

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 528.94

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-184-197

EDN: AQWWFY

**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА ПЕРМСКОГО КРАЯ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА****Сергей Васильевич Пьянков¹, Ринат Камилович Абдуллин², Андрей Владимирович Тарасов³,
Иван Андреевич Кусакин⁴, Надежда Андреевна Сторожук⁵, Андрей Николаевич Шихов⁶**^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия¹ pyankovsv@gmail.com² rinaha-26@mail.ru³ andrew.tarasov1993@gmail.com⁴ ivan.4732777@gmail.com⁵ nadsstor@gmail.com⁶ shikhovan@gmail.com

Аннотация. Картографирование является важным методом изучения современных изменений климата и их последствий, поскольку позволяет выявлять пространственные закономерности наблюдаемых процессов и учитывать их при разработке мероприятий по адаптации. В последнее десятилетие доступность климатических данных, в том числе с высоким пространственным и временным разрешением, многократно увеличилась. В настоящей работе рассматривается применение разных источников данных, таких как реанализы, продукты высокого разрешения на основе данных метеостанций, многолетние архивы спутниковых наблюдений или сетей грозопеленгации для картографирования современных изменений климата на уровне отдельного региона, на примере Пермского края. Создана серия карт (более 40 карт) современного изменения климата, которая будет основой атласа изменений климата и климатических опасностей Уральского Прикамья. Созданные карты характеризуют повторяемость отдельных метеорологических явлений, среднемноголетние климатические показатели, повторяемость климатических экстремумов, тренды средних и экстремальных значений климатических переменных, пространственное распределение локальных конвективных явлений погоды. Определены подходящие источники данных для создания каждой группы карт. Выявлены закономерности изменения основных климатических переменных по территории края в период с 1981 по 2024 гг. Созданные карты опубликованы на онлайн-картографическом сервисе «Изменения климата Пермского края» (<https://perm-climate.gispsu.ru>).

Ключевые слова: изменение климата, картографирование, данные метеостанций, данные реанализа, средние многолетние значения, климатические экстремумы, тренды

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке РНФ и Пермского края (проект № 25-27-20113).

Для цитирования: Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н. Картографирование изменений климата Пермского края на основе данных наблюдений и реанализа // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 1(76). С. 184–197. DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-184-197 EDN: AQWWFY

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Original article

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-184-197

EDN: AQWWFY

**MAPPING CLIMATE CHANGE IN THE PERM REGION BASED ON OBSERVATIONS
AND REANALYSIS DATA****Sergey V. Pyankov¹, Rinat K. Abdullin², Andrey V. Tarasov³, Ivan A. Kusakin⁴, Nadezhda A. Storozhuk⁵,
Andrey N. Shikhov⁶**^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Perm State University, Perm, Russia¹ pyankovsv@gmail.com² rinaha-26@mail.ru³ andrew.tarasov1993@gmail.com⁴ ivan.4732777@gmail.com⁵ nadsstor@gmail.com⁶ shikhovan@gmail.com

© Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н., 2026

Лицензировано по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, перейдите по ссылке <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Abstract. Mapping is an important method for studying ongoing climate change and its impacts, as it allows us to identify spatial patterns in observed processes and take them into account when developing adaptation measures. In the last decade, the availability of climate data, including those with high spatial and temporal resolution, has sharply increased. This study examines the use of various data sources, such as reanalyses, high-resolution products based on weather station data, long-term satellite observation archives and lightning detection networks data to map modern climate change at the regional scale, on the example of the Perm region. A series of maps (more than 40 maps) of climatic variables has been developed, which will form the basis for an atlas of climate change and climate hazards in the Ural Kama region. The resulting maps characterize the frequency of various weather events, average long-term climate indicators, the frequency of climate extremes, trends in mean and extreme values of climate variables, and the spatial distribution of local convective weather events. Suitable data sources for developing each group of maps are identified. Patterns of change in key climate variables across the region were identified from 1981 to 2024. The resulting maps were published on the web-GIS "Climate Change in Perm Krai" (<https://perm-climate.gispsu.ru>).

Keywords: climate change, mapping, weather station data, reanalysis data, long-term averages, climate extremes, trends

Funding. This study was funded by the Russian Science Foundation and Perm Krai (Project No. 25-27-20113).

For citation: Pyankov S. V., Abdullin R. K., Tarasov A. V., Kusakin I. A., Storozhuk N. A., Shikhov A. N. Mapping climate change in the Perm Region based on observations and reanalysis data. *Geographical Bulletin*, 2026. no. 1(76), pp. 184–197. DOI: 10.17072/2079-7877-2026-1-184-197 EDN: AQWWFY

Введение

Картографирование изменений климата представляет собой динамично развивающееся научное направление, в рамках которого создаются различные атласы и онлайн-картографические сервисы, а результаты исследований широко применяются при разработке мероприятий по адаптации к негативным последствиям потепления. Однако ранее реализованные проекты достаточно быстро устаревают как в связи с продолжающимся потеплением, актуализацией климатических норм, так и по причине появления новых информационных ресурсов по данной тематике, которые открывают новые возможности для картографирования.

Традиционно информационной основой картографирования изменений климата были многолетние ряды данных сети метеостанций. Подходы к интерполяции климатических данных с учетом свойств подстилающей поверхности были разработаны в начале 2000-х гг. [13; 29]. Следующим этапом развития данного направления стала разработка глобальных картографических продуктов на основе данных наблюдений. Первым таким продуктом стал WorldClim 2.0 [18]. В рамках этого проекта были собраны и проинтерполированы данные сети метеостанций по всему миру и разработаны алгоритмы даунскейлинга (интерполяции с учетом цифровой модели рельефа, расстояния до побережья и других факторов). В результате получены поля температуры воздуха, количества осадков, скорости ветра, суммарной радиации и биоклиматических переменных за период 1970–2000 гг. с шагом сетки до 1 км. Оперативно обновляемые данные с шагом сетки до 5 км доступны в рамках продолжения данного проекта [20].

Множество работ посвящено картографированию климатических экстремумов по данным сети метеостанций на основе значений индексов экстремальности. Эти индексы рассчитываются по ежедневным значениям минимальной и максимальной температуры воздуха и количества осадков [10; 15]. Для территории России карты климатических экстремумов были впервые представлены в работе [11]. В последующие годы они были неоднократно актуализированы и дополнены [8; 31], в том числе и для территории Урала [27]. Недостатком всех этих работ была редкость сети реперных метеостанций Росгидромета, на основе данных которой строились карты. Всего в России действует чуть более 500 таких метеостанций, а в Пермском крае – всего три.

Ряд работ посвящен картографированию редких или опасных явлений, которые не описываются стандартными индексами экстремальности, таких как заморозки [11], туманы и гололедные явления [4; 30]. Методика картографирования этих явлений также основана на интерполяции данных метеостанций с коррекцией на параметры подстилающей поверхности.

Локальные конвективные явления (сильные ливни, крупный град, шквалы и смерчи) часто пропускаются сетью метеостанций. Их картографирование основано на многолетних рядах как наземных, так и дистанционных наблюдений (спутниковых, радиолокационных, данных грозопеленгации). Сами явления и ущерб от них фиксируются лишь по данным метеостанций или сообщениям об ущербе, распределение которых в пространстве пропорционально численности населения [16]. Дистанционные наблюдения позволяют получить лишь косвенные оценки пространственного распределения этих явлений, которые при этом не зависят от плотности населения. Среди глобальных проектов, данные которых могут использоваться для картографирования, стоит выделить климатологию молниевых разрядов по данным сети грозопеленгации WWLLN [22] и оценку повторяемости мезомасштабных конвективных систем по спутниковым данным [17].

