

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА УРБАНИЗИРОВАННЫЕ ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Анна Евгеньевна Коробейникова, Алина Руслановна Хазбулатова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);  
г. Москва, Российская Федерация

*Актуальность исследования обусловлена глобальными изменениями климата, происходящими на территории Российской Федерации, а именно в Краснодарском крае. Регион, благодаря своему уникальному географическому положению и природным условиям, особенно уязвим к воздействию климатических изменений. Авторы рассматривают влияние естественных и антропогенных факторов, оказывающих значительное воздействие на окружающую среду и социально-экономическое развитие региона. Выявление наиболее подверженных риску районов, а также изучение особенностей изменений климата и их последствий имеет важное значение для обеспечения устойчивого развития Краснодарского края. Разработка эффективных стратегий адаптации и снижения негативных последствий климатических изменений в наиболее подверженных влиянию изменения климата районах является одной из приоритетных задач как для региона, так и в глобальном масштабе. Южный федеральный округ (ЮФО) — это один из наиболее уязвимых к изменению климата регионов России. Его географическое положение, разнообразие природных условий и высокая зависимость экономики от сельского хозяйства, туризма и водных ресурсов делают его особенно чувствительным к климатическим изменениям. Оценка изменений климата в ЮФО — это важная задача, которая требует учета уникальных особенностей региона. Использование общих подходов без адаптации к местным условиям может привести к недооценке рисков и неэффективности мер адаптации. Разработка специализированных методик и стратегий, основанных на локальных данных и исследованиях, является ключевым шагом для устойчивого развития региона в условиях меняющегося климата.*

**Цель.** Выявление наиболее подверженных изменению климата муниципальных районов Краснодарского края Российской Федерации, разработка рекомендаций по адаптации и снижению влияния изменения климата на наиболее подверженные риску районы во избежание негативных последствий изменения климата.

**Задачи.** Анализ влияния природной и антропогенной нагрузки на районы Краснодарского края, разработка методики оценки рисков воздействия изменения климата, а также подготовка рекомендаций по адаптации и снижению влияния изменения климата на наиболее подверженные риску районы.

**Материалы и методы.** При анализе влияния природной и антропогенной нагрузки на изменение климата был проведен сбор материалов из открытых источников для определения ключевых факторов влияния на изменения климата и, как следствие, последствия для региона. Ключевые методы, применяемые в исследовании: аналитический метод, детерминированный факторный анализ, геоинформационный анализ данных и ГИС-моделирование.

**Результаты.** Разработанная методика оценки позволила выявить степень природной и антропогенной нагрузки, которые влияют на изменение климата в Краснодарском крае, а также разработать рекомендации и предложения по адаптации и снижению влияния изменения климата на наиболее подверженные риску районы.

**Выводы.** Изменение климата оказывает значительное влияние на Краснодарский край, особенно на МО город Армавир, МО город Краснодар, МО город-герой Новороссийск, Мостовский, Отраденский, Туапсинский, Темрюкский, МО город-курорт Сочи. Для снижения рисков необходимы комплексные меры: модернизация инфраструктуры, восстановление экосистем, внедрение экологически чистых технологий и регулирование туристической нагрузки. Эти шаги позволят минимизировать негативные последствия, сохранить природные ресурсы и обеспечить устойчивое развитие региона, защищая его экономический и экологический потенциал для будущих поколений.

**Ключевые слова:** изменение климата, Южный федеральный округ, Краснодарский край, антропогенная нагрузка, природная нагрузка, оценка рисков, адаптация

**Для цитирования:** Коробейникова А.Е., Хазбулатова А.Р. Методика оценки рисков воздействия изменения климата на урбанизированные территории Южного федерального округа с использованием детерминированного факторного анализа // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2025. № 1. С. 49–64. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.1.49-64

# METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RISKS OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON URBANISED TERRITORIES IN THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT USING DETERMINISTIC FACTOR ANALYSIS

Anna E. Korobeinikova, Alina R. Khazbulatova

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

*The relevance of the study is due to global climate change occurring in the Russian Federation, specifically in the Krasnodar Region. The region, due to its unique geographical location and natural conditions, is particularly vulnerable to the impact of climate change. The authors consider the impact of natural and anthropogenic factors that have a significant impact on the environment and socio-economic development of the region. Identifying the most at-risk areas, as well as studying the specifics of climate change and its consequences, is important for ensuring the sustainable development of the Krasnodar Region. Developing effective strategies for adapting to and mitigating the negative impacts of climate change in the areas most exposed to climate change is a priority both for the region and globally. The Southern Federal District is one of the most vulnerable to climate change in Russia. Its geographical location, diversity of natural conditions and high economic dependence on agriculture, tourism and water resources make it particularly sensitive to climate change. Assessing climate change in the Southern Federal District is an important task that requires taking into account the unique characteristics of the region. Using general approaches without adaptation to local conditions can lead to underestimation of risks and ineffective adaptation measures. Developing specialised methodologies and strategies based on local data and research is a key step for sustainable development of the region in a changing climate.*

**Purpose.** To identify the most climate change-prone municipal districts of the Krasnodar Region of the Russian Federation, to develop recommendations on adaptation and mitigation of climate change impact on the most at-risk districts in order to avoid negative consequences of climate change.

**Objectives.** Analyzing the impact of natural and anthropogenic pressures on the Krasnodar Region's districts, developing a methodology for assessing the risks of climate change impacts, and preparing recommendations for adapting and reducing the impact of climate change on the most at-risk districts.

**Materials and methods.** In analyzing the impact of natural and anthropogenic pressures on climate change, open-source materials were collected to identify the key influencing factors on climate change and the resulting impact on the region. Key methods used in the study: analytical method, deterministic factor analysis, geo-information data analysis and GIS modelling.

**Results.** The developed assessment methodology made it possible to identify the degree of natural and anthropogenic pressures that affect climate change in the Krasnodar Region, and to develop recommendations and proposals for adapting and reducing the impact of climate change on the most at-risk areas.

**Conclusions.** Climate change has a significant impact on the Krasnodar Region, especially on the municipalities of Armavir, Krasnodar, Novorossiysk, Mostovskiy, Otravnenskiy, Tuapse, Temryukkiy and Sochi. To reduce risks, comprehensive measures are needed: modernisation of infrastructure, restoration of ecosystems, introduction of environmentally friendly technologies and regulation of tourist load. These steps will minimise negative impacts, preserve natural resources and ensure sustainable development of the region, protecting its economic and environmental potential for future generations.

**Keywords:** climate change, Southern Federal District, Krasnodar Krai, anthropogenic pressure, natural pressure, risk assessment, adaptation

**For citation:** Korobeinikova A.E., Khazbulatova A.R. Methodology for assessing the risks of climate change impact on urbanised territories in the Southern federal district using deterministic factor analysis. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2025; 1:49-64. DOI: 10.22227/2311-1518.2025.1.49-64 (rus.).

## Введение

Глобальное изменение климата стало одной из наиболее значимых экологических проблем современности. Повышение температуры атмосферного воздуха, ускоренное таяние ледников и увеличение частоты экстремальных погодных явлений — все это свидетельствует о масштабных изменениях, происходящих на планете. Согласно докладом Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), с начала XX в. средняя температура на Земле выросла более чем на 1,1 °C и скорость этого процесса продолжает увеличиваться [1]. Несмотря на то что существуют и естественные факторы изменения климата, основной причиной

глобального изменения климата остается активная антропогенная деятельность и урбанизация.

Современные климатические изменения ярко выражены на территории России, включая Южный федеральный округ (ЮФО), в частности Краснодарский край, в котором темпы повышения температуры превышают среднемировые показатели [2]. За последние 50 лет среднегодовая температура в регионе увеличилась на 1,5 °C, причем наиболее значительное потепление наблюдается в зимние месяцы [3]. Кроме того, рост количества экстремальных погодных явлений, таких как ливни, засухи и природные пожары, оказывает влияние на экосистемы, инфраструктуру и качество жизни населения [4]. Климатические изменения в Краснодарском крае обусловлены как природными, так

и антропогенными факторами. Природные процессы, такие как изменения в режиме осадков, повышение температуры и сейсмическая активность, усугубляются антропогенной нагрузкой, включая выбросы от промышленных предприятий, урбанизацию и интенсивный туристический поток [5].

