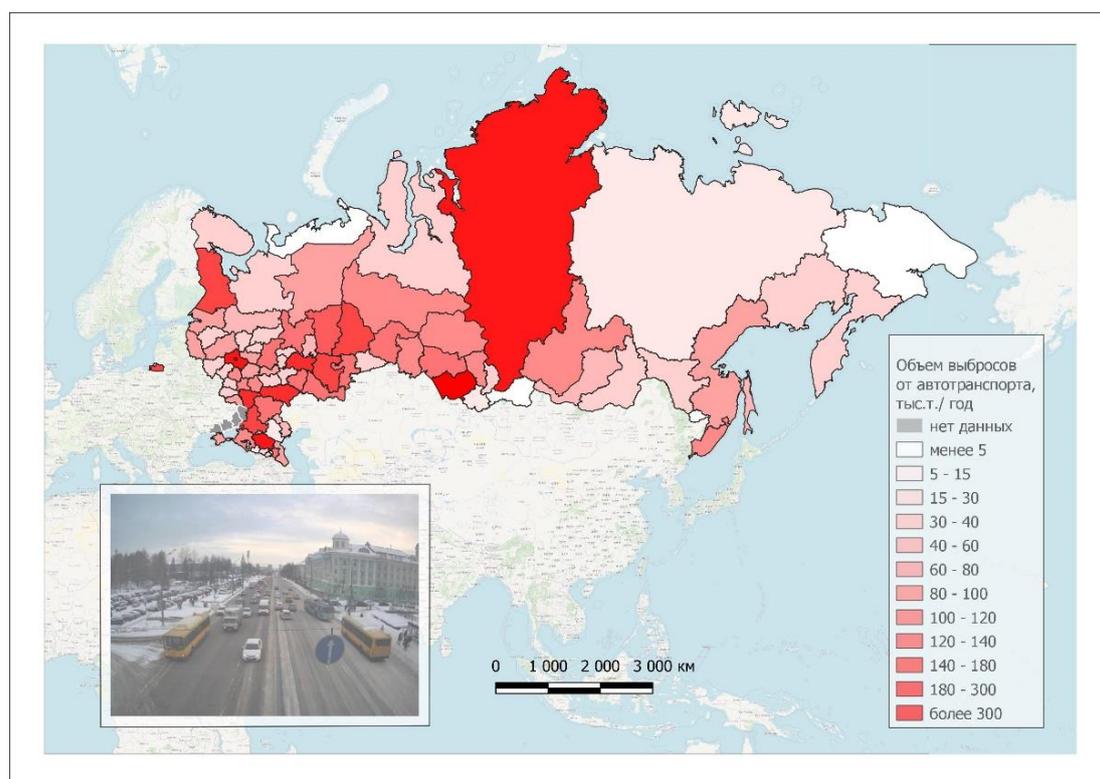


Рис. 3. Карта выбросов от передвижных источников по субъектам административно-территориального деления РФ в 2022 г.
Fig. 3. Map of emissions from mobile sources by administrative-territorial entities of the Russian Federation in 2022

2. Металлургический тип характеризуется значительным вкладом в общую структуру выбросов эмиссии от предприятий черной и цветной металлургии. В структуре выбросов отмечается значительный вклад оксидов серы (до 50–80 %), взвешенных веществ, оксидов азота. К данному типу были отнесены следующие субъекты РФ: Красноярский край, Мурманская, Липецкая, Челябинская, Оренбургская области.

3. Нефтегазодобывающий тип – основным видом деятельности, оказывающим негативное воздействие на состояние атмосферного воздуха в регионах этого типа, является добыча углеводородного сырья (нефти, газа), его первичная подготовка и транспортировка. В структуре выбросов преобладают оксиды углерода (30–50 %), углеводороды (в т.ч. летучие органические соединения) (более 10 %). Примером данного типа структуры выбросов являются следующие субъекты: Ямало-Ненецкий, Ханты-Мансийский, Ненецкий АО, Томская область, республика Башкирия, Ставропольский край и т.д.

4. Газотранспортный тип – основной вклад в выбросы приходится на обслуживание газо-трубопроводов и газокomppressorных станций. В структуре выбросов присутствует значительный вклад углеводородов (10–30 %). К субъектам с данным типом выбросов относятся Самарская, Ульяновская, Орловская, Ярославская области, республики Марий Эл, Чувашия.

Для ряда регионов характерен смешанный тип, объединяющий нефтегазодобывающий и газотранспортный типы. К таким регионам относятся Пермский, Краснодарский края, Саратовская область, республики Удмуртия, Татарстан, Калмыкия.

5. Полиотраслевой тип с высоким потенциалом промышленного производства. Данный тип выбросов присущ субъектам с высокой концентрацией производства, представленным различными отраслями. В структуре выбросов преобладают оксиды углерода (30–60 %), оксиды азота, (15–30 %), углеводороды (5–10 %). Примером субъектов с данным типом выбросов являются: Московская, Воронежская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Свердловская области, Москва, Санкт-Петербург, Севастополь.