После публикации в открытом доступе данных атмосферных реанализов ERA5 [21] и ERA5-Land [25] с шагом сетки 0,25° и 0,1° соответственно они также стали важнейшим источником данных для климатического картографирования. Реанализы хотя и имеют существенные отклонения от наблюдений, особенно в горной

местности, но являются однородными во времени, что позволяет более адекватно оценивать тренды. Реанализы используются для решения множества задач, связанных с климатическим картографированием, на глобальном уровне и для отдельных регионов. Особенно они важны для картографирования климатических переменных, прямые наблюдения за которыми могут быть нерепрезентативны. Так, по данным ERA5 на глобальном уровне оценивались тренды экстремальных осадков [23], а также частота возникновения условий, благоприятных для опасных конвективных явлений [28]. На региональном уровне данные ERA5-Land используются для картографирования снежного покрова [3; 9].

В современных условиях быстрого изменения климата и увеличения интереса общества к данной проблеме, а также на фоне роста доступности данных появляются новые требования к климатическому картографированию. Актуальным становится отображение на картах не только текущего состояния (климатической нормы), но и многолетних трендов, которые показывают тенденции изменений и их статистическую значимость. Растет интерес к картографированию климатических экстремумов, которые могут меняться быстрее, чем средние значения. Также карты одной и той же переменной могут быть созданы на основе разных источников данных (наблюдений и реанализа), что позволяет провести их взаимную верификацию и выявить недостатки каждого использованного источника данных.

В настоящей работе рассматривается реализация современных подходов к климатическому картографированию на региональном уровне на примере Пермского края. Ранее для территории края уже было реализовано несколько проектов по данной тематике, среди которых наиболее значимыми были Атлас опасных гидрометеорологических явлений [6] и одноименная атласная информационная система [7]. Необходимость актуализации результатов, опубликованных в этих атласах, обусловлена как продолжающимся изменением климата, так и появлением вышеперечисленных информационных ресурсов, которые ранее при картографировании не использовались. Кроме того, появление новых источников данных требует оценки их применимости и ограничений, что также является предметом данного исследования.

Материалы и методы исследования

Для создания карт климатических характеристик и их трендов использовались несколько основных источников данных. Среди них можно выделить многолетние ряды данных сети метеостанций Росгидромета, различные картографические базы данных и продукты, созданные на основе систематизации наземных и спутниковых наблюдений (включая данные об ущербе от опасных явлений погоды), а также данные реанализов.

Данные сети метеостанций Росгидромета получены с 42 метеостанций, из которых 25 находятся в пределах Пермского края, остальные 17 – за его границами (на расстоянии до 100 км). По всем станциям у авторов имелись полные архивы наблюдений за период с 1981 по 2024 г. Средне многолетние характеристики рассчитаны за период 1991–2020 гг., что соответствует современной климатической норме согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО). Тренды рассчитаны за период с 1981 по 2024 г., что соответствует современному этапу потепления климата.

Данные проекта Worldclim [20] с шагом сетки 5 км использованы для создания карт средних многолетних значений температуры воздуха (за год и отдельные месяцы) и количества осадков (за теплый, холодный периоды и за год). Карты созданы за два периода осреднения – 1951–1980 гг. (историческая климатическая норма) и 1991–2020 гг. (современная климатическая норма).

База данных ветровалов в лесной зоне России за период с 1986 по 2024 г. [8] применена для картографирования пространственного распределения шквалов и смерчей, вызывающих ветровалы.

Данные реанализа ERA5 [21] использованы для картографирования повторяемости условий, благоприятных для возникновения сильных конвективных штормов. На основе реанализа создана база данных конвективных параметров атмосферы для территории Северной Евразии с шагом по времени 1 ч и с шагом сетки 0,25° [14]. Рассчитанные на ее основе средние значения конвективных переменных и повторяемость экстремумов (условий, благоприятных для возникновения сильных штормов) за летние месяцы 1991–2020 гг., которые и были использованы для создания карт. Более детально методика создания карт и их интерпретация представлена в работе [26].

Данные реанализа ERA5-Land использованы для создания карт высоты и влагозапасов снежного покрова (за 1991–2020 гг.), а также их трендов за период с 1981 по 2024 г. Применимость этих данных была ранее показана в работе [3].

Данные глобальной климатологии молниевых разрядов (World Global Lightning Climatology, WGLC), полученные на основе сети грозопеленгации WWLLN за период 2010–2024 гг. [22], использовались для картографирования молниевой активности. Молниевая активность информативна и для оценки пространственного распределения других опасных явлений погоды, связанных с грозами. Хотя данные WGLC доступны только за 15 лет (в два раза меньше рекомендованного периода осреднения), они были использованы, так как предоставляют принципиально новую информацию о молниевой активности.

Методы картографирования

При картографировании средних многолетних и экстремальных характеристик по данным сети метеостанций важным этапом является выбор метода интерполяции. Применительно к климатическим данным, используют детерминированные, геостатистические методы и методы с учетом внешней переменной, в роли которой обычно используется высота местности [30]. В настоящей работе интерполяция выполнялась средствами ПО ArcGIS (ESRI), с размером ячейки выходных растров 1000 м.

Выбор метода интерполяции определяется свойствами исходных данных. Так, многолетние тренды климатических переменных характеризуются существенно более сглаженным распределением в пространстве, чем сами эти переменные, так как меньше зависят от свойств подстилающей поверхности (что видно и на всех картах, приведенных в разделе «Результаты»). Поэтому для картографирования трендов использован «жесткий» метод интерполяции (сплайн с натяжением) без введения зависимостей от свойств поверхности. Выбор жесткого метода обусловлен тем, что данные измерений на метеостанциях и их тренды не имеют существенных погрешностей, для учета которых имело бы смысл использовать сглаживающие интерполяторы (кригинг или локальные полиномы). Значительное расстояние между ближайшими метеостанциями на территории края (в среднем 53 км) и их относительно равномерное распределение по территории также не препятствуют использованию сплайнов. Сравнение результатов, полученных методами сплайна, локального полинома и ординарного кригинга показывает близкие значения среднеквадратичной ошибки (RMSE).

Карты самих переменных были построены с использованием метода приведенных величин [20; 30]. Его реализация предполагает выявление информативного предиктора, от которого зависит интерполируемая величина (это может быть высота местности или какой-либо иной показатель, который представлен в виде раstra с достаточно высоким разрешением). Далее производится расчет значений в точках метеостанций при условии нулевого значения данного предиктора, интерполяция этих значений (в настоящей работе – методом сплайна с натяжением) и их последующая корректировка по значению предиктора в каждой ячейке сетки. В настоящей работе при создании большинства карт в качестве такого предиктора были использованы поля температуры воздуха и осадков высокого разрешения из проекта WorldClim. В этих данных уже учтено влияние рельефа. Кроме того, для территории Пермского края выявлены сильные корреляции между пространственным распределением средних и соответствующих экстремальных климатических характеристик (например, средней температуры воздуха в июле и повторяемости сильной жары, среднего годового количества осадков и повторяемости сильных дождей). Городской остров тепла г. Перми при картографировании не учитывался, так как он имеет локальный характер.

Тренды на картах были представлены в виде коэффициентов наклона линии тренда (КНЛТ). Для температуры воздуха КНЛТ были выражены в °С за 10 лет, для осадков – в мм за 10 лет или в % за 10 лет, для повторяемости экстремумов – в изменении числа случаев (числа дней) за 10 лет. При построении карт трендов оценивалась их значимость при уровне значимости, равном 0,05.

Результаты и их обсуждение

В результате работы создано более 30 карт различных климатических характеристик для территории края. Они могут быть классифицированы на несколько типов: карты повторяемости метеоявлений (1); карты средних многолетних климатических характеристик и их трендов (2); карты экстремальных климатических характеристик и их трендов (3); карты локальных конвективных явлений (4); карты климатически-обусловленных опасных природных явлений, в частности лесных пожаров и ветровалов (5). Масштабный ряд карт (1:2500000 и 1:500000) аналогичен ранее использованному при создании атласа [5].

К первой группе относятся карты среднего за год числа дней с осадками в виде дождя и снега, а также с грозами и метелями, полученные по данным метеостанций. При создании некоторых карт данного типа (например, повторяемости метелей) возникают сложности в связи с тем, что на данный показатель влияют локальные условия расположения метеостанций – их ветровая защищенность.