В условиях нарастающих климатических рисков перед специалистами встает задача разработки эффективных стратегий адаптации городов к изменению климата. Адаптация и минимизация последствий изменений климата более чем актуальна для России, в том числе для Краснодарского края. Реализация таких мер не только поможет смягчить влияние климатических изменений, но и обеспечит устойчивое развитие региона, что имеет стратегическое значение как на региональном, так и на федеральном уровне.

### Материалы и методы

В ходе данного исследования был проведен сбор материалов из открытых источников для выявления факторов, наиболее влияющих на изменение климата в РФ. Основные природные факторы глобального изменения климата включают в себя:

- географическое положение и климатическую уязвимость. Территория России занимает значительные площади в северных широтах, что обуславливает ее особую чувствительность к изменениям температуры. Арктические и субарктические зоны особенно подвержены глобальному потеплению, где температура растет в 2–2,5 раза быстрее, чем в среднем по планете<sup>1</sup>;
- протаивание вечной мерзлоты. Около 65 % территории России покрыто вечной мерзлотой. В результате повышения среднегодовой температуры происходят необратимые процессы протаивания, что приводит к выбросам углекислого газа и метана из ранее замороженных почв [6]. Эти газы усиливают парниковый эффект, внося дополнительный вклад в изменение климата;
- роль лесов. Тайга, занимающая более 50 % территории страны, является ключевым природным механизмом поглощения углекислого газа [7]. Однако из-за роста лесных пожаров, вырубки лесов и деградации экосистем способность лесов выполнять эту функцию снижается, что способствует росту концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере.

<sup>1</sup> Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб. : Научно-технические технологии, 2022. 124 с. URL: [https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf\\_download/compressed.pdf](https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/compressed.pdf)

Основными антропогенными факторами глобального изменения климата являются:

- сжигание ископаемого топлива. Интенсивное использование угля, нефти и газа в промышленности, энергетике и транспорте приводит к значительным выбросам парниковых газов [8]. На Россию приходится около 5 % мировых выбросов CO<sub>2</sub>, что делает ее одним из крупных источников загрязнения атмосферы;
- индустриализация и урбанизация. Рост городов и промышленного производства сопровождается увеличением выбросов тепла и загрязняющих веществ [9]. Увеличение площади искусственных поверхностей (асфальта, бетона) снижает способность экосистем к регулированию микроклимата;
- сельское хозяйство. Выбросы метана от животноводства и болотных систем, а также закиси азота при использовании азотных удобрений играют значительную роль в увеличении концентрации парниковых газов [10];
- деформация лесного покрова. Сокращение площадей лесов вследствие незаконной вырубки и пожаров снижает потенциал поглощения углекислого газа, что вносит вклад в общий парниковый баланс.

Таким образом, перечисленные факторы могут привести к различным последствиям как к благоприятным, так и к неблагоприятным. К благоприятным последствиям можно отнести увеличение гидропотенциала водных объектов, открытие дополнительных возможностей для ведения сельского хозяйства. К неблагоприятным последствиям изменения климата можно отнести экстремальную жару, которая может повлечь за собой рост заболеваемости среди населения, засухи и опустынивания, из-за чего могут участиться лесные пожары и стихийные бедствия, деградация вечной мерзлоты.

Однако каждый регион обладает своими особенностями и требует разработки отдельного подхода к оценке рисков последствий изменения климата [11]. В ходе анализа существующего теоретического и практического опыта, а также особенностей ЮФО были выделены основные природные и антропогенные факторы, по которым необходимо провести оценку рисков воздействия изменения климата в Краснодарском крае (табл. 1):

1. *Природные факторы* — изменение температуры, изменение количества осадков в год, количество наводнений, сила землетрясений, количество лесных пожаров.

2. *Антропогенные факторы* — туристический поток, загрязнение атмосферного воздуха, численность населения.

Таблица 1. Основные параметры, влияющие на изменение климата в ЮФО

Факторы	Параметры	Единицы
Природные факторы	Изменение температуры	°С
	Изменение количества осадков в год	кол-во осадков
	Количество наводнений	мм/год
	Сила землетрясений	кол-во наводнений/год
	Количество лесных пожаров	кол-во лесных пожаров/год
Антропогенные факторы	Туристический поток	чел/год
	Загрязнение атмосферного воздуха	кол-во производств
	Численность населения	кол-во человек

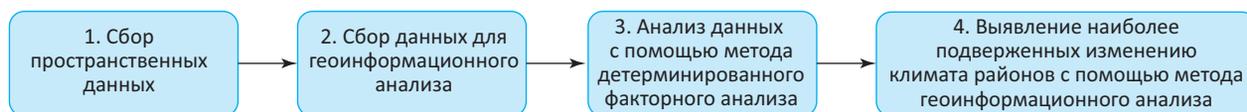


Рис. 1. Методика оценки рисков последствий изменения климата в ЮФО

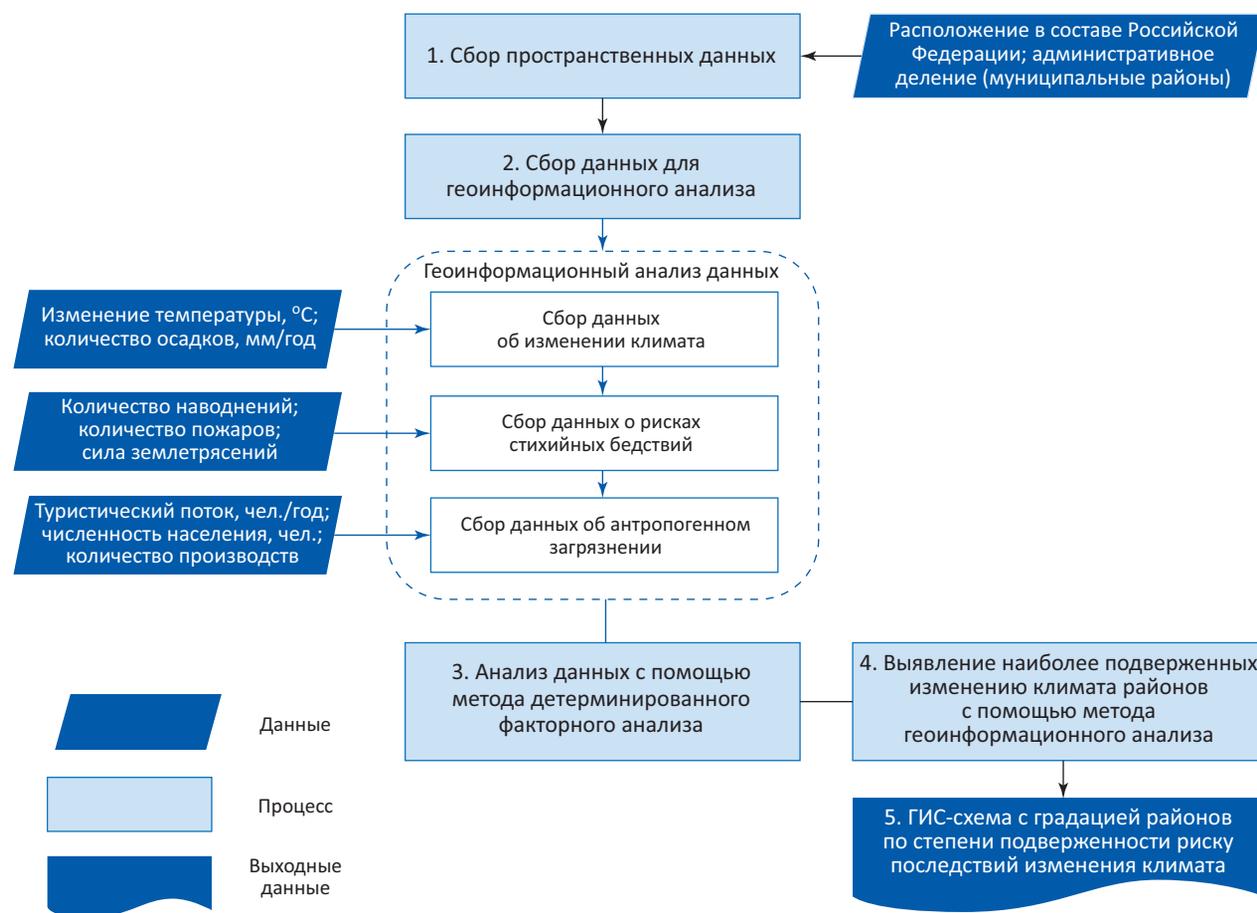


Рис. 2. Алгоритм оценки рисков последствий изменения климата в ЮФО

Для оценки рисков последствий изменения климата были предложены следующие ключевые методы: аналитический метод, детерминированный факторный анализ и геоинформационный анализ. В рамках исследования разработана методика оценки рисков последствий изменения климата, состоящая из четырех этапов (рис. 1).

