

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2025-1-37-50>

УДК 551.583:504.38

Система RANGES: структура, порядок расчета и пример применения

А.Ю. Богданович

*Институт глобального климата и экологии
имени академика Ю.А. Израэля, г. Москва, Россия
bogda-anton@yandex.ru*

Описывается вычислительная система RANGES (от англ. range – «диапазон»), предназначенная для расчета климатической области распространения (КОР) природного явления на основе климатических характеристик и переменных (климатических предикторов) – гидрометеорологических величин и индексов, рассчитанных на их основе, – определяющих формирование КОР. Методология системы основана на байесовском подходе, позволяющем оценивать вероятность принадлежности географической точки к КОР исследуемого явления. Система RANGES реализована в виде комплекса программ и снабжена дружественным интерфейсом, построенным таким образом, чтобы автоматизировать процесс ввода данных, минимизируя ошибки. Система поддерживает работу как с данными наблюдений, так и с данными глобальных и региональных моделей (в данной версии системы – это модели Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН и Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова). Программный комплекс позволяет учитывать многочисленные климатические предикторы для описания условий, влияющих на природное явление. На основе анализа климатических предикторов система определяет вероятностные оценки принадлежности точек географического пространства к КОР и ранжирует эти оценки по методологии МГЭИК.

Приведен пример использования системы RANGES при вычислении КОР доминирования теплой части года (когда число суток с положительными среднесуточными температурами превышает 182). Рассчитаны изменения КОР для базового периода (1990–1999 гг.) и для 2030–2039 и 2050–2059 гг. в условиях сценария RCP8.5. Показаны смещения границ КОР доминирования теплой части года, иллюстрирующие влияние изменений климата.

Ключевые слова: климат, природное явление, климатическая область распространения, вычислительная система, пример применения

The RANGES system: structure, calculation procedure and application example

A.Yu. Bogdanovich

*Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia
bogda-anton@yandex.ru*

The RANGES computing system is described, which is intended for calculating the climatic area of distribution (CAD) of a natural phenomenon based on the climatic characteristics and parameters (climatic predictors) – hydrometeorological variables and indices calculated on their basis – that determine the formation of the CAD. The methodology of the system is based on a probabilistic Bayesian approach, which allows assessing

the belonging of a geographic point to the CAD of the phenomenon under study. The system is implemented as a set of programs and is equipped with a user-friendly interface to automate the process of data entry, minimizing errors. The system maintains operation both with observational data and with data of global and regional models (in the present version of the system, these are the models of Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences and Voeikov Main Geophysical Observatory). The software package allows taking into account multiple climatic predictors to describe the conditions influencing a natural phenomenon. Based on the analysis of climatic predictors, the system provides probabilistic estimates of the belonging of geographic points to the CAD and ranks the estimates according to the IPCC methodology.

An example of using the RANGES system to calculate the dominant CDA in the warm season (defined as a period with a number of days with positive temperatures above 182) is given. Changes in the CDA for the base period (1990–1999) and for 2030–2039 and 2050–2059 under the RCP8.5 scenario are calculated. Shifts in the boundaries of the warm-season dominant CAD illustrating the impact of climate change are shown.

Keywords: climate, natural phenomenon, climatic area of distribution, computing system, application example

Введение

Климатическая область распространения (КОР) природного явления – часть географического пространства, климат которой допускает систематическое наличие природного явления при способствующем сочетании остальных факторов среды.

Разработка инструментов, позволяющих оценивать КОР природных явлений и их изменения при изменении климата, является одной из актуальных задач современной климатологии. При этом важно обеспечить не только расчет КОР, но и оценку неопределенности заключения о том, что точка географического пространства принадлежит КОР. Методика такой оценки, основанной на вероятностном байесовском подходе, изложена в [4].

Для расчета КОР природных явлений, исходя из состояния климата и характера зависимости исследуемого явления от состояния климата, создана вычислительная система RANGES. В ее современном виде это программный комплекс, разработанный А.Ю. Богдановичем. Дружественный интерфейс создан Н.Ю. Добролюбовым. Общее руководство этой разработкой осуществлял С.М. Семенов. Авторское свидетельство на разработку системы RANGES зарегистрировано в Роспатенте (Свидетельство Роспатента № 2024668052 [3]).

Функциональные возможности системы RANGES весьма широки. Она использовалась для оценки КОР таких явлений, как сильные засухи, распространение насекомых-вредителей сельскохозяйственных и лесных растений, распространение переносчиков трансмиссивных заболеваний человека.

