

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-1-36-57>

УДК 551.589

## **Экстремальные метеорологические явления на сезонных и внутрисезонных интервалах времени в контексте изменения климата**

***Д.Б. Киктев, Е.Н. Круглова, И.А. Куликова, А.В. Муравьев***

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр*

*Российской Федерации, г. Москва, Россия*

*kiktev@mecom.ru, kruglova@mecom.ru, kulikova@mecom.ru, muravev@mecom.ru*

На основе данных реанализа NCEP/NCAR о приземной температуре воздуха и осадках с суточным разрешением проведена автоматическая идентификация объектов, ассоциированных с различными экстремальными метеорологическими явлениями (ЭМЯ) на сезонных и внутрисезонных масштабах времени. В климатическом ракурсе рассмотрены некоторые особенности пространственно-временной изменчивости экстремальных характеристик температурного режима и осадков. В зависимости от пространственной протяженности, продолжительности и интенсивности проведена инвентаризация экстремальных явлений на временном интервале 1981–2019 гг. для Северного полушария. Отмечены годы с наиболее яркими событиями и дана краткая характеристика их специфических особенностей. Полученные результаты будут использоваться при анализе предсказуемости ЭМЯ в контексте верификации долгосрочных метеорологических прогнозов.

*Ключевые слова:* экстремальные метеорологические явления, изменения климата, идентификация экстремальных явлений, долгосрочные метеорологические прогнозы

## **Extreme weather events on seasonal and intraseasonal timescales in the context of climate change**

***D.B. Kiktev, E.N. Kruglova, I.A. Kulikova, A.V. Muravev***

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation,*

*Moscow, Russia*

*kiktev@mecom.ru, kruglova@mecom.ru, kulikova@mecom.ru, muravev@mecom.ru*

The automatic identification of objects associated with various extreme weather events (EWE) on seasonal and intraseasonal timescales is done based on surface air temperature and precipitation datasets (NCEP/NCAR daily reanalysis fields for the Northern Hemisphere). Some features of the spatial and temporal variability of the extreme characteristics of temperature and precipitation regimes are considered in the context of climate change. An inventory of extreme events is carried out for the Northern Hemisphere in 1981–2019 depending on the spatial extent, duration, and intensity of EWEs. The years with the most striking events are noted, and a brief description of their specific features is given. The results will be used to analyze the EWE predictability in the context of the verification of long-range weather forecasts.

*Keywords:* extreme weather events, climate change, identification of extreme events, long-range weather forecasts

## Введение

В последние десятилетия экономические потери, связанные с климатической изменчивостью и экстремальными метеорологическими явлениями (ЭМЯ), резко увеличились. Значимые климатические тренды прослеживаются для целого ряда метеорологических величин в различных сезонах и регионах земного шара. Важное значение при этом имеют длительные развивающиеся на внутрисезонных интервалах времени крупномасштабные аномалии режимов температуры и осадков. Яркие примеры последних лет: жаркое лето 2010 г. на территории России, экстремальные дождевые паводки в бассейне р. Амур в 2013 г., жаркое лето 2019 г. в Западной Европе. Наблюдаемые в последние десятилетия более быстрые, чем в прошлом веке, изменения температурного режима и осадков и еще большие изменения, ожидаемые в XXI в., могут еще более осложнить ситуацию.

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с экстремальными характеристиками режимов температуры и осадков на сезонных и внутрисезонных масштабах времени. Дается краткое описание процедуры автоматической идентификации ЭМЯ с учетом их пространственной протяженности и интенсивности. На основе данных реанализа созданы «каталоги ЭМЯ» за период с 1981 по 2019 год. Рассмотрены некоторые особенности пространственно-временной изменчивости ЭМЯ в Северном полушарии в климатическом ракурсе. Полученные результаты предполагается использовать для проверки качества гидродинамических прогнозов ЭМЯ на основе количественных оценок и методов пространственной верификации.

### 1. Исходные данные и методы исследования

В качестве исходной информации использовались:

1. Данные о приземной температуре воздуха и осадках архива NCEP/NCAR четырехсрочных полей реанализов на сетке  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  на Северном полушарии за период с 1981 по 2019 год. [5].

2. Производные, полученные на базе вышеуказанной информации архивы среднесуточной температуры воздуха и суточных сумм осадков.

3. Производные, модифицированные для среднесуточных данных архивы климатологических индексов (табл. 1), получивших широкое распространение при оценках степени экстремальности климата [8]. Обширный набор такого рода индексов для приземной температуры и осадков был рекомендован Экспертной группой по выявлению климатических изменений, мониторингу и индексам ETCCDI

(<http://etccdi.pacificclimate.org/>) в рамках проекта CLIVAR. Данные индексы рассчитывались на основе суточных данных на внутрисезонных интервалах времени (в течение зимнего и летнего периодов).

Таблица 1. Климатические индексы, характеризующие экстремумы температуры и осадков

Table 1. Climate extreme indices for temperature and precipitation

Индекс	Определение	Единицы измерения
TX90p	Доля дней (%) со средней суточной температурой TX>90-го перцентиля за рассматриваемый период	%
TX10p	Доля дней (%), когда температура TX<10-го перцентиля за рассматриваемый период	%
WSDI	Волны тепла: число дней в рассматриваемом периоде, когда по меньшей мере в течение пяти последовательных дней TX>90-го перцентиля	дни
CSDI	Волны холода: число дней в рассматриваемом периоде, когда по меньшей мере в течение пяти последовательных дней TN<10-го перцентиля	дни
R1day	Максимальное значение суточной суммы осадков, отмечавшееся в течение рассматриваемого периода	мм
R5day	Максимальное значение суммы осадков, отмечавшееся в течение пяти последовательных дней в течение рассматриваемого периода	мм
SDI	Сумма осадков, деленная на число дней с осадками $\geq 1$ мм в течение рассматриваемого периода	мм/день
R10	Число дней, когда суточные суммы осадков >10 мм	дни
R20	Число дней, когда суточные суммы осадков >20 мм	дни
CDD	Максимальная продолжительность непрерывного сухого периода, когда суточные суммы осадков <1 мм	дни
CWD	Максимальная продолжительность непрерывного влажного периода, когда суточные суммы осадков $\geq 1$ мм	дни
PRCP	Общее количество осадков за рассматриваемый период	мм

4. В качестве дополнительных характеристик использовались аномалии среднесезонной температуры воздуха, сезонные суммы осадков (индекс PRCP), а также стандартизированный индекс осадков SPI [10], характеризующий не только степень засушливости, но и увлажненности.

5. Для характеристики внутрисезонной изменчивости режимов температуры и осадков на основе суточных данных рассчитывались значения среднего квадратического отклонения и его аномалии для рассматриваемого сезона. В качестве базового принимался период 1981–2010 гг.

Для вычисления площади, занимаемой ЭМЯ различной интенсивности и продолжительности на поверхности земного шара, использовался известный способ вычисления площади сферического полигона по сферическому избытку (<https://gis-lab.info/qa/polygon-area-sphere-ellipsoid.html>).

Статистическая значимость полученных климатических трендов оценивалась с помощью теста Манна-Кендалла [1]. Критическое значение критерия Манна-Кендалла (МК) при 5%-ном уровне значимости равно 1,96. Если эмпирическое значение критерия  $МК > 1,96$ , то нулевая гипотеза об отсутствии тренда отвергается.

## 2. Идентификация объектов

В настоящее время даже для лучших гидродинамических моделей интервал детерминированной предсказуемости синоптических структур обычно не превышает 1–2 недель. В то же время в многочисленных исследованиях показано, что качество прогнозов сильно варьирует в зависимости от способов представления прогностической информации. Еще в 80-х гг. [3, 9] была продемонстрирована зависимость скорости роста ошибки прогнозов от пространственных масштабов прогнозируемых объектов. Для выявления долгоживущих крупномасштабных структур и увеличения предела предсказуемости используются различные методы пространственной и временной фильтрации (разложение по естественным ортогональным функциям, спектральный анализ и т. д.) [4, 11, 13].