6. Полиотраслевой тип с низким промышленным потенциалом характеризуется в целом невысокими объемами выбросов и относительно равномерной компонентной структурой выбросов. Примером такого рода субъектов являются: Пензенская, Костромская, Ивановская, Владимирская области, республики Кабардино-Балкария, Северная Осетия, Крым, Адыгея и т.д.

Экология и природопользование
Семакина А.В.

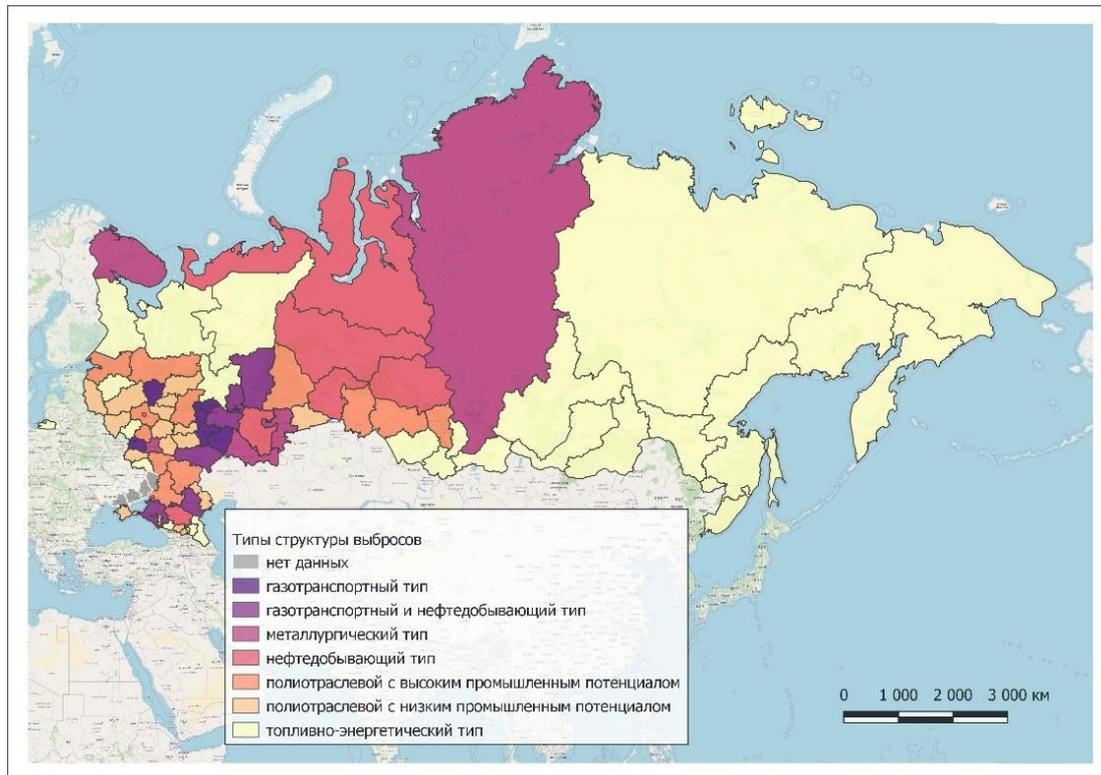


Рис. 4. Карта типов структуры выбросов по субъектам административно территориального деления РФ в 2022 г.
Fig. 4. Map of the types of emissions structure by administrative-territorial entities of the Russian Federation in 2022

В результате расчета рассеяния выбросов от стационарных источников на территории РФ были получены карты концентраций следующих загрязнителей: оксиды азота, взвешенные вещества, диоксида серы, оксида углерода, летучих органических соединений, значения КИЗА (рис. 5) [17].