Система RANGES может использовать при расчете данные мониторинга и моделирования климата. Исследуемое явление характеризуется специфической совокупностью переменных – гидрометеорологических

величин и/или индексов, рассчитанных на их основе (например, сумма активных температур, сумма эффективных температур, гидротермические коэффициенты). В научной литературе такие переменные часто называются «климатическими предикторами». При этом исследуемому явлению соответствуют допустимые диапазоны их значений.

Целью данной статьи является представление структуры системы RANGES, а также демонстрация ее возможностей на примере расчета климатической области распространения физического явления – доминирования теплой части года в календарном году.

Входные данные

Данные о климате

Система RANGES может работать с данными как о наблюдаемом (фактическом) климате, так и с результатами математического моделирования климата в условиях различных сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли.

Климатические данные, используемые в текущей версии системы, – среднемесячные значения температуры воздуха в приповерхностном слое и месячные суммы осадков. Они организованы по узлам пространственной широтно-долготной сетки. В отдельных файлах хранятся данные о климате для конкретного года и определенной реализации климата (если речь идет о результатах модельных расчетов). Для различных сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли используются отдельные группы файлов с климатическими данными.

В расчетах, проведенных к настоящему моменту, применялись климатические модельные данные из следующих двух источников:

– для глобальных оценок – глобальная климатическая модель Института вычислительной математики имени Г.И. Марчука РАН (ИВМ РАН). Данные предоставлены Е.М. Володиным. Они характеризуют периоды 1990–1999, 2030–2039 и 2050–2059 гг., соответствуют сценариям SSP (Shared Socioeconomic Pathways). Исходное пространственное разрешение – $1.5^{\circ} \times 2.0^{\circ}$. Была проведена интерполяция на сетку $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$;

– для региональных расчетов применялись данные, предоставленные Климатическим центром Росгидромета (КЦР) и рассчитанные с использованием региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории имени А.И. Воейкова (ГГО). Эти данные, предоставленные И.М. Школьником, охватывают те же временные периоды, что и данные модели ИВМ РАН, но характеризуются более детальным исходным пространственным разрешением – $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ [10]. Рассчитанные значения соответствуют сценариям семейства RCP (Representative Concentration Pathways).

Оба набора модельных данных были скорректированы с учетом расхождений с фактическими климатическими данными за период 1990–1999 гг., которые представлены в массиве CRU TS v.4.04 [13]. Данные CRU,

созданные Отделом исследования климата Университета Восточной Англии, представляют собой значения для узлов сетки $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, полученные на основе обработки наблюдений метеостанций. Подробное описание методов корректировки приведено в работе [1]. Скорректированные массивы данных, таким образом, обозначаются с надстрочной латинской буквой «a» (от «adjusted»), например, КЦР^a или ИВМ^a. Именно эти массивы использовались в качестве входной климатической информации для системы RANGES.

Технические параметры

Для выполнения расчетов в системе RANGES требуется ввод следующих технических параметров:

- имя для результирующего файла;
- идентификаторы источника данных; например, для данной версии системы – модели ИВМ РАН (обозначается как "INM") или ГГО (обозначается как "MGO");
- сценарный параметр, который указывает сценарий антропогенного воздействия на климатическую систему Земли (например, SSP или RCP);
- временной период, задаваемый его начальным годом и продолжительностью;
- число реализаций климата, которое определяется объемом используемых данных; для глобальных данных ИВМ РАН это количество ограничено одной реализацией на сценарий, кроме SSP7.0 и исторического, где рассматриваются пять реализаций; для региональных данных ГГО на каждый сценарий RCP представлено до 50 реализаций;
- критическое минимальное значение доли лет в рассматриваемом климатически значимом периоде времени, при превышении которой исследуемое явление считается систематически наличествующим;
- номер старшей гармоники, учитываемой при разложении ступенчатой функции, принимающей в пределах каждого месяца значение, равное среднемесячному значению температуры воздуха, по гармоническим функциям при осуществлении интерполяции для получения суточных данных [8];
- географические границы для расчетов, задаваемые широтами и долготами в градусах в десятичном формате, что позволяет при необходимости ограничивать область исследования (подобная гибкость настройки делает систему RANGES удобным инструментом для работы с данными различных пространственных масштабов).

