

Научная статья

УДК 504.3.054, 167

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.83>

EDN: OJSVSQ

Научно-методологические аспекты картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха

А. В. Семакина

Удмуртский государственный университет,
Российская Федерация, 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1
alsen13@list.ru

Аннотация. *Введение.* Многообразие источников информации о состоянии атмосферного воздуха, её 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 её картографической визуализации напрямую влияет на качество предоставляемой информации и на эффективность административно-управленческих решений, принимаемых на базе данного рода информации. *Цель* – формирование научно-методологического аппарата картографической визуализации комплексного мониторинга состояния атмосферного воздуха. *Объекты и методы.* Для решения поставленных задач были проведены сбор, систематизация, математическая обработка, анализ и картографическая визуализация данных о состоянии атмосферного воздуха для территорий разного территориального уровня: Российская Федерация, федеральные округа (Приволжский и Уральский ФО), субъекты РФ (республики Удмуртия, Башкирия), город Ижевск. В работе были использованы данные государственного учёта источников загрязнения атмосферного воздуха на территории РФ, материалы государственного мониторинга, данные, полученные в ходе натурных исследований и математического моделирования. *Результаты.* В рамках данного исследования сформулированы временная структура деятельности по созданию карт состояния атмосферного воздуха, критерии и факторы репрезентативности картографических материалов. Временная структура процесса создания карт включает в себя следующие этапы: фаза проектирования, технологическая и рефлексивная фаза. Сформулированы следующие критерии репрезентативности исходных данных и полученного картографического материала: критерий достаточной обоснованности, критерий интересубъективности, критерий сходимости. Репрезентативность данных, используемых в создании карт состояния атмосферного воздуха, в значительной степени определяется следующими факторами: масштаб, используемые математико-статистические подходы к обработке исходных данных и степень первичной интеграции. *Выводы.* Использование сформулированного научно-методологического аппарата создаст возможности для формирования нового кластера карт состояния атмосферного воздуха, характеризующихся высокой степенью достоверности и репрезентативности.

Ключевые слова: репрезентативность карт; состояние атмосферного воздуха; критерии; факторы

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Семакина А. В. Научно-методологические аспекты картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4 (64). С. 83–99. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.83>; EDN: OJSVSQ

Введение

Многообразие источников информации о состоянии атмосферного воздуха, её 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 её картографической визуализации напрямую влияет на качество предоставляемой информации и на эффективность административно-управленческих решений, принимаемых на базе данного рода информации.

Развитие сферы информационных технологий внесло свои коррективы: можно отметить, с одной стороны, расширение публичности и доступности многих баз данных о состоянии атмосферного воздуха, с другой стороны, развитие веб-картографии [1], как наиболее эффективного инструмента картографической визуализации (высокая скорость создания карт, автоматизация процесса, отсутствие необходимости специальных знаний в области создания карт). Всё это, на фоне высокого спроса на актуальную информацию о состоянии окружающей среды, привело к появлению в Интернете большого количества карт, не отвечающих требованиям репрезентативности в содержательном отношении (например, [2, 3]).

Повышению эффективности любой продуктивной деятельности, направленной на получение объективно (или субъективно) нового результата (в том числе и касающейся области создания карт состояния атмосферного воздуха), способствует применение методологического аппарата (формирующего алгоритм организации деятельности) [4]. В свою очередь, организация деятельности означает создание упорядоченной системы действий с чётко определёнными характеристиками, логической и временной структурой [5]. При-

менительно к картографированию состояния атмосферного воздуха под логической структурой понимается субъект (индивид или группа людей, занимающихся сбором, систематизацией и картографической визуализацией данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха), объект (состояние атмосферного воздуха), предмет (методы сбора, интеграции и картографической интерпретации данных о состоянии атмосферы), формы (картографическое обеспечение научно-исследовательской деятельности, практической природоохранной деятельности, эколого-просветительской деятельности [6]), методы (общенаучные методы, методы интеграции и интерпретации данных, методы картографической визуализации, в т. ч. в виде электронных и онлайн-карт), критерии оценки достоверности исходных данных и полученного результата. Временная структура данного вида деятельности предполагает поэтапную организацию процесса с оценкой её эффективности и качества.

Цель работы – формирование научно-методологического аппарата картографической визуализации комплексного мониторинга состояния атмосферного воздуха.

Задачи:

✓ сбор, систематизация, математическая обработка и картографическая визуализация данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха для территориальных единиц разного уровня;

✓ обоснование критериев и факторов репрезентативности данных о состоянии атмосферного воздуха;

✓ оценка особенностей временной структуры картографической визуализации.

Объекты и методы исследования

Для решения поставленных задач автором были проведены сбор, систематизация, математическая обработка, анализ и картографическая визуализация данных о состоянии атмосферного воздуха для территорий разного территориального уровня: Российская Федерация, федеральные округа (Приволжский и Ураль-

ский ФО), субъекты РФ (республики Удмуртия, Башкирия), город Ижевск [7–9]. В работе были использованы данные государственного учёта источников загрязнения атмосферного воздуха на территории РФ, материалы государственного мониторинга, данные, полученные в ходе натурных исследований и математического моделирования. Исследования были основаны на нормативно-методических документах, утверждённых на государственном уровне, а также на разработках ведущих отечественных и зарубежных учёных в области математического моделирования и картографирования процессов загрязнения атмосферы: Э. Ю. Безуглой, М. Е. Берлянд [10], М. Е. Берлянд, Е. Л. Генрихович, В. И. Оникул [11], Экологический программный комплекс для персональной ЭВМ под ред. А. С. Гаврилова [12], Г. И. Марчука [13], В. А. Петрухина и В. А. Вишенского [14], Т. С. Селегей, И. П. Юрченко [15], В. С. Тикунова [16] и др.

Накопленный в рамках данного исследования значительный объём картографического, аналитического, графического материала представлен на геопортале «Комфортная среда» [17], созданном под руководством автора. В качестве геоинформационного инструмента, реализующего задачу web-визуализации электронных карт, был использован модуль qgis2web программного продукта Qgis. На основании имеющихся картографических материалов были сформулированы следующие уровни территориальной детализации картографического онлайн-сервиса загрязнения атмосферного воздуха: город, субъект РФ, федеральный округ, Российская Федерация.

