Н.Г. Ивлиева¹, В.Ф. Манухов², Р.Б. Шайкунова³

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

АННОТАЦИЯ

Актуальность климатических исследований связана с происходящим в настоящее время глобальным потеплением климата, необходимостью выявления пространственно-временных особенностей изменений температурного режима и уточнения проявления его аномалий на той или иной территории.

В работе для анализа были выбраны три 30-летних периода с шагом в 10 лет, а также более короткий временной отрезок – 1991–2015 годы. В проведённом нами исследовании основными источниками служили интернет-архивы климатических данных. В качестве программного обеспечения использовался ГИС-пакет ArcGIS 10, который располагает большим набором инструментов для геоинформационного моделирования и картографической визуализации результатов. Для пространственно-временного анализа и построения изолинейных карт температуры применялись цифровые модели поверхностей. Представлены карты среднегодовой температуры воздуха европейской территории России, построенные на основе интерполяции методом кригинга. Для показа и сравнения общей тенденции в разные периоды наблюдений использовался метод полиномиальной регрессии (тренд). Чтобы проследить динамику среднегодовой температуры с 1961 по 2015 годы по всем метеостанциям, из норм последующего периода вычитались нормы предыдущего периода. По этим данным проведена интерполяция и составлены карты разностей норм и аномалий, построенные в одинаковой шкале, что позволяет зрительно сравнивать исследуемые временные промежутки. Отчётливо определяются области, более подверженные изменениям климата, и территории с менее выраженными изменениями. Показано, что для оперативного анализа можно использовать готовые специально подготовленные сеточные данные различных проектов.

Приведённые в работе примеры использования ГИС-технологий для моделирования пространственного варьирования изменений среднегодовой температуры воздуха на европейской части России наглядно показывают отдельные возможности программных продуктов для реализации современных подходов к исследованию проявлений глобального потепления климата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС-технологии, пространственный анализ, методы интерполяции

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск, Россия, e-mail: gkg_mrsu@mail.ru

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск, Россия, e-mail: gkg_mrsu@mail.ru

³ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Саранск, Россия, e-mail: reginashajkunova@yandex.ru

Natalia G. Ivlieva¹, Vladimir F. Manukhov², Regina B. Shaykunova³

**ABOUT THE EXPERIENCE OF GIS TECHNOLOGIES APPLICATION
FOR THE STUDY OF CHANGES OF THE MEAN ANNUAL AIR TEMPERATURE
ON THE TERRITORY OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA**

ABSTRACT

The relevance of climate research is related to the current global warming of the climate and the need to identify spatiotemporal features of changes in the temperature regime and to clarify the manifestation of anomalies in the territory.

To conduct the analysis, we have chosen three 30-year periods with a step of 10 years and a shorter time interval – from 1991 to 2015. In our study, the main sources were the online archives of climate data. The initial data was mathematically processed in Microsoft Excel: the average annual temperature values were calculated, then the average for the observation period (norms). ArcGIS 10 GIS package was chosen for spatial-temporal analysis and mapping of climate changes which has a large set of tools for geoinformation modeling and cartographic visualization of the results. For the space-time analysis and the construction of isoline temperature maps, digital surface models were used. Maps of the average annual air temperature of the European territory of Russia constructed on the basis of kriging interpolation are presented. To demonstrate and compare the general trend in different observation periods, the method of polynomial regression (trend) was used. In order to trace the dynamics of the average annual temperature from 1961 to 2015 for all meteorological stations the norms of the previous period were subtracted from the norms of the subsequent period, interpolation was carried out from these data and maps of differences in norms and anomalies were constructed in the same scale which makes it possible to compare investigated time intervals visually. Marked are the areas that are more prone to climate change and the territory with less pronounced changes. It is shown that for ready-made analysis it is possible to use ready-made specially prepared grid data of various projects.

The examples of the use of GIS-technologies for modeling the spatial variation of the changes in the average annual air temperature in the European part illustrate certain capabilities of software products for implementing modern approaches to the study of the manifestation of global warming.