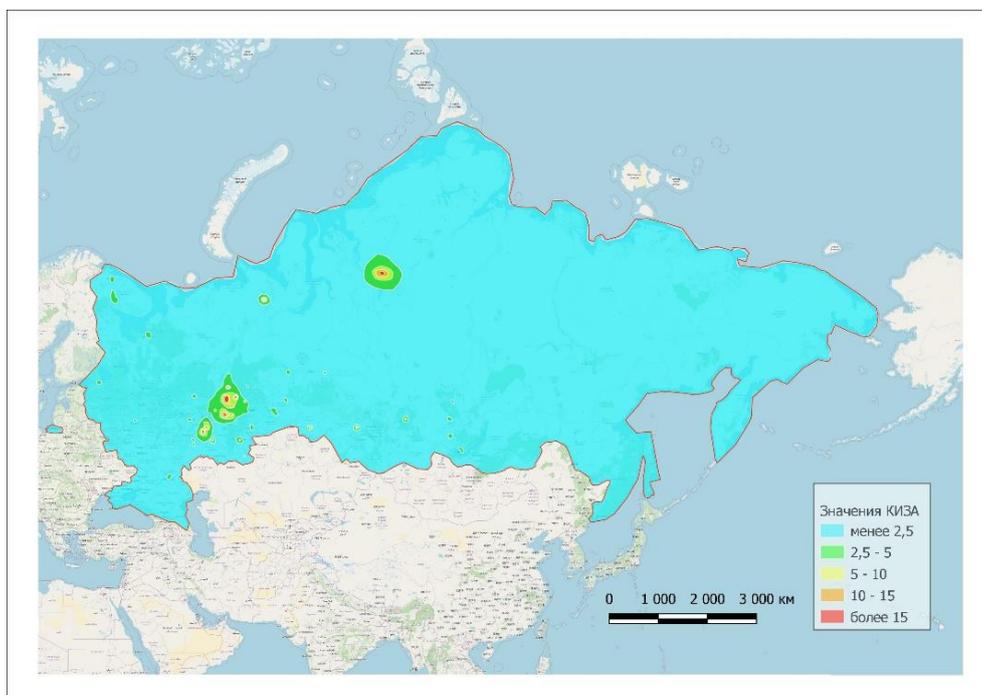


Рис. 5. Карта расчетных значений комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА), формируемых выбросами стационарных источников на территории РФ в 2022 г.
Fig. 5. Map of calculated values of the complex index of atmospheric pollution (КИЗА) generated by emissions from stationary sources in the territory of the Russian Federation in 2022

В целом, анализируя полученный картографический материал, можно отметить, что большая часть территории РФ характеризуется благоприятным состоянием атмосферного воздуха (КИЗА менее 1). Наряду с этим можно выделить 4 крупных ареала загрязнения 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»). Основной вклад в формирование Печоро-Воркутинского ареала загрязнения атмосферы приносят взвешенные вещества, поступающие в атмосферный воздух в результате функционирования предприятий топливно-энергетической и добывающей отраслей. Большие 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 сформирован высокими концентрациями в атмосферном воздухе летучих органических соединений, взвешенных веществ.

Наряду с крупными ареалами загрязнения можно отметить локальное снижение качества атмосферного воздуха вблизи крупных городов, таких как Новосибирск, Красноярск, Иркутск, Братск, Омск, Магнитогорск, Волгоград, Москва, Санкт-Петербург, Архангельск, Апатиты и т.д. В целом указанные ареалы характеризуются относительно небольшими площадями (до 10000 км²), повышенным и высоким уровнями загрязнения атмосферы (КИЗА = 2,5–7,5). Необходимо отметить, что определение уровней загрязнения расчетным путем проводилось на основе данных об объемах выбросов по 5 основным группам ЗВ. В то же время в ряде населенных пунктов высокие уровни загрязнения могут формироваться вследствие накопления в воздухе специфических ЗВ (фенол, формальдегид, бенз(а)пирен, сероводород, аммиак и др.).

Для верификации расчетных значений КИЗА были использованы данные об уровне загрязнения атмосферы в населенных пунктах, полученные в рамках государственного мониторинга и публикуемые в Ежегодниках загрязнения атмосферы и Государственных докладах о состоянии атмосферного воздуха. Необходимо отметить специфическую особенность использованной выборки данных: поскольку в ежегодниках публикуются данные о состоянии атмосферы в городах с наиболее напряженной в этом отношении ситуацией («30 самых грязных городов России»), а государственная сеть мониторинга традиционно располагается в крупнейших городах и вблизи крупных предприятий-загрязнителей, постольку сформированный реестр данных будет характеризовать уровень загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах с наивысшими значениями уровня загрязнения и не будет отражать фоновое состояние атмосферы на окружающей территории. В связи с этим сходимость результатов натурных и расчетных значений КИЗА можно было определить только по зафиксированным предельным (максимальным) значениям уровня загрязнения атмосферы.

Для статистического подтверждения достоверности полученных результатов был использован критерий χ^2 и определен ранговый коэффициент корреляции. При степени свободы 52 χ^2 , полученный расчетным путем, превышает χ^2 критический, что свидетельствовало о достоверности полученных результатов. В свою очередь, коэффициент ранговой корреляции Спирмена R_s получился равным 0,501, что свидетельствовало о средней тесноте связи. Данное значение превышало критическое значение коэффициента ранговой корреляции при степени надежности 0,999. Таким образом, данная связь характеризовалась как высокая значимая корреляция.

Графическое сопоставление полученных путем моделирования результатов показало, что значения КИЗА в значительной части случаев совпадают с данными мониторинга: 50 % (26 из 52) населенных пунктов получили одинаковую качественную оценку уровня загрязнения атмосферного воздуха (согласно качественной интерпретации значений КИЗА) и характеризовались расхождением количественных значений КИЗА в пределах 1. К таким населенным пунктам относятся, например, Москва, Уфа, Стерлитамак, Салават, Альметьевск, Нижнекамск, Тольятти, Безенчук, Соликамск, Оренбург, Кувандык, Губаха, Березники, Нижний Тагил, Норильск и т.д. Необходимо отметить, что все указанные города располагаются в пределах описанных ранее ареалов загрязнения.