Для практического применения методики оценки рисков последствий изменения климата разработан подробный алгоритм оценки рисков последствий изменения климата в ЮФО (рис. 2).

Разработанный алгоритм позволяет оценить риски последствий изменения климата по муниципальным районам.

## Результаты исследования

### 1. Сбор пространственных данных

ЮФО — федеральный округ Российской Федерации на юге ее европейской части. В состав округа входят 8 субъектов РФ. ЮФО включает 3 республики, 3 области, 1 край и 1 город федерального значения. Население составляет 16,6 млн чел.

В качестве объекта исследования был выбран один из субъектов ЮФО — Краснодарский край. Краснодарский край граничит с Ростовской обла-

стью, Ставропольским краем, Карачаево-Черкесией, Адыгеей и Абхазией. По морю через Керченский пролив граничит с Республикой Крым (рис. 3). Административный центр — город Краснодар. Численность населения Краснодарского края — 5,8 млн чел.

В настоящее время в состав Краснодарского края входит 38 районов, 26 городов, 12 внутригородских районов, 13 поселков городского типа, 399 сельских административных округов и 1725 сельских населенных пунктов.



Рис. 3. *a* — расположение Краснодарского края в составе Российской Федерации; *b* — административное деление Краснодарского края (муниципальные районы)



Рис. 4. Годовое изменение температуры (Источник: открытые данные meteoblue)

## 2. Геоинформационный анализ данных. Сбор данных об изменении климата в регионе

В данном исследовании для анализа климатических изменений в Краснодарском крае используются определенные выше климатические характеристики: среднегодовая температура атмосферного воздуха и среднегодовое количество осадков. Для отслеживания динамики изменения характеристик был взят длительный промежуток времени.

Данные из открытых источников показали, что за 43 года (1980–2023 гг.) среднегодовая температура Краснодарского края увеличилась на 2,2 градуса (положительная тенденция на рис. 4). По результатам геоинформационного анализа можно отметить, что больше всего повышается температура в муниципальных районах: Белореченский, Гулькевичский, Динской, Калининский, Красноармейский, Крымский, Курганинский, МО город Горячий Ключ, МО город Краснодар, МО город-герой Новороссийск, МО город-курорт Анапа, МО город-курорт Геленджик, Северский, Славянский, Тбилисский, Темрюкский, Тимашевский, Туапсинский (рис. 5). Таким образом, около половины районов Краснодарского края оказались наиболее подвержены повышению температуры: центральная и прибрежная часть Краснодарского края.

Далее необходимо проанализировать динамику изменения среднегодового количества осадков на территории Краснодарского края. Анализ показал, что за 43 года среднегодовое количество осадков снизилось на 140,7 мм (рис. 6).

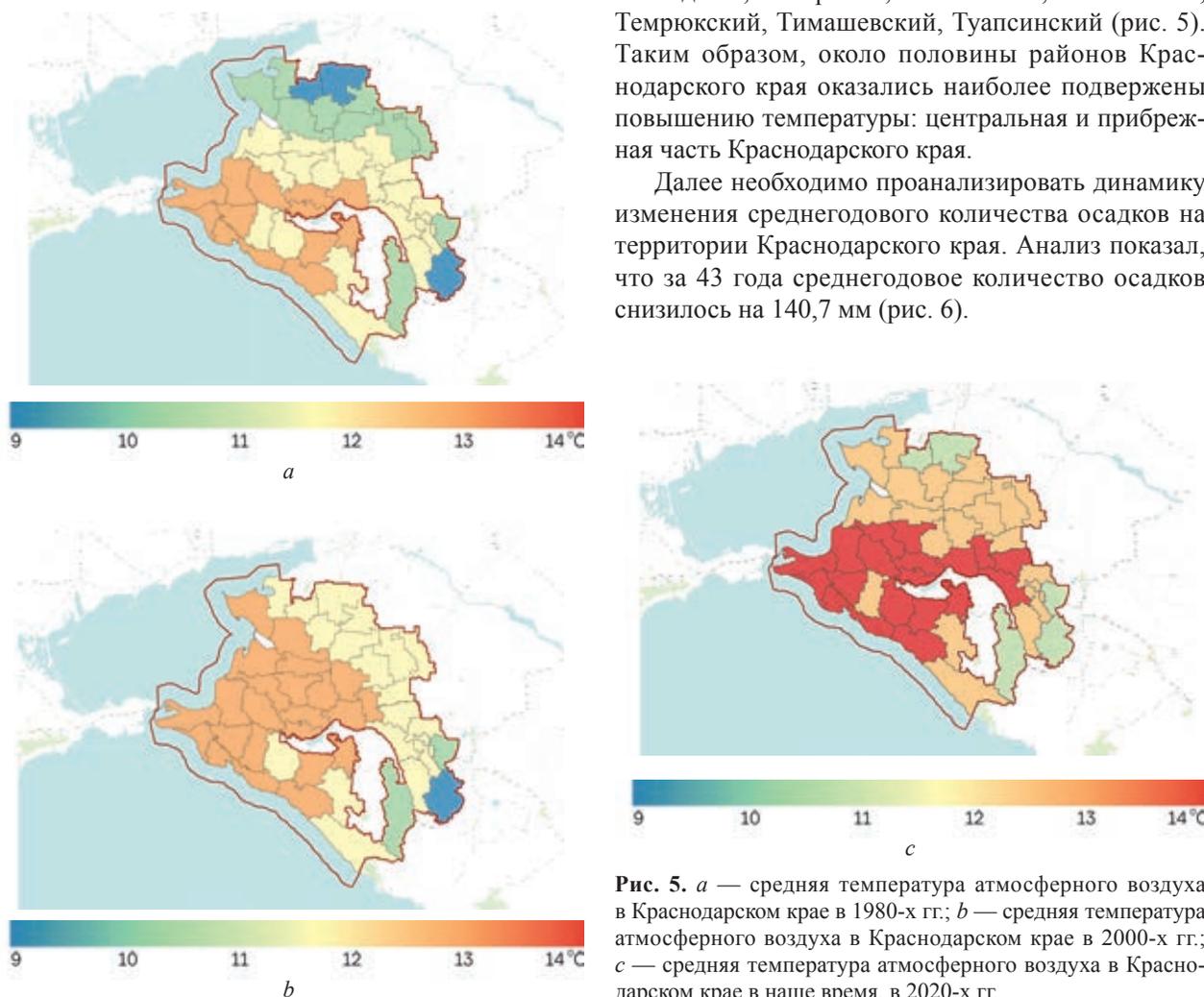


Рис. 5. *a* — средняя температура атмосферного воздуха в Краснодарском крае в 1980-х гг.; *b* — средняя температура атмосферного воздуха в Краснодарском крае в 2000-х гг.; *c* — средняя температура атмосферного воздуха в Краснодарском крае в наше время, в 2020-х гг.

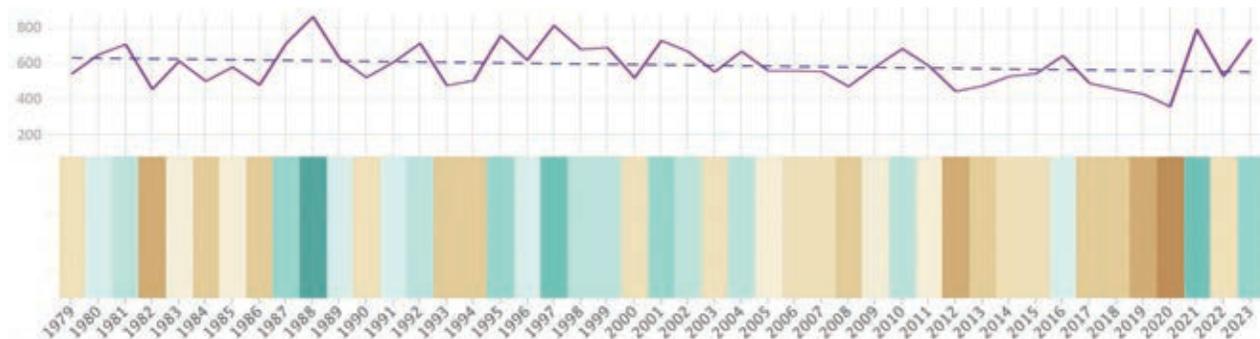


Рис. 6. Годовое изменение количества осадков (Источник: открытые данные meteoblue)

### 3. Геоинформационный анализ данных.

#### Сбор данных о рисках стихийных бедствий в регионе

Для анализа природных факторов были рассмотрены *сейсмичность, количество лесных пожаров, а также степень рисков наводнений*. Территория Краснодарского края отнесена к наиболее сейсмоопасным регионам России с расчетной сейсмической интенсивностью 6–8 баллов в равнинной и

предгорной части края и интенсивностью 8–10 баллов в горной части края и на побережье Черного моря [12]. Проведя геоинформационный анализ собранных данных о сейсмической активности в Краснодарском крае, можно отметить, что наиболее подверженные землетрясениям муниципальные районы расположены вдоль побережья Черного моря (рис. 7).