Ко второй группе относятся традиционные для региональных атласов карты средних многолетних характеристик температуры воздуха, осадков, снежного покрова, облачности, солнечной радиации и скорости ветра, созданные по данным сети метеостанций, проекта WorldClim и реанализа ERA5-Land (для снежного покрова), а также их трендов (рис. 1–3). По картам трендов были выявлены существенные пространственные неоднородности в пределах края. Так, повышение средней температуры января достаточно выражено на северо-западе края и почти не прослеживается на юго-востоке (рис. 1а), в апреле потепление более выражено на юге (рис. 1б), а в июле – на севере края (рис. 1в). За рассматриваемый период 1981–2024 гг. наблюдалось некоторое снижение суммы осадков за холодный период (с ноября по март) и рост – в теплый период, особенно выраженный на западе края (рис. 2). Снижение осадков в холодный период обусловлено тем, что наиболее снежные зимы пришлось на 1990-е гг. – первую половину рассматриваемого периода. Тренды характеристик снежного покрова, согласно данным реанализа ERA5-Land, также представлены на созданных картах, но более подробно обсуждаются в работе [3].

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

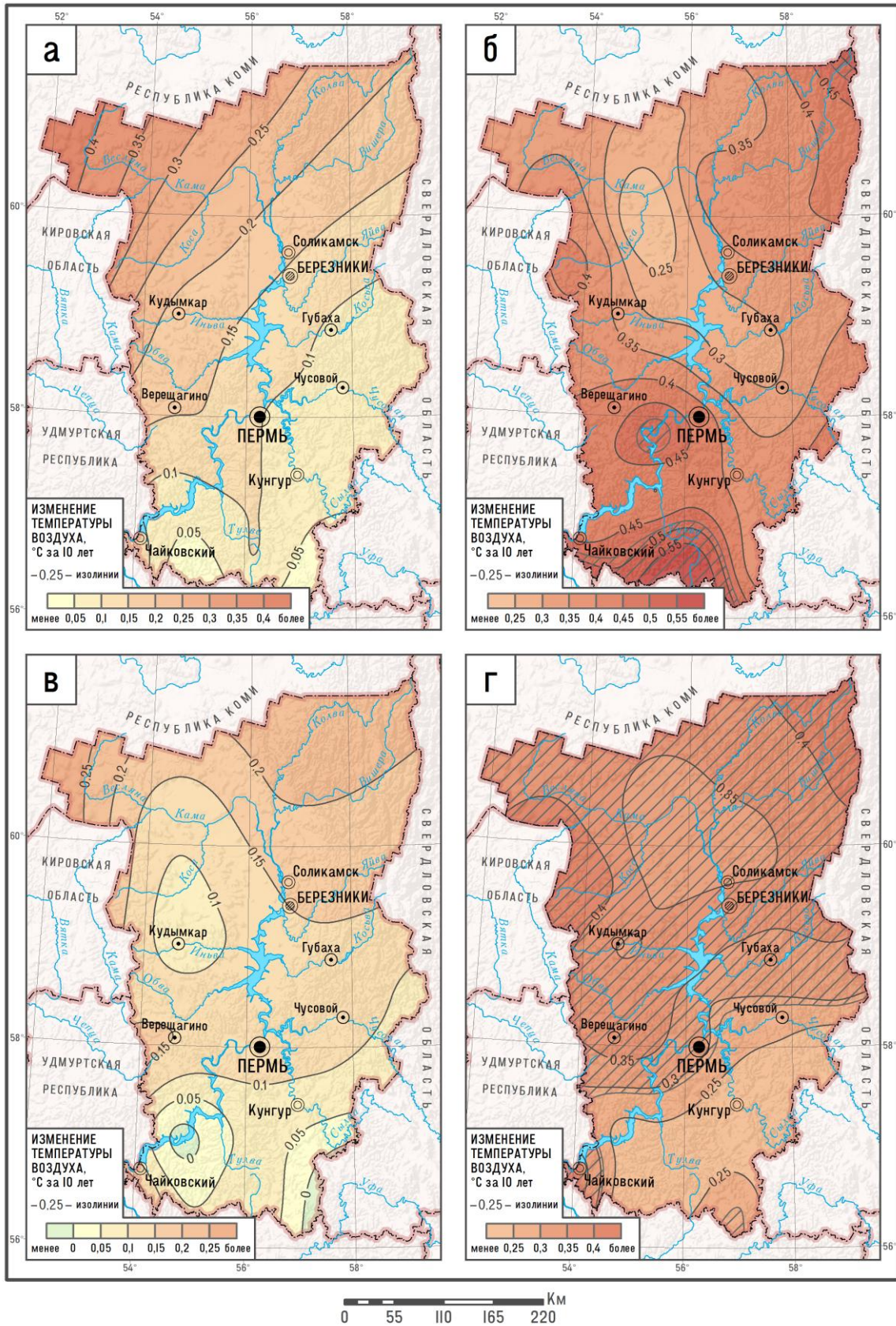


Рис. 1. КНЛТ средней температуры воздуха по месяцам по данным метеостанций:
 а) – январь; б) – апрель; в) – июль; г) – октябрь
 Fig. 1. Linear trends in average air temperature by month according to weather stations data:
 а) – January; б) – April; в) – July; г) – October

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

По картам трендов были выявлены существенные пространственные неоднородности в пределах территории края (рис. 1–2). Так, тренд на повышение температуры воздуха статистически значим на всей территории края или в отдельных районах в марте, апреле (рис. 1б), мае, августе, сентябре, октябре (рис. 1в) и ноябре. Статистически значимый рост количества осадков холодного периода (ноябрь – март) отмечается на большей части края, особенно на западе (рис. 2б), тогда как в теплый период имеет место статистически значимое снижение на востоке края (рис. 2а). Тренды характеристик снежного покрова по данным реанализа ERA5-Land также представлены на созданных картах, но более подробно обсуждаются в работе [3]. По данным реанализа, отмечается снижение влагозапасов снега на юге края, при отсутствии выраженных изменений на севере. В то же время по данным наблюдений тренды имеют разнонаправленный характер.

К третьей группе относятся карты экстремумов температуры воздуха, осадков и скорости ветра. Экстремумы на картах представлены несколькими способами – в виде среднегодовых максимумов или минимумов (рис. 5), как повторяемость числа дней с превышением определенного порогового значения (рис. 4), а также в виде индексов, рассчитанных на основе распределения значений переменной (например, суточная сумма осадков, превышающая 99-й процентиль). Ранее перечисленные типы карт создавались для территории Урала на основе сети реперных метеостанций Росгидромета [28], но в настоящей работе они созданы на основе данных со всех метеостанций Пермского края и соседних регионов. Карты трендов экстремальных характеристик созданы впервые.