Для 48 % (25 из 52) населенных пунктов расчетные значения КИЗА были ниже на 5. Расхождения в значениях связаны как с присутствием в атмосферном воздухе (и учетными в рамках государственного мониторинга) ряда специфических поллютантов (например, аммиак, серная кислота, этилбензол, сероводород в Медногорске; хлорид водорода, марганец, ксилол, сероводород в Самаре; бенз(а)пирен, формальдегид в Братске и т.д.), так и с относительно часто формируемыми в пределах конкретной территории НМУ, не учитываемыми в рамках математической модели. К таким населенным пунктам относятся, например, Благовещенск, Чебоксары, Альметьевск, Казань, Набережные Челны, Орск, Новотроицк, Медногорск, Самара, Братск, Зима, Магнитогорск, Нижневартовск, Челябинск и т.д.

Для г. Перми расчетные значения КИЗА были получены 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 (высокий или низкий источник, нагретый или холодный выброс и т.д.).

Экология и природопользование
Семакина А.В.

Несмотря на имеющиеся несовпадения значений КИЗА, полученных расчетным путем и по данным государственного мониторинга, данную математическую модель можно рекомендовать использовать для оценки фоновый уровня загрязнения территорий, не охваченных наблюдениями в рамках государственного мониторинга состояния атмосферы. В свою очередь, для повышения качества оценки достоверности расчетных результатов необходимы проведение натурных исследований и публикация полученных результатов на территориях вне населенных пунктов.

Заключение

Целью данного исследования являлось картографирование состояния атмосферного воздуха на территории РФ. Автором с применением методов математического моделирования и web-картографирования были получены карты объемов эмиссии поллютантов, типов выбросов, концентраций «основных» загрязняющих веществ и КИЗА на территории РФ. В качестве апробации полученные картографические результаты были представлены в web-формате на геопортале «Комфортная среда» в разделе «Россия».

В ходе анализа полученного картографического материала были выделены следующие регионы-лидеры валовых выбросов ЗВ: Красноярский край, Кемеровская, Свердловская области, Ханты-Мансийский АО. Покомпонентный анализ структуры выбросов по регионам РФ позволил определить следующие типы структур выбросов: топливно-энергетический, металлургический, нефтедобывающий, газотранспортный, полиотраслевой (в т.ч. с высоким и низким промышленным потенциалом). Технологический подход, используемый в данной классификации, позволяет обозначить приоритетные источники-загрязнители (предприятия, отрасли), ответственные за формирование того или иного уровня загрязнения в пределах субъекта РФ, что может стать основой для эффективного прогнозирования уровней загрязнения атмосферы, оперативного принятия административно-управленческих решений для стабилизации экологической ситуации.

Полученные расчетным путем карты уровня загрязнения атмосферного воздуха представляют интерес как с методологической точки зрения (возможный новый подход к пространственной характеристике уровня загрязнения атмосферы для РФ, дополняющий данные государственной сети мониторинга), так и с административно-управленческой точки зрения (на данный момент полученный картографический материал является единственным, отражающим фоновые уровни загрязнения атмосферы РФ выбросами стационарных источников). Анализируя полученный картографический материал, можно выделить 4 крупных ареала загрязнения атмосферного воздуха: Норильский, Центрально-Уральский, Поволжский, Печоро-Воркутинский. Наряду с крупными ареалами загрязнения можно отметить локальное снижение качества атмосферного воздуха вблизи крупных городов.

Размещение на геопортале «Комфортная среда» картографического материала может представлять интерес для населения как с профессиональной точки зрения (экологи, застройщики и др.), так и с позиции личной заинтересованности в выборе наиболее благополучных в экологическом отношении территорий проживания. Функционирующий в режиме двухсторонней связи геопортал «Комфортная среда» способствует формированию цифровой зрелости экоинформационного пространства РФ.