Анализируя историю крупнейших *землетрясений*, можно проследить тенденцию сейсмической

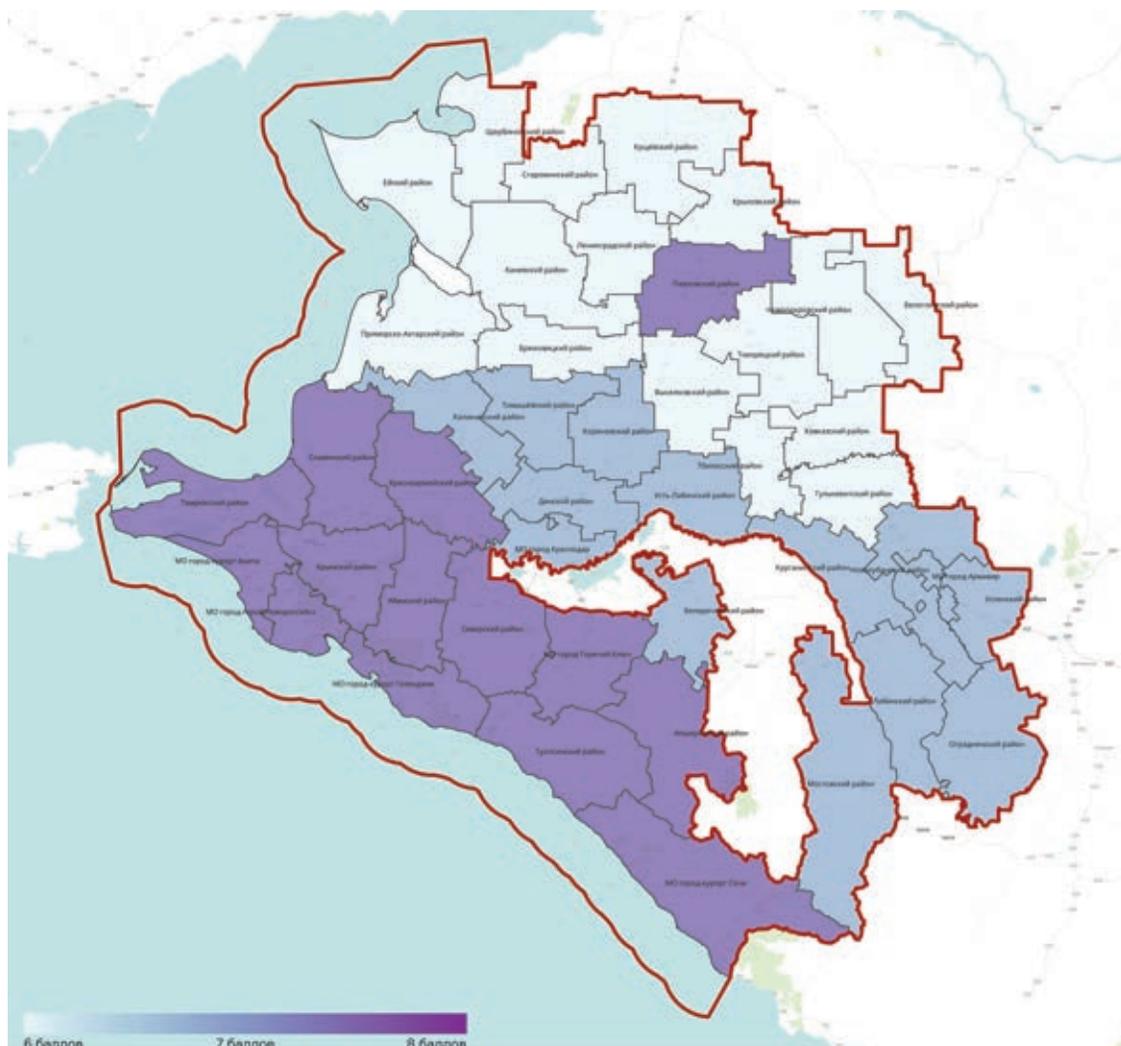


Рис. 7. Сейсмическая активность Краснодарского края по муниципальным районам

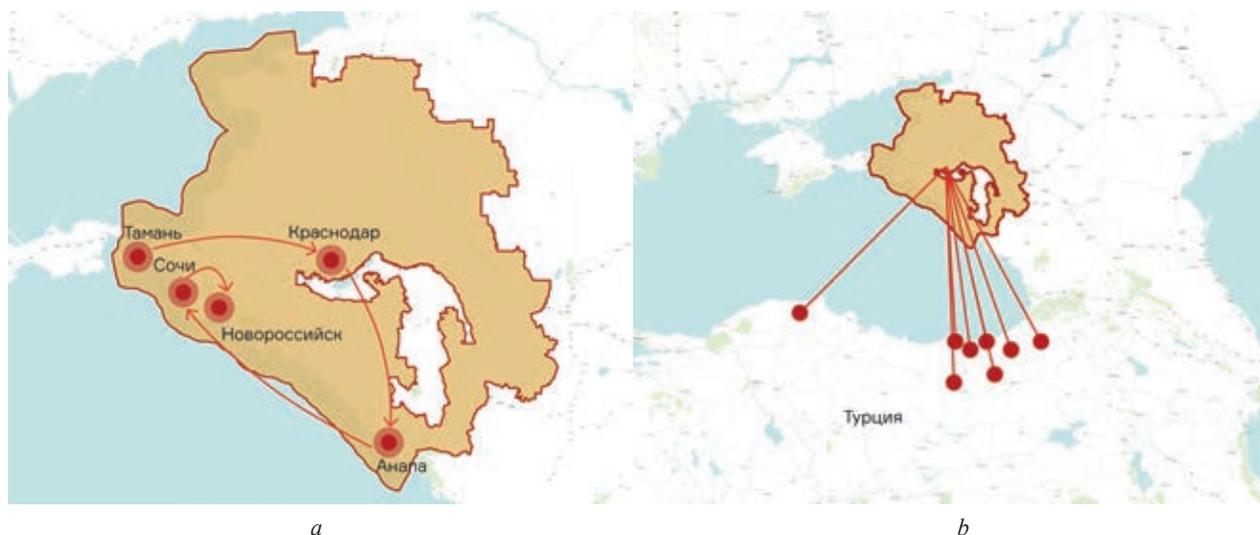


Рис. 8. *a* — история крупнейших землетрясений в Краснодарском крае; *b* — зависимость сейсмической активности от других регионов