Климатические предикторы

Для описания климатических условий, влияющих на природное явление, в текущей версии системы RANGES используются следующие климатические предикторы:

- средняя температура за определенные месяцы года (до трех отрезков);
- месячная сумма осадков за выбранные месяцы (до трех отрезков);
- максимальная и минимальная среднемесячная температура за год;
- максимальная и минимальная среднесуточная температура за год;
- суммы активных (САТ), пассивных (СПТ) и эффективных (СЭТ) среднесуточных значений температуры;
- гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК);
- число дней в году, в которые среднесуточное значение температуры или же суточная сумма осадков превышала пороговые значения.

Структура системы RANGES допускает включение и иных климатических предикторов при необходимости.

Последовательность работы головной программы

Для обеспечения удобного ввода параметров и минимизации ошибок пользователям предоставляется дружелюбный интерфейс, разработанный сотрудником ФГБУ «ИГКЭ» Н.Ю. Добролюбовым и реализованный на языке программирования Visual Basic .NET в среде MS Visual Studio Community (общедоступная версия). Интерфейс позволяет интерактивно формировать файл с заданными условиями и автоматически проверяет ввод данных.

Система RANGES использует вероятностный подход для определения принадлежности точки географического пространства к КОР исследуемого явления. Методология основана на оценке параметра p , представляющего долю лет в рассматриваемом климатически значимом периоде времени, климатические условия которых способствуют исследуемому явлению. Считается, что явление систематически наличествует, если p превышает пороговое значение p_0 . Вероятность этого рассчитывается в рамках байесовского подхода методом, подробно описанным в [2, 4].

Система RANGES реализована на языке FORTRAN (общедоступная версия) в виде головной программы с рядом вспомогательных подпрограмм, обеспечивающих выполнение всех этапов анализа климатических данных и построения вероятностных оценок. Главной программой системы является модуль RANGES.FOR, название которого может включать маркер версии, например, RANGES_B1.FOR. Рассмотрим подробно последовательность действий головной программы и взаимодействие с подпрограммами.

Чтение входной информации

Выполняется чтение входной информации, находящейся в файле RANGES.PAR, содержащем информацию о технических параметрах, используемых при расчете климатических предикторов и их допустимых диапазонах, об именах файлов используемых климатических данных и географических ограничениях для расчета результатов оценки КОР.

Открытие используемых файлов с информацией о климате

Открываются все файлы, содержащие информацию о климате, соответствующую заданному сценарию, годам из рассматриваемого периода времени и реализациям климата.

Создание выходного файла

Открывается текстовый файл для вывода результатов, имя которого задано параметром *NOOUT* в файле *RANGES.PAR*. В этот файл сначала копируется информация из *RANGES.PAR* для однозначного сопоставления впоследствии результатов расчета с исходными данными.

Среднесуточные значения: интерполяция

Для каждого месяца календарного года K задается функция суток D в календарном году, принимающая значение 1 для суток этого месяца и 0 для остальных. Эта функция разлагается по гармоническим функциям и рассматривается начальная часть разложения до NF -й гармоники (значение NF задается в файле входной информации *RANGES.PAR*, по умолчанию $NF = 4$). Полученная функция обозначается $Z0(K, D)$ для обычного года и $ZV(K, D)$ для високосного.

Если в файле входной информации указывается необходимость использования климатических предикторов, рассчитываемых с использованием среднесуточных значений температуры, то последовательности среднемесячных значений температуры $\{T(K), K=1, \dots, 12\}$ ставится в соответствие последовательность значений среднесуточной температуры $\{Z(D)\}$, где для обычного года $Z(D) = T(1) \cdot Z0(1, D) + \dots + T(12) \cdot Z0(12, D)$, $D = 1, \dots, 365$, а для високосного $Z(D) = T(1) \cdot ZV(1, D) + \dots + T(12) \cdot ZV(12, D)$, $D = 1, \dots, 366$.

Расчет функции $Z0(K, D)$ (или $ZV(K, D)$) выполняется через вызов подпрограммы *SMD_C.FOR*. Ее входные переменные – номер года *YEAR*, число используемых гармоник NF и 12 среднемесячных значений гидрометеорологических переменных (например, температуры воздуха).

SMD_C.FOR, в свою очередь, вызывает две вспомогательные подпрограммы:

- *MD.FOR* – преобразует порядковый номер суток в году в номер месяца и порядковый номер суток в пределах месяца;
- *FCOEF.FOR* – рассчитывает коэффициенты разложения по гармоническим функциям.