KEYWORDS: GIS-technologies, spatial analysis, methods of interpolation

ВВЕДЕНИЕ

В целях выявления пространственно-временных особенностей изменений температурного режима на той или иной территории активно используются геоинформационные технологии, являющиеся мощным инструментом геопространственного анализа распределения значений климатологических параметров. На основе математико-картографического моделирования составляются тематические карты.

Ранее осуществлено картографирование изменений температурного режима на Европейской территории России (ЕТР) за разные временные периоды; подробно рассмотрено применение методов геостатистической интерполяции данных (кригинга) и

¹ National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya Str., 68, 4300005, Saransk, Russia,
e-mail: gkg_mrsu@mail.ru

² National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya Str., 68, 4300005, Saransk, Russia,
e-mail: gkg_mrsu@mail.ru

³ National Research Ogarev Mordovia State University, Bolshevistskaya Str., 68, 4300005, Saransk, Russia,
e-mail: reginashajkunova@yandex.ru

географической интерполяции [Божилина и др., 2014; 2016]. Проводятся исследования региональных проявлений изменения климата в пределах отдельных частей ЕТР. Так, тенденции изменения температуры воздуха выявлены на территории Приволжского федерального округа [Важнова, Верещагин, 2014; Perevedentsev et al., 2014], в зоне широколиственных лесов правобережья Волги [Ивлиева, Хлевина, 2008; Ивлиева и др., 2013] и др.

Климатическая обстановка изменчива во времени, и часто требуются оперативная обработка больших массивов данных, проведение пространственно-временного анализа, отображение полученных результатов. В связи с этим в современных климатических исследованиях особая роль отводится использованию ГИС-технологий. Программное обеспечение ГИС предоставляет возможность выполнения пространственного анализа и математико-картографического моделирования. В данной работе проводилось геоинформационное моделирование изменений среднегодовой температуры воздуха на ЕТР за несколько периодов метеонаблюдений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из наиболее очевидных, несмотря на его простоту, показателем климатических изменений является изменение климатических норм, вычисленных за последовательные периоды времени [Коршунова, Швець, 2014]. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) под климатическими нормами понимаются средние величины, вычисленные для однородного и сравнительно длительного периода времени, охватывающего по крайней мере три последовательных десятилетних периода.

В соответствии с новыми «Руководящими указаниями ВМО по расчёту климатических норм» (2017 год) климатологические стандартные нормы определяются по последнему 30-летнему периоду, завершающемуся годом, кончающимся цифрой 0. Для оценки оперативных изменений климата каждые 10 лет нормы будут пересчитываться. В настоящее время базовым является период 1981–2010 годов. Именно по отношению к рассчитанному для этого временного отрезка климатическим «нормам» говорят об аномалиях. Ранее используемый ВМО в качестве «базовых норм» период с 1961 по 1990 годы сохранён как стандартный опорный период для долгосрочной оценки изменения климата. Общая рекомендация заключается в использовании 30-летних базисных периодов.

В работе для анализа были выбраны три 30-летних периода с шагом в 10 лет: 1961–1990 годы, 1971–2000 годы, 1981–2010 годы, а также для того, чтобы учесть актуальную информацию в связи с быстрыми темпами изменения климата, более короткий временной отрезок – 1991–2015 годы. В проведённом нами исследовании основными источниками служили интернет-архивы климатических данных.

Ведущим российским государственным научно-исследовательским и производственным центром в области гидрометеорологии является Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИ ГМИ–МЦД), который расположен в городе Обнинске Калужской области. Доступные базы данных включают основные климатические параметры, такие как температура воздуха, атмосферные осадки, параметры свободной атмосферы и другие, определённые на основе требований Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК). Здесь содержатся ежедневные данные с метеорологических станций, расположенных на территории бывшего СССР, с 1880 года по настоящее время. Их перечень включает станции ГСНК и реперные метеорологические станции Росгидромета. Доступ к климатическим массивам данных осуществляется через Интернет. С сайта <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> были получены необходимые выборки данных по 223 метеостанциям Европейской части России в текстовом формате.