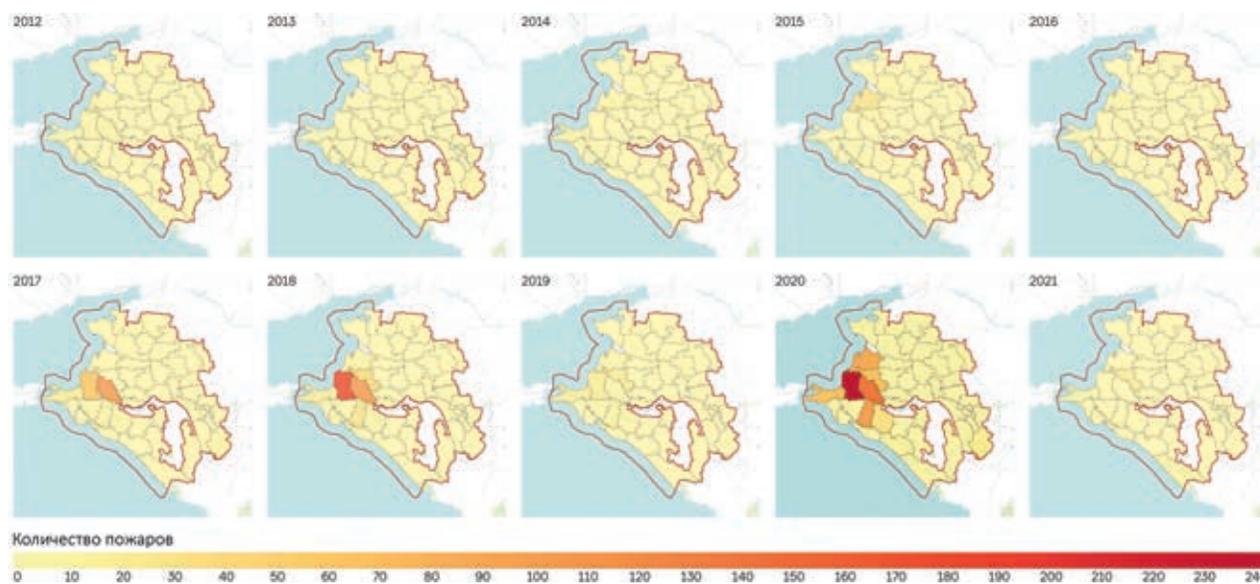


Рис. 9. История природных пожаров за период 2012–2021 гг.

активности на прибрежных территориях и в горной местности. Кроме того, была составлена схема зависимости сейсмической активности от других регионов, в результате чего было выявлено, что сейсмическая активность края также достаточно сильно зависит от сейсмической активности в Турции (рис. 8).

Рассматривая динамику изменения количества природных пожаров в Краснодарском крае, можно увидеть, что она незначительно меняется с 2012 по 2017 г., однако в 2018 и 2020 гг. наблюдается резкое возрастание количества пожаров (рис. 9). За период 2012–2021 гг. были отмечены максимальные среднегодовые температуры, повлекшие за собой засухи и, как следствие, лесные пожары.

Далее в статье было рассмотрены и проанализированы риски наводнений и затоплений в Крас-

нодарском крае. Большинство катастрофических и экстремальных паводков на побережье Краснодарского края возникают летом и в начале осени. 71 % всех катастрофических и исключительных затоплений произошли в июле–августе, в октябре–ноябре — 29 %. Характерной особенностью разрушительных катаклизмов является их быстрое формирование и распространение при значительном (до 5–7 м и более) повышении уровня воды.

Причина катаклизмов — сочетание нескольких факторов: сложный рельеф и многочисленность горных рек, в долинах которых обычно селятся люди, концентрируются промышленные и транспортные объекты. Самыми опасными районами являются окрестности Новорossiйска, Адлера и Краснодара (рис. 10).

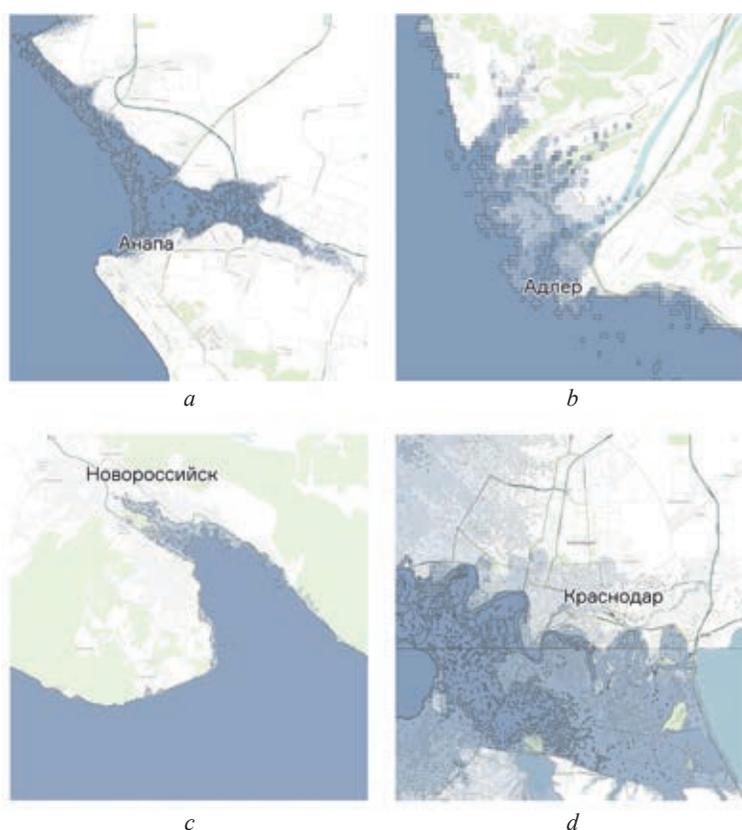


Рис. 10. Риски затоплений в различных городах Краснодарского края: *a* — Анапа; *b* — Адлер; *c* — Новороссийск; *d* — Краснодар

#### 4. Геоинформационный анализ данных.

##### Сбор данных об антропогенном загрязнении региона

Следующим этапом является сбор и анализ параметров антропогенных факторов: *загрязнение атмосферного воздуха, численность населения, туристический поток*. Краснодарский край, являясь одним из наиболее развитых и урбанизированных регионов России, сталкивается с рядом экологических проблем, вызванных деятельностью различных *промышленных объектов и отраслей* [13]:

- нефтехимическая промышленность. Негативное воздействие: выбросы углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ), сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ) и других токсичных веществ в атмосферу;
- загрязнение водоемов сточными водами, содержащими тяжелые металлы и нефтепродукты; крупные объекты: нефтеперерабатывающие заводы в районе Новороссийска и Туапсе;
- энергетические объекты. Негативное воздействие: угольные и газовые электростанции выбрасывают в атмосферу парниковые газы и твердые частицы. Загрязнение окружающей среды продуктами сгорания. Крупные объекты: тепловые электростанции в Краснодаре и Армавире;
- цементные заводы. Негативное воздействие: высокий уровень выбросов пыли, углекислого

газа и других частиц. Крупные объекты: заводы в Новороссийске и близлежащих районах.

При помощи геоинформационного анализа была выявлена нагрузка на муниципальные районы Краснодарского края. Наиболее подвержены влиянию производств районы: МО город Краснодар и МО город-курорт Сочи (рис. 11).

Кроме того, в рамках исследования была составлена диаграмма основных выбросов в атмосферный воздух для каждого муниципального района (рис. 12). Анализ проводился за период 2007–2022 гг. Установлено, что наиболее интенсивные выбросы в атмосферный воздух монооксида углерода ( $\text{CO}$ ) наблюдаются в МО городе Краснодар, диоксида азота — в МО городе-герое Новороссийске.

Основными причинами таких выбросов могут служить значительная транспортная нагрузка на города, а также наличие нефтеперерабатывающей промышленности [14].

Краснодар, являющийся самым густонаселенным городом в крае, находится под значительным влиянием антропогенной нагрузки, что влечет за собой интенсивные транспортные потоки и функционирование крупных промышленных предприятий. Согласно данным Росстата, была составлена схема *распределения населения по численности* в различных муниципальных районах Краснодарского края (рис. 13).