Следует отметить, что описанная выше гармоническая интерполяция суточных значений, исходя из месячных, применяется для температуры, но не осадков. Для интерполяции осадков в текущей версии системы месячные их значения равномерно распределяются в пределах месяца для получения суточных значений.

Обработка климатической информации

Программа анализирует файлы с климатической информацией, соответствующей заданному временному периоду продолжительностью NYO лет. Общее число климатических файлов NBO определяется как произведение $NBO = NYO \cdot NRO$, где NRO – число имеющихся реализаций климата.

Обработка климатической информации производится в режиме совместного чтения климатических данных из всех открытых файлов. На каждом шаге читаются данные, относящиеся к определенному узлу используемой пространственной сетки. Если такой узел не удовлетворяет широтно-долготным ограничениям, указанным среди технических параметров расчета, то дальнейшая обработка этой строки не производится, и программа переходит к обработке следующей строки.

Если рассматриваемый узел сетки удовлетворяет широтно-долготным ограничениям, но какой-то элемент климатической информации за какой-то год при какой-то реализации климата отсутствует (т. е. наблюдается пропуск данных), то эта информация в дальнейшем не учитывается. В ином случае проводится проверка, находятся ли значения всех заданных климатических предикторов в пределах своих допустимых диапазонов. Если находятся, то данной реализации климата в данном году ставится в соответствие 1, иначе 0.

В результате для рассматриваемого узла, удовлетворяющего широтно-долготным ограничениям, определяются два числа: N – общее число лет во всех реализациях климата, для которых имеется полная климатическая информация, и k – их часть, для которых значения климатических предикторов находятся в допустимых диапазонах.

Оценка вероятностей

Если $N > 0$, числа k и N передаются на вход подпрограммы `LAS_V.FOR`, которая определяет степень уверенности в том (вероятности того), что данная точка географического пространства принадлежит КОР исследуемого явления.

Подпрограмма `LAS_V.FOR` вызывает модуль `BAYES.FOR`, который:

- оценивает вероятность ACP того, что параметр биномиального распределения меньше заданного порогового значения p_0 [4]; p_0 задается в файле `RANGES.PAR`;

- определяет ранг вероятности $PR = 1 - ACP$ в соответствии с приведенными в табл. 1.

Ранг принимает значения от 0 («маловероятно») до 4 («практически достоверно») в соответствии с методологией МГЭИК, описанной в [15].

Таким образом, каждому обработанному узлу пространственной сетки присваивается определенный ранг, соответствующий уверенности в том

(вероятности того), что он принадлежит КОР исследуемого природного явления. Картографический вывод результатов поддерживается внешними системами, например QGIS.

Таблица 1. Определение ранга вероятности PR
Table 1. Determination of rank for likelihood PR

Диапазон значений $PR = 1 - ACP$	Ранг	Словесная характеристика
(0.99; 1]	4	Практически достоверно
(0.90; 0.99]	3	Весьма вероятно
(0.66; 0.90]	2	Вероятно
(0.33; 0.66]	1	Средневероятно
≤ 0.33	0	Маловероятно

Теоретическое обоснование использованных в системе RANGES подходов и алгоритмов предложено в [2, 4, 7, 11].

Пример использования системы RANGES

Рассмотрим в качестве примера такое явление, как доминирование теплой части года в календарном году. Это означает, что число суток с положительными среднесуточными температурами воздуха в приповерхностном слое превышает 182.

В условиях умеренного и холодного климата продолжительность теплой части года сильно зависит от географической широты, высоты над уровнем моря, близости к морям и океанам, а также от некоторых других физико-географических факторов. Географическая широта особенно важна, так как она в значительной мере определяет поступление солнечной энергии на земную поверхность. В тропических регионах теплая часть года может занимать весь календарный год, тогда как в полярных регионах может продолжаться только несколько недель [14].

Физико-географическая среда оказывает локальное влияние на продолжительность теплой части года. Например, горные районы характеризуются резким сокращением теплой части года из-за снижения температуры с высотой, в то время как прибрежные территории в высоких широтах могут иметь более длительный теплый сезон вследствие смягчающего влияния водных акваторий [9, 14]. Темные почвы и плотные лесные массивы также способны изменять микроклимат, увеличивая число дней с положительными среднесуточными температурами [6, 12].

Изменение продолжительности теплой части года, вызванное глобальным изменением климата, оказывает значительное воздействие на природные и хозяйственные процессы. Длительный теплый сезон улучшает условия для сельского хозяйства, способствует расширению зон производства

продукции растениеводства и повышению урожайности [5]. Глобальные климатические изменения продолжают оказывать влияние на региональные климатические процессы, увеличивая длительность теплой части года [14].