Так как интернет-сайт ВНИИ ГМИ–МЦД предоставляет климатическую информацию по месяцам только для станций Росгидромета, для поиска необходимой информации по

метеостанциям прилегающих стран были использованы другие интернет-источники: сайты www.ncdc.noaa.gov, www.metoffice.gov.uk, «Термограф», «Погодные сервисы». Была собрана информация с 1961 по 2015 годы по отдельным метеостанциям Azerbaijan, Белоруссии, Грузии, Латвии, Литвы, Эстонии, Норвегии, Украины и Финляндии.

Для статистической обработки метеорологических данных применялась программа MS Excel. Готовые данные о среднегодовой температуре воздуха даны преимущественно по отдельным метеостанциям за 1961–1990 годы. Основными климатологическими параметрами термического режима являются среднемесячные значения максимальных, минимальных и среднесуточных температур. Они чаще всего доступны на интернет-сайтах с климатическими данными, поэтому были положены в основу формирования базы данных по среднегодовой температуре воздуха за исследуемые периоды. В Microsoft Excel проведена математическая обработка исходных данных: вычислены среднегодовые значения температур, затем средние за период наблюдения (нормы).

Многолетние ряды среднемесячных температур воздуха по каждой метеостанции были проанализированы на наличие отсутствующих значений. Часть обнаруженных пропусков наблюдений была восстановлена с помощью метода линейной регрессии. Если за какой-либо год месячные данные отсутствовали или было много пропусков, то средняя многолетняя величина вычислялась как среднее из всех достоверных годовых значений в течение рассматриваемого периода. Согласно рекомендациям ВМО во многих случаях средние многолетние значения можно рассчитывать, когда имеются данные не менее чем за 80 % лет периода осреднения.

Рис. 1. Визуализация подготовленного точечного слоя метеостанций и географической основы карт

Fig. 1. Visualization of prepared point layer of weather stations and geographical base of maps

Для пространственно-временного анализа и картографирования изменений климата была выбран ГИС-пакет ArcGIS 10, который располагает большим набором инструментов для геоинформационного моделирования, картографической визуализации и анализа данных. Доступная функциональность модуля расширения Spatial Analyst позволяет моделировать поверхности географических распределений и решать самые разнообразные пространственные задачи. Одна из функций модуля – интерполяция по дискретно расположенным точкам. Ещё один модуль – Geostatistical Analyst – предоставляет расширенные возможности для интерполирования путём исследования взаимосвязей между значениями исходных точек. При построении поверхностей и оценке ошибок интерполяции алгоритмы, реализованные в модуле Geostatistical Analyst, опираются как на статистические, так и на математические методы.

Для интеграции разнородных материалов в единый проект прежде всего была определена математическая основа. Карты разрабатывались в нормальной равнопромежуточной проекции, была подготовлена их географическая основа (рис. 1). Для удобства практического использования в исследуемую область включены регионы, которые полностью или большей частью своей территории расположены в Европе. Сеть метеостанций имеет относительно равномерное распределение по территории России.

Кроме того, в работе использовались данные реанализа проекта NOAA GHCN CAMS Land Temperature Analysis (www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значения многолетней среднегодовой температуры на европейской части России изменяются от $-6,2^{\circ}\text{C}$ (Амдерма) до $14,2^{\circ}\text{C}$ (Сочи). В возвышенных районах Полярного Урала формируются наиболее суровые условия. Глобальное повышение температуры воздуха в настоящее время ни у кого не вызывает сомнения. Наиболее отчётливо эта тенденция начала проявляться после 1976 года. При этом в среднем в период 1976–2012 годов глобальная среднегодовая температура росла со скоростью $0,166^{\circ}\text{C}/10$ лет, а на территории России – со скоростью $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет [Второй..., 2014].