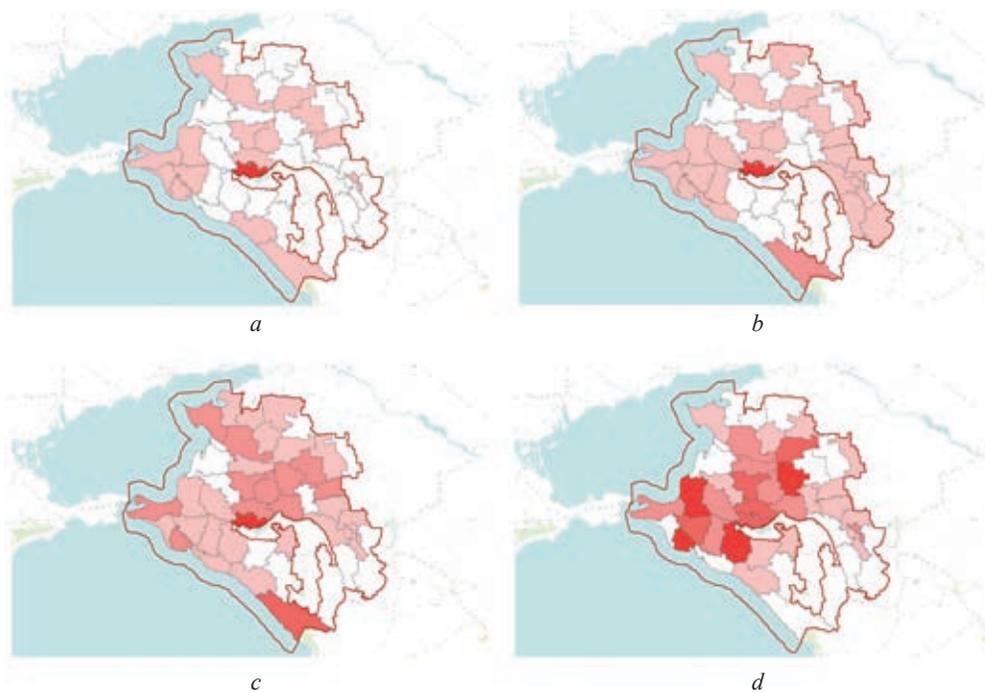


Рис. 11. *a* — предприятия, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду; *b* — 1-й класс опасности; *c* — 2-й класс опасности; *d* — 3-й класс опасности

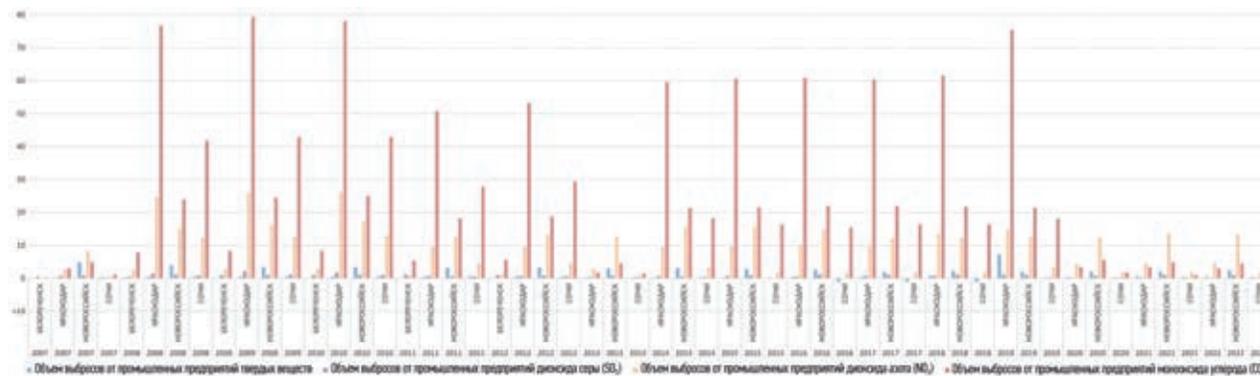


Рис. 12. Диаграмма распределения выбросов в атмосферный воздух 2007–2022 гг. по муниципальным районам



Рис. 13. Распределение численности населения по муниципальным районам

Общая тенденция изменения численности населения:

- рост численности населения. Краснодарский край демонстрирует положительную динамику численности населения. Это связано с миграционным приростом, вызванным притоком жителей из других регионов России и стран СНГ, а также с относительно стабильной рождаемостью;
- урбанизация. Численность городского населения увеличивается за счет миграции из сельских районов и прилегающих регионов. В то же время численность сельского населения постепенно сокращается.

Современная динамика (2020-е гг.) складывается следующим образом. Положительный миграционный баланс: Краснодарский край продолжает оставаться привлекательным для переселенцев, особенно для пенсионеров, переезжающих в теплый климат, и молодых семей, ищущих комфортные условия для жизни (рис. 12). Демографические вызовы: уровень рождаемости снижается, что связано с общероссийской тенденцией. Старение населения увеличивает долю пожилых людей.

Общая численность населения по данным 2023 г. составляет около 5,7 млн человек. Городское население: около 57–60 % от общей численности. Сельское население: около 40–43 %. Ожидается, что численность населения края продолжит расти за счет миграционного прироста.

В 2016 г. *туристский поток* в Краснодарском крае составил 15,8 млн человек, что больше на 6 % по сравнению с 2015 г. [12].

Основными видами туризма в Краснодарском крае являются лечебно-оздоровительный и пляжный. Министерство курортов, туризма и олимпийского наследия края предлагает обсудить с представителями отрасли Концепцию развития санаторно-курортного и туристического комплекса региона до 2030 г.

Среди ключевых задач этой концепции — развитие внутреннего и въездного туризма, повышение инвестиционной привлекательности отрасли, определение приоритетных направлений для развития туристско-рекреационного комплекса, а также улучшение конкурентоспособности, безопасности и качества услуг в сфере санаторно-курортного и туристического обслуживания.

Следует отметить ряд ключевых проблем, которые существенно сдерживают динамичное развитие туристско-рекреационного комплекса Краснодарского края. Среди них выделяются:

- недостаточная транспортная связанность территории, что затрудняет доступность многих объектов;

- ограниченное покрытие мобильной связью и низкая доступность высокоскоростного интернета;
- дефицит современных объектов развлечений и туристических достопримечательностей с развитой инфраструктурой;
- недостаточный уровень благоустройства пляжных зон;
- ярко выраженная сезонность предоставления туристских услуг;
- нехватка квалифицированных кадров и низкий уровень сервиса;
- слабо развитая система маркетинга туристских услуг и недостаточное продвижение региона на внутреннем и международном рынках.

Для обеспечения устойчивого развития туристско-рекреационного комплекса Краснодарского края необходимо системное решение указанных проблем. Это может быть достигнуто за счет диверсификации туристского продукта, совершенствования нормативно-правовой базы в сфере туризма, а также активного развития маркетинговых стратегий, направленных на повышение конкурентоспособности региона.

### 5. Анализ данных с помощью метода детерминированного факторного анализа

В данном исследовании для оценки рисков воздействия изменения климата в Краснодарском крае был применен метод детерминированного факторного анализа [14]. Детерминированный факторный анализ представляет собой метод исследования, который позволяет количественно оценить влияние различных факторов на изучаемый процесс или явление. Основная суть метода заключается в том, что каждый фактор рассматривается как независимая переменная, а их совокупное влияние позволяет выявить закономерности и отклонения от нормы. В отличие от стохастических методов, где учитываются случайные отклонения, данный метод предполагает, что все факторы и их взаимосвязи могут быть точно определены и выражены через математические зависимости. Этот метод широко применяется в экологии, экономике, климатологии и других областях для анализа сложных систем, где важно выделить ключевые детерминанты и их влияние на общий результат [15].

В данном исследовании детерминированный факторный анализ применяется для анализа влияния различных факторов на изменение климата в Краснодарском крае. Ранее были выделены ключевые факторы и прописаны для каждого района их числовые значения. Затем для каждого фактора

Таблица 2. Выявление наиболее подверженных риску влияния изменения климата муниципальных районов

Наименование муниципального района	Факторы								
	Природные					Антропогенные			
	Темпе- ратура Δ, °С	Коли- чество осадков Δ, мм/год	Навод- нения, шт.	Зем- летря- сения, баллов	Пожары, шт.	Туристиче- ский поток, объектов туризма, шт.	Числен- ность наसेле- ния, чел.	Загрязнение атмосферы, производств шт.	Итог
Абинский район	2	113,1	6	8	154	69	97,5	521	4
Апшеронский район	2,1	134	16	8	0	86	97,3	425	3
Белоглинский район	2,4	159,5	0	6	125	0	26,6	470	3
Белореченский район	2,2	164,4	9	7	8	0	105,8	502	3
Брюховецкий район	2,4	148,1	1	6	203	3	46,3	454	3
Выселковский район	2,3	157,6	1	6	31	6	54,6	513	1
Гулькевичский район	2,3	153,2	3	6	23	4	97,4	665	2
Динской район	2,1	163,7	1	7	0	5	147,4	729	4
Ейский район	2,5	95,6	3	6	42	26	134,4	874	3
Кавказский район	2,3	147,9	1	6	76	8	116,9	721	2
Калининский район	2,3	144,6	1	7	93	1	50,0	274	3
Каневской район	2,5	132,3	2	6	20	9	97,2	770	2
Кореновский район	2,3	160,1	1	7	25	1	83,2	693	3
Красноармейский район	2,2	105,7	1	8	208	9	100,9	617	2
Крыловский район	2,4	122,6	0	6	17	0	33,5	359	1
Крымский район	2,1	84,7	8	8	157	4	131,3	769	4
Курганинский район	2,3	158,8	9	7	56	4	98,9	579	3
Кущевский район	2,6	140,8	1	6	18	7	63,2	590	2
Лабинский район	2,4	168,2	11	7	202	5	89,6	588	5
Ленинградский район	2,5	127,8	1	6	14	4	58,9	453	1
МО город Армавир	2,4	170,7	8	7	11	4	203,7	819	6
МО город Горячий Ключ	2,1	148,3	9	8	256	37	69,7	388	4
МО город Краснодар	2,1	140,7	1	7	25	87	1226,2	3413	5
МО город-герой Новороссийск	2,1	72,6	6	8	85	55	342,0	976	5
МО город-курорт Анапа	2,2	63,4	3	8	49	212	203,9	727	4
МО город-курорт Геленджик	2,1	100,8	10	8	45	440	116,9	678	4
МО город-курорт Сочи	1,8	169,2	16	8	70	493	564,4	1331	6
Мостовский район	2,4	186,7	12	7	538	138	68,7	404	6
Новокубанский район	2,4	170,7	8	7	26	5	83,0	570	4