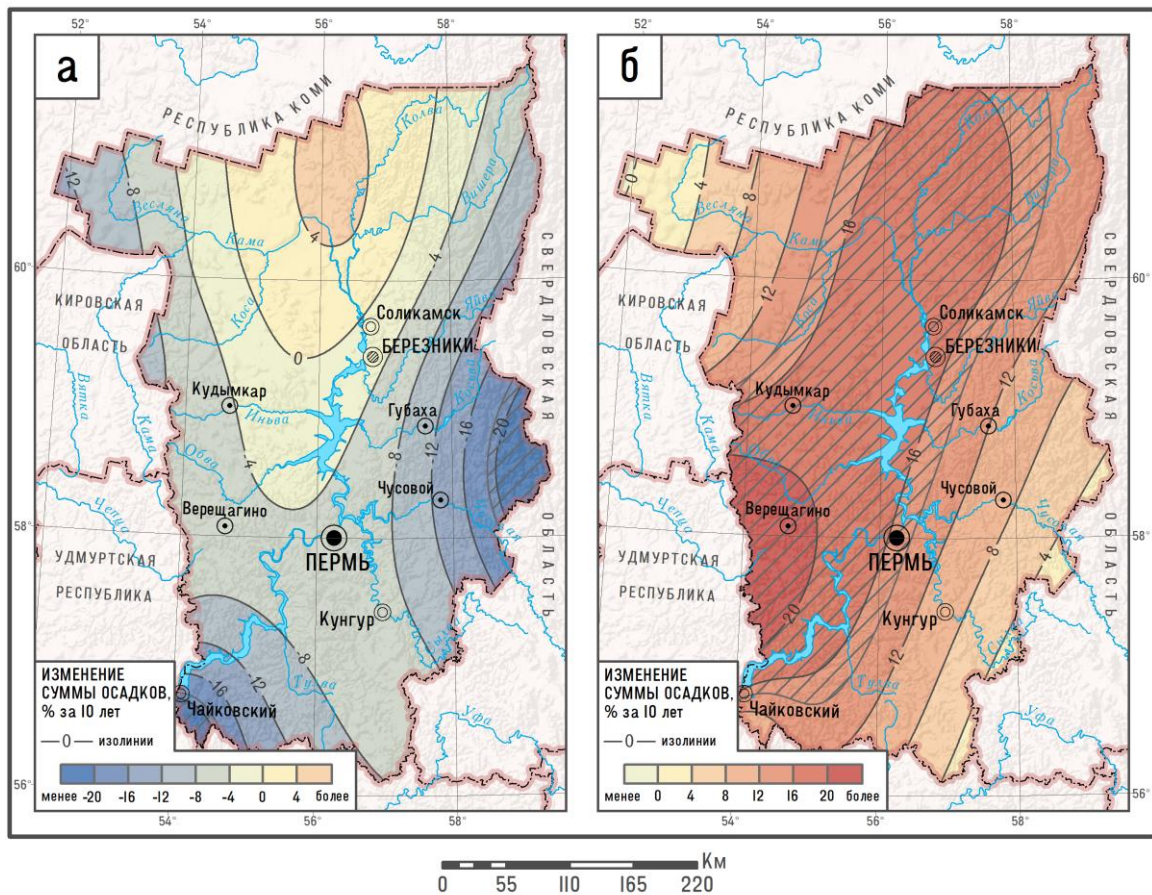


Рис. 2. КНЛТ суммы осадков за ноябрь-март (а) и апрель-октябрь (б) по данным метеостанций.

Fig. 2. Linear trend of precipitation for November-March (a) and April-October (б) according to weather station data

На основе этих карт показано, что повторяемость экстремально высоких температур в летний период растет в южной части края, а на севере рост почти не выражен. Однако даже на юге тренд статистически не значим. Среднегодовой минимум температуры воздуха растет быстрее, чем средняя температура января. Таким образом, повторяемость сильных морозов на большей части края сокращается более быстрыми темпами, чем происходит общее потепление зим. Исключением являются метеостанции Чермоз и Оса, расположенные в низинах, где годовой минимум температуры воздуха практически не изменился. То есть, если раньше сильные морозы охватывали всю территорию, то в настоящее время отмечаются в основном в низинах.

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

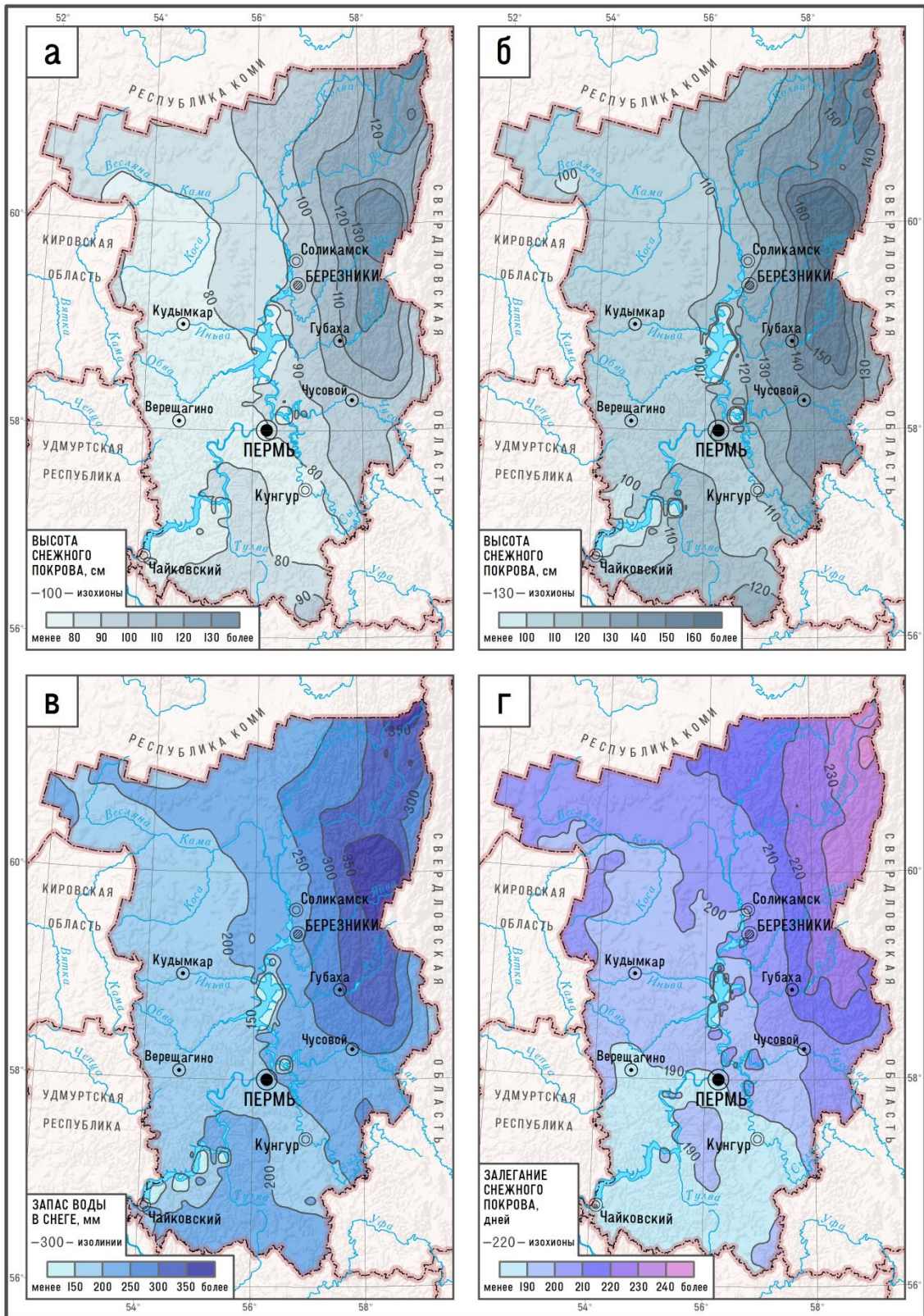


Рис. 3. Характеристики снежного покрова: средний годовой (а) и абсолютный (б) максимумы высоты снежного покрова за сезон; среднегодовой максимум водного эквивалента снега (в) и средняя продолжительность залегания снежного покрова (г) по данным реанализа ERA5-Land
 Fig. 3. Snowpack characteristics according to the ERA5 data: average annual (a) and absolute (б) maximum of snow depth; average annual maximum of snow water equivalent (в) and average number of snow cover days (г)