Библиографический список

1. Аббасова Е.В., Ерохина Е.В. Право на достоверную информацию о состоянии окружающей среды // Вестник совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. 2019. Т. 1, № 4 (23). С. 3–8.
2. Бусингер Дж. А., Теннекес Х., Вингаард Дж. К. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / под ред. Ф. Т. М. Ньистадта, Х. Ван Допа, пер. с англ. под ред. А.М. Яглома. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 351 с.
3. Ахтиманкина А.В., Ерошкин В.М. Анализ подходов к определению уровней загрязнения атмосферного воздуха населенных мест // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 44. С. 18–32.
4. Безуглая Э.Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 184 с.
5. Безуглая Э.Ю., Абросимова Ю.Е. Веб-Атлас: «Окружающая среда и здоровье населения России». 1998. URL: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/at/ra00.htm> (дата обращения 14.09.2023)
6. Берлянт М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
7. Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. Турбулентность в пограничном слое атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 262 с.
8. Введение в геоэкологию атмосферы: учебное пособие / Ю.П. Переведенцев, Р.Х. Салахова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2007. 112с.
9. Зилитинкевич С.С. Динамика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 290 с.
10. Карта «Выброс вредных веществ в атмосферу на территории Московской области». URL: <http://www.exclusiverealestate.ru/info/ecology/index.php> (дата обращения 14.09.2023)
11. Карта «Интегральной оценки потенциала загрязнения атмосферы республики Татарстан». URL: http://arshin-rt.ru/index.php?str_id=192 (дата обращения 14.09.2023)
12. Карта «Экологической ситуации республики Татарстан» / под ред. А.И. Шеповских. 1994.
13. Качество воздуха в Google-картах. URL: <https://support.google.com/maps/answer/11270845> (дата обращения 11.09.2023)
14. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 463 с.
15. Комплексный атлас Украины / гл. ред. Л.М. Веклич. Киев: «Картография», 2005. 96 с.
16. Борьба за здоровье, экологический шантаж или нечестная конкуренция. Комсомольская правда (дата публикации 20.11.2018 2:00). URL: <https://www.kp.ru/daily/26909/3955325> (дата обращения 21.08.2023)

Экология и природопользование

Семакина А.В.

17. Комфортная среда. URL: <https://komfortsreda.udsu.ru/> (дата обращения 19.02.2024)
18. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 290 с.
19. Левин А.В. К вопросу об уравнениях, описывающих турбулентную диффузию в атмосфере. // Тр. Укр.НИГМИ. 1971. Вып. 103. С. 102–107.
20. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 319 с.
21. Медико-экологический атлас города Воронежа. URL: <http://www.geogr.vsu.ru/atlas.files/page0011.htm> (дата обращения 15.09.2023)
22. Монин А.С. Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Тр. Геофиз. Инт-га АН СССР. 1954. № 24 (151). С. 163–187.
23. Монин А.С., Яглом А.М. Статическая гидромеханика. Ч. 1. М.: Наука, 1965. С. 639.
24. Научно-практический портал «Экология производства». «Экологи края обеспокоены загрязнением воздуха в Красноярске» (дата публикации 25.10.2005). URL: <https://www.ecoindustry.ru/news/view/4741.html> (дата обращения 21.08.2023)
25. Осокин Р.В. Политическое манипулирование в сфере экологической безопасности в современной России: специальность 23.00.02: диссертация на соискание ученой степени кандидата политических наук. Приволжская академия государственной службы им. П.А. Столыпина. Саратов, 2008. 163 с.
26. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30 июля 2020 года № 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением». URL: <https://docs.cntd.ru/document/565649091> (дата обращения 25.08.2023)
27. Роскачество. Greenwashing: как распознать псевдоэкологичные товары (дата публикации 24.10.2019). URL: <https://rskrf.ru/tips/rassledovaniya/greenwashing-kak-raspoznat-psevdoekologichnye-tovary/> (дата обращения 21.08.2023)