Для пространственно-временного анализа и построения изолинейных карт температуры в работе применялись цифровые модели поверхностей. Следует отметить, что условные поверхности распределения этих климатических характеристик – плавно и постепенно изменяющиеся. Появление современных программных продуктов для интерполяции различных поверхностей дало возможность сравнивать поверхности, оперативно построенные с использованием различных методов интерполяции и соответственно их анализировать.

Общая задача интерполяции по точкам выглядит следующим образом: дан ряд точек, положения и значения которых известны; необходимо определить значения характеристик для других точек, для которых известно только положение. Существует целый ряд методов интерполяции нерегулярно расположенных данных, которые могут использоваться для построения климатических карт. Инструменты модуля Geostatistical Analyst хорошо подходят для оценки статистических характеристик и изменчивости климатических показателей, их значимости, построения моделей поверхностей [Андрейчик, Чупикова, 2012]. С помощью модуля Geostatistical Analyst нами был выполнен анализ исходных данных, который позволил оценить их качество, обнаружить ошибки в расчётах и вводе данных, а также сравнить результаты моделирования различными методами интерполяции. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки. Методы интерполяции, реализованные в программном продукте ArcGIS, применительно к моделированию температурного режима Европейской территории России, проанализированы в работе Е.А. Божилиной с соавторами [2014]. Самым подходящим признан метод кригинга с гауссовой моделью вариограммы с размером ячейки растра 10 км.

Метод геостатистической интерполяции (кригинг) позволяет пространственное варьирование значений показывать достаточно реалистично. На рис. 2 представлены карты

средней многолетней среднегодовой температуры воздуха, построенные на основе интерполяции методом кригинга. Годовые изотермы на большей части территории направлены с северо-востока на юго-запад, на юге имеют широтный характер. В горных районах картина усложняется – сказывается влияние возвышенного рельефа местности. Сопоставляя карты, можно увидеть различия в распределении значений изучаемого показателя по территории за разные временные периоды. Наибольшие изменения заметны на севере и западе ЕТР. Автоматизированная интерполяция даёт возможность быстро обработать большой массив данных, но не учитывает взаимосвязи климатических показателей с рельефом и другими компонентами природы. Включение в исходный набор данных высокогорных метеостанций Кавказа, таких как Сулак (2 927 м), Клухорский перевал (2 037 м), Шаджатмаз (2 070 м), оказалось лишним, так как локальную картину распределения исследуемого показателя на горной территории смоделировать без дополнительных сведений сложно. Географическая специфика поля температуры обнаруживается и на Урале, а также территориях, находящихся под воздействием морей и Северного Ледовитого океана, крупных озёр и водохранилищ.

Наложение на одной карте изотерм, соответствующих разным периодам наблюдений, наглядно показывает их смещение относительно друг друга, что подтверждает тенденции в изменении климата. Но такая карта перегружена и плохо читается. Поэтому для показа общей тенденции в разные периоды наблюдений применялся метод полиномиальной регрессии (тренд). Метод тренда использует интерполяцию глобального полинома, который строит гладкую поверхность в соответствии с определённой математической функцией входных точек. Данный инструмент создаёт постепенно изменяющуюся поверхность с помощью полиномов низкого порядка. Линейный тренд хорошо описывает направление возрастания температуры на большей части ЕТР (рис. 3).

При сравнении построенных моделей просматривается постепенное потепление климата на ЕТР; отчётливо виден сдвиг цветных послойных окрасок градиций среднегодовой температуры на картах, передающих тенденции распределения данных последующих периодов наблюдения. Цветовая гамма послойной окраски – плавный переход от холодных оттенков к тёплым. Чем выше температура, тем теплее цвет.