В данной работе задача идентификации объектов, сравнимых по пространственным масштабам с длинными волнами Россби (не меньше 500–1000 км), решалась на основе данных реанализа в зависимости от степени интенсивности и продолжительности характеристик режима температуры и осадков. При этом исходные переменные с использованием различных пороговых значений представлялись в бинарном виде. Например, индекс WSDI конвертировался в переменную  $WSDI_X$ , принимающую бинарные значения:

$$WSDI_X = 1, \text{ если } WSDI \geq C;$$

$$WSDI_X = 0, \text{ если } WSDI < C,$$

где  $C$  – пороговые значения, равные 5, 10, 15, 20 и т. д. суткам. Для аномалий температуры (AT) воздуха выделялись объекты, ассоциируемые с различными пороговыми уровнями:  $AT > 1, 2, 3, 4$  °C и  $AT < -1, -2, -3, -4$  °C. В результате автоматической идентификации в соответствии с заданными пороговыми значениями поля выбранных характеристик температурного режима (аномалий температуры воздуха, индексов WSDI и CSDI, и др.) были представлены в виде объектов, характеризующихся определенными свойствами (интенсивность, продолжительность, пространственная протяженность, географическая локализация). Такое представление позволяет анализировать пространственно-временную

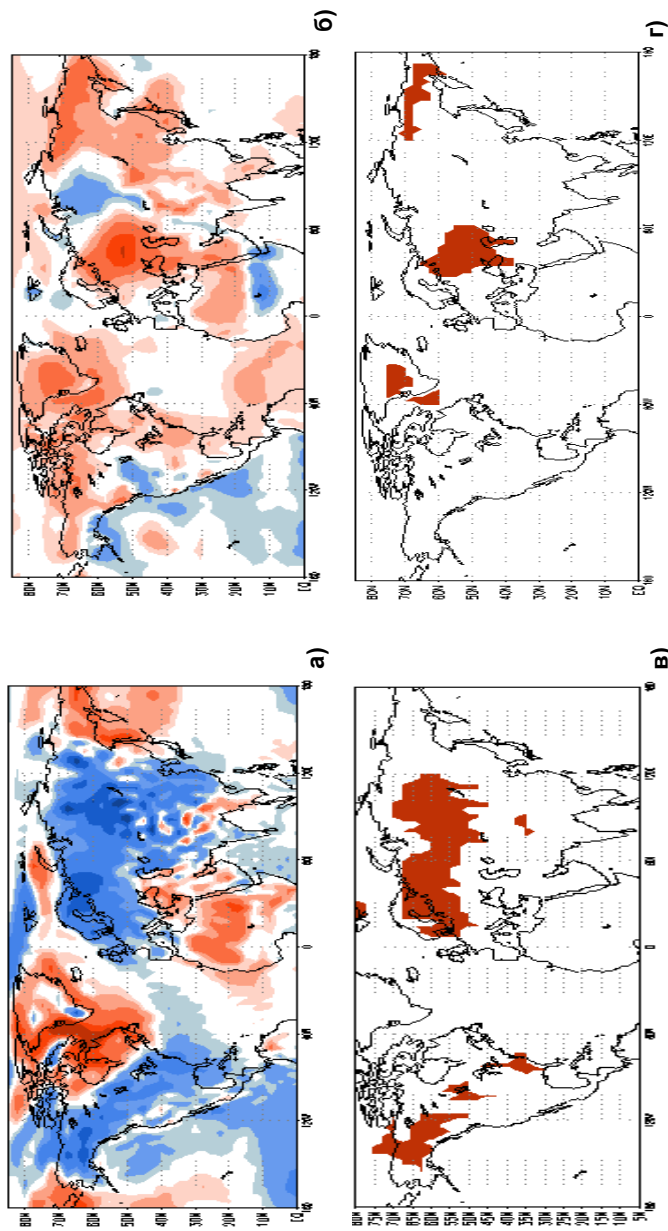
изменчивость ЭМЯ, а также подготовить каталоги и архивы с соответствующими координатами для последующей пространственной верификации результатов гидродинамического моделирования.

На рис. 1 в качестве примера приводятся карты пространственного распределения аномалий температуры воздуха зимой 2010/2011 гг. (рис. 1а) и летом 2010 г. (рис. 1б), а также соответствующие области (объекты), ассоциированные с отрицательными аномалиями температуры воздуха  $<-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  зимой 2010/2011 гг. (рис. 1в) и положительными аномалиями ( $>2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) летом 2010 г. (рис. 1г). Аналогичные карты построены для других указанных выше характеристик температурного режима (при различных пороговых значениях) для летнего и зимнего периодов 1981–2019 гг. Следует отметить, что объекты, ассоциированные с положительными аномалиями температуры воздуха, встречаются намного чаще, чем объекты, ассоциированные с отрицательными аномалиями, а волны холода по своей продолжительности, особенно в летний период, значительно уступают волнам тепла. Над океанами и вовсе на фоне преобладания волн тепла волны холода являются очень редкими событиями.

Результаты идентификации объектов, ассоциированных с различными характеристиками осадков, как и следовало ожидать, не являются однозначными. Формирование осадков в глобальном гидрологическом цикле происходит с участием огромного количества разномасштабных, взаимовлияющих физических процессов, что существенно затрудняет статистическую обработку, а также выбор конкретных характеристик и порогов, выделяющих режимы увлажнения различной степени аномальности.

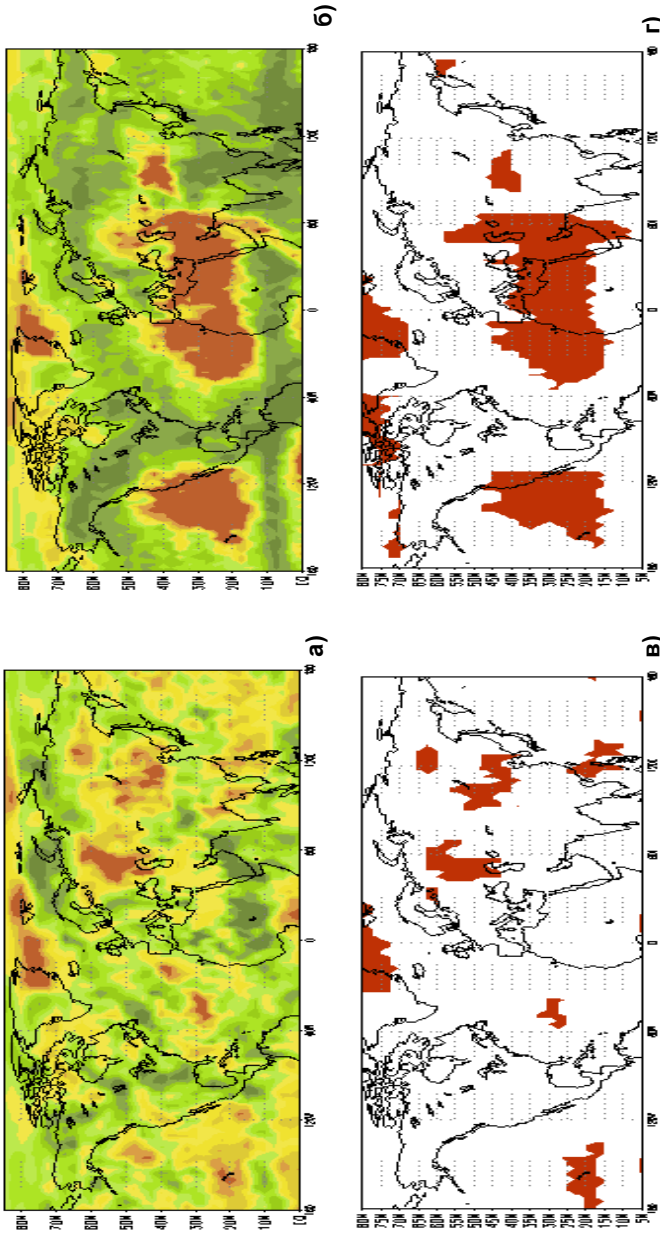
На рис. 2 приводятся карты пространственного распределения индексов SPI (рис. 2а) и CDD (рис. 2б), а также объектов, ассоциированных со значениями индекса SPI  $<-1,0$  (рис. 2в) и индекса CDD  $>30$  дней (рис. 2г) летом 2010 г. Как видно, зоны дефицита осадков, идентифицированные с помощью индекса SPI (рис. 2в), значительно уступают по площади зонам, выделенным с помощью индекса CDD (рис. 2г), хотя в целом согласуются с ними по своей географической локализации во внетропических широтах. Существенные различия в тропиках связаны с тем, что на временных интервалах порядка 1–3 месяцев в случае наличия сезонного дефицита осадков в условиях аридного климата за счет перенасыщенности нулевыми значениями использование индекса SPI представляется затруднительным.

В то же время для объектов, ассоциированных с индексом CDD (CDD  $>30$  дней) (рис. 2г), географические зоны с аридным климатом очень хорошо выражены. «Многомасштабные» аспекты различных характеристик осадков, связанные с влиянием глобальных и региональных процессов на различных временных интервалах, необходимо учитывать при прогнозировании, а также при верификации прогнозов.



**Рис. 1.** Карты пространственного распределения аномалий температуры воздуха зимой 2010/2011 гг. (а) и летом 2010 г. (б). Области (выделены красным цветом), занятые отрицательными аномалиями температуры воздуха  $< -2^{\circ}\text{C}$  зимой 2010/2011 гг. (в) и положительными аномалиями  $> 2^{\circ}\text{C}$  летом 2010 г. (г).