28. Русское географическое общество. Гринвошинг, или неужели вы платите за экологичность (дата публикации 22.02.2023). URL: <https://www.rgo.ru/ru/article/grinvoshing-ili-neuzheli-vy-platite-za-ekologichnost> (дата обращения 21.08.2023)
29. Сеттон О.Г. Микрометеорология. Л.: Гидрометеоздат, 1958. 352 с.
30. Соколов С.В. Разработка системы комплексного территориального экологического мониторинга (на примере г. Сургут: специальность 03.00.16: диссертация на соискание уч. ст. канд. биол. Наук. Российский университет дружбы народов. М., 2002. 167 с.
31. Типовые характеристики нижнего 300-метрового слоя атмосферы по измерениям на высотной мачте / под ред. Н.Л. Бызовой. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 69 с.
32. Турбулентность. Принципы и применения / под ред. У. Фроста, Т. Моулдена, пер. с англ. В.В. Альтова, В.И. Пономарева, канд. физ.-мат. наук А.Д. Хонькина, с предисл. В.В. Струминского М.: Мир, 1980. 535 с.
33. Цветков В.Я. Цифровые карты и электронные карты // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4–3. С. 647–648.
34. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Костина Н.В. Методы синтетического картографирования территории (на примере эколого-информационной системы «VOLGABAS»). Количественные методы экологии и гидробиологии (Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова) / отв. ред. Г.С. Розенберг. Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. 230 с.
35. Экологическая карта Удмуртской республики, разработана на базе УдГУ. Ижевск, 1997.
36. Юдинцев И.Д. Экологическая повестка как инструмент политического манипулирования в условиях гибридных войн // Политконсультант / Political Science and Technology. 2022. Т. 2, № 2. URL: <https://politicjournal.ru/PDF/01PK222.pdf> (дата обращения 21.08.2023)
37. AccuWeather. Текущее качество воздуха. URL: <https://www.accuweather.com/ru/ru/izhevsk/296181/air-quality-index/296181> (дата обращения 29.08.2023)
38. Air pollutant units and conversion factors. NSW Department of Planning and Environment. URL: <https://www.environment.nsw.gov.au/topics/air/understanding-air-quality-data/units-and-conversion-factors> (дата обращения 31.08.2023)
39. AirCMS. URL: <https://aircms.online/#/> (дата обращения 29.08.2023)
40. AQI. URL: <https://www.aqi.in/air-quality-map> (дата обращения 29.08.2023)
41. Atlas Rzeczypolitey Polskey / redactor naczenly M. Naigrakowski. Copyright by Ctownly Geodeta Kraju (surveyor General of Poland) Warszawa, 1993–1997. 295 p.
42. Atmosphere monitoring service. URL: https://atmosphere.copernicus.eu/charts/packages/cams/products/carbon-dioxide-forecasts?base_time=202308280000&layer_name=composition_co2_totalcolumn&projection=classical_global&valid_time=202308280300 (дата обращения 29.08.2023)
43. Bootstrap. URL <https://getbootstrap.com/> (дата обращения 08.09.2023)
44. CityAir. URL: <https://cityair.ru/ru/monitoring-networks> (дата обращения 29.08.2023)
45. Duong T. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics/ T. Duong, B.K. Lee // Journal of Environmental Management. 2011. Vol. 92, No. 3. P. 554–562.
46. Friedman B. The dipole field in an inhomogeneous atmosphere. New York: Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University. 1951. 56 p.
47. Henderson-Sellers B. A simple formula for vertical eddy diffusion coefficients under condition of no neutral stability // Journal of Geophysical Research. 1982. Vol. 87. P. 5860–5864.
48. Köhler H. The nucleus in and the growth of hygroscopic droplets // Transactions of the Faraday Society. 1936. Vol. 32. P. 1152–1161.
49. Minnesota Pollution Control Agency | AQMesh | The best small sensor air quality monitoring system. URL: <https://www.aqmesh.com/case-studies/minnesota-pollution-control-agency/> (дата обращения 18.09.2023)
50. Taylor G. Eddy Motion in the Atmosphere. //Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Math. or Phys. Character (1896–1934). 1915. P.1–26.
51. The international affairs. Environmental blackmail: who benefits from it? (дата публикации 09.04.2015 20:46). URL: <https://interaffairs.ru/news/show/12922> (дата обращения 21.08.2023)