Для выполнения расчётов той области географического пространства, где теплая часть года доминирует, использовалась система RANGES. Климат соответствовал массиву КЦР^а, сценарий RCP8.5; в качестве значения параметра p_0 принято 0.5. Расчеты выполнялись для следующих временных срезов: 1990–1999 (базовый период), 2030–2039, 2050–2059 годов.

Для визуализации были построены карты КОР доминирования теплой части года для базового периода и ее изменений для прогнозных периодов времени. Балльные оценки вероятности принадлежности точек к зоне доминирования (табл. 1) отражены с помощью цветовой шкалы. Рангам PR соответствуют следующие цвета: 0 – белый, 1 – желтый, 2 – темно-желтый, 3 – коричневый, 4 – темно-коричневый.

При изменении климата ранги PR могут, вообще говоря, изменяться от -4 до 4. В рассматриваемом случае отрицательных значений не возникло. В табл. 2 представлены вербальная характеристика и соответствующее цветовое воплощение ([7] с изменениями). Однако в данной работе отсутствие изменений отображалось бежевым цветом, а не белым, как в оригинальной системе.

Таблица 2. Вербальная характеристика и цветовое представление изменений рангов вероятности ([7] с изменениями)

Table 2. Verbal characteristics and color representation of changes in probability ranks ([7] with changes)

Изменение ранга	Вербальная характеристика		Цвет
4	Увеличение	Очень сильное	Фиолетовый
3		Сильное	Темно-красный
2		Среднее	Красный
1		Слабое	Розовый
0	Изменений не выявлено		Бежевый

Для базового климата 1990–1999 гг. (рис. 1) доминирование теплой части года наблюдается на большей территории европейской части страны, а также на юге Сибири и Дальнего Востока.

Для климата 2030–2039 гг. (рис. 2) сценария RCP8.5 северная граница доминирования теплой части года смещается на север по сравнению с базовым климатом.

В 2050–2059 гг. (рис. 3) смещение зоны доминирования теплой части года становится ещё более выраженным.

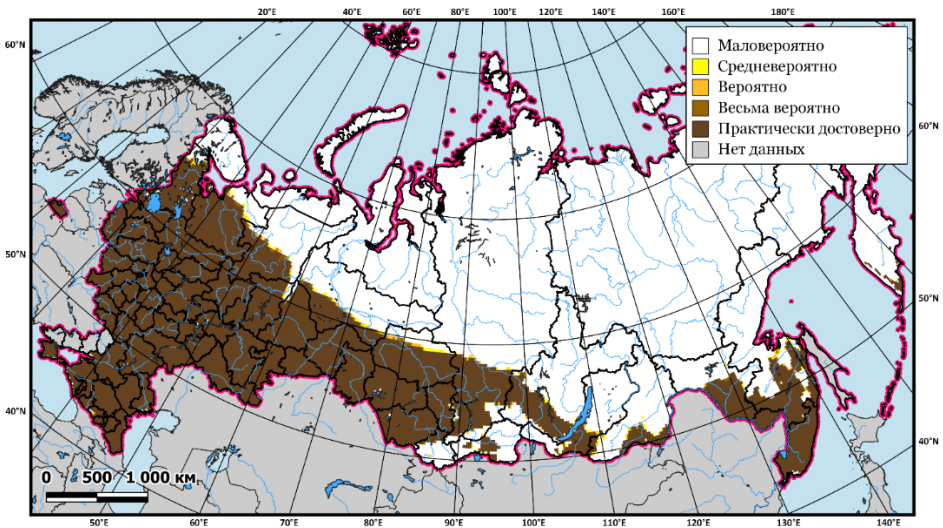


Рис. 1. Пространственное распределение балльной оценки вероятности того, что в точке географического пространства доминирует теплая часть года; климат КЦР^a для 1990–1999 гг.

Fig. 1. Spatial distribution of the probability score that a warm part of the year dominates at a point of geographic space; climate of the KЦР^a for 1990–1999.