На уровне города (в части химического загрязнения атмосферного воздуха) была отображена следующего рода информация:

1. Текстовое пояснение и видеоматериал о методологии получения исходных данных, факторах загрязнения атмосфер-

ного воздуха, основные закономерности загрязнения атмосферного воздуха данного населённого пункта.

2. Карты среднегодовых поингредиентных концентраций основных поллютантов – способом изолиний с послышной окраской (изобразительные средства – цвет и текстовое пояснение, появляющееся при наведении на объект).

3. Карта среднегодовых значений комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) с разными подходами к пространственной интерпретации данных: по микрорайонам, по единицам кадастрового деления – способом изолиний (изобразительные средства – цвет и текстовое пояснение, появляющееся при наведении на объект). В качестве примера можно привести карту среднегодовых значений КИЗА на территории г. Ижевска, полученных в ходе натурных исследований (рис.1).

4. Карта объёмов эмиссии загрязняющих веществ (ЗВ) по промышленным зонам, характеризующих агрегатное состояние и класс опасности выбросов.

5. Динамические карты загрязнения атмосферного воздуха в течение суток для отдельного участка населённого пункта.

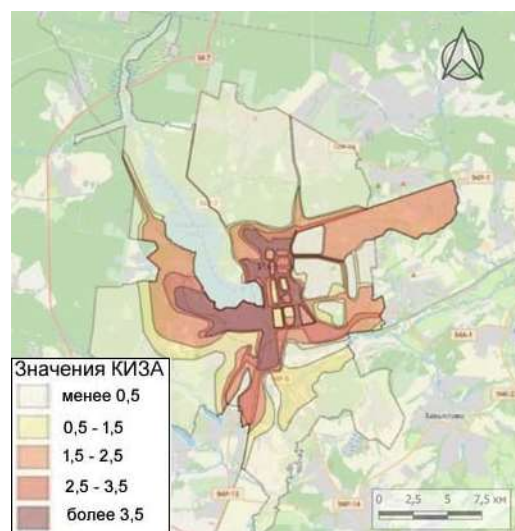


Рис. 1. Карта среднегодовых значений КИЗА на территории г. Ижевска, полученных в ходе натурных исследований в 2022 году
Fig. 1. Map of average annual values of the complex index of atmospheric air pollution (CAPI) on the territory of the city of Izhevsk, obtained during field studies in 2022

Динамическая карта концентрации диоксида азота, представленная в разделе «Ижевск. Атмосферный воздух», является методологической апробацией подхода, реализующего автоматизированную систему создания онлайн-карт загрязнения атмосферы и опирающегося на методы машинного зрения и математического моделирования. Анализ полученных значений расчётных концентраций диоксида азота вблизи ул. Удмуртской в будний день (12.12.2022) показал высокую схожесть с результатами натуральных измерений [9]. Необходимо отметить, что, несмотря на относительно ограниченную зону влияния автодорог как факторов загрязнения атмосферы (на расстоянии более 50 м выбросы от автодороги не приводят к формированию концентраций, превышающих санитарно-гигиенические нормативы), для многих городов основной вклад в суммарные выбросы приходится на выбросы от автотранспорта. В связи с тенденцией повсеместного увеличения автопарка городов можно прогнозировать рост акту-

альности указанного подхода к мониторингу состояния атмосферного воздуха вблизи автодорог.

На уровне субъекта РФ, федерального округа и территории РФ в целом онлайн-сервис содержит следующую информацию о состоянии атмосферного воздуха:

1. Карты среднегодовых значений поингредиентных (маркерных для техногенной деятельности) показателей загрязнения атмосферы (изобразительное средство – цвет).

2. Карта среднегодовых значений КИЗА – способом изолиний с послышной окраской.

3. Карта объёмов выбросов по отдельным регионам картографируемой территории – способом картодиаграмм (изобразительное средство – цвет).

В качестве примера можно привести карты расчётных значений КИЗА на территории РФ (рис. 2), на территории Приволжского и Уральского ФО (рис. 3, 4), на территории Удмуртской Республики (рис. 5).

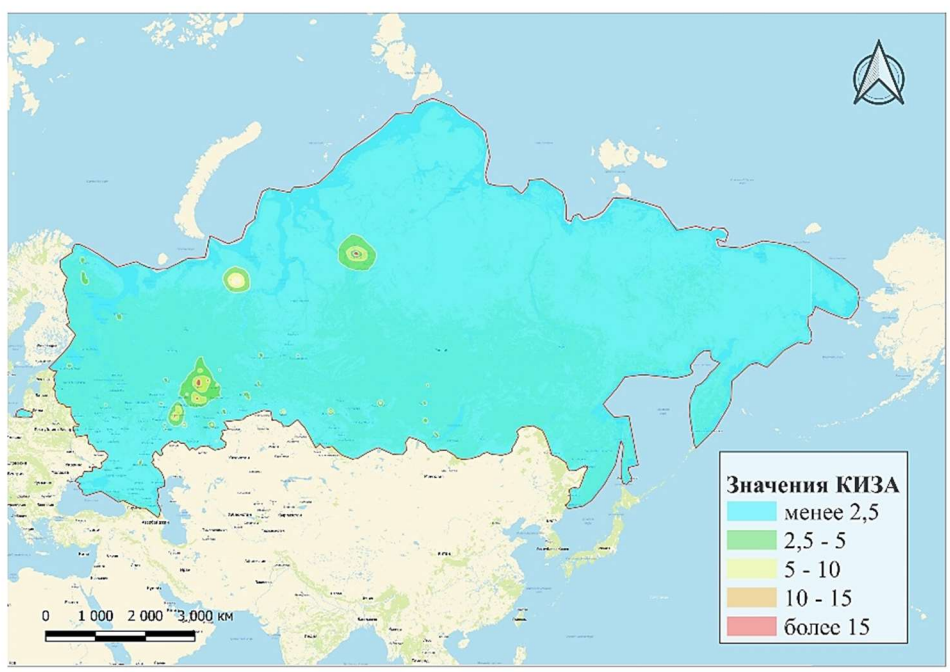


Рис. 2. Среднегодовые значения КИЗА на территории РФ, сформированные выбросами от стационарных источников

Fig. 2. Average annual CAPI values on the territory of the Russian Federation due to emissions from stationary sources