Экология и природопользование

Семакина А.В.

52. World Air Map. URL: <https://air.plumelabs.com/en/> (дата обращения 08.09.2023)

53. Yokoyama O, Gamo M., Yamamoto S. The vertical profiles of the turbulence quantities in the atmospheric boundary layer. J. Met. Soc. Japan, 1977. Vol. 55, No. 3. P. 264–272.

References

1. Abbasova E.V., Erokhina E.V. (2019) Pravo na dostovernuyu informaciyu o sostoyanii okruzhayushchej sredy [The right to reliable information about the state of the environment], *Vestnik soveta molodyh uchenyh i specialistov Chelyabinskoy oblasti*, pp. 3-8.
2. Atmosfernaya turbulentsnost' i modelirovanie rasprostraneniya primesej (1985) [Atmospheric turbulence and modeling of impurity propagation], Hydrometeoizdat, Leningrad, 351p.
3. Akhtimankina A.V., Eroshkin V. M. (2023) Analiz podhodov k opredeleniyu urovnej zagryazneniya atmosfernogo vozduha naselennyh mest [Analysis of approaches to determining the levels of atmospheric air pollution in populated areas], Proceedings of Irkutsk State University. Earth Science Series, pp. 18-32.
4. Bezuglaya E.Y. (1980) Meteorologicheskij potencial i klimaticheskie osobennosti zagryazneniya vozduha gorodov [Meteorological potential and climatic features of urban air pollution], Hydrometeoizdat, Leningrad, 184p.
5. Bezuglaya E.Y., Abrosimova Y.E. (1998) Veb-Atlas: "Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e naseleniya Rossii" [Web Atlas: "Environment and health of the Russian population"], available at: <http://biology.krc.karelia.ru/misc/atl/ra00.htm> (accessed 09/14/2023).
6. Berlyand M.E. (1975) Sovremennye problemy atmosfernoj diffuzii i zagryazneniya atmosfery [Modern problems of atmospheric diffusion and atmospheric pollution]. L.: Hydrometeoizdat, Leningrad, 448p.
7. Byzova N.L., Ivanov V.N., Garger E.K. (1982) Turbulentsnost' v pograničnom sloe atmosfery [Turbulence in the boundary layer of the atmosphere], Hydrometeoizdat, Leningrad, 262p.
8. Vvedenie v geokologiyu atmosfery: uchebnoe posobie (2007) [Introduction to the geocology of the atmosphere], Publishing House of Kazan University, Kazan, 112p.
9. Zilitinkevich S.S. (1970) Dinamika pograničnogo sloya atmosfery [Dynamics of the boundary layer of the atmosphere], Hydrometeoizdat, Leningrad, 290p.
10. Karta «Vybrosov vrednyh veshchestv v atmosferu na territorii Moskovskoj oblasti» [Map "Emission of harmful substances into the atmosphere on the territory of the Moscow region"], available at: <http://www.exclusiverealestate.ru/info/ecology/index.php> (accessed 09/14/2023).
11. Karta «Integral'noj ocenki potenciala zagryazneniya atmosfery respubliky Tatarstan» [Map of the "Integrated assessment of the potential of atmospheric pollution of the Republic of Tatarstan"], available at: http://arshin-rt.ru/index.php?str_id=192 (accessed 09/14/2023).
12. Karta «Ekologicheskoy situacii respubliky Tatarstan» (1994) [Map of the "Ecological situation of the Republic of Tatarstan"], Russia.
13. Kachestvo vozduha v Google Kartah [Air quality in Google Maps], available at: <https://support.google.com/maps/answer/11270845> (accessed 11.09.2023).
14. Kachurin L.G. (1990) Fizicheskie osnovy vozdejstviya na atmosferynye processy [Physical bases of influence on atmospheric processes], Hydrometeoizdat, Leningrad, p.463.
15. Kompleksnyj atlas Ukrainy (2005) [Comprehensive Atlas of Ukraine], Cartography, Kiev, 96p.
16. Bor'ba za zdorov'e, ekologicheskij shantazh ili nechestnaya konkurenciya (2018) [The fight for health, environmental blackmail or unfair competition], Komsomol'skaya Pravda, <https://www.kp.ru/daily/26909/3955325> (accessed 08/21/2023).
17. Komfortnaya sreda [A comfortable environment], available at: <https://komfortsreda.udsu.ru/> (accessed 02/19/2024).
18. Laichtman D.L. (1970) Fizika pograničnogo sloya atmosfery [Physics of the boundary layer of the atmosphere], Hydrometeoizdat, Leningrad, 290p.
19. Levin A.V. K voprosu ob uravneniyah, opisuyushchih turbulentnyuyu diffuziyu v atmosfere [On the question of equations describing turbulent diffusion in the atmosphere], Kyiv, pp.102-107.
20. Marchuk G.I. (1982) Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushchej sredy [Mathematical modeling in the problem of the environment], Nauka, Moscow, 319p.
21. Mediko-ekologicheskij atlas goroda Voronezha [Medical and ecological atlas of the city of Voronezh], available at: <http://www.geogr.vsu.ru/atlas.files/page0011.htm> (accessed 09/15/2023).
22. Monin A.S. (1954) Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo peremeshivaniya v prizemnom sloe atmosfery [Obukhov A.M. The main patterns of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere], Proceedings of the Geophysical Institute of the USSR Academy of Sciences, Moscow, P.245.
23. Monin A.S. Yaglom A.M. (1965) Statischeeskaya gidromekhanika [Static hydromechanics], Nauka, Moscow, P.639.
24. Ekologi kraja obespekoyeny zagryazneniem vozduha v Krasnoyarske (2005) [Environmentalists of the region are concerned about air pollution in Krasnoyarsk], Nauchno-prakticheskij portal «Ekologiya proizvodstva», available at: <https://www.ecoindustry.ru/news/view/4741.html> (accessed 08/21/2023).
25. Osokin R.V. (2008) Politicheskoe manipulirovanie v sfere ekologicheskoy bezopasnosti v sovremennoj Rossii, Diss. rabota na soiskanie uch. st. kand. Nauk, Saratov, 163p.
26. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii ot 30 iyulya 2020 goda №524 «Ob utverzhenii trebovanij k provedeniyu nablyudenij za sostoyaniem okruzhayushchej sredy, ee zagryazneniem» (2020), available at: <https://docs.cntd.ru/document/565649091> (accessed 08/25/2023).
27. Greenwashing: kak raspoznat' psevdokologichnye tovary (2019) [Greenwashing: how to recognize pseudo-ecological products], Roskachestvo, available at: <https://rskrf.ru/tips/rassledovaniya/greenwashing-kak-raspoznat-psevdokologichnye-tovary/> (accessed 08/21/2023).
28. Grinvoshing, ili neuzheli vy platite za ekologichnost' (2023) [Greenwashing, or are you really paying for environmental friendliness], Russkoe geograficheskoe obshchestvo, available at: <https://www.rgo.ru/ru/article/grinvoshing-ili-neuzheli-vy-platite-za-ekologichnost> (accessed 08/21/2023).

Экология и природопользование

Семакина А.В.