Далее в работе выполнено пространственное моделирование изменений среднегодовой температуры на ЕТР с 1961 по 2015 годы как отклонение средних за период 1991–2015 годов от опорных норм (1961–1990 годы). Для визуализации полученного раstra в ArcGIS можно использовать методы визуализации – «классификация» или «растяжка», то есть соответственно ступенчатую или непрерывную шкалу. Чтобы проследить динамику среднегодовой температуры с 1961 по 2015 годы по всем метеостанциям, из норм последующего периода вычитались нормы предыдущего периода. На рис. 4 представлены карты разностей норм и аномалий, то есть отклонений средних за период 1991–2015 годов от климатической стандартной нормы (1981–2010 годы), построенные в одинаковой шкале, что позволяет зрительно сравнивать исследуемые временные промежутки. Отчётливо отображены области, более подверженные изменениям климата и территории с менее выраженными изменениями.

Наиболее быстрый рост среднегодовой температуры воздуха наблюдался в 1981–2010 годах; на всех станциях отмечен положительный рост. В последний изучаемый период наблюдается замедление процесса. Анализируя полученные растры, можно заметить, что все они характеризуются достаточно неоднородным полем изменений среднегодовой температуры на ЕТР. Можно заметить общее потепление на севере изучаемой территории. На Кольском полуострове среднегодовая температура с 1961 по 2015 годы выросла на 0,7 °С. Предполагаемые причины потепления связаны с переменами общей циркуляции атмосферы, которые могли привести к более высокой повторяемости выхода на регион более тёплых воздушных масс при общем сохранении их термодинамических свойств [Дёмин и др., 2014].

Рис. 2. Среднегодовая температура воздуха за разные периоды, °С
 а) 1961–1990 годы; б) 1971–2000 годы; в) 1981–2010 годы; г) 1991–2015 годы
 Fig. 2. Mean annual air temperature for different periods, °С
 а) 1961–1990; б) 1971–2000; в) 1981–2010; д) 1991–2015

Рис. 3. Среднегодовая температура воздуха за разные периоды, °C:
а) 1961–1990 годы; б) 1971–2000 годы; в) 1981–2010 годы; г) 1991–2015 годы
Fig. 3. Mean annual air temperature for different periods, °C:
а) 1961–1990; б) 1971–2000; в) 1981–2010; г) 1991–2015

Рис. 4. Изменение среднегодовой температуры воздуха за разные периоды:
а) 1971–2000 годы к 1961–1990 годам; б) 1981–2010 годы к 1971–2000 годам;
в) 1991–2015 годы к 1981–2010 годам

Fig. 4. Changes in mean annual air temperature over different periods:
а) 1971–2000 by 1961–1990; б) 1981–2010 by 1971–2000;
с) 1991–2015 by 1981–2010

Для изучения современных глобальных изменений климата широко применяются специально подготовленные сеточные данные различных проектов. Для оперативного анализа на ЕТР можно воспользоваться готовыми данными проекта NOAA GHCN CAMS Land Temperature Analysis. Средняя месячная температура приземного воздуха в градусах Кельвина представлена в виде регулярной сети с шагом $0,5^\circ$. Имеются данные с 1948 года по настоящее время по всем месяцам. Отдельно есть grids климатологических стандартных норм средней месячной температуры (1981–2010 годы). Описание исходных данных и методов интерполяции, используемых при создании этого проекта, приведено в статье его авторов [Fan, van den Dool, 2008]. Данные хранятся в формате NetCDF, являющимся открытым стандартом для обмена научными данными. При выводе на экран растрового изображения на ЕТР с разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ хорошо видны ячейки раstra. Чтобы получить сглаженную поверхность, можно перейти от раstra к узловым точкам и провести интерполяцию значений с меньшим шагом сетки. На рис. 5 продемонстрированы изображения стандартных норм среднегодовой температуры на ЕТР, полученные по данным GHCN CAMS. Для целей сглаживания поверхностей также применялся инструмент «Фокальная статистика» из набора Spatial Analyst. Значения атрибутов пересчитывались путём осреднения значений соседних ячеек в пределах заданного «скользящего окна» с меньшим шагом.

Изменения среднегодовой температуры воздуха за разные временные отрезки и аномалии температуры можно определить с помощью инструмента «Калькулятор раstra» из набора Spatial Analyst.