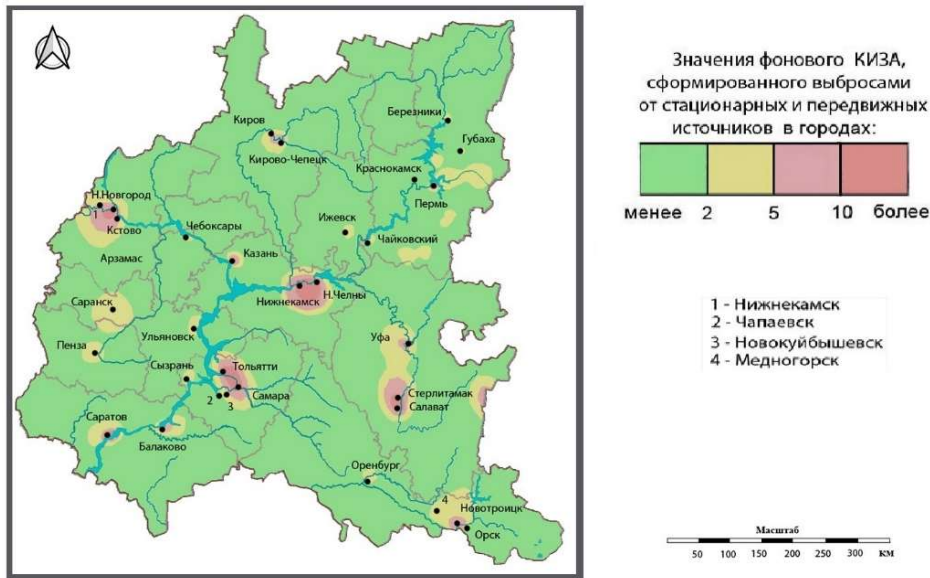


Рис. 3. Среднегодовые значения КИЗА на территории Приволжского ФО, сформированные выбросами от стационарных источников
Fig. 3. Average annual CAPI values on the territory of the Volga Federal District due to emissions from stationary sources

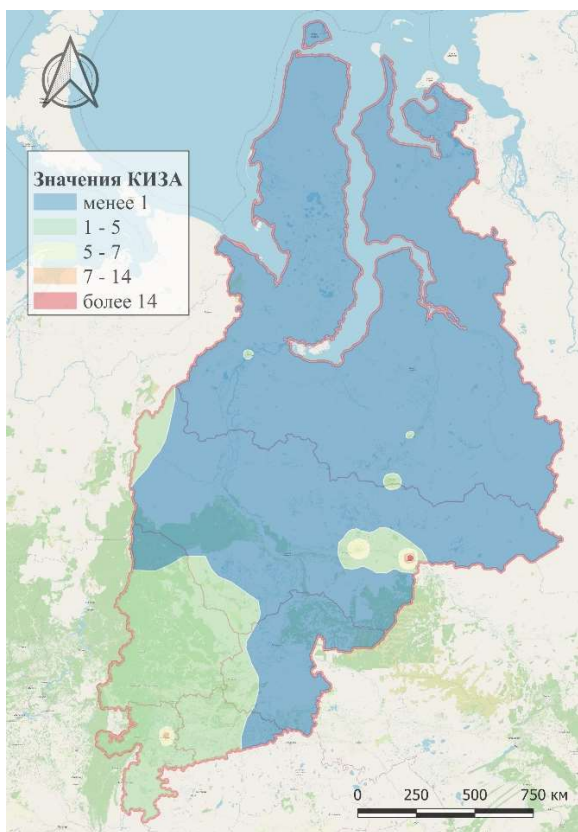


Рис. 4. Среднегодовые значения КИЗА на территории Уральского ФО, сформированные выбросами от стационарных источников
Fig. 4. Average annual CAPI values on the territory of the Ural Federal District due to emissions from stationary sources

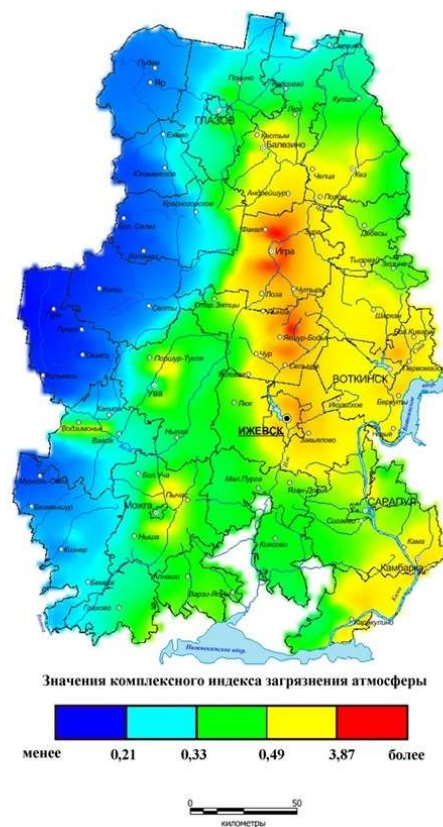


Рис. 5. Среднегодовые значения комплексного индекса загрязнения атмосферы на территории Удмуртской Республики
Fig. 5. Average annual CAPI values on the territory of the Udmurt Republic

Результаты и их обсуждение

Поэтапный процесс осуществления деятельности по картографической визуализации данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха (или временная структура деятельности), можно разделить на следующие компоненты:

1. Фаза проектирования, на которой осуществляется сбор, систематизация исходных данных, оценка репрезентативности собранных данных, их интеграция и интерпретация.

2. Технологическая фаза – собственно процесс создания карт (в том числе бумажных, электронных, динамических и онлайн-карт), механизмы их создания, отображения, доведения до потребителя.

3. Рефлексивная фаза, на которой происходит анализ полученных результатов, выделение территорий с наихудшими (с точки зрения загрязнения атмосферного воздуха) условиями, верификация и корректировка результата, прогноз и выработка системы мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха.

Фаза проектирования. С методологической точки зрения, наименее проработанными являются задачи, рассматриваемые на фазе проектирования. В то же время, качественный подход к реализации указанной фазы позволяет избежать явных и скрытых ошибок в полученном картографическом материале, характеризующем состояние атмосферного воздуха. В связи с многообразием источников исходной информации, используемой при оценке и картографической визуализации состояния атмосферного воздуха, актуальным становится вопрос определения степени достоверности и типичности используемых данных.