29. Setton O.G. (1958) Mikrometeorologiya [Micrometeorology], Hydrometeoizdat, Leningrad, 352p.
30. Sokolov S.V. (2002) Razrabotka sistemy kompleksnogo territorial'nogo ekologicheskogo monitoringa (na primere g. Surgut), Diss. rabota na soiskanie uch. st. kand. Nauk, Moscow. – 167p.
31. Tipovye harakteristiki nizhnego 300-metrovogo sloya atmosfery po izmereniyam na vysotnoj machte (1982) [Typical characteristics of the lower 300-meter layer of the atmosphere according to measurements on a high-altitude mast], Hydrometeoizdat, Leningrad, 69p.
32. Turbulentnost'. Principy i primeneniya (1980) [Turbulence. Principles and applications] Mir, Moscow, 535 p.
33. Tsvetkov V.Y. (2016) Cifrovye karty i elektronnye karty [Digital maps and electronic maps], Cifrovye karty i elektronnye karty, pp. 647-648.
34. Shitikov V.K., Rosenberg G.S., Kostina N.V. (2005) Metody sinteticheskogo kartografirovaniya territorii (na primere ekologo-informacionnoj sistemy «VOLGABAS») [Methods of synthetic mapping of the territory (on the example of the environmental information system "VOLGABAS")], Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii, 230p.
35. Ekologicheskaya karta UR (1997) [Environmental map of UR], UdGU, Izhevsk.
36. Yuditsev I.D. (2023) kologicheskaya povestka kak instrument politicheskogo manipulirovaniya v usloviyah gibridnykh vojn [The environmental agenda as a tool of political manipulation in conditions of hybrid wars], Politkonsul'tant. Political Science and Technology, available at: <https://politicjournal.ru/PDF/01PK222.pdf> (accessed 08/21/2023).
37. AccuWeather. Tekushchee kachestvo vozduha [Current air quality], available at: <https://www.accuweather.com/ru/ru/izhevsk/296181/air-quality-index/296181> (accessed 08/29/2023).
38. Air pollutant units and conversion factors. NSW Department of Planning and Environment. Available at: <https://www.environment.nsw.gov.au/topics/air/understanding-air-quality-data/units-and-conversion-factors> (accessed 31/08/2023).
39. AirCMS. Available at: <https://aircms.online/#/> (accessed 29/08/2023).
40. AQI. Available at: <https://www.aqi.in/air-quality-map> (accessed 29/08/2023).
41. Atlas Rzeczypolitey Polskey (1993-1997), Copyright by Ctownly Geodeta Kraju, Warszawa, 295p.
42. Atmosphere monitoring service. Available at: https://atmosphere.copernicus.eu/charts/packages/cams/products/carbon-dioxide-forecasts?base_time=202308280000&layer_name=composition_co2_totalcolumn&projection=classical_global&valid_time=202308280300 (accessed 29/08/2023).
43. Bootstrap. Available at: <https://getbootstrap.com/> (accessed 08/09/2023)
44. CityAir. Available at: <https://cityair.ru/ru/monitoring-networks> (accessed 29/08/2023).
45. Duong T. (2011) Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics, Journal of Environmental Management, P.554-562.
46. Friedman B. (1951) The dipole field in an inhomogeneous atmosphere. Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, 56 p.
47. Henderson-Sellers B. (1982) A simple formula for vertical eddy diffusion coefficients under condition of no neutral stability, Journal of Geophysical Research, pp.5860–5864.
48. Köhler H. (1936) The nucleus in and the growth of hygroscopic droplets, Transactions of the Faraday Society, P. 1152 – 1161.
49. Minnesota Pollution Control Agency | AQMesh | The best small sensor air quality monitoring system Available at: <https://www.aqmesh.com/case-studies/minnesota-pollution-control-agency/> (accessed 18/09/2023).
50. Taylor, G. Eddy (1915) Motion in the Atmosphere, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, P. 1–26.
51. The international affairs. Environmental blackmail: who benefits from it? (2015) URL: available at: <https://interafairs.ru/news/show/12922> (accessed 29/08/2023).
52. World Air Map. Available at: <https://air.plumelabs.com/en/> (accessed 29/08/2023) (дата обращения 08.09.2023).
53. Yokoyama O, Gamo M., Yamamoto S. (1977) The vertical profiles of the turbulence quantities I the atmospheric boundary layer, Japan, P.264-272.

Статья поступила в редакцию: 03.04.24, одобрена после рецензирования: 18.10.24, принята к опубликованию: 12.12.24.

The article was submitted: 4 April 2024; approved after review: 18 October 2024; accepted for publication: 12 December 2024.

Информация об авторе

Алсу Валерьевна Семакина

кандидат географических наук, доцент,
доцент кафедры экологии и природопользования
Института естественных наук,
Удмуртский государственный университет;
426034, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск,
ул. Университетская, 1/1

Information about the author

Alsu V. Semakina

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Ecology and
Nature Management, Institute of Natural Sciences,
Udmurt State University;
1/1, Universitetskaya st., Izhevsk, Udmurt Republic,
426034, Russia

e-mail: alsen13@list.ru