**Fig. 1.** The charts of the spatial distribution of air temperature anomalies in the winter 2010/2011 (а) and in the summer 2010 (б). Regions (highlighted by red color) occupied by negative air temperature anomalies  $< -2^{\circ}\text{C}$  in the winter 2010/2011 (в) and positive anomalies  $> 2^{\circ}\text{C}$  in the summer 2010 (г).



**Рис. 2.** Карты пространственного распределения индексов SPI (а) и CDD (б), а также объектов, ассоциированных со значениями индекса SPI <-1.0 (в) и индекса CDD >30 дней (г) летом 2010 г.  
**Fig. 2.** The charts of spatial distribution of indices SPI (a) and CDD (б), as well as objects associated with values of the SPI index <-1.0 (в) and of the CDD index >30 days (г) in the summer of 2010.

### 3. Климатология

Многочисленные исследования свидетельствуют, что изменения климата проявляются и в характеристиках погодных экстремумов. Можно проиллюстрировать эту связь на примере одной из важнейших характеристик выделенных объектов, а именно пространственной протяженности, или, иными словами, занимаемой ими площади. Рассмотрим пространственно-временные изменения данного параметра более подробным образом отдельно для температуры и осадков.

#### 3.1. Температура

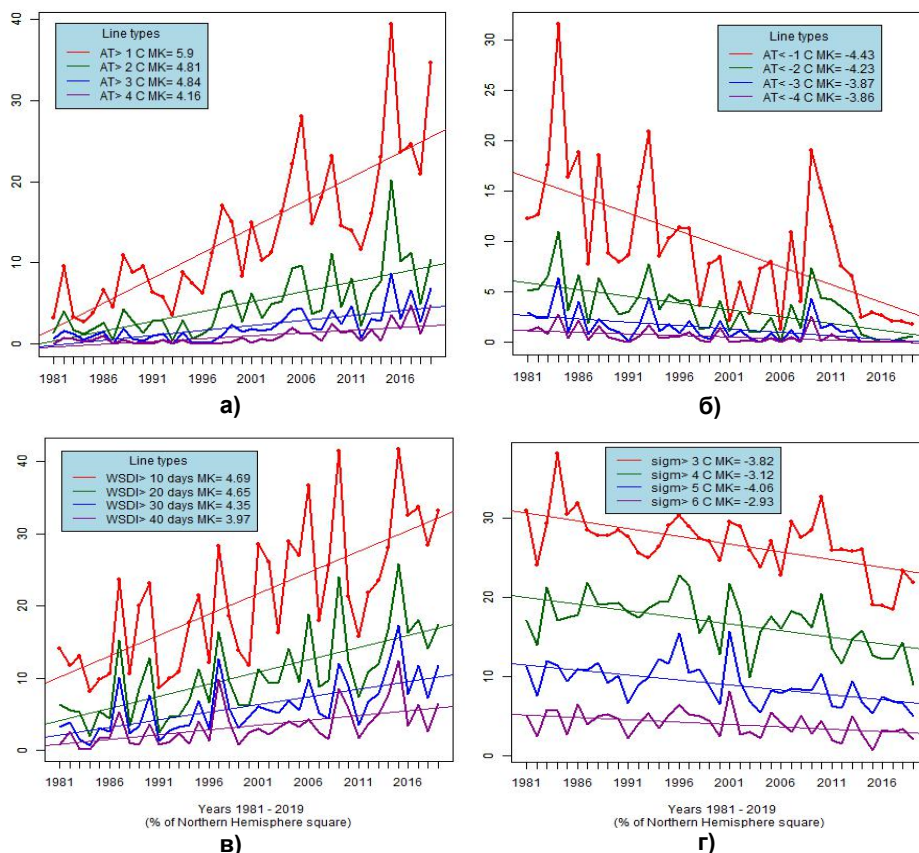
На рис. 3 представлены графики изменения общей площади на Северном полушарии (в процентах от площади всего полушария), занятой объектами, ассоциированными (в соответствии с пороговыми значениями) с различными характеристиками экстремальности, зимой в течение 1981–2020 гг. (39 лет). Как видно (рис. 3а), для площади, занятой положительными аномалиями средней сезонной температуры воздуха различной интенсивности, характерна статистически значимая ( $MK > 1,96$ ) тенденция к росту. Для площади, занятой отрицательными аномалиями (рис. 3б), тенденция отрицательна. При этом абсолютные максимумы для занятой положительными аномалиями площади приходятся на зимние сезоны 2015/2016 и 2019/2020 гг., отрицательными – 1984/1985 гг. На фоне положительной статистически значимой тенденции отмечается существенное уменьшение (увеличение) площади, занятой положительными (отрицательными) аномалиями для зимних сезонов 2010/2011, 2011/2012 и 2012/2013 гг. Заметим, что данные нарушения наблюдались на фоне экстремально низких значений Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO) [6, 7], ([https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/ocean\\_briefing.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/ocean_briefing.shtml)) и значительных отрицательных аномалий температуры воздуха на востоке Тихого океана.

Одним из проявлений глобального потепления климата является увеличение площади, занятой волнами тепла различной продолжительности (рис. 3в). Как видно, площадь, занятая волнами тепла продолжительностью более 10 дней, за рассматриваемый период увеличилась от 10 до 30–40 % от общей площади всего Северного полушария. Для площади, занятой волнами холода небольшой продолжительности (до 10 дней), статистически значимые тенденции отсутствуют. Однако для волн холода продолжительностью более 10 дней можно констатировать наличие статистически значимой отрицательной тенденции (значения критерия  $MK > 1,96$ ).

В отличие от волн тепла, на долю волн холода, как правило, приходится незначительная часть площади (менее 3–4 % от общей площади Северного полушария). Характерной особенностью зимнего



периода является уменьшение внутрисезонной изменчивости температурного режима на фоне значительной межгодовой изменчивости (рис. 3 г).



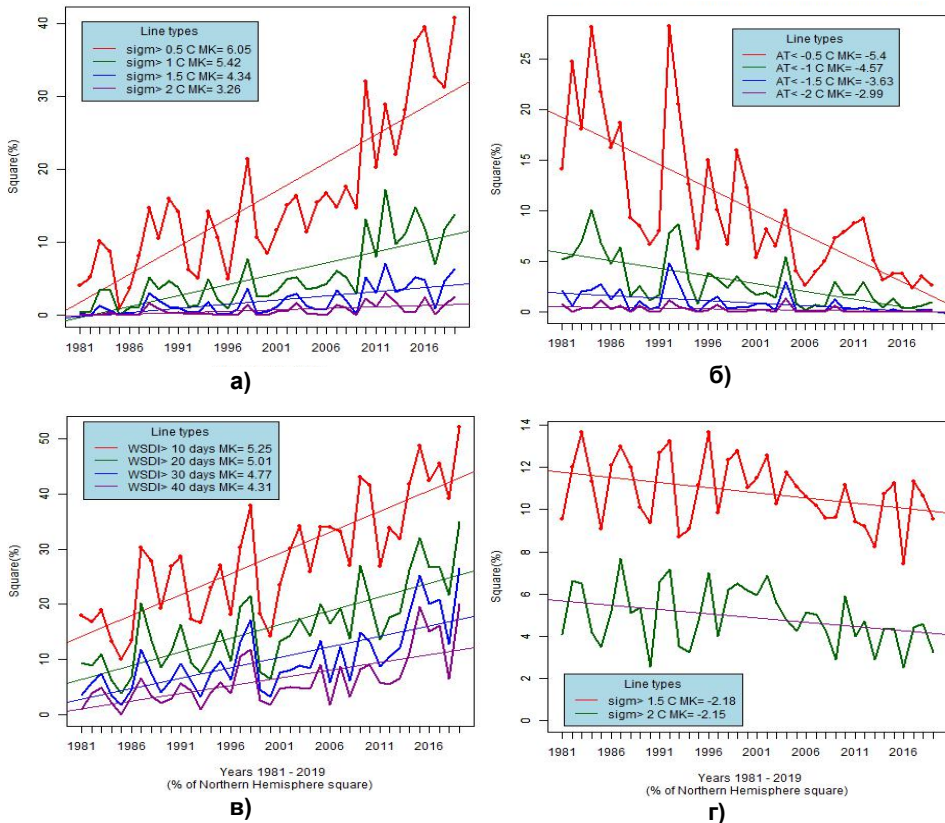
**Рис. 3.** Графики изменения площадей (в процентах от площади Северного полушария), занятых положительными (а) и отрицательными аномалиями температуры воздуха (б), волнами тепла различной суммарной продолжительности (в) и аномалиями внутрисезонной изменчивости (г). Сезон: зима 1981–2019 гг.

**Fig. 3.** Graphs of area changes (as a percentage of the area of the northern hemisphere) occupied by positive (а) and negative (б) air temperature anomalies, heat waves of various total durations (в) and anomalies of intra-seasonal variability in winter (г). Season: winter 1981–2019.