Поскольку любая информация о состоянии окружающей среды (в том числе и состоянии атмосферного воздуха) объективно беднее существующей реальности, постольку существует необходимость достижения репрезентативности (или объективной истинности) получаемых дан-

ных. К минимальному набору признаков научно достоверного знания, выделяемых в философии, относятся истинность, интерсубъективность и системность [5]. Применительно к картографической визуализации можно предложить следующие критерии репрезентативности используемых данных:

1. Критерий достаточной обоснованности (или истинности), который предполагает методологическую репрезентативность используемых данных о состоянии атмосферного воздуха (например, репрезентативность используемой выборки; использование методик расчёта, подтверждённых длительными эмпирическими исследованиями; достаточное для пространственной интерпретации количество пунктов отбора или постов наблюдения).

2. Критерий интерсубъективности, который предполагает воспроизводимость получаемых данных для другой территории. Согласно общеэкологическому закону физико-химического единства живого вещества Вернадского [18], критерии и оценочные показатели состояния атмосферного воздуха, используемые для одной территории, могут быть использованы и для остальных территорий. Примером несоответствия критерию интерсубъективности является используемый за рубежом интегральный показатель AQI [19]. При расчёте данного показателя большой вклад в итоговые значения вносит такая группа ЗВ, как взвешенные вещества (без учёта этиологии и химического состава примесей), за счёт чего одинаково высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха можно наблюдать в центре промышленно развитого города (например, Лондон) и в пределах неосвоенных территорий (например, центральная часть пустыни Сахара или Гималаи), в то время как реальный риск здоровью населения, создаваемый данными уровнями загрязнения, в значительной степени различается [20]. Поскольку критерий интерсубъективности конкретизируется требованием воспроизводимости науч-

ного знания, то есть одинаковостью результатов при одинаковых условиях эксперимента, он же может быть использован и в качестве критерия выявления факторов загрязнения атмосферного воздуха, ранее не учтённых в исследовании.

3. Критерий сходимости предполагает, в первую очередь, совпадение в крайних значениях имеющихся данных с другими источниками информации о состоянии атмосферного воздуха. Можно рассматривать критерий сходимости и более широко – как соответствие полученных данных другим областям знания: научного, обыденного, художественного. Так, полученные (расчётным путём или в ходе натурных исследований) высокие значения пылевой нагрузки в пределах жилой застройки говорят о широком использовании печного отопления, а экстремально высокие значения формальдегида, полученные на территории биосферного заповедника, сигнализируют о неисправности измерительного прибора или ошибке в расчётах.

Примером могут служить и некоторые данные государственного мониторинга, используемые в рамках исследования данных, характеризующих уровень загрязнения атмосферного воздуха, по результатам государственной сети мониторинга. Так, в Ульяновской области посты наблюдения за загрязнением атмосферы (ПНЗ) работают в пяти городах и трёх поселках городского типа. При этом три города Ульяновской области характеризуются значениями КИЗА более 14,0 или значениями концентраций одного из контролируемых поллютантов более 10 ПДК, два города и три поселка городского типа характеризуются значениями КИЗА более 7 [15]. Характеризуя источники антропогенного поступления ЗВ в атмосферный воздух, можно отметить невысокие объёмы выбросов ЗВ в целом по региону (валовые выбросы составляют 53,8 тыс. т/год, а удельные выбросы – 0,8 т/км² в год) и отсутствие зна-

чимых источников в указанных населённых пунктах [21]. В свою очередь, в пределах такого крупного промышленного центра, как Санкт-Петербург (суммарные выбросы составляют 200,9 тыс.т/год, а удельные выбросы – 130,1 т/км² в год), в целом значения КИЗА характеризуются низкими значениями [21, 22]. В данном случае, фактором, оказывающим влияние на формируемые приоритетные списки городов с высокими уровнями загрязнения, является не столько факт в среднем высоких концентраций поллютантов на территории населённого пункта, сколько специфическое расположение ПНЗ, отражающее в конкретном случае либо нетипичные экстремально высокие значения концентраций (формируемые в непосредственной близости местного источника, такого как автодорога), либо нетипичные низкие значения концентраций (формируемые в ветровой тени либо на значительном удалении от значимых источников выброса).

Необходимо отметить, что репрезентативными можно считать данные, отвечающие всем трём критериям истинности. Так, например, существуют различные подходы к оценке состояния атмосферного воздуха, выдвигающие различные требования к количеству пространственной и временной выборки (биоиндикационный метод, измерение концентраций ЗВ в атмосфере, оценка среднегодовых объёмов эмиссии), что позволяет по-разному интерпретировать критерий достаточной обоснованности. Реализация только критерия интерсубъективности на практике может отражать лишь всеобщее заблуждение. Например, в части реализации системы государственного мониторинга за состоянием атмосферного воздуха, традиционно (по аналогии с метеорологическими исследованиями) измерения проводятся в 7:00, 13:00, 19:00. На практике это означает контроль за состоянием атмосферы до «часа пик» на автодорогах и начала работы основных производств, в обеденный перерыв, после «часа пик»

и окончания работ на основных производствах. Реализация только критерия сходимости, обособленно от других, обуславливает лишь «научообразность» собранных или полученных данных. Так, например, в практике создания государственных докладов о состоянии окружающей среды отмечается тенденция формирования от года к году практически полностью идентичного аналитического раздела.

Репрезентативность данных, используемых в создании карт состояния атмосферного воздуха, в значительной степени определяется следующими факторами:

1. Масштаб является базовым фактором генерализации данных. Особое значение он приобретает при создании карт на бумажных носителях. В свою очередь, широкое развитие ГИС-технологий [23] приводит к тому, что в некоторых случаях (на интерактивных картах) возможен почти полный отказ от генерализации либо переход к «ступенчатой» генерализации (эффекту пирамиды). При выделении отдельных ступеней обработки и представлении данных целесообразно опираться на единицы административного деления и характерные типы природопользования. Так, на примере г. Ижевска рекомендуется выделение внутри городской территории следующих типов природопользования: транспортного, промышленного, селитебного (в том числе сектора многоэтажной застройки и индивидуального жилищного строительства). Для региона (на примере Удмуртии) можно предложить следующее внутреннее деление по типам природопользования: территория городской застройки, промышленная зона, зона влияния крупных междугородних автодорог и магистралей, территория крупных месторождений, зона влияния газокompрессорных станций. На уровне Российской Федерации при выделении характерных типов природопользования необходимо опираться на следующие факторы: плотность населения, наличие крупных городских агломе-

раций, физико-географическое районирование территории [8, 9].