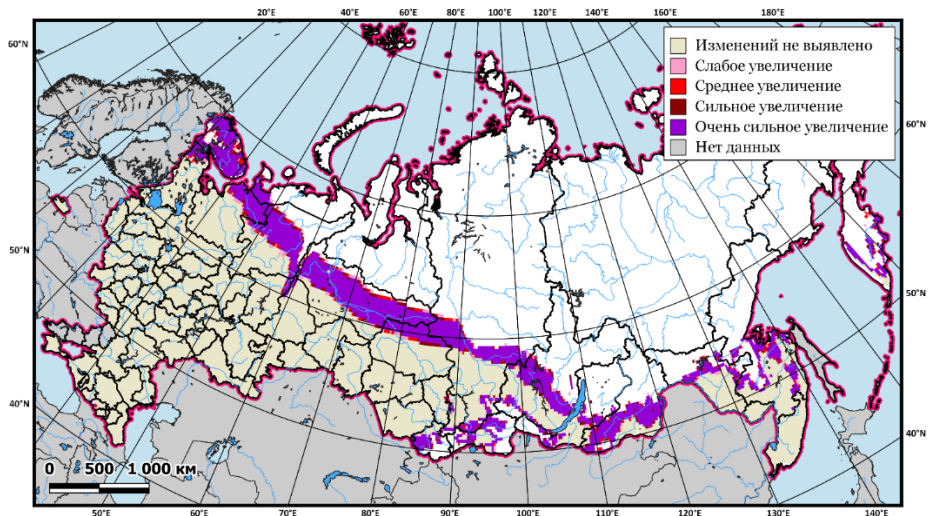


Рис. 2. Пространственное распределение изменений балльной оценки вероятности того, что в точке географического пространства доминирует теплая часть года; для 2030–2039 гг. по сравнению с 1990–1999 гг.; климат КЦР^a, сценарий RCP8.5

Fig. 2. Spatial distribution of changes in the probability score that a warm part of the year dominates at a point of geographic space; for 2030–2039 compared to 1990–1999; KЦР^a climate, RCP8.5 scenario.

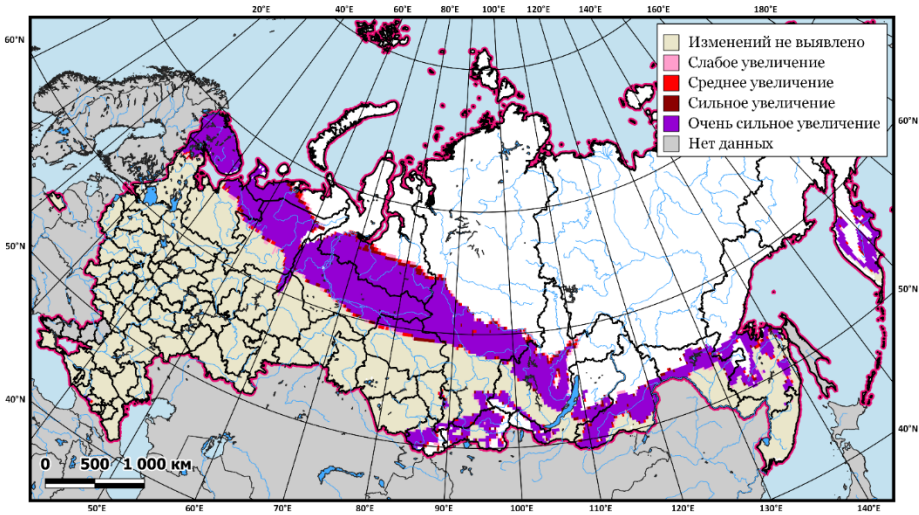


Рис. 3. Пространственное распределение изменений балльной оценки вероятности того, что в точке географического пространства доминирует теплая часть года; для 2050–2059 гг. по сравнению с 1990–1999 гг.; климат КЦР^a, сценарий RCP8.5.

Fig. 3. Spatial distribution of changes in the probability score that a warm part of the year dominates at a point of geographic space; for 2050–2059 compared to 1990–1999; КЦР^a climate, RCP8.5 scenario.

Для климата 2050–2059 гг. на Европейской территории России КОР доминирования теплой части года охватывает практически всю территорию, включая северо-запад и такие регионы, как Мурманская область, Архангельская область и большая часть Республики Коми. В Западной Сибири это происходит на значительной части территории вплоть до юга Ямало-Ненецкого автономного округа. На Дальнем Востоке граница также продвигается на север. В горных регионах, таких как Алтай, также происходит смещение границы в направлении больших высот.

Заключение

Система RANGES в текущей версии позволяет рассчитывать КОР природного явления исходя из климата (фактического или модельного) и тех климатических факторов (климатических предикторов), которые определяют КОР. Используются климатические данные о температуре и осадках месячного разрешения, а также климатические предикторы, представленные в специальной научной литературе.