Таким образом, основная тенденция в зимнее время связана с увеличением интенсивности, продолжительности и пространственной протяженности положительных аномалий температуры воздуха и связанных с ними волн тепла. Изменчивость волн холода в климатическом ракурсе не является статистически значимой. В то же время в отдельные годы отмечается резкое увеличение занимаемой ими площади

(появляются так называемые выбросы), что должно сказываться на предсказуемости объектов, связанных с волнами холода.

На рис. 4 представлены аналогичные рассмотренным выше графики изменения общей площади выделенных на Северном полушарии объектов (в процентах от площади всего Северного полушария), но для летнего периода.



**Рис. 4.** Графики изменения площадей (в процентах от общей площади Северного полушария), занятых положительными (а) и отрицательными аномалиями температуры воздуха (б), волнами тепла различной суммарной продолжительности (в) и аномалиями внутрисезонной изменчивости (г). Сезон: лето 1981–2019 гг.

**Fig. 4.** Graphs of area changes (as a percentage of the area of the northern hemisphere) occupied by positive (a) and negative (б) air temperature anomalies, heat waves of various total durations (в) and anomalies of intra-seasonal variability in winter (г). Season: summer 1981-2019.

Как и зимой, для площади (рис. 4а и 4б), занятой положительными (отрицательными) аномалиями средней сезонной температуры воздуха различной интенсивности, характерна положительная (отрицательная) статистически значимая ( $MK > 1,96$ ) тенденция. В отдельные годы

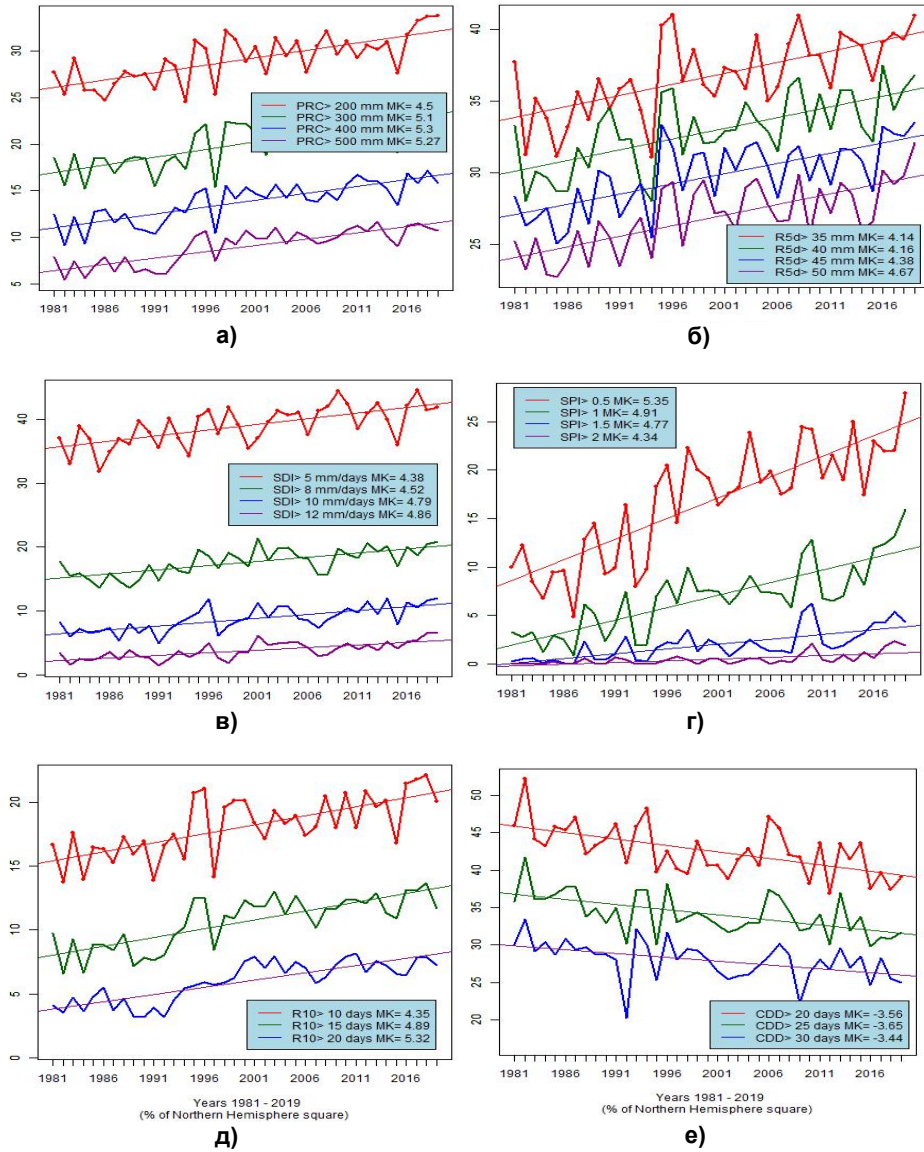
(2016 и 2019) на долю положительных аномалий температуры воздуха приходилось почти 40 % площади всего Северного полушария (рис. 4а). В течение рассматриваемого периода (с 1981 по 2019 г.) наблюдалось существенное уменьшение площади (с 27–29 % в 1984 и 1992–1993 гг., до 3–5 % в 2018–2019 гг.), занятой отрицательными аномалиями (рис. 4б).

Для волн тепла различной суммарной продолжительности положительная статистически значимая ( $МК > 1,96$ ) тенденция в изменениях площади очень хорошо выражена (рис. 4в). При этом если в начале 80-х гг. на волны тепла продолжительностью более 10 (20) дней приходилось около 20 % (10 %) площади Северного полушария, то в последние годы значения этого показателя возросли примерно до 30–40 % (в 2019 г. – до 50 %). В изменениях внутрисезонной изменчивости температурного режима, так же как и зимой, прослеживается отрицательная тенденция (рис. 4г), для межгодовой изменчивости статистически значимые тенденции отсутствуют.

### 3.2. Осадки

В последние годы на основе создания архивов глобальных данных со всех доступных наблюдательных платформ в рамках единой технологии обработки появились новые возможности для «многомасштабного» анализа экстремальных характеристик полей осадков. Вероятностные распределения характеристик осадков обычно существенно отличаются от гауссова распределения, предполагаемого во многих классических методах статистики. В то же время использование периодов накопления в несколько суток, а также переход к пространственным масштабам, сравнимым с длинными волнами Россби, позволяет получить более устойчивые структуры, допускающие содержательные интерпретации в терминах синоптической метеорологии и климатологии [2, 12]. Рассмотрим особенности пространственно-временной изменчивости различных характеристик осадков в климатологическом ракурсе отдельно для зимнего и летнего периодов.

На рис. 5 приводятся графики изменения площадей (в процентах от площади Северного полушария) объектов, ассоциированных (при различных пороговых значениях) с индексами: а) PRCP, б) R5day, в) SDI, г) SPI, д) R10 и е) CDD зимой. Во всех случаях для объектов, ассоциированных с избыточным увлажнением (рис. 5а–д), характерна положительная статистически значимая тенденция (значения критерия Манна-Кендалла больше 1,96). При этом доля площади, занятой суммарными за сезон осадками более 200 мм, в течение рассматриваемого периода увеличилась с 25–26 % до 30–32 % (рис. 5а). Аналогичная положительная тенденция характерна и для индекса R5d (рис. 5б). Тенденция к росту суммарного количества осадков PRCP сопровождается увеличением их средней суточной интенсивности (рис. 5в). Для индекса SPI, характеризующего режим увлажнения, на фоне общей статистически значимой положительной тенденции характерна большая межгодовая изменчивость.



**Рис. 5.** Графики изменения площадей (в процентах от общей площади Северного полушария) объектов, ассоциированных (при различных пороговых значениях) с индексами: PRCP (а), R5day (б), SDI (в), SPI (г), R10 (д), CDD (е) зимой. Сезон: зима 1981–2019 гг.

**Fig. 5.** Graphs of area changes (as a percentage of the total area of the northern hemisphere) of objects associated (at various thresholds) with indices PRCP (а), R5day (б), SDI (в), SPI (г), R10 (д), CDD (е) in winter. Season: winter 1981–2019.