Наименование муниципального района	Факторы								Итог
	Природные					Антропогенные			
	Температура Δ, °С	Количество осадков Δ, мм/год	Наводнения, шт.	Землетрясения, баллов	Пожары, шт.	Туристический поток, объектов туризма, шт.	Численность населения, чел.	Загрязнение атмосферы, производств шт.	
Новопокровский район	2,3	154,5	1	6	13	3	41,2	504	1
Отраденский район	2,7	188,3	12	7	342	11	62,9	566	5
Павловский район	2,5	125,8	1	8	10	6	60,6	746	3
Приморско-Ахтарский район	2,3	115,4	1	6	88	8	59,5	365	1
Северский район	2,1	127,9	11	8	155	51	123,8	450	4
Славянский район	2,2	85,8	7	8	195	9	125,6	750	4
Староминский район	2,5	122,2	2	6	9	0	39,4	362	1
Тбилисский район	2,2	152,2	1	6	14	2	47,6	240	1
Темрюкский район	2,4	84	12	8	74	88	127,1	886	5
Тимашевский район	2,3	148,6	3	7	26	4	105,9	745	3
Тихорецкий район	2,3	132,8	1	6	28	4	109,6	783	1
Туапсинский район	2,1	90	10	8	118	298	124,3	714	5
Успенский район	2,6	176,9	8	7	47	0	38,7	221	4
Усть-Лабинский район	2,2	170,7	1	7	34	2	100,7	563	2
Щербиновский район	2,5	108	1	6	10	1	33,6	431	1
Среднее значение	2,30	136,11	5,02	6,95	85,00	50,20	132,04	663,59	–

было определено среднее значение по всем районам:

$$\bar{X}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ij},$$

где  $\bar{X}_j$  — среднее значение фактора  $j$  по всем районам;

$X_{ij}$  — значение фактора  $j$  в районе  $i$ ;

$N$  — количество районов.

Отклонения от среднего значения для каждого фактора в каждом районе рассчитываются как:

$$\Delta X_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_j.$$

Районы, где отклонения  $\Delta X_{ij}$  превышают определенный порог (например, в большую сторону), считаются аномальными. На основе количества таких отклонений можно определить наиболее уязвимые к изменению климата районы.

Ниже представлена таблица, в которой голубым цветом выделены факторы, отклонившиеся от среднего значения, а розовым цветом выделены районы,

в которых зафиксировано наибольшее количество превышений средних значений факторов (табл. 2).

## 6. Выявление наиболее подверженных изменению климата районов с помощью метода геоинформационного анализа

Результаты оценки рисков воздействия изменения климата на районы Краснодарского края при помощи детерминированного факторного анализа были загружены в формате базы данных в ГИС и классифицированы при помощи методов геоинформационного анализа. Результаты представлены на рис. 14, где более темным цветом отображены самые подверженные риску районы Краснодарского края: Лабинский, МО город Армавир, МО город Краснодар, МО город-герой Новороссийск, МО город-курорт Сочи, Мостовский, Отраденский, Темрюкский, Туапсинский.

По результатам были предложены мероприятия, направленные на адаптацию территорий, наиболее подверженных последствиям изменения климата в регионе.

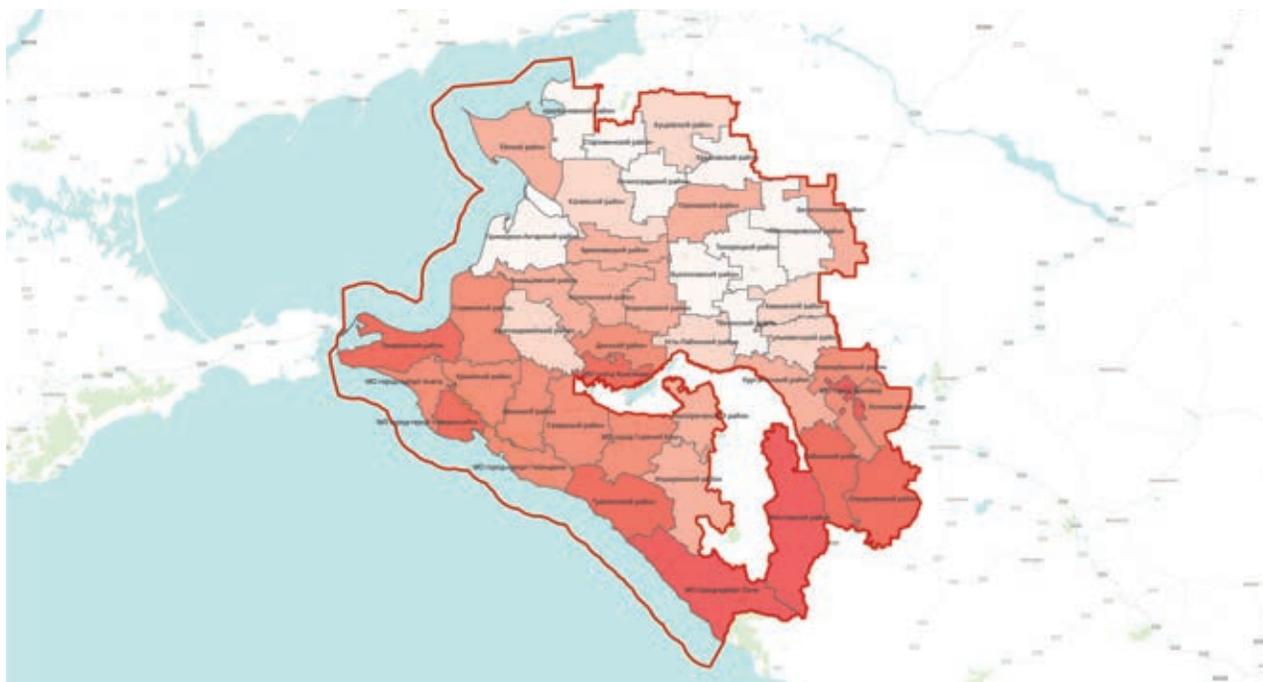


Рис. 14. Оценка рисков воздействия изменения климата на районы Краснодарского края

### Выводы

В условиях нарастающего влияния изменения климата на Краснодарский край разработка эффективных стратегий адаптации и минимизации негативных последствий приобретает ключевое значение. Результаты проведенного исследования показали, что наиболее подверженными климатическим рискам являются Лабинский, МО город Армавир, МО город Краснодар, МО город-герой Новороссийск, МО город-курорт Сочи, Мостовский, Отраденский, Темрюкский, Туапсинский районы. Эти территории испытывают значительное влияние как природных факторов, включая повышение температуры, учащение наводнений и природных пожаров, так и антропогенной нагрузки, связанной с выбросами загрязняющих веществ, туристической активностью и урбанизацией.

Для адаптации и снижения влияния изменения климата на наиболее подверженные риску районы Краснодарского края необходимо реализовать комплексные меры, направленные на укрепление природных и антропогенных систем региона. Основные рекомендации включают следующие направления.

#### *Развитие устойчивой инфраструктуры:*

- усиление гидротехнических сооружений для предотвращения наводнений, особенно в низменных районах и прибрежных зонах;
- применение сейсмостойких технологий в строительстве зданий и инженерных объектов в сеймоопасных районах, таких как Туапсинский и Темрюкский;

- внедрение систем управления дождевыми стоками в городах с высокой плотностью застройки, таких как Сочи.