Рис. 5. Картографическая визуализация растров среднегодовой температуры воздуха (1981–2010 годы), созданных разными способами:
а) на основе исходных данных;

б) методом интерполяции по узловым точкам сетки с шагом 10 км

Fig. 5. Cartographic visualization of rasters of mean annual air temperature (1981–2010) created in different ways:

a) based on the initial data;

b) by interpolation using grid nodes with a step of 10 km

ВЫВОДЫ

В последнее время геоинформационные технологии стали для климатологии необходимым инструментом научных исследований и решения профессиональных задач. Программное обеспечение большинства ГИС-пакетов предоставляет возможность обработки и анализа пространственной информации, создания картографических баз данных в целях картографо-геоинформационного обеспечения научно-исследовательских проектов. Важно заметить, что при рассмотрении в работе способов автоматизированного моделирования изменений среднегодовой температуры на ЕТР не учитывались рельеф поверхности, циркуляция атмосферы, наличие водоёмов и др.

Автоматизированные методы интерполяции позволяют оперативно по данным метеорологических станций построить пространственно-временные модели основных характеристик климата, оценить качество исходных данных и полученных результатов, что важно в условиях современного глобального потепления. Поскольку каждые 10 лет стандартные нормы будут пересчитываться (и в скором будущем они будут применяться к периоду 1991–2020 годов), то становится, несомненно, важным применение ГИС-технологий для оценки оперативных пространственно-временных изменений климатологических параметров на локальном, региональном и глобальном уровнях. Приведённые в работе примеры использования ГИС-технологий для моделирования пространственного варьирования изменений среднегодовой температуры воздуха на Европейской части России наглядно

показывают отдельные возможности программных продуктов для реализации современных подходов к исследованию проявлений глобального потепления климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейчик М.Ф., Чупикова С.А. Использование ГИС-технологий при разработке электронных карт распределения атмосферных осадков Тувинской горной области. Интерэкспо Гео-Сибирь, 2012. Т. 3. С. 166–170.
2. Божилина Е.А., Сорокина В.Н., Салихова Н.З. Картографирование изменений температурного режима на Европейской территории России за разные временные периоды (1881–1935 гг. и 1961–1990 гг.). Геодезия и картография, 2014. № 2. С. 27–35. DOI: 10.22389/0016-7126-2014-884-2-27-35.
3. Божилина Е.А., Сорокина В.Н., Торопов П.А., Васильев П.В. Картографирование температурных аномалий за период 1991–2010 гг. на Европейской территории России. Геодезия и картография, 2016. № 7. С. 15–24. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-913-7-15-24.
4. Важнова Н.А., Верещагин М.А. О многолетней динамике приземного термического режима на территории Приволжского федерального округа (ПФО) во второй половине XX и в начале XXI столетия. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2014. № 1. С. 112–121.
5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Издательство Росгидромета, 2014. 61 с.
6. Дёмин В.И., Священников П.Н., Иванов Б.В. Изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и современное потепление климата на Кольском полуострове. Вестник Кольского научного центра РАН, 2014. № 2 (17). С. 101–105.
7. Ивлиева Н.Г., Манухов В.Ф., Хлевина С.Е. Пространственно-временной анализ изменения климата в зоне широколиственных лесов правобережья Волги. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы Международной конференции, Курск, Богота (Колумбия), 2–7 февраля 2013 г. Курск, 2013. Т. 19. С. 62–68. DOI:10.24057/2414-9179-2013-1-19-62-68.
8. Ивлиева Н.Г., Хлевина С.Е. Применение геоинформационного моделирования для пространственно-временного анализа изменения климата в зоне широколиственных лесов правобережья Волги. Вестник Мордовского университета, 2008. № 1. С. 100–105.
9. Коршунова Н.Н., Швець Н.В. Изменение норм основных климатических параметров на территории России за последние десятилетия. Труды ВНИИГМИ-МЦД (Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой Центр Данных), 2014. Вып. 178. Электронный ресурс: <http://meteo.ru/component/content/article/126-trudy-vniigmi/trudy-vniigmi-mts-d-vypusk-178-2014-g/526-izmenenie-norm-osnovnykh-klimaticheskikh-parametrov-na-territorii-rossii-za-poslednie-desyatiletia> (дата обращения 21.09.2018).
10. Fan Y., van den Dool H. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present. Journal of Geophysical Research, 2008. V. 113. Iss. D1. D01103. DOI:10.1029/2007JD008470.
11. Perevedentsev Y.P., Shantalinskii K.M., Vazhnova N.A. Spatiotemporal variations of major parameters of temperature and humidity regime in the Volga federal district. Russian Meteorology and Hydrology, 2014. V. 39. Iss. 4. P. 228–239.