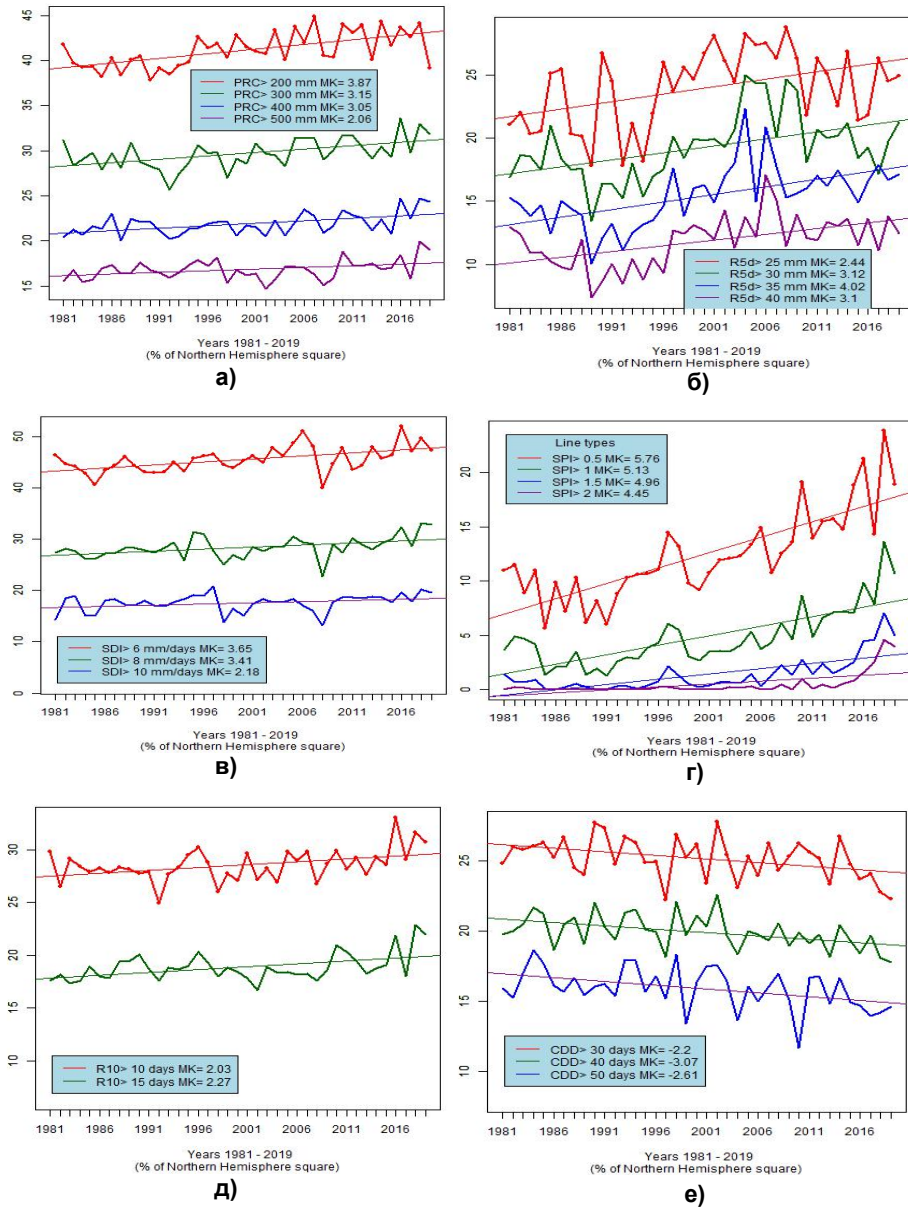
Следует отметить также увеличение площади, занятой осадками, превышающими 10 мм, в течение рассматриваемого периода (рис. 5д). В то же время для индекса CDD отмечается отрицательная статистически значимая тенденция (рис. 5е).

На рис. 6 представлены аналогичные графики, но для летнего периода. Как и зимой, для всех индексов, характеризующих режим увлажнения, наблюдаются положительные статистически значимые тенденции. При этом доля площади, занятой объектами, ассоциированными с суммарным количеством осадков (рис. 6а), значительно превосходит аналогичные показатели для зимнего периода (примерно на 10–15 %).

Для индекса R5day (рис. 6б), наоборот, зимние площади примерно в 1,5–2 раза превосходят летние, а для индекса SDI (рис. 6в) уступают летним. Таким образом, при увеличении суммарного количества осадков летом по сравнению с зимой, как и следовало ожидать, отмечается увеличение их интенсивности. Для индекса SPI (рис. 6г) следует отметить увеличение площади, занятой сильным ( $SPI > 1,5$ ) и экстремальным ( $SPI > 2,0$ ) увлажнением, в последнее десятилетие, что неизбежно должно проявиться в изменениях влажности почвы, гидрологического режима и т. д. Как и зимой, для площади, занятой объектами, ассоциированными с различными пороговыми значениями индекса CDD, наблюдается отрицательная статистически значимая тенденция. При этом продолжительность сухих периодов значительно превосходит аналогичный показатель для зимнего периода.

Заметим, что климатологические выкладки сделаны для объектов, занимающих относительно большие (сравнимые с длинами волн Россби) площади. Особенности осадков локального характера в данной работе не учитывались. В силу большой естественной изменчивости, сложности и разнообразия механизмов, ответственных за формирование осадков, представляется целесообразным проведение анализа межгодовой изменчивости площади не только в масштабах всего Северного полушария, но и отдельно для широтных поясов, а именно 20–40° с. ш., 40–60° с. ш. и 60–80° с. ш. В летнее время положительные статистически значимые тенденции в изменениях площади, занятой объектами, ассоциированными с суммарным за сезон количеством осадков, прослеживаются лишь в умеренных и высоких широтах Северного полушария (40–60° с. ш. и 60–80° с. ш.). При этом наиболее значительные колебания в сторону увеличения площади отмечаются в начале нынешнего столетия в Арктике (60–80° с. ш.).

Для тропических и субтропических широт (20–40° с. ш.) статистически значимые тенденции в изменениях площади отсутствуют. В зимнее время, наоборот, наиболее значительные изменения в режиме увлажнения отмечаются в тропических и субтропических широтах (20–40° с. ш.). В умеренных и высоких широтах положительные тенденции в изменениях площади выражены слабо.



**Рис. 6.** Графики изменения площадей (в процентах от общей площади Северного полушария) объектов, ассоциированных (при различных пороговых значениях) с индексами: PRCP (а), R5day (б), SDI (в), SPI (г), R10 (д), CDD (е). Сезон: лето 1981–2019 г.

**Fig. 6.** Graphs of area changes (as a percentage of the total area of the northern hemisphere) of objects associated (at various thresholds) with indices PRCP (a), R5day (б), SDI (в), SPI (г), R10 (д), CDD (е). Season: summer 1981–2019.

#### 4. Каталоги экстремальных явлений

На основе анализа межгодовой изменчивости по данным реанализа в зависимости от занимаемой площади (в % от общей площади Северного полушария) на интервале времени 1981–2019 гг. были составлены каталоги аномальных режимов температуры и осадков для всего Северного полушария. При этом за счет варьирования различными характеристиками и соответствующими пороговыми значениями учитывались не только пространственная протяженность, но также продолжительность и интенсивность экстремальных явлений. В табл. 2 приводится каталог лет, упорядоченных (на интервале 1981–2019 гг.) в порядке убывания площади, занимаемой экстремальными явлениями зимой. Как видно, в соответствии с положительной климатической тенденцией в первую (последнюю) десятку аномально теплых лет входят годы, относящиеся к нынешнему (прошлому) столетию. В целом по Северному полушарию самыми теплыми с точки зрения занимаемой положительными аномалиями площади стали зимние сезоны 2015/2016, 2019/2020 и 2017/2018 гг. По данным NOAA/NCEP [<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202002>], именно эти сезоны характеризуются рекордными (более чем за 140-летнюю историю наблюдений) аномалиями в целом по Северному полушарию (1,30 °C, 1,18 °C и 1,07 °C). В изменениях площади объектов, ассоциированных с волнами тепла, проявилось влияние термического состояния океана. Экстремальные зимние сезоны 2015/2016, 1997/1998, 2009/2010 гг. совпали с эпизодами явления Эль-Ниньо [[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)]. Аномально холодные зимние сезоны в масштабах всего Северного полушария отмечались преимущественно в 80-х гг. прошлого столетия.

Для волн холода, так же как и для волн тепла, прослеживалось влияние океана, экстремальные площади (зимние сезоны 2007/2008, 1984/1985 и 2011/2012 гг.) пришлось на годы Ла-Ниньо [[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)]. Для объектов, ассоциированных с внутрисезонной изменчивостью (среднеквадратическим отклонением), в соответствии с отрицательной климатической тенденцией в первую (последнюю) десятку лет вошли преимущественно годы, относящиеся к нынешнему (прошлому) столетию. При этом наиболее устойчивый температурный режим приходится на аномально теплые (2015/2016 и 2019/2020 гг.), а также аномально холодные (2011/2012 и 2012/2013 гг.) зимние сезоны.