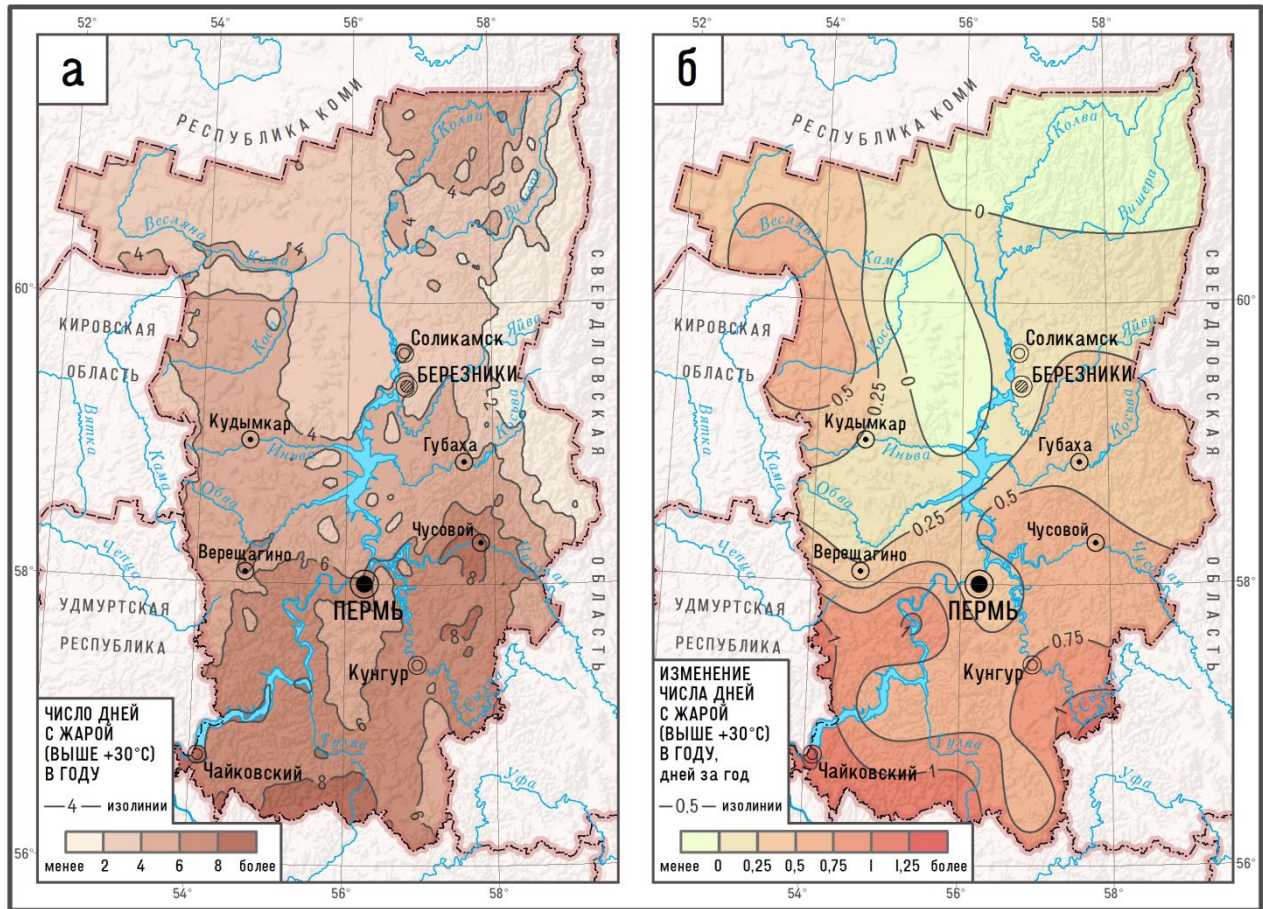


Рис. 4. Среднее за год число дней с максимальной температурой воздуха выше $+30^{\circ}\text{C}$ (а) и ее тренд (б) по данным метеостанций

Fig. 4. Average annual number of days with maximum air temperature above $+30^{\circ}\text{C}$ (a) and its trend (б) according to the data from weather stations

Суточный и пятисуточный максимум осадков показывают в южной части края слабое снижение, а на остальной территории – в основном слабый рост (рис. 4). Как снижение на юге в районе Чернушки, так и рост на востоке края статистически значимы, но на остальной территории тренд не значим. Повторяемость заморозков в вегетационный период снижается почти на всей территории края, особенно на севере, но по данным метеостанции Оса наблюдается некоторый рост.

К 4-й группе относятся карты пространственного распределения конвективных опасных явлений, созданные в том числе с использованием данных о ветровалах, карты молниевой активности по данным WGLC и карты конвективных параметров атмосферы по данным реанализа ERA5. Они подробно рассмотрены в работе [27]. Тренды повторяемости конвективных явлений в Пермском крае не оценивались из-за неоднородности используемых исходных данных во времени (кроме данных реанализа).

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

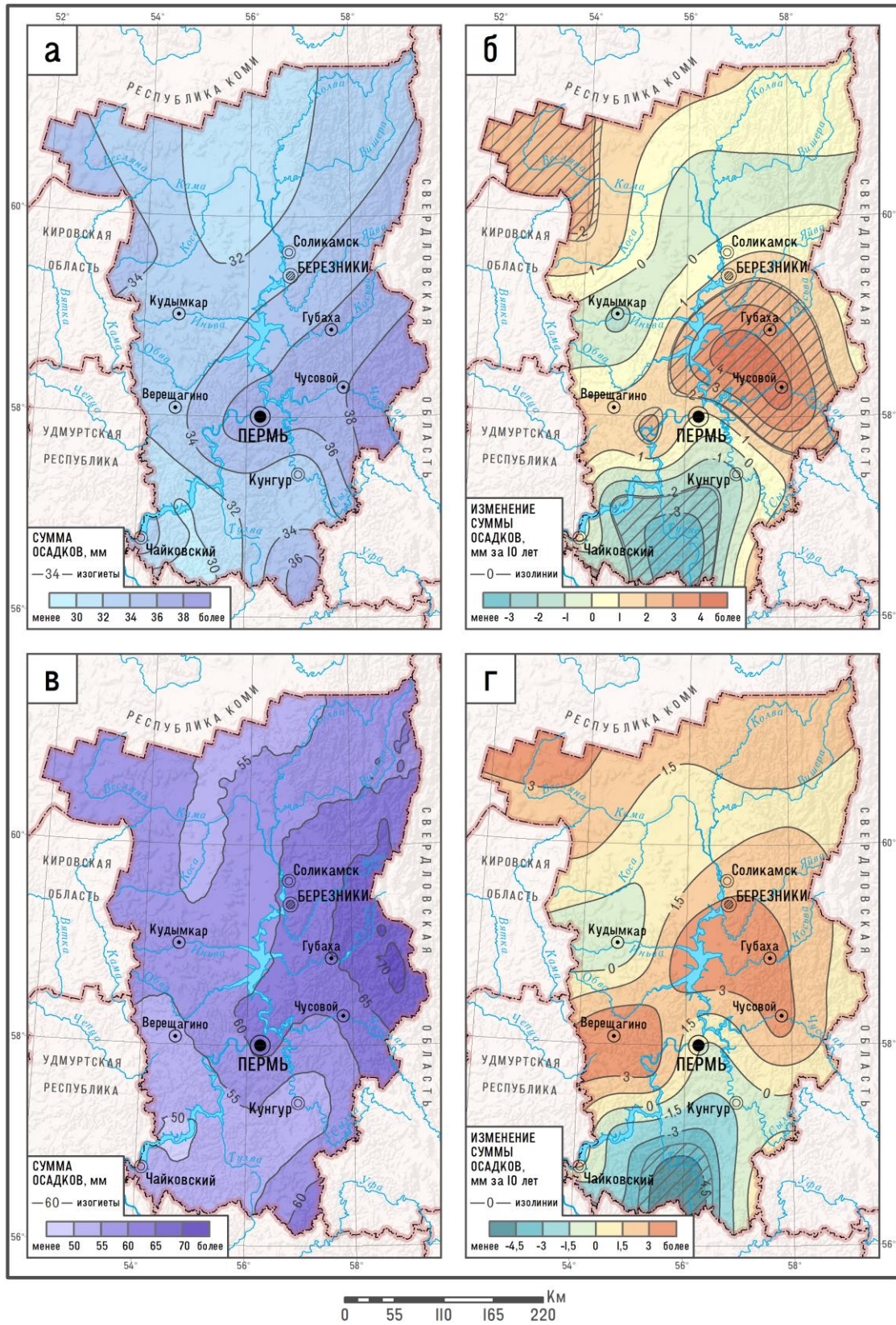


Рис. 5. Экстремумы осадков и их тренды по данным метеостанций:

- а) – средний годовой максимум осадков за сутки; б) тренд годового максимума осадков за сутки;
- в) – средний годовой максимум осадков за 5 суток; г) тренд годового максимума осадков за 5 суток

Fig. 5. Precipitation extremes and their trends according to the weather stations data:

- а) – average annual maximum of daily rainfall; б) trend in annual maximum of daily rainfall;
- в) – average annual maximum of 5-day rainfall; г) trend in annual maximum of 5-day rainfall

Веб-ГИС «Изменения климата Пермского края»

Созданные карты опубликованы также на онлайн-картографическом сервисе «Изменения климата Пермского края» [2], который представляет собой веб-ГИС для визуализации и анализа данных об изменениях климата на территории Пермского края.