В ближайшие годы предполагается дальнейшее развитие системы, в том числе в следующих направлениях:

- использование данных мониторинга и моделирования климата суточного разрешения;

– выявление совокупности климатических предикторов, соответствующих явлению, путем анализа данных фактической области его распространения.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Росгидромета: план НИТР Росгидромета на 2025 г., регистрационный номер 125030703339-4 в системе ЕГИСУ НИОКТР, тема 3.1.3 «Выявление климатогенных угроз секторам экономики России, функционирующим на основе природного комплекса, экосистемам и здоровью населения, в том числе связанных с изменением климатических ареалов видов в XXI веке. Оценки рисков и возможностей адаптации».

Acknowledgements. The research was carried out with the support of Roshydromet: Roshydromet's research and development plan for 2025, registration number 125030703339-4 in the EGISU R&D system, topic 3.1.3. "Identification of climate-related threats to sectors of the Russian economy operating on the basis of the natural complex, ecosystems and human health, including those associated with changes in the climatic ranges of species in the 21st century. Assessment of risks and adaptation opportunities."

Список литературы

1. *Богданович А.Ю., Павлова В.Н., Ранькова Э.Я., Семенов С.М.* Влияние изменений засушливости в России в XXI веке на пригодность территорий для возделывания зерновых культур // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2021. № 1. С. 20-35.
2. *Богданович А.Ю., Семенов С.М.* Оценка климатических ареалов видов с использованием системы RANGES // *Сборник тезисов докладов Международной конференции «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат–2023»*, 9–13 октября 2023 года. М.: Физматкнига, 2023. С. 220-220.
3. *Богданович А.Ю., Семенов С.М., Добролюбов Н.Ю.* Система RANGES: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024668052. Дата государственной регистрации 01 августа 2024 года.
4. *Добролюбов Н.Ю., Семенов С.М., Володин Е.М., Богданович А.Ю.* Алгебраический алгоритм статистической оценки параметра биномиального распределения и пример его применения в одной глобальной геоинформационной задаче прикладной климатологии // *Метеорология и гидрология*. 2023. № 10. С. 16-24.
5. *Ковтун В.И., Ковтун Л.Н.* Технология выращивания высококачественного зерна озимой пшеницы на юге России // *Земледелие*. 2013. № 3. С. 19-21.
6. *Национальный атлас России в четырех томах. Том 2. Природа. Экология*. М.: Роскартография, 2007. 496 с.
7. *Семенов С.М., Попов И.О., Ясюкевич В.В.* Статистическая модель для оценки формирования климатогенных угроз по данным мониторинга климата // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 5. С. 59-65.
8. *Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С.* Выявление климатогенных изменений. М.: Метеорология и гидрология, 2006. 324 с.
9. *Хромов С.П., Петросяңц М.А.* Метеорология и климатология: Учебник. – 8-е издание. М.: Изд-во МГУ, 2012. 584 с.
10. *Школьник И.М., Ефимов С.В.* Региональная модель нового поколения для территории северной Евразии // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 2015. № 576. С. 201-211.

11. Ясюкевич В.В., Богданович А.Ю. Климатические предикторы для модельного описания климатических ареалов некоторых биологических видов и их изменений в условиях будущего климата // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2021. Т. 7, № 1. С. 117-137.

12. Hansen M.C., DeFries R.S., Townshend J.R., Sohlberg, R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach // *International journal of remote sensing*. 2000. Vol. 21, no. 6-7. P. 1331-1364.

13. Harris I., Osborn T.J., Jones P.D., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // *Scientific Data*. 2020. Vol. 7, no. 1. Article number 109. DOI: 10.1038/s41597-020-0453-3.

14. IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., and Zhou B. (Eds.). Cambridge University Press – Cambridge – United Kingdom and New York – NY – USA, 2021. 2391 p.

15. Mastrandrea M.D., Field C.B., Stocker T.F., Edenhofer O., Ebi K.L., Frame D.J., Held H., Kriegler E., Mach K.J., Matschoss P.R., Plattner G.-K., Yohe G.W., Zwiers F.W. (Core Writing Team). *IPCC Fifth Assessment Guidance Note for Lead Authors IPCC Cross-Working Group for Uncertainties*. Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2010. Available at <http://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf> (accessed 10 March 2025).