2. Математико-статистические подходы. Рекомендации по использованию различных математико-статистических подходов в значительной степени вариabельны в зависимости от типа данных. Так, например, для снижения влияния на итоговый результат измерения флуктуаций значений, вызванных местными атмосферными вихрями, целесообразно использовать линейное усреднение ряда полученных данных, а при выборе ступеней шкалы в процессе пространственной интерполяции уровней загрязнения атмосферного воздуха целесообразно опираться на медианные и квантильные значения [24].

Отдельно заслуживают рассмотрения подходы к определению удельных показателей. Поскольку экологические проблемы неотделимы от территорий, на которых они проявляются, постольку целесообразным является расчёт удельных показателей объёмов воздействия на единицу площади. Примером неудачного применения удельных показателей стало использование показателя удельных выбросов парниковых газов (тыс.т/чел.) при определении степени ответственности стран за вклад в глобальные изменения климата [25]. Таким образом, удельные выбросы таких густонаселённых стран (мировых лидеров по выбросам диоксида углерода), как Китай и Индия, оказались ниже, чем России.

Поскольку большинство статистических данных публикуется уже первично интегрированными во временном отношении, наибольший интерес представляет временная интеграция при обработке и систематизации данных, полученных в ходе натурных измерений. Здесь целесообразен отказ от формального подхода к выделению временных интервалов (например, среднесуточные или среднегодовые концентрации) и переход к неформальным временным интервалам, характеризующимся разными уровнями загрязнения атмосферного воздуха (например,

период «час пик» вблизи автодорог, в период НМУ). В то же время, существуют сложности санитарно-гигиенической интерпретации полученных значений в связи с формальным подходом временной интеграции в санитарно-гигиеническом нормировании (ПДК максимально разовая, ПДК среднесуточная, ПДК среднегодовая).

3. Степень первичной интеграции. Выделяются две категории данных: первично интегрированные (например, данные об объёмах выбросов), единичные данные (разовое измерение). При этом можно отметить, что репрезентативность единичных данных будет повышаться при их временной, межингредиентной и пространственной интеграции, что позволит перейти от отображения характеристик конкретной ситуации к общим, типичным закономерностям. С другой стороны, первично интегрированные статистические данные будут тем репрезентативнее, чем меньше степень осреднения (например, характерно снижение информативности данных об объёмах выбросов по мере повышения осреднения от уровня предприятий до уровня региона и страны). Во многом это связано с использованием в процессе интеграции традиционных показателей среднего, а не медианного значения.

Математическое моделирование предполагает первичную интеграцию и аппроксимацию процессов рассеяния, что, с одной стороны, делает этот процесс технически более простым, с другой стороны, формирует лишь обобщённую картину состояния атмосферного воздуха. Степень репрезентативности полученных в результате расчёта данных будет определяться степенью близости моделируемых и реальных условий.

Таким образом, можно отметить разноречивость влияния факторов репрезентативности на достоверность исходных данных о состоянии атмосферного воздуха. Сложность и многообразие их влияния является основной причиной формирования некорректных картографических

материалов, характеризующих состояние атмосферного воздуха.

Технологическая фаза. В общем случае вопросами, изучающими законы построения и функционирования знаковых систем, занимается семиотика. Семиотика является одним из оснований методологии, поскольку человеческая деятельность, человеческое общение делают необходимым выработку многочисленных систем знаков, с помощью которых люди могли бы передавать друг другу разнообразную информацию и тем самым организовывать свою деятельность. Для того чтобы содержание того или иного сообщения, которое один человек может передать другому, было понято получателем, необходим такой способ трансляции, который позволил бы получателю раскрыть смысл сообщения. Это возможно в том случае, если сообщение выражается в знаках, несущих доверенное им значение, и если передающий и получающий информацию одинаково понимают связь между значением и знаком.

При выборе способов и средств картографического изображения состояния атмосферного воздуха большую роль играют такие факторы, как особенности исходных данных и картографируемой территории, наглядность и общедоступность используемых способов и средств, назначение и масштаб картографического материала.

Особенности исходных данных оказывают влияние на выбор способов и средств картографического изображения посредством уровня первичной пространственной интеграции. Так, данные об объёмах выбросов, предоставляемые официальными источниками, часто носят обобщённый характер по единицам административно-территориального деления, что делает возможным использование при картографировании воздействия на атмосферный воздух только способа картограмм и картодиаграмм. При наличии не интегрированных в пространственном

отношении данных об объёмах выбросов (по предприятиям, населённым пунктам) возможно применение способа значков (в т. ч. структурных значков), способа локализованных диаграмм (в т. ч. с характеристикой объёмов удельных и приведённых выбросов). При характеристике уровня загрязнения атмосферы и условий рассеяния в связи со значительной степенью континуальности её дифференциации рекомендуется применение способа изолиний. При дефиците пространственной выборки данных допускается использование способа значков и качественного фона.

Подходы к выбору изобразительных средств (наглядность и общедоступность используемых способов и средств) являются универсальными и не отличаются от аналогичных подходов в других разделах тематического картографирования.

Особенности картографируемой территории и масштаб оказывают влияние на подходы к степени генерализации тематического и общегеографического содержания. Так, для территории Красноярского края ценз при отборе картографируемых источников выбросов предприятий (или населённых пунктов) будет менее строгим, чем для территории Московской области или территории РФ в целом. При уменьшении масштаба картографического изображения возможен переход от количественной характеристики к качественной интерпретации типов структур выбросов (переход от способа локализованных диаграмм к качественному фону). Необходимо отметить, что с появлением и развитием электронных и интерактивных карт влияние данных факторов существенно снизилось в связи с возможностью послойной детализации карт («эффект пирамиды»).