При разработке сервиса использовалась микросервисная архитектура. В качестве хранилища векторных данных и метаданных используется СУБД Postgres/PostGIS, куда были загружены все растровые (поля климатических характеристик и их трендов) и векторные (метеостанции, изолинии) данные. Хранение растровых данных в формате COG позволило не использовать ГИС-сервер для публикации данных (в качестве которого раньше использовался Geoserver). Для разработки веб-приложения использован фреймворк Next.js, реализующий клиентскую часть (фронтенд) и получение основных метаданных из базы данных (бэкенд). В качестве картографической библиотеки используется Maplibre, для публикации векторных слоев используется технология векторных тайлов `pg_tile`. Картографическая основа для отображения климатических переменных включает базовые слои Protomaps (реки, водоемы, населенные пункты, растительность) и теневую отмывку рельефа из проекта Mapterhorn [25].

Основные функциональные возможности сервиса включают:

- выбор переменной, периода осреднения и года, получение информации о переменной (ссылка на источник данных, пространственное разрешение, справочная информация о показателе);
- визуализацию пространственного распределения климатических переменных в цветовых шкалах с изолиниями (средних многолетних и экстремальных климатических характеристик и их трендов);
- просмотр данных в режиме сравнения двух периодов (1961–1990 и 1991–2020 гг.) для средних многолетних характеристик;
- идентификацию значения по карте при перемещении курсора, настройку прозрачности отображения слоев;
- анимированное отображение динамики некоторых климатических переменных, в частности средней температуры воздуха по месяцам года в период 1950–2025 гг., на основе данных реанализа ERA5 с возможностью построения графиков для каждой ячейки сетки реанализа.
- подключение к базе данных опасных и неблагоприятных явлений погоды Пермского края с возможностью визуализации пространственного распределения случаев (по пунктам наблюдений), распределения во времени и по типам явлений.

Заключение

Рост доступности данных о климатических характеристиках и их изменениях открывает новые возможности в области климатического картографирования как для создания традиционных карт и атласов, так и для разработки онлайн-картографических сервисов с новыми формами представления данных. На примере Пермского края показано, что созданные в последние годы глобальные наборы данных позволяют выявлять региональные различия в климатических характеристиках, а также закономерности их изменений по территории.

Наибольший интерес представляет картографирование редких явлений (экстремумов), а также их многолетних трендов, поскольку изменений экстремумов зачастую идет опережающими темпами в сравнении с изменением средних значений. Для Пермского края это показано на примере числа дней с температурой выше +30°C, которое в южной части края существенно растет несмотря на то, что средняя температура самого теплого месяца года (июля) почти не меняется. Также выявлены пространственные закономерности в изменениях среднемесячной температуры воздуха и осадков по данным метеостанций, которые хорошо соответствуют ранее полученным оценкам для территории России в целом.

Важным результатом является разработка и публикация онлайн-картографического сервиса «Изменения климата Пермского края» [2], на котором вся вышеописанная информация представлена в доступном виде. Данный сервис может использоваться в целях получения справочных климатических данных о территории (причем не только до пунктов, где есть метеостанции, но и между ними), а также может иметь образовательное значение. В настоящее время его информационное наполнение продолжается.

Вместе с тем, при картографировании необходимо учитывать имеющиеся ограничения в используемых данных. Так, для данных сети метеостанций основным недостатком является редкость самой сети – среднее расстояние между ближайшими метеостанциями составляет 40–50 км на юге и в центре края, и увеличивается до 80–90 км на севере. В горной местности к этому добавляется нерепрезентативность – лишь одна метеостанция расположена на высоте свыше 400 м над уровнем моря (Бисер). На Северном Урале действует только одна метеостанция Вая, расположенная в глубокой долине р. Вишеры. В результате возникает неопределенность в оценке реального количества осадков, выпадающих в этой части края, которая имеет ключевое значение для формирования стока р. Камы. Для картографирования локальных конвективных явлений (шквалов, сильных ливней, крупного града и смерчей) данные наблюдательной сети можно использовать лишь как вспомогательный источник, поскольку большинство таких явлений вообще не фиксируется метеостанциями [9; 15; 27].

Вторым ограничением данных сети метеостанций является их неполная доступность – в открытом доступе имеются ряды наблюдений за весь период лишь по реперным метеостанциям, которых в Пермском крае

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

насчитывается всего три (Чердынь, Бисер и Пермь). Полные ряды наблюдений с остальных метеостанций (за период до 2005 г.) доступны только на коммерческой основе.

В свою очередь, использование реанализов пока может быть альтернативой данным наблюдений лишь при картографировании отдельных параметров, которые фиксируются метеостанциями с наибольшим числом пропусков или погрешностями. Важным ограничением реанализов ERA5 и ERA5-Land [22; 26] остается шаг сетки (0,25° и 0,1° соответственно) и как следствие – сглаживание полей метеоэлементов, сложность воспроизведения экстремальных характеристик осадков. Второй проблемой являются систематические ошибки, например завышение осадков на территории России [1] или влагозапасов снега в Пермском крае [3]. В то же время реанализы дают физически более корректную оценку распределения климатических характеристик, в сравнении с интерполяцией данных метеостанций. При оценке трендов реанализы дают обобщенную по территории картину, тогда как тренды по данным метеостанций зависимы от локальных условий их расположения. Примером может быть метеостанция Оса, которая расположена в низине и фиксирует снижение годовых минимумов температуры воздуха, тогда как все соседние метеостанции отмечают обратную тенденцию. Таким образом, выбор исходных данных при создании климатических карт должен учитывать перечисленные ограничения и особенности изучаемой территории, прежде всего рельеф и расположение метеостанций.