References

1. Bogdanovich A.Yu., Pavlova V.N., Ran'kova E.Ya., Semenov S.M. Vliyaniye izmeneniy zasushlivosti v Rossi v XXI veke na prigodnost' territorij dlya vozdeleyvaniya zernovyh kul'tur [Influence of changes in aridity in Russia in the XXI century on the suitability of territories for the cultivation of grain crops]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]*, 2021, № 1, pp. 20-35 [in Russ.].

2. Bogdanovich A.Yu., Semenov S.M. Ocenka klimaticheskikh arealov vidov s ispol'zovaniem sistemy RANGES [Estimating the climatic ranges of species using the RANGES system]. *Sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoy konferencii «Izmeneniya klimata: prichiny, riski, posledstviya, problemy adaptacii i regulirovaniya. Klimat-2023»*. 9-13 oktyabrya 2023 goda. Moscow, Fizmatkniga publ., 2023, pp. 220-220 [in Russ.].

3. Bogdanovich A.Yu., Semenov S.M., Dobrolyubov N.Yu. Sistema RANGES [RANGES System]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM №2024668052. Data gosudarstvennoj registracii 01 avgusta 2024 goda.[in Russ.].

4. Dobrolyubov N.Yu., Semenov S.M., Volodin E.M., Bogdanovich A.Yu. Algebraic Algorithm for Statistical Estimation of the Binomial Distribution Parameter and an Example of Its Application in a Global Geoinformation Task of Applied Climatology. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2023, vol. 48, no 1, pp. 72-78.

5. Kovtun V.I., Kovtun L.N. Technology of growing high-quality winter wheat grain in the south of Russia. *Zemledelie [Agriculture]*, 2013, № 3, pp. 19-21 [in Russ.].

6. Nacional'nyj atlas Rossii v chetyrehk tomah. – Tom 2 «Priroda. Ekologiya» [National Atlas of Russia in four volumes. – Volume 2 “Nature. Ecology”] Moscow: Roskartografiya publ., 2007, 496 p. [in Russ.].

7. Semenov S.M., Popov I.O., Yasyukevich V.V. Statistical Model for Assessing the Formation of Climate-related Hazards Based on Climate Monitoring Data. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, pp. 339-344. DOI: 10.3103/S1068373920050040.

8. Semenov S.M., Yasyukevich V.V., Gel'ver E.S. Vyyavlenie klimatogennyh izmenenij [Identification of climatogenic changes] Moscow: Publishing Center «Meteorology and Hydrology», 2006, 324 p. [in Russ.].

9. Hromov S.P., Petrosyanc M.A. Meteorologiya i klimatologiya: Uchebnik. – 8-e izdanie [Meteorology and Climatology: Textbook. – 8th edition] M.: Moscow University Publishing House, 2012, 584 p. [in Russ.].

10. Shkol'nik I.M., Efimov S.V. Regional'naya model' novogo pokoleniya dlya territorii severnoj Evrazii [Regional model of a new generation for the territory of northern Eurasia]. *Trudy GGO [Proceedings of Voeikov Geophysical Observatory]*, 2015, no. 576, pp. 201-211 [in Russ.].

11. Yasyukevich V.V., Bogdanovich A.Yu. Climate predictors for the model description of the climatic ranges of some biological species and their changes in the conditions of the future climate. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]*, 2021, vol. 7, № 1, pp. 117-137 [in Russ.].

12. Hansen M.C., DeFries R.S., Townshend J.R., Sohlberg, R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International journal of remote sensing*, 2000, vol. 21, № 6-7, pp. 1331-1364.

13. Harris I., Osborn T.J., Jones P.D., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 2020, vol. 7, article number 109.

14. IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., and Zhou B. (Eds.). Cambridge University Press – Cambridge – United Kingdom and New York – NY – USA, 2021, 2391 pp.

15. Mastrandrea M.D., Field C.B., Stocker T.F., Edenhofer O., Ebi K.L., Frame D.J., Held H., Kriegler E., Mach K.J., Matschoss P.R., Plattner G.-K., Yohe G.W., Zwiers F.W. (Core Writing Team). IPCC Fifth Assessment Guidance Note for Lead Authors IPCC Cross-Working Group for Uncertainties. Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2010. Available at <http://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf> (accessed 10 March 2025).

*Поступила 06.11.2024; одобрена после рецензирования 27.03.2025;
принята в печать 10.04.2025.*

*Submitted 06.11.2024; approved after reviewing 27.03.2025;
accepted for publication 10.04.2025.*