Назначение картографического материала оказывает влияние на детальность, качество и однозначность интерпретации пользователем получаемой карты. Так, карты концентраций поллютантов в атмосферном воздухе, создаваемые в рамках

написания природоохранных проектов (например, санитарно-защитных зон, нормативов допустимых выбросов) будут отличаться высокой информативностью, однозначностью интерпретации, но также будут носить закрытый для общего пользования характер, часто обладать избыточной для обычного пользователя информацией (например, место расположения и номер источника выбросов согласно данным инвентаризации источников выбросов на предприятии). Качество карт, создаваемых для общего пользования, во многом зависит от имеющейся исходной информации и целей картографирования. В некоторых случаях имеют место факты профанации и использования карт состояния атмосферы для манипулирования общественным мнением (например, [26]).

С развитием компьютерных технологий подавляющее большинство карт состояния атмосферного воздуха создаётся с применением многообразных ГИС-продуктов (например, MapInfo, Qgis, ArcGIS и т. д.) Развиваются активно и отечественные продукты, формирующие картографический материал о состоянии атмосферного воздуха (например, «Циклон» [27], «Интеграл-эколог» [28] и т. д.). Большое распространение получили онлайн ГИС-ресурсы, такие как «Яндекс-карты», «Google-карты», тоже предоставляющие инструменты по созданию картографического материала. В то же время, функциональные возможности и, как следствие, качество создаваемых карт в значительной степени зависят от назначения программного продукта (является ли создание карт основным или вспомогательным инструментом).

Рефлексивная фаза в рамках данной работы понимается в контексте оценки содержания и качества полученного картографического результата. Термин «оценка» предполагает под собой установление уровня качества и может рассматриваться с двух позиций:

1. Оценка исследователем качества, наглядности, репрезентативности созданных им карт. Такой подход подразумевает оценку качества картографического материала, сравнение полученных значений с данными из других источников (картографических, литературных, статистических). В ходе верификации возможна доработка картографического материала по аналогии с циклом Деминга [29]. В ходе оценки качества полученного материала можно опираться на рассмотренные ранее критерии репрезентативности данных: критерий достаточной методологической обоснованности полученных данных; критерий интересубъективности (при оценке корректности используемых показателей); критерий сходимости (при оценке достоверности, типичности полученных данных в сравнении с данными из других источников, в том числе картографическими материалами, полученными в рамках аналогичных исследований для других территорий или за предыдущий период). Так, в ходе картографической интерпретации результатов математического моделирования загрязнения атмосферного воздуха для территорий различных уровней (РФ, федеральные округа, республики Башкирия и Удмуртия) в общем виде отмечалась сходимость результатов между собой и с данными натурных измерений (полученных в ходе государственного мониторинга состояния атмосферы). Расхождения в полученных картографических материалах были связаны главным образом с неизбежной генерализацией, а также методологическими различиями в получении первичных и расчётных данных (использование различного перечня ЗВ в расчёте интегрального показателя загрязнённости атмосферы, размещение постов мониторинга только в пределах городов и посёлков городского типа).

2. Оценка содержания карт как результата научного исследования. При таком подходе важным является установление пространственных связей и особенностей

загрязнения атмосферного воздуха, формирование прогнозов развития ситуации, оценка рисков здоровью населения. Так, в ходе картографической интерпретации результатов математического моделирования загрязнения атмосферного воздуха РФ были выделены следующие ареалы загрязнения: Норильский, Центрально-Уральский, Поволжский, Печоро-Воркутинский. При повышении пространственной детализации (на уровне федеральных округов) были выделены следующие ареалы загрязнения: Нижнекамский, Самарский, Центрально-Башкирский (ПФО); Нижнетагильский, Челябинский, Магнитогорский (УрФО). Выявление крупнейших ареалов загрязнения, часто формируемых в результате влияния нескольких крупных городов-источников выбросов, в дальнейшем может служить основой для формирования рекомендаций при разработке целевых мероприятий по улучшению качества атмосферного воздуха (в том числе при реализации федерального проекта «Чистый воздух»).

В рамках оценки содержания карт с применением критерия интересубъективности можно выявить влияние не учитываемых или недооценённых ранее факторов. Так, анализируя карту КИЗА г. Ижевска (полученную по материалам натурных измерений), можно отметить значимое влияние орографических особенностей местности (понижение долины реки Подборенка) и преобладающих среднегодовых направлений ветра (южного и юго-западного) на формирование зон высоких концентраций поллютантов, поступающих в атмосферный воздух от высоких источников центральной промышленной зоны. Значимое влияние данного фактора, в сочетании с ростом загруженности центральных автодорог города и интенсивной уплотнительной жилой застройкой, может стать фактором роста заболеваемости населения (особенно заболеваний дыхательной системы) в центральной и северо-восточной частях города. Исследования

по оценке влияния состояния атмосферного воздуха на здоровье населения (в т. ч. детского) для города проводились, начиная с середины 90-х гг. XX века. Прогнозы пространственного распределения значений показателей заболеваемости характеризовались высокой степенью сходимости [30].

Заключение

В ходе проведенного исследования были сформулированы подходы к оценке факторов и критериев репрезентативности картографического материала. Рассмотрены общие вопросы подходов к картографической интерпретации результатов мониторинга состояния атмосферного воздуха в контексте сформулированного научно-