В летний период (табл. 3), как и зимой, в первую (последнюю) десятку аномально теплых лет входят годы, относящиеся к нынешнему (прошлому) столетию. В целом по Северному полушарию самыми теплыми с точки зрения занимаемой положительными аномалиями площади стали летние сезоны 2012, 2019 и 2016 гг. При этом средние за сезон аномалии по величине на 2–4 °C уступают зимним аномалиям.

**Таблица 2.** Каталог лет, ранжированных (на интервале 1981–2019 гг.) в порядке убывания площади (в % от общей площади Северного полушария), занимаемой аномалиями средней за сезон температуры воздуха АТ различной интенсивности, волнами тепла (WSDI), волнами холода (CSDI) и областями высокой внутрисезонной изменчивости (со среднеквадратическим отклонением  $\sigma > 6^\circ\text{C}$ ). Сезон: зима

**Table 2.** Catalog of years ranked ( 1981-2019) in descending order of the area (% of the total area of the Northern Hemisphere) occupied by anomalies of the season mean air temperature (AT) of various intensities, heat waves (WSDI), cold waves ( CSDI) and areas of high intra-seasonal variability (with standard deviation  $\sigma > 6^\circ\text{C}$ ). Winter

АТ>3°C	АТ<-2°C	WSDI>40 дней	CSDI>10 дней	$\sigma > 6^\circ\text{C}$
2015 (8.75 %)	1984 (11.01 %)	2015 (12.47 %)	2007 (1.13 %)	2001 (8.10 %)
2019 (6.92 %)	1993 (7.78 %)	1997 (9.81 %)	1984 (1.03 %)	1986 (6.45 %)
2017 (6.64 %)	2009 (7.34 %)	2009 (8.51 %)	2011 (0.59 %)	1996 (6.32 %)
2011 (4.71 %)	1986 (6.71 %)	2014 (7.64 %)	1988 (0.51 %)	1983 (5.83 %)
2006 (4.43 %)	1983 (6.60 %)	2019 (6.52 %)	1982 (0.41 %)	1984 (5.64 %)
2005 (4.21 %)	1988 (6.44 %)	2017 (6.38 %)	1992 (0.40 %)	2005 (5.42 %)
2009 (4.12 %)	1982 (5.31 %)	2010 (5.86 %)	1999 (0.38 %)	1993 (5.37 %)
2013 (3.12 %)	1981 (5.12 %)	1987 (5.28 %)	1986 (0.29 %)	1989 (5.17 %)
2016 (3.04 %)	1995 (4.68 %)	2013 (5.11 %)	2012 (0.27 %)	1997 (5.15 %)
2004 (2.83 %)	1992 (4.66 %)	2006 (4.29 %)	1983 (0.23 %)	1981 (5.14 %)
2014 (2.82 %)	2010 (4.41 %)	1995 (4.07 %)	2005 (0.22 %)	1995 (5.09 %)
2018 (2.69 %)	1989 (4.35 %)	2004 (4.07 %)	2000 (0.21 %)	1988 (5.02 %)
2010 (2.42 %)	1997 (4.25 %)	1998 (4.07 %)	1985 (0.17 %)	1998 (5.01 %)
1999 (2.31 %)	2011 (4.24 %)	2012 (3.68 %)	2010 (0.16 %)	2008 (4.97 %)
2007 (1.95 %)	2000 (4.14 %)	1990 (3.60 %)	1981 (0.15 %)	2013 (4.94 %)
2003 (1.91 %)	1996 (4.08 %)	2016 (3.36 %)	1987 (0.15 %)	1990 (4.66 %)
1988 (1.88 %)	2007 (3.71 %)	2005 (3.26 %)	2019 (0.12 %)	1999 (4.46 %)
2001 (1.85 %)	2012 (3.60 %)	2003 (3.13 %)	2014 (0.09 %)	2010 (4.44 %)
2008 (1.74 %)	1994 (3.21 %)	2001 (3.02 %)	1998 (0.08 %)	2006 (4.20 %)
1982 (1.64 %)	1985 (3.17 %)	1982 (2.61 %)	1996 (0.08 %)	1992 (4.05 %)
2002 (1.57 %)	2002 (3.03 %)	2018 (2.57 %)	1995 (0.04 %)	1987 (3.96 %)
1986 (1.48 %)	1991 (3.02 %)	2000 (2.55 %)	1993 (0.03 %)	1994 (3.49 %)
2000 (1.47 %)	1990 (2.81 %)	2007 (2.45 %)	1997 (0.01 %)	2018 (3.39 %)
1994 (1.38 %)	2013 (2.73 %)	1993 (2.38 %)	1994 (0.01 %)	2016 (3.29 %)
1992 (1.28 %)	2005 (2.51 %)	2002 (2.22 %)	1989 (0.00 %)	2007 (3.01 %)
1983 (1.20 %)	1987 (1.89 %)	1986 (1.79 %)	1990 (0.00 %)	2003 (2.99 %)
1998 (1.13 %)	1999 (1.44 %)	1985 (1.78 %)	1991 (0.00 %)	2017 (2.95 %)
1991 (1.00 %)	2008 (1.36 %)	2011 (1.78 %)	2001 (0.00 %)	2009 (2.74 %)
1985 (0.94 %)	1998 (1.25 %)	2008 (1.62 %)	2002 (0.00 %)	1985 (2.68 %)
2012 (0.80 %)	2001 (1.10 %)	1996 (1.40 %)	2003 (0.00 %)	2014 (2.65 %)
1981 (0.67 %)	2004 (1.07 %)	1992 (1.23 %)	2004 (0.00 %)	2002 (2.64 %)
1989 (0.61 %)	2003 (0.97 %)	1988 (1.09 %)	2006 (0.00 %)	1982 (2.47 %)
1984 (0.56 %)	2014 (0.82 %)	1994 (0.93 %)	2008 (0.00 %)	2000 (2.39 %)
1990 (0.33 %)	2019 (0.56 %)	1999 (0.86 %)	2009 (0.00 %)	1991 (2.24 %)
1997 (0.30 %)	2018 (0.45 %)	1981 (0.83 %)	2013 (0.00 %)	2004 (2.18 %)
1995 (0.19 %)	2015 (0.37 %)	1989 (0.77 %)	2015 (0.00 %)	2019 (2.12 %)
1996 (0.18 %)	2017 (0.16 %)	1991 (0.75 %)	2016 (0.00 %)	2011 (1.98 %)
1993 (0.01 %)	2006 (0.12 %)	1984 (0.16 %)	2017 (0.00 %)	2012 (1.52 %)
1987 (0.00 %)	2016 (0.00 %)	1983 (0.15 %)	2018 (0.00 %)	2015 (0.66 %)

*Примечание.* В таблице для краткости указан только начальный год соответствующего зимнего периода.



**Таблица 3.** Каталог лет, ранжированных (на интервале 1981–2019 гг.) в порядке убывания площади (в % от общей площади Северного полушария), занимаемой аномалиями средней за сезон температуры воздуха AT различной интенсивности, волнами тепла (WSDI), волнами холода (CSDI) и областями высокой внутрисезонной изменчивости (со среднеквадратическим отклонением  $\text{sigm} > 2^\circ\text{C}$ ). Сезон: лето

**Table 3.** Catalog of years ranked (1981-2019) in descending order of the area (% of the total area of the Northern Hemisphere) occupied by anomalies of the season mean air temperature (AT) of various intensities, heat waves (WSDI), cold waves (CSDI) and areas of high intra-seasonal variability (with standard deviation  $\text{sigm} > 2^\circ\text{C}$ ). Summer