#### *Устойчивое управление природными ресурсами:*

- создание противопожарных полос и внедрение систем раннего обнаружения возгораний для минимизации ущерба от природных пожаров;
- восстановление лесных массивов и природных экосистем для снижения последствий повышения температуры и частоты засух;
- очистка и укрепление русел рек для предотвращения их переполнения в период ливневых осадков.

#### *Экологическая модернизация:*

- снижение выбросов от предприятий 1–3 классов опасности через внедрение технологий очистки и переход на более экологичные производства;
- развитие общественного электротранспорта и стимулирование использования экологически чистых видов транспорта;
- внедрение программ по утилизации и переработке отходов в туристически загруженных районах.

#### *Регулирование туристической нагрузки:*

- разработка систем квотирования для ограничения числа туристов в периоды пикового сезона;
- продвижение альтернативных видов туризма, таких как экологический и образовательный, с минимальным воздействием на окружающую среду;
- образовательные программы для туристов по охране природы и устойчивому поведению.

### Мониторинг и управление:

- создание системы постоянного мониторинга климатических изменений и их влияния на регион;
- регулярное обновление карт природных рисков с учетом новых данных;
- разработка долгосрочных стратегий адаптации, включающих меры по снижению последствий экстремальных климатических явлений.

Эти рекомендации позволят снизить уязвимость наиболее подверженных риску районов Краснодарского края, минимизировать экономические и социальные последствия изменений климата, а также обеспечить устойчивое развитие региона.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 166–187. EDN OOCICT.
2. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А. Изменение климата: причины, риски для водохозяйственного комплекса Краснодарского края // Природообустройство. 2022. № 4. С. 50–56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. EDN OKIGJZ.
3. Приходько И.А., Вербицкий А.Ю., Сергеев А.Э. Анализ изменения климата на Черноморском побережье России // International agricultural journal. 2022. № 1. С. 366–383. DOI: 10.55186/25876740-2022-6-1-23. EDN MKXTJK.
4. Рубан Д.А., Серпова К.И., Яшалова Н.Н., Васильцов В.С., Яковлева Е.Н. Глобальные изменения климата как фактор риска для российской экономики: методологические вопросы // Вестник НГУЭУ. 2018. № 3. С. 10–25. EDN VFMRYQ.
5. Стогний В.В. Сейсмичность Краснодарского края и Республики Адыгея: исторический аспект // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. 2020. С. 130–137. EDN DVDJN.
6. Торжков И.О., Кушнир Е.А., Константинов А.В., Королева Т.С., Ефимов С.В., Школьник И.М. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 40–49. EDN VWILXO.
7. Горлач Д.Е. Лесные пожары как источник загрязнения окружающей среды // Современные аспекты экономики. 2015. № 5. С. 6–8. EDN UDEHKF.
8. Согомонян А.К. Показатели рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров на территории Краснодарского края // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов. 2017. С. 214–218.
9. Арефьева Е.В., Болгов М.В. Особенности прогнозирования природных наводнений в целях снижения риска чрезвычайных ситуаций на примере Краснодарского края // Технологии гражданской безопасности. 2018. Т. 15. № 4 (58). С. 40–47.
10. Бузин В.А., Копалиани З.Д. Наводнения на реках России при современных тенденциях в изменении климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2007. № 5. С. 43–54. EDN NCCZTN.
11. Коробейникова А.Е., Макарова А.Е., Конакова К.П. Влияние естественных процессов на изменение климата урбанизированных территорий республики Коми и меры адаптации к ним // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 2 (46). С. 42–58. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.2.42-58
12. Сидорова Д.В., Коновалова А.В., Венско В.Д. Современные тенденции и приоритетные направления развития туристско-рекреационного комплекса Краснодарского края // Региональные географические исследования. 2017. С. 65–68. EDN ZGEJZP.
13. Федоренко К.А. Антропогенная деградация почв предгорий Краснодарского края // Почвоведение продовольственной и экологической безопасности страны. 2016. С. 131–131. EDN XDVCOV.
14. Коломоец П.П., Демерчи А.Э., Белова В.А. Первоочередные мероприятия по охране и снижению негативного влияния антропогенной нагрузки на земельные ресурсы Краснодарского края // Проблемы внедрения результатов инновационных разработок : сб. Междунар. науч.-практ. конф. Оренбург, 2018. С. 54–58. EDN YQHWLD.
15. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. 3-е изд. М. : Диалектика, 2019. 912 с.

Об авторах: Анна Евгеньевна Коробейникова — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры градоустройства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-4357-1757, ResearcherID: AAC-8979-2022; e-mail: anna-chega@mail.ru;

Алина Руслановна Хазбулатова — магистр; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; e-mail: lina.khazbulatova@gmail.com.

REFERENCES

1. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. Climate fluctuations and changes on the territory of Russia. *Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Atmosphere and Ocean Physics*. 2003; 39(2):166-187. EDN OOCICT. (rus.).
2. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A. Climate change: causes, risks for the water management complex of Krasnodar Krai. *Nature management*. 2022; 4:50-56. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-50-56. EDN OKIGJZ. (rus.).
3. Prikhodko I.A., Verbitsky A.Yu., Sergeev A.E. Analysis of climate change on the Black Sea coast of Russia. *International agricultural journal*. 2022; 1:366-383. DOI: 10.55186/25876740-2022-6-1-23. EDN MKXTJK. (rus.).
4. Ruban D.A., Serpova K.I., Yashalova N.N., Vasiltsov V.S., Yakovleva E.N. Global climate change as a risk factor for the Russian economy: methodological issues. *NSUEM Bulletin*. 2018; 3:10-25. EDN VFMRYQ. (rus.).
5. Stogniy V.V. Seismicity of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea: historical aspect. *Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society*. 2020; 130-137. EDN DVDJNN. (rus.).
6. Torzhkov I.O., Kushnir E.A., Konstantinov A.V., Koroleva T.S., Efimov S.V., Shkolnik I.M. Assessment of the impact of expected climate change on forestry. *Meteorology and Hydrology*. 2019; 3:40-49. EDN VWILXO. (rus.).
7. Gorlach D.E. Forest fires as a source of pollution of the environment. *Modern Aspects of Economics*. 2015; 5:6-8. EDN UDEHKF. (rus.).
8. Soghomonyan A.K. Risk Indicators of Emergency Situations and Fires in the Territory of Krasnodar Krai. *Actual issues of improving engineering systems for fire safety of objects*. 2017; 214-218. (rus.).
9. Arefieva E.V., Bolgov M.V. Features of natural flood forecasting to reduce the risk of emergency situations on the example of Krasnodar Krai. *Technologies of civil security*. 2018; 15(4(58):40-47. (rus.).
10. Buzin V.A., Kopaliani Z.D. Floods on the rivers of Russia under modern trends in climate change. *Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2007; 5:43-54. EDN NCCZTN. (rus.).
11. Korobeinikova A.E., Makarova A.E., Konakova K.P. Impact of natural processes on climate change in urbanized areas of the Komi Republic and measures of adaptation to them. *Biosphere compatibility: man, region, technology*. 2024; 2(46):42-58. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.2.42-58
12. Sidorova D.V., Konovalova A.V., Vensko V.D. Modern trends and priority directions of development of the tourist and recreational complex of Krasnodar region. *Regional Geographical Studies*. 2017; 65-68. EDN ZGEJZP.
13. Fedorenko K.A. Anthropogenic degradation of soils in the foothills of the Krasnodar region. *Pochvovedeniya — food and environmental security of the country*. 2016; 131-131. EDN XDVCOV. (rus.).
14. Kolomoyets P.P., Demerchi A.E., Belova V.A. Priority measures to protect and reduce the negative impact of anthropogenic load on land resources of Krasnodar Krai. *Problems of implementation of the results of innovative developments : collection of the International Scientific and Practical Conference*. Orenburg, 2018; 54-58. EDN YQHWLD. (rus.).
15. Draper N. *Applied regression analysis*. 3rd ed. Moscow, Dialectics, 2019; 912. (rus.).

About the authors: **Anna E. Korobeinikova** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4357-1757, ResearcherID: AAC-8979-2022; e-mail: anna-chega@mail.ru;

**Alina R. Khazbulatova** — Master's Degree; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: lina.khazbulatova@gmail.com.