методологического аппарата. Использование научно-методологического аппарата, позволяющего систематизировать существующие подходы к получению, анализу и картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха, будет способствовать повышению качества, репрезентативности и содержательности карт состояния атмосферного воздуха, создаст возможности для формирования нового кластера карт состояния атмосферного воздуха, характеризующихся высокой степенью достоверности и репрезентативности и используемых для информационного обеспечения населения, органов исполнительной власти и административного управления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зеленко О. В., Валеева Л. Р., Климанов С. Г. Обзор современных Web-технологий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 354–356. EDN: TJLTVP
2. Онлайн-карта «Эковизор». URL: <http://online.russiagreens.ru> (дата обращения: 19.07.2024).
3. AirViro (web based system for Air Quality Management). URL: <https://www.airviro.com/airviro/> (дата обращения: 29.07.2024).
4. Каган М. С. Человеческая деятельность. (Опыт системного анализа). М.: Политиздат, 1974. 328 с.
5. Философский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 839 с.
6. Стурман В. И. Экологическое картографирование. Ижевск.: Удмуртский университет, 2000. 152 с.
7. Семакина А. В., Платунова Г. Р., Мансуров А. Р. Состояние атмосферного воздуха на территории Республики Башкортостан // Вестник Удмуртского университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, № 3. С. 278–284. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-278-284; EDN: LVIMIP
8. Габдуллин В. М., Семакина А. В., Моделирование загрязнения атмосферы над территорией Приволжского федерального округа // Вестник Удмуртского государственного университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 3–11. EDN: MRMQIT
9. Формирование онлайн-карт загрязнения атмосферного воздуха г. Ижевска, формируемого выбросами передвижных источников / А. В. Семакина, А. А. Коробейникова, Л. Н. Петухова и др. // Географический вестник. 2023. № 2 (65). С. 105–121. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-2-105-121; EDN: QJFBU
10. Безуглая Э. Ю., Берлянд М. Е. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
11. Берлянд М. Е. Генрихович Е. Л., Оникул В. И. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха из низких и холодных источников // Метеорология и гидрология. 1990. № 5. С. 5–17.
12. Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ. Теоретические основы и руководство пользователя ЭПК "Zone" / А. С. Гаврилов, Г. И. Воронов, А. П. Щербо и др., под ред. А. С. Гаврилова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 166 с. EDN: IDBQZP
13. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 319 с.
14. Petrukhin V. A., Vishensky V. A. 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 Presented at the WMO Technical Conference on the Monitoring and Assessment of Changing Composition of the Troposphere, Sofia, October 23–27, 1989. Special Environmental Report No. 17. WMO: Geneva, 1989. Pp. 83–86.
15. Селегей Т. С., Юрченко И. П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 132–137.
16. Тикунов В. С. Моделирование в картографии. М.: Издательство МГУ, 1997. 405 с.
17. Комфортная среда. URL: <https://komfortsreda.udsu.ru/> (дата обращения: 19.07.2024).
18. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.
19. AQI Air Quality Index: Real-time Air Pollution Level. URL: <https://www.aqi.in/> (дата обращения: 03.07.2024).

20. World Air Map. URL: <https://air.plumelabs.com/en/> (дата обращения: 08.07.2024).
21. О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020. 1000 с. URL: <https://2019.ecology-gosdoklad.ru/report/17/146/148/> (дата обращения: 27.07.2024).
22. Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. URL: <https://www.infoeco.ru/> (дата обращения: 29.07.2024).
23. Ваньшева С. Е., Шмидтгаль Р. Р., Афанасьев С. А. Обзор геоинформационных систем // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Междуреченск, 03–04 апреля 2019 года / под ред. Т. Н. Гвоздковой. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2019. С. 108.1–108.8. EDN: CRLZDJ
24. Бородачев С. М. Методы математической статистики. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 129 с.
25. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата / Ратифицирован Федеральным законом РФ от 4 ноября 2004 года N 128-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901880645> (дата обращения: 23.07.2024).
26. AIR Civic Monitoring System. URL: <https://aircms.online/#/> (дата обращения: 29.07.2024).
27. Геоинформационная система Циклон. URL: <https://cyclonegis.ru/> (дата обращения: 29.07.2024).
28. ГК «Интеграл». URL: <https://integral.ru> (дата обращения: 31.07.2024).
29. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов: монография. М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. 408 с. EDN: QRDIHX
30. Малькова И. Л., Семакина А. В. Социально-гигиенический мониторинг состояния атмосферного воздуха г. Ижевска: монография. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2018. 122 с. EDN: UOPAYQ

Статья поступила в редакцию 20.08.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторе

СЕМАКИНА Алсу Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Удмуртский государственный университет. Область научных интересов – экологическое картографирование, математическое моделирование, загрязнение атмосферного воздуха. Автор 58 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8986-0047>; SPIN-код: 1462-6105

Доступность материалов: наборы данных, проанализированные в ходе исследования, являются общедоступными.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 504.3.054, 167

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.85>

EDN: OJSVSQ

Scientific and Methodological Aspects of the Cartographic Visualization of Data on the State of Atmospheric Air

A. V. Semakina

Udmurt State University,

1, Universitetskaya str., Izhevsk, 426034, Russian Federation

alsen13@list.ru

Abstract. *Introduction.* The wide variety of information sources on the state of atmospheric air along with the diversity of the information types, approaches to its collection and cartographic representation, as well as the high demand for such data lead to the accumulation of cartographic materials which, varying in the degrees of representativeness, reflect the state of atmospheric air. The relevance of the information used and the approach to its cartographic visualization directly affects the quality of the information provided and the effectiveness of administrative and managerial decisions made on the basis of this type of information. *The study is aimed* at the formation of the scientific and methodological apparatus for the cartographic visualization of the integrated monitoring of the state of atmospheric air. *Objects and methods.* To achieve the research objectives, the study involved the collection, systematization, mathematical processing, analysis, and cartographic visualization of data on the state of atmospheric air on the territories of different levels including the Russian Federation, its Federal Districts (the Volga Federal District and the Ural Federal District) and constituent entities (the Udmurt Republic and the Republic of Bashkortostan), and the city of Izhevsk. The research work used the data of the state accounting of sources of atmospheric air pollution in the Russian Federation, state monitoring materials, as well as the data obtained during field studies and mathematical modeling. *Results.* Within the framework of this study, the time structure of activities aimed at creating the maps of the state of atmospheric air, as well as the criteria and factors of the representativeness of cartographic materials have been defined. The time structure of the map creation process includes the following stages: the design phase, the technological and the reflective ones. The following criteria for the representativeness of the source data and the resulting cartographic material have been formulated: the criterion of sufficient validity, the criterion of intersubjectivity, and the criterion of convergence. The representativeness of data used in creating maps of the state of atmospheric air is largely determined by the following factors: the scale, the mathematical and statistical approaches utilized to process the initial data, and the primary integration degree. *Conclusion.* The use of the defined scientific and methodological apparatus will create opportunities for the formation of a new cluster of maps of the state of atmospheric air. These maps will be characterized by a high degree of reliability and representativeness.