Библиографический список

1. Григорьев В. Ю., Фролова Н. Л., Киреева М. Б., Степаненко В. М. Пространственно-временная изменчивость ошибки воспроизведения осадков реанализом ERA5 на территории России // Известия РАН. Серия географическая, 2022. Т. 86. № 3. С. 435–446. DOI: 10.31857/S2587556622030062
2. Изменения климата Пермского края. URL: <https://perm-climate.gispsu.ru/> (дата обращения 10.01.2026)
3. Калинин Н. А., Крючков А. Д., Сидоров И. А., Абдуллин Р. К., Шихов А. Н. Климатические характеристики влагозапасов снега на территории Пермского края // Лёд и Снег. 2025. № 65(1). С. 50–68. DOI: 10.31857/S2076673425010044.
4. Новаковский Б. А., Каргашиш П. Е., Карпачевский А. М. Геоинформационное моделирование климатических нагрузок на ЛЭП (на примере юга о. Сахалин) // Геодезия и картография. 2016. № 10. С. 49–55. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-916-10-35-41.
5. Переведенцев Ю. П., Шерстюков Б. Г., Мирсаева Н. А., Шанталинский К. М., Гурьянов В. В. Тенденции изменения основных климатических показателей территории Приволжского федерального округа в XIX–XXI веках // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8. № 2. С. 209–237. DOI: 10.21513/2410-8758-2022-2-209-237.
6. Пьянков С. В., Шихов А. Н., Абдуллин Р. К. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2016. 116 с.
7. Пьянков С. В., Шихов А. Н., Абдуллин Р. К. Современные методы и технологии в тематическом атласном картографировании (на примере АИС «Опасные гидрометеорологические явления Уральского Прикамья») // Вопросы географии. 2017. Вып. 144. С. 208–226.
8. Титкова Т. Б., Черенкова Е. А., Семенов В. А. Региональные особенности изменения зимних экстремальных температур и осадков на территории России в 1970–2015 гг. // Лёд и Снег. 2018. № 58(4). С. 486–497. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-4-486-497
9. Шихов А. Н., Чернокульский А. В., Калинин Н. А., Пьянков С. В. Ветровалы в лесной зоне России и условия их возникновения. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т., 2023. 284 с/
10. Akyurek Z., Kuter S., Karaman Ç.H., Akpınar B. Understanding the Snow Cover Climatology over Turkey from ERA5-Land Reanalysis Data and MODIS Snow Cover Frequency Product // Geosciences. 2023. Vol. 13. Art. No. 311. DOI: 10.3390/geosciences13100311
11. Alexander L., Zhang X., Peterson T. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation // Journal of Geophysical Research. 2006. Vol. 11. Art. No. D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
12. Blennow K., Persson P. Modeling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS // Agricult. Forest Meteorol. 1998. Vol. 89. P. 59–71. DOI: 10.1016/S0168-1923(97)00057-9.
13. Bulygina O., Razuvaev V., Korshunova N., Groisman P. Climate variations and changes in extreme climate events in Russia // Environmental Research Letters. 2007. Vol. 2(4), Art. No. 045020. DOI: 10.1088/1748-9326/2/4/045020
14. Chapman L., Thorntree J. The use of geographical information systems in climatology and meteorology // Progress in Physical Geography Earth and Environment. 2003. Vol. 27(3). P. 313–330. DOI: 10.1191/0309133303pp384r.
15. Chernokulsky A.V., Eliseev, A.V., Kozlov, F.A., et al. Atmospheric severe convective events in Russia: Changes observed from different data // Russian Meteorology and Hydrology. 2022. Vol. 47(5). P. 343–354. DOI: 10.3103/S106837392205003X
16. Donat M.G., Alexander L.V., Yang H. et al. Global land-based datasets for monitoring climatic extremes // Bulletin of the American Meteorological Society, 2013. Vol. 94(7), P. 997–1006. DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00109.1.
17. Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A.M. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD // Atmospheric Research. 2009. Vol. 93, P. 575–586. DOI: 10.1016/j.atmosres.2008.10.020.
18. Feng Z., Leung L. R., Liu N. et al. A global high-resolution mesoscale convective system database using satellite-derived cloud tops, surface precipitation, and tracking // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2021. Vol. 126. Art. No. e2020JD034202. DOI: 10.1029/2020JD034202
19. Fick S. E., Hijmans R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology, 2017. Vol. 37(12). Pp. 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086.
20. Garmaev E.Z., P'yankov S.V., Shikhov A.N. et al. Mapping Modern Climate Change in the Selenga River Basin // Russian Meteorology and Hydrology. 2022. Vol. 47(3). P. 113–122. DOI: 10.3103/S1068373922020054.

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

21. Harris I., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // *International Journal of Climatology*. 2014. Vol. 34, P. 623–642. DOI: 10.1002/joc.3711
22. Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. The ERA5 global reanalysis // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2020. Vol. 146. Pp. 1999–2049. DOI: 10.1002/qj.3803
23. Kaplan J. O., Lau, K. H.-K. World Wide Lightning Location Network (WWLLN) Global Lightning Climatology (WGLC) and time series, 2022 update // *Earth System Science Data*. 2022. Vol. 14. Pp. 5665–5670. DOI: 10.5194/essd-14-5665-2022
24. Li Y.-P., Chen Y.-N., Sun F. et al. Contrasting trends of extreme rainfall and snowfall in the Northern Hemisphere // *Advances in Climate Change Research*. 2025. Vol. 16. P. 1101–1112. DOI: 10.1016/j.accre.2025.09.002
25. Maptherhorn – Public terrain tiles for interactive web map visualizations. URL: <https://maptherhorn.com/> (дата обращения 10.01.2026).
26. Muñoz-Sabater J., Dutra E., Panareda A. A. et al. ERA5-land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications // *Earth System Science Data*. 2021. Vol. 13 (9). P. 4349–4383. DOI: 10.5194/essd-13-4349-2021
27. Pyankov S. V., Abdullin R. K., Shikhov A. N. Mapping of convective hazardous weather events based on various data sources (on the example of the Perm Region) // *InterCarto. InterGIS*. Moscow: MSU, Faculty of Geography, 2025. Vol. 31. Part 1. Pp. 325–340 (In Russ.).
28. Shikhov A. N., Abdullin R. K., Tarasov A. V. Mapping temperature and precipitation extremes under changing climate (on the example of The Ural region, Russia) // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. Vol. 13(2). P. 154–165. DOI: 10.24057/2071-9388-2019-42
29. Tazsarek M., Allen J. T., Marchio M. et al. Global climatology and trends in convective environments from ERA5 and rawinsonde data // *npj Climate and Atmospheric Science*, 2021. Vol. 4. Art. No. 35. DOI: 10.1038/s41612-021-00190-x
30. Vicente-Serrano S.M., Saz-Sánchez M.A., Cuadrat J.M. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): Application to annual precipitation and temperature // *Climate Research*. 2003. Vol. 24(2). P. 161–180. DOI: 10.3354/cr024161
31. Walawender E., Walawender J. P., Ustrnul Z. Geospatial predictive modelling for climate mapping of selected severe weather phenomena over Poland: a methodological approach // *Pure and Applied Geophysics*. 2016. Vol. 174(2). Pp. 643–659. DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-4-69-82
32. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. Seasonal changes in precipitation extremes in Russia for the last several decades and their impact on vital activities of the human population // *Geography, Environment, Sustainability*. 2017, Vol. 10(4). P. 69–82.

References

1. Grigorev V. Yu., Frolova N. L., Kireeva M. B., Stepanenko V. M. Spatial and Temporal Variability of ERA5 Precipitation Accuracy over Russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2022, vol. 86 (3), pp. 435–446. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2587556622030062
2. *Izmeneniya klimata Permskogo kraja* [Climate Change in Perm Krai] (In Russ.) URL: <https://perm-climate.gispsu.ru/> (Accessed 10 January 2026).
3. Kalinin N. A., Kryuchkov A. D., Sidorov I. A., Abdullin R. K., Shikhov A. N. Climatic characteristics of snow moisture reserves in the Perm region, *Ice and Snow*, 2025, vol. 65(1). pp. 50–68. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673425010044.
4. Novakovskiy B. A., Kargashin P. E., Karpachevskiy A. M. Geoinformation Modeling of Climatic Loads on Power Lines (using the south of Sakhalin Island as an example). *Geodesy and cartography = Geodeziya i Kartografiya*, 2016, vol. 10, pp. 49–55. (In Russ.) DOI: 10.22389/0016-7126-2016-916-10-35-41
5. Perevedentsev Yu. P., Sherstyukov B. G., Mirsaeva N. A., Shantalinsky K. M., Guryanov V. V. Trends in main climate indicators on the territory of the Volga Federal District in the XIX–XXI centuries. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 209–237. (In Russ.) DOI: 10.21513/2410-8758-2022-2-209-237
6. Pyankov S. V., Shikhov A. N., Abdullin R. K. *Atlas opasnykh gidrometeorologicheskikh yavleniy Ural'skogo Prikam'ya* [Atlas of Hazardous Hydrometeorological Phenomena in the Ural Kama Region]. Perm: Perm State University, 2016, 116 p. (In Russ.)
7. Pyankov S. V., Shikhov A. N., Abdullin R. K. Modern Methods and Technologies in Thematic Atlas Mapping (using the Atlas Information System "Hazardous Hydrometeorological Phenomena in the Ural Kama Region" as an Example), *Voprosy Geografii*, 2017, vol. 144, pp. 208–226. (In Russ.)
8. Titkova T. B., Cherenkova E. A., Semenov V. A. Regional Features of Changes in Winter Extreme Temperatures and Precipitation on the Territory of Russia in 1970–2015. *Ice and Snow*, 2018, vol. 58(4), pp. 486–497. (In Russ.) DOI: 10.15356/2076-6734-2018-4-486-497
9. Shikhov A. N., Chernokul'skiy A. V., Kalinin N. A., Pyankov S. V. *Vetrovaly v lesnoy zone Rossii i usloviya ikh vozniknoveniya* [Windthrow in the Forest Zone of Russia and Conditions of Their Occurrence]. Perm, Perm State University, 2023, 284 p. (In Russ.)
10. Akyurek Z., Kuter S., Karaman Ç.H., Akpınar B. Understanding the Snow Cover Climatology over Turkey from ERA5-Land Reanalysis Data and MODIS Snow Cover Frequency Product. *Geosciences*, 2023, vol. 13, Art. No. 311. DOI: 10.3390/geosciences13100311
11. Alexander L., Zhang X., Peterson T. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 2006, vol. 11, Art. No. D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
12. Blennow K., Persson P. Modeling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. *Agricult. Forest Meteorol.* 1998, vol. 89, pp. 59–71. DOI: 10.1016/S0168-1923(97)00057-9
13. Bulygina O., Razuvaev V., Korshunova N., Groisman P. Climate variations and changes in extreme climate events in Russia. *Environmental Research Letters*, 2022, vol. 2(4), Art. No. 045020. DOI: 10.1088/1748-9326/2/4/045020.
14. Chapman L., Thormes J. The use of geographical information systems in climatology and meteorology. *Progress in Physical Geography Earth and Environment*, 2003, vol. 27(3), pp. 313–330. DOI: 10.1191/0309133303pp384r.
15. Chernokul'skiy A. V., Eliseev A. V., Kozlov F. A., et al. Atmospheric severe convective events in Russia: Changes observed from different data, *Russian Meteorology and Hydrology*. 2022, vol. 47(5), pp. 343–354. DOI: 10.3103/S106837392205003X.