AT>2°C	AT<-2°C	SDI>40дней	CSDI>5 дней	sigm>2°C
2012 (3.06 %)	2004 (1.29 %)	2019 (20.08 %)	2012 (1.21 %)	1987 (7.67 %)
2019 (2.57 %)	1985 (1.19 %)	2015 (19.53 %)	2011 (0.72 %)	1992 (7.17 %)
2016 (2.37 %)	1992 (1.14 %)	2017 (16.21 %)	2015 (0.27 %)	1996 (6.99 %)
2010 (2.34 %)	1981 (0.82 %)	2016 (15.00 %)	2016 (0.26 %)	2002 (6.90 %)
2013 (1.78 %)	1997 (0.71 %)	1998 (11.84 %)	1998 (0.21 %)	1982 (6.64 %)
1988 (1.69 %)	1989 (0.66 %)	2014 (11.11 %)	1981 (0.11 %)	1991 (6.59 %)
2003 (1.63 %)	2009 (0.64 %)	1997 (10.54 %)	2002 (0.09 %)	1999 (6.51 %)
2007 (1.45 %)	1987 (0.61 %)	2005 (9.14 %)	1985 (0.08 %)	1983 (6.48 %)
2018 (1.45 %)	1993 (0.50 %)	2010 (9.10 %)	1982 (0.06 %)	1998 (6.20 %)
1998 (1.38 %)	1984 (0.40 %)	2007 (8.83 %)	1987 (0.05 %)	2000 (6.15 %)
2011 (1.13 %)	1983 (0.36 %)	2009 (8.30 %)	1992 (0.05 %)	2001 (5.93 %)
2008 (0.99 %)	1986 (0.28 %)	2013 (6.74 %)	2014 (0.02 %)	2010 (5.91 %)
1989 (0.88 %)	1994 (0.24 %)	1987 (6.72 %)	1983 (0.00 %)	2003 (5.57 %)
2001 (0.59 %)	2001 (0.23 %)	2018 (6.55 %)	1984 (0.00 %)	1989 (5.35 %)
2015 (0.56 %)	1996 (0.19 %)	1995 (5.92 %)	1986 (0.00 %)	1986 (5.18 %)
2002 (0.55 %)	2002 (0.19 %)	2011 (5.87 %)	1988 (0.00 %)	2006 (5.16 %)
2014 (0.45 %)	2019 (0.18 %)	1991 (5.72 %)	1989 (0.00 %)	1988 (5.11 %)
1984 (0.37 %)	2018 (0.12 %)	2012 (5.60 %)	1990 (0.00 %)	2007 (5.02 %)
1991 (0.37 %)	2000 (0.10 %)	2002 (5.11 %)	1991 (0.00 %)	2004 (4.76 %)
2004 (0.33 %)	2012 (0.09 %)	2003 (4.94 %)	1993 (0.00 %)	2012 (4.72 %)
1990 (0.31 %)	1998 (0.06 %)	1983 (4.93 %)	1994 (0.00 %)	1995 (4.70 %)
1994 (0.23 %)	1991 (0.05 %)	2004 (4.71 %)	1995 (0.00 %)	2018 (4.57 %)
2017 (0.20 %)	1999 (0.05 %)	2001 (4.69 %)	1996 (0.00 %)	2017 (4.41 %)
2005 (0.15 %)	2005 (0.02 %)	1992 (4.44 %)	1997 (0.00 %)	2014 (4.39 %)
1992 (0.13 %)	2003 (0.01 %)	1994 (4.10 %)	1999 (0.00 %)	2015 (4.35 %)
1986 (0.13 %)	1982 (0.00 %)	1996 (3.97 %)	2000 (0.00 %)	2008 (4.30 %)
1993 (0.09 %)	1988 (0.00 %)	1982 (3.84 %)	2001 (0.00 %)	2005 (4.24 %)
1983 (0.03 %)	1990 (0.00 %)	1986 (3.47 %)	2003 (0.00 %)	1984 (4.16 %)
1995 (0.01 %)	1995 (0.00 %)	1988 (3.37 %)	2004 (0.00 %)	1981 (4.07 %)
1999 (0.01 %)	2006 (0.00 %)	2008 (3.24 %)	2005 (0.00 %)	2011 (4.01 %)
1981 (0.00 %)	2007 (0.00 %)	1990 (3.01 %)	2006 (0.00 %)	1997 (3.99 %)
1982 (0.00 %)	2008 (0.00 %)	1999 (2.63 %)	2007 (0.00 %)	1993 (3.53 %)
1985 (0.00 %)	2010 (0.00 %)	1989 (2.09 %)	2008 (0.00 %)	1985 (3.50 %)
1987 (0.00 %)	2011 (0.00 %)	1984 (2.06 %)	2009 (0.00 %)	1994 (3.25 %)
1996 (0.00 %)	2013 (0.00 %)	2000 (1.87 %)	2010 (0.00 %)	2019 (3.24 %)
1997 (0.00 %)	2014 (0.00 %)	2006 (1.86 %)	2013 (0.00 %)	2013 (2.90 %)
2000 (0.00 %)	2015 (0.00 %)	1993 (1.04 %)	2017 (0.00 %)	2009 (2.88 %)
2006 (0.00 %)	2016 (0.00 %)	1981 (1.03 %)	2018 (0.00 %)	1990 (2.53 %)
2009 (0.00 %)	2017 (0.00 %)	1985 (0.00 %)	2019 (0.00 %)	2016 (2.53 %)

*Примечание.* В таблице для краткости указан только начальный год соответствующего зимнего периода.

В летний период 2012 г. положительные аномалии температуры воздуха (до 2–4 °С) преобладали на большей части территории Северной Америки и Северной Евразии, а также в Арктике. В 2016 и 2019 гг. наиболее значительные аномалии (до 4–6 °С) отмечались на севере Сибири. По данным NOAA/NCEP [<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202002>], летние периоды 2016 и 2019 гг. оказались рекордно теплыми (более чем за 140-летнюю историю наблюдений), аномалии в целом по Северному полушарию составили 1,20 °С и 1,09 °С. Площади, занятые отрицательными аномалиями, очень незначительные (менее 2 %) с максимальными значениями в 2004, 1985 и 1992 гг. В 1982, 1983, 1986, 1992, 1996 и 2000 гг. значительные отрицательные аномалии (до -2...-4 °С) наблюдались и в Арктике, что для нынешнего столетия явление крайне редкое.

Волны тепла, как и зимой, преобладают над океанами, однако, в отличие от зимнего периода, связи с явлением Эль-Ниньо не столь четко выражены. На долю волн холода, как и для отрицательных аномалий, приходится очень незначительные площади (менее 2 %). Максимумы в 2012, 2011, 2015, 2016 и 1998 гг., как и зимой, отмечались на фоне явления Ла-Ниньо. Внутрисезонная изменчивость, как и следовало ожидать, в летний период значительно уступает зимней. Минимальная изменчивость температурного режима отмечалась летом 2016 года.

В табл. 4 приводится каталог лет, ранжированных (на интервале 1981–2019 гг.) в порядке убывания площади, занятой объектами, ассоциированными с различными характеристиками осадков для зимнего сезона. Экстремально теплые зимы 2019/2020, 2017/2018 и 2015/2016 гг. оказались экстремальными и по ряду рассматриваемых характеристик осадков.

В летний период (табл. 5) связи осадков и температурного режима в масштабах всего полушария в контексте рангов менее заметны. Однако при анализе пространственного распределения характеристик осадков в ряде случаев прослеживаются пространственные структуры, сходные с распределением аномалий температуры.

**Таблица 4.** Каталог лет, ранжированных (на интервале 1981–2019 гг.) в порядке убывания площади (в % от общей площади Северного полушария), занятой объектами, ассоциированными с различными характеристиками осадков. Сезон: зима

**Table 4.** Catalog of years ranked (1981-2019) in descending order of area (% of the total area of the Northern Hemisphere) occupied by objects associated with different characteristics of precipitation. Winter

PRCP >200 мм	Rx5day>50	SDI>15	SPI>2.0	CDD>30
2019 (33.78 %)	2019 (32.1 %)	2019 (2.6 %)	2018 (2.38 %)	1982 (33.45 %)
2018 (33.73 %)	2016 (30.18 %)	2017 (2.27 %)	2010 (2.08 %)	1993 (32.09 %)
2017 (33.33 %)	2008 (29.94 %)	2009 (2.25 %)	2019 (1.91 %)	1996 (31.67 %)
1998 (32.27 %)	2018 (29.8 %)	2006 (1.8 %)	2017 (1.8 %)	1986 (30.85 %)
2008 (32.13 %)	2004 (29.63 %)	2018 (1.8 %)	2015 (1.25 %)	1984 (30.34 %)
2016 (31.77 %)	1999 (29.52 %)	2004 (1.77 %)	2009 (1.16 %)	2007 (30.17 %)