Keywords: representativeness of maps; state of the atmospheric air; criteria; factors

Funding : this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Semakina A. V. Scientific and Methodological Aspects of the Cartographic Visualization of Data on the State of Atmospheric Air. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):83–99. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.83>; EDN: OJSVSQ

REFERENCES

1. Zelenko O. V., Valeeva L. R., Klimanov S. G. Review of modern Web technologies. *Herald of Technological University.* 2015;18(2):354–356. EDN: TJLTVP (In Russ.).
2. Ecovisor. Online environmental map. Available from: <http://online.russiangureens.ru> [Accessed 19 July 2024]. (In Russ.).
3. AirViro. Web based system for air quality management. Available from: <https://www.airviro.com/airviro/> [Accessed 29 July 2024].
4. Kagan M. S. Human activity. Experience in systems analysis. Moscow, Politizdat, 1974. 328 p. (In Russ.).
5. Philosophical encyclopedic dictionary. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya Publ.; 1983. 839 p. (In Russ.).
6. Sturman V. I. Ecological mapping. Izhevsk: Udmurt University Publ.; 2000. 152 p. (In Russ.).
7. Semakina A. V., Platunova G. R., Mansurov A.R. Atmospheric air condition in the territory of the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of Udmurt University. Series. Biology. Earth Sciences.* 2020; 30(3):278–284. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-278-284; EDN: LVIMIP (In Russ.).
8. Gabdullin V. M., Semakina A. V. Modeling of atmospheric pollution for the territory of Privolzhski Federal District. *Bulletin of Udmurt University. Series*

Biology. Earth Sciences. 2010;(2):3–11. EDN: MRMQIT (In Russ.).

9. Semakina A. V., Korobeynikova A. A., Petukhova L. N. et al. Formation of online maps of Izhevsk atmospheric air pollution generated by emissions from mobile sources. *Geographical Bulletin*. 2023; (2(65)):105–121. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-2-105-121; EDN: QJFFBU (In Russ.).

10. Bezuglaya E. Yu., Berlyand M. E. Climatic characteristics of the conditions for the distribution of impurities in the atmosphere. A reference manual. Leningrad, Hydrometeoizdat; 1983. 328 p. (In Russ.).

11. Berlyand M. E., Genikhovich E. L., Onikul V. I. Modeling of air pollution due to emissions from low and cold sources. *Meteorology and Hydrology*. 1990; (5):5–17. (In Russ.).

12. Gavrilov A. S., Voronov G. I., Shcherbo A. P. et al. Ecological software package for personal computer. Theoretical basis and user manual of ecological package "Zone". Gavrilov A. S. (Ed.). St. Petersburg, Hydrometeoizdat; 1992. 166 p. EDN: IDBQZP (In Russ.).

13. Marchuk G. I. Mathematical modeling in environmental problems. Moscow, Nauka; 1982. 319 p. (In Russ.).

14. Petrukhin V. A., Vishensky V. A. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements. In: *Changing Composition of the Troposphere. Extended abstracts of papers presented at the WMO Technical Conference on the Monitoring and Assessment of Changing Composition of the Troposphere* (Sofia, October 23-27, 1989). Special Environmental Rep. No. 17. Geneva, WMO; 1989: 83–86.

15. Selegey T. S., Yurchenko I. P. The potential of the scattering ability of atmosphere. *Geography and Natural Resources*. 1990;(2):132–137. (In Russ.).

16. Tikunov V. S. Modeling in cartography. Moscow, Publishing House of Moscow State University; 1997. 405 p. (In Russ.).

17. A comfortable environment. Available from: <https://komfortsreda.udsu.ru/> [Accessed 19 July 2024]. (In Russ.).

18. Reimers N. F. Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses). Moscow: Journal "Young Russia"; 1994. 367 p. (In Russ.).

19. AQI air quality index: real-time air pollution level. Available from: <https://www.aqi.in/> [Accessed 19 July 2024].

20. World Air Map. Available from: <https://air.plumelabs.com/en/> [Accessed 08 July 2024].

21. On the state and protection of the environment in the Russian Federation in 2019. State report of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. Moscow, Minprirody of Russia, Lomonosov Moscow State University; 2020. 1000 p. Available from: <https://2019.ecology-gosdoklad.ru/report/17/146/148/> [Accessed 27 July 2024]. (In Russ.).

22. Characteristics of the level of atmospheric air pollution according to the data of the state observation network and the automated atmospheric air monitoring system of St. Petersburg. Available from: <https://www.infoeco.ru/> [Accessed 29 July 2024]. (In Russ.).

23. Vansheva S. E., Schmidtgal R. R., Afanasyev S. A. Overview of geographic information systems. In: *Current trends and innovations in science and production. Collection of materials of the 8th International Scientific and Practical Conference* (Mezhdurechensk, April 3-4, 2019). Gvozdikova T. N. (Ed.). Kemerovo, T. F. Gorbachev State Technical University; 2019:108.1–108.7. EDN: CRLZDJ (In Russ.).

24. Borodachev S. M. Methods of mathematical statistics: a textbook. Yekaterinburg, UrFU Publ.; 2012. 129 p. (In Russ.).

25. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ratified by Federal Law No. 128 dated November 4, 2004. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/901880645> [Accessed 23 July 2024]. (In Russ.).

26. AIR Civic Monitoring System. Available from: <https://aircms.online/#/> [Accessed 29 July 2024].

27. Tsiklon [The Cyclone]. Geoinformation system. Available from: <https://cyclonegis.ru/> [Accessed 29 July 2024]. (In Russ.).

28. GK Integral [Integral Group of Companies]. Available from: <https://integral.ru> [Accessed 31 July 2024]. (In Russ.).

29. Repin V. V., Eliferov V. G. Eliferov V. G. Process approach to management. Modeling of business processes. Monograph. Moscow, RIA "Standards and Quality"; 2008. 408 p. (In Russ.).

30. Malkova I. L., Semakina A. V. Socio-hygienic monitoring of the state of atmospheric air in Izhevsk. Monograph. Izhevsk, Udmurt University Publishing House; 2018. 122 p. (In Russ.).

The article was submitted 20.08.2024; approved after reviewing 22.11.2024; accepted for publication 25.11.2024

Information about the author

Alsu V. Semakina – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management of the Udmurt State University. Research interests – environmental mapping, mathematical modeling, and atmospheric air pollution. Author of 58 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8986-0047>; SPIN: 1462-6105

Availability of materials: The data sets analyzed during the study are publicly available.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest. All authors read and approved the final manuscript.