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

16. Donat M. G., Alexander L. V., Yang H. et al. Global land-based datasets for monitoring climatic extremes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2013, vol. 94(7), pp. 997–1006. DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00109.1.
17. Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., Holzer A.M. (2009). Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD, *Atmospheric Research*, vol. 93, P. 575–586. DOI: 10.1016/j.atmosres.2008.10.020
18. Feng Z., Leung L. R., Liu N. et al. A global high-resolution mesoscale convective system database using satellite-derived cloud tops, surface precipitation, and tracking. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021, vol. 126, art. no. e2020JD034202. DOI: 10.1029/2020JD034202
19. Fick S. E., Hijmans R. J. (). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas, *International Journal of Climatology*, 2017, vol. 37(12), pp. 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086
20. Garmayev E. Z., Pyankov S. V., Shikhov A. N. et al. Mapping Modern Climate Change in the Selenga River Basin. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2022, vol. 47(3), pp. 113–122. DOI: 10.3103/S1068373922020054.
21. Harris L., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 2014, vol. 34, pp. 623–642. DOI: 10.1002/joc.3711
22. Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. The ERA5 global reanalysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2020, vol. 146, pp. 1999–2049. DOI: 10.1002/qj.3803
23. Kaplan, J. O., Lau, K. H.-K. (2022), World Wide Lightning Location Network (WWLLN) Global Lightning Climatology (WGLC) and time series, 2022 update, *Earth System Science Data*, vol. 14, pp. 5665–5670. DOI: 10.5194/essd-14-5665-2022
24. Li Y.-P., Chen Y.-N., Sun F. et al. (2025), Contrasting trends of extreme rainfall and snowfall in the Northern Hemisphere, *Advances in Climate Change Research*, vol. 16, pp. 1101–1112. DOI: 10.1016/j.accre.2025.09.002
25. Maptherhorn – Public terrain tiles for interactive web map visualizations, Available at <https://maptherhorn.com/> (Assessed 10 January 2026).
26. Muñoz-Sabater J., Dutra E., Panareda A. A. et al. ERA5-land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications, *Earth System Science Data*, vol. 13(9), pp. 4349–4383. DOI: 10.5194/essd-13-4349-2021
27. Pyankov S. V., Abdullin R. K., Shikhov A. N. Mapping of convective hazardous weather events based on various data sources (on the example of the Perm Region. *InterCarto. InterGIS. Moscow: MSU, Faculty of Geography*, 2025, vol. 31. Part 1, pp. 325–340 (In Russ.). DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-325-340.
28. Shikhov A. N., Abdullin R. K., Tarasov A. V. Mapping temperature and precipitation extremes under changing climate (on the example of The Ural region, Russia). *Geography, Environment, Sustainability*, 2020, vol. 13(2). pp. 154–165. DOI: 10.24057/2071-9388-2019-42.
29. Taszarek M., Allen J. T., Marchio M. et al. Global climatology and trends in convective environments from ERA5 and rawinsonde data, *npj Climate and Atmospheric Science*, vol. 4, Art. No. 35. DOI: 10.1038/s41612-021-00190-x
30. Vicente-Serrano S. M., Saz-Sánchez M. A., Cuadrat J. M. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): Application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, 2003 vol. 24(2), pp. 161–180. DOI: 10.3354/cr024161
31. Walawender E., Walawender J.P., Ustrnul Z. Geospatial predictive modelling for climate mapping of selected severe weather phenomena over Poland: a methodological approach. *Pure and Applied Geophysics*, 2016, vol. 174(2). pp. 643–659. DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-4-69-82
32. Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A. Seasonal changes in precipitation extremes in Russia for the last several decades and their impact on vital activities of the human population. *Geography, Environment, Sustainability*, 2017, vol. 10(4). pp. 69–82. DOI: 10.1007/s00024-016-1250-y

Статья поступила в редакцию: 15.01.26, одобрена после рецензирования: 26.02.26, принята к опубликованию: 12.03.26.

The article was submitted: 15 January 2026; approved after review: 26 February 2026; accepted for publication: 12 March 2026.

Информация об авторах

Сергей Васильевич Пьянков

Доктор географических наук, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: pyankovsv@gmail.com

Ринат Камилевич Абдуллин

Кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: rinaha-26@mail.ru

Information about the authors

Sergey V. Pyankov

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Cartography and GIS, Perm State University; 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Rinat K. Abdullin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and GIS, Perm State University; 15, Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Рекреационная география и туризм

Пьянков С. В., Абдуллин Р. К., Тарасов А. В., Кусакин И. А., Сторожук Н. А., Шихов А. Н.

Андрей Владимирович Тарасов

Кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com

Andrey V. Tarasov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and GIS, Perm State University; 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Иван Андреевич Кусакин

Магистрант кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: ivan.4732777@gmail.com

Ivan A. Kusakin

Postgraduate student of the Department of Cartography and GIS, Perm State University; 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Надежда Андреевна Сторожук

Магистрант кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: nadysstor@gmail.com

Nadezhda A. Storozhuk

Postgraduate student of the Department of Cartography and GIS, Perm State University; 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Андрей Николаевич Шихов

Доктор географических наук, профессор кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: shikhovan@gmail.com

Andrey N. Shikhov

Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Cartography and GIS, Perm State University; 15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Вклад авторов

Пьянков С. В. – общее руководство работой, постановка задач, редактирование текста статьи.

Абдуллин Р. К. – подготовка данных, создание карт, разработка картографического веб-сервиса, редактирование текста статьи.

Тарасов А. В. – разработка картографического веб-сервиса.

Кусакин И. А. – подготовка и оформление карт.

Сторожук Н. А. – подготовка и оформление карт.

Шихов А. Н. – подготовка данных, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Sergey V. Pyankov – general supervision, task setting, article editing.

Rinat K. Abdullin – data preparation, map creation, web mapping service development, article editing.

Andrey V. Tarasov – web mapping service development.

Ivan A. Kusakin – map preparation and design.

Nadezhda A. Storozhuk – map preparation and design.

Andrey N. Shikhov – data preparation, results interpretation, article writing.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.