REFERENCES

1. Andreichik M.F., Chupikova S.A. The usage of GIS technologies in the creation of electronic maps of the distribution of precipitation in the Tuva mountain region. Interexpo Geo-Sibir, 2012. V. 3. P. 166–170 (in Russian).
2. Bozhilina E.A., Sorokina V.N., Salikhova N.Z. Mapping of temperature changes in the European territory of Russia for different time periods (1881–1935 and 1961–1990). Geodesy and cartography, 2014. No 2. P. 27–35. DOI: 10.22389/0016-7126-2014-884-2-27-35 (in Russian).

3. *Bozhilina E.A., Sorokina V.N., Toropov P.A., Vasilev P.V.* Mapping temperature anomalies for the period 1991–2010 years in the European territory of Russia. *Geodesy and Cartography*, 2016. No 7. P. 15–24. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-913-7-15-24 (in Russian).
4. *Demin V.I., Sviashchennikov P.N., Ivanov B.V.* Long-term variations of large-scale atmosphere circulation and the modern climate warming at the Kola Peninsula. *Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014. No 2 (17). P. 101–105 (in Russian).
5. *Fan Y., van den Dool H.* A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present. *Journal of Geophysical Research*, 2008. V. 113. Iss. D1. D01103. DOI:10.1029/2007JD008470.
6. *Ivlieva N.G., Khlevina S.E.* Application of geoinformation modeling for spatiotemporal analysis of climate change in the zone of the broad-leaved woods of the Volga river right-bank. *Mordovia University Bulletin*, 2008. No 1. P. 100–105 (in Russian).
7. *Ivlieva N.G., Manukhov V.F., Khlevina S.E.* The spatio-temporal analysis of the climate changing in the zone of the broad-leaved woods of the Volga river right-bank. *InterCarto. InterGIS. Proceedings of the International conference. Kursk, Bogota (Colombia), February 2–7, 2013. Kursk, 2013. V. 19. P. 62–68. DOI:10.24057/2414-9179-2013-1-19-62-68 (in Russian, abs English).*
8. *Korshunova N.N., Shvets N.V.* Change in the normals of the main climatic parameters on the territory of Russia over the last decennary. *Proceedings of All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center*, 2014. Iss. 178. Web resource: <http://meteo.ru/component/content/article/126-trudy-vniigmi/trudy-vniigmi-mtsd-vypusk-178-2014-g/526-izmenenie-norm-osnovnykh-klimaticheskikh-parametrov-na-territorii-rossii-za-poslednie-desyatiletiya> (accessed 21.09.2018) (in Russian).
9. *Perevedentsev Y.P., Shantalinskii K.M., Vazhnova N.A.* Spatiotemporal variations of major parameters of temperature and humidity regime in the Volga federal district. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2014. V. 39. Iss. 4. P. 228–239.
10. *Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and its Consequences in Russian Federation. Moscow: Roshydromet, 2014. 61 p. (in Russian).*
11. *Vazhnova N.A., Vereshchagin M.A.* The long-term dynamics of the surface of the thermal regime on the territory of the Volga Federal District (VFD) in the second half of XXth and the beginning of XXIth century. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2014. No 1. P. 112–121 (in Russian).