PRCP >200 мм	Rx5day>50	SDI>15	SPI>2.0	CDD>30
2003 (31.45 %)	1996 (29.38 %)	2002 (1.71 %)	2013 (0.97 %)	1994 (30.06 %)
1999 (31.25 %)	2012 (29.32 %)	2016 (1.56 %)	1997 (0.83 %)	1981 (30.06 %)
1995 (31.15 %)	2017 (29.21 %)	2001 (1.56 %)	1991 (0.68 %)	1988 (29.76 %)
2005 (31.08 %)	2003 (28.98 %)	2012 (1.44 %)	2004 (0.65 %)	2013 (29.6 %)
2010 (31.07 %)	2010 (28.94 %)	2011 (1.44 %)	2016 (0.65 %)	1998 (29.49 %)
2014 (31.03 %)	1995 (28.86 %)	2003 (1.38 %)	1988 (0.61 %)	1987 (29.4 %)
2012 (30.64 %)	2013 (28.56 %)	2014 (1.2 %)	2001 (0.56 %)	1999 (29.32 %)
2007 (30.52 %)	1998 (28.49 %)	2000 (1.17 %)	2000 (0.53 %)	1983 (29.12 %)
2001 (30.42 %)	2005 (27.82 %)	1986 (1.14 %)	2005 (0.53 %)	1989 (28.76 %)
1996 (30.30 %)	2001 (27.36 %)	2005 (1.11 %)	1992 (0.47 %)	1990 (28.74 %)
2013 (30.18 %)	2000 (27.17 %)	2010 (1.02 %)	1998 (0.43 %)	2008 (28.72 %)
2009 (29.65 %)	2011 (27.16 %)	2015 (0.96 %)	2011 (0.42 %)	1985 (28.7 %)
2004 (29.53 %)	1993 (26.88 %)	1993 (0.93 %)	1996 (0.42 %)	2015 (28.54 %)
2011 (29.33 %)	2007 (26.71 %)	1987 (0.9 %)	2007 (0.37 %)	2006 (28.46 %)
1983 (29.2 %)	1989 (26.67 %)	2013 (0.87 %)	2014 (0.28 %)	2017 (28.28 %)
1992 (29.18 %)	2006 (26.63 %)	1991 (0.75 %)	2003 (0.27 %)	1997 (28.08 %)
2000 (28.87 %)	2015 (26.61 %)	2008 (0.72 %)	1985 (0.24 %)	1991 (28.06 %)
1993 (28.44 %)	2002 (26.11 %)	1983 (0.69 %)	2008 (0.16 %)	2000 (28.05 %)
1988 (27.79 %)	2014 (26.03 %)	1998 (0.69 %)	2012 (0.15 %)	2011 (28.05 %)
2006 (27.75 %)	1987 (25.99 %)	1990 (0.63 %)	1989 (0.12 %)	2005 (27.34 %)
1981 (27.74 %)	1992 (25.88 %)	1988 (0.57 %)	1995 (0.09 %)	2014 (26.96 %)
2015 (27.68 %)	2009 (25.68 %)	2007 (0.54 %)	1999 (0.06 %)	2012 (26.75 %)
2002 (27.56 %)	1990 (25.54 %)	1982 (0.51 %)	2006 (0.03 %)	2001 (26.53 %)
1990 (27.55 %)	1983 (25.46 %)	1992 (0.51 %)	1984 (0.01 %)	2010 (26.35 %)
1989 (27.26 %)	1981 (25.25 %)	1996 (0.5 %)	1981 (0 %)	2004 (26.08 %)
1987 (26.5 %)	1997 (24.88 %)	1984 (0.48 %)	1982 (0 %)	2003 (25.88 %)
1991 (25.86 %)	1994 (24.03 %)	1999 (0.48 %)	1983 (0 %)	2018 (25.49 %)
1984 (25.83 %)	1986 (23.82 %)	1995 (0.44 %)	1986 (0 %)	2002 (25.4 %)
1985 (25.8 %)	1991 (23.46 %)	1981 (0.39 %)	1987 (0 %)	1995 (25.28 %)
1997 (25.35 %)	1988 (23.45 %)	1994 (0.36 %)	1990 (0 %)	2019 (24.93 %)
1982 (25.34 %)	1982 (23.27 %)	1997 (0.24 %)	1993 (0 %)	2016 (24.68 %)
1986 (24.77 %)	1984 (22.93 %)	1989 (0.21 %)	1994 (0 %)	2009 (22.19 %)
1994 (24.58 %)	1985 (22.74 %)	1985 (0.15 %)	2002 (0 %)	1992 (20.19 %)

*Примечание.* В таблице для краткости указан только начальный год соответствующего зимнего периода.

**Таблица 5.** Каталог лет, ранжированных (на интервале 1981–2019 гг.) в порядке убывания площади (в % от общей площади Северного полушария), занятой объектами, ассоциированными с различными характеристиками осадков. Сезон: лето

**Table 5.** Catalog of years ranked (1981–2019) in descending order of area (% of the total area of the Northern Hemisphere) occupied by objects associated with different characteristics of precipitation. Summer

PRCP >500 мм	Rx5day>50	SDI>15	SPI>2.0	CDD>30
2018 (19.89 %)	2006 (43.21 %)	2019 (6.77 %)	2018 (4.63 %)	2002 (27.79 %)
2019 (18.99 %)	2016 (42.91 %)	2004 (6.42 %)	2019 (3.93 %)	1990 (27.76 %)
2010 (18.79 %)	2018 (41.42 %)	2018 (6.05 %)	2017 (2.57 %)	1991 (27.37 %)
2016 (18.44 %)	2019 (41.37 %)	1991 (5.68 %)	2016 (1.57 %)	1998 (26.90 %)
1997 (18.18 %)	2007 (40.83 %)	2015 (5.62 %)	2010 (0.98 %)	1993 (26.79 %)

PRCP >500 мм	Rx5day>50	SDI>15	SPI>2.0	CDD>30
1995 (17.84 %)	2011 (40.60 %)	2002 (5.57 %)	2015 (0.85 %)	2014 (26.77 %)
1989 (17.61 %)	2015 (40.52 %)	1997 (5.52 %)	2014 (0.56 %)	1987 (26.71 %)
2013 (17.52 %)	2005 (40.52 %)	2003 (5.33 %)	2008 (0.45 %)	1985 (26.36 %)
1994 (17.35 %)	2013 (40.20 %)	1982 (5.19 %)	2012 (0.44 %)	1994 (26.33 %)
2011 (17.32 %)	1995 (40.19 %)	1987 (5.09 %)	2005 (0.32 %)	2010 (26.29 %)
1986 (17.30 %)	2010 (39.46 %)	2014 (4.88 %)	1997 (0.27 %)	2007 (26.28 %)
2012 (17.24 %)	2014 (39.39 %)	1993 (4.82 %)	2003 (0.27 %)	2000 (26.20 %)
1996 (17.19 %)	1981 (39.37 %)	2006 (4.67 %)	1982 (0.24 %)	1984 (26.09 %)
2005 (17.12 %)	1997 (39.19 %)	2013 (4.62 %)	1996 (0.21 %)	1982 (26.04 %)
2004 (17.08 %)	1988 (39.06 %)	1985 (4.60 %)	2013 (0.16 %)	1983 (25.84 %)
2006 (17.03 %)	2003 (38.99 %)	1994 (4.57 %)	1983 (0.16 %)	2011 (25.67 %)
2015 (17.01 %)	2001 (38.89 %)	1996 (4.49 %)	2004 (0.14 %)	2003 (25.49 %)
1985 (16.96 %)	2004 (38.34 %)	1990 (4.49 %)	1994 (0.08 %)	2005 (25.36 %)
2014 (16.81 %)	1996 (38.12 %)	2010 (4.41 %)	1998 (0.06 %)	2009 (25.31 %)
1999 (16.77 %)	1999 (38.10 %)	2001 (4.36 %)	2011 (0.05 %)	1986 (25.28 %)
1982 (16.73 %)	2002 (38.01 %)	1992 (4.36 %)	1988 (0.05 %)	1999 (25.27 %)
1990 (16.71 %)	2000 (37.89 %)	2011 (4.25 %)	1999 (0.03 %)	2012 (25.19 %)
1988 (16.51 %)	1998 (37.89 %)	2012 (4.20 %)	2006 (0.03 %)	1996 (24.97 %)
1993 (16.50 %)	2017 (37.89 %)	2000 (4.18 %)	1992 (0.03 %)	1995 (24.94 %)
1991 (16.44 %)	2012 (37.85 %)	2017 (4.15 %)	1995 (0.03 %)	1981 (24.87 %)
2001 (16.39 %)	1983 (37.77 %)	1981 (4.00 %)	1989 (0.02 %)	1992 (24.78 %)
1987 (16.37 %)	2008 (37.65 %)	1989 (3.94 %)	2007 (0.01 %)	2015 (24.75 %)
2007 (16.28 %)	2009 (37.35 %)	1986 (3.80 %)	1981 (0.00 %)	1988 (24.53 %)
2000 (16.15 %)	1993 (37.29 %)	1983 (3.80 %)	1984 (0.00 %)	2008 (24.35 %)
2009 (15.88 %)	1989 (37.19 %)	1995 (3.75 %)	1985 (0.00 %)	2017 (24.10 %)
1992 (15.88 %)	1982 (37.19 %)	1984 (3.65 %)	1986 (0.00 %)	1989 (24.06 %)
2017 (15.79 %)	1986 (36.97 %)	2005 (3.62 %)	1987 (0.00 %)	2006 (23.96 %)
2003 (15.74 %)	1984 (36.44 %)	2009 (3.55 %)	1990 (0.00 %)	2016 (23.71 %)
1984 (15.67 %)	1985 (36.32 %)	2016 (3.26 %)	1991 (0.00 %)	2001 (23.45 %)
1981 (15.54 %)	1991 (36.14 %)	1999 (3.12 %)	1993 (0.00 %)	2013 (23.34 %)
1983 (15.40 %)	1990 (35.56 %)	2007 (2.56 %)	2000 (0.00 %)	2004 (23.11 %)
1998 (15.34 %)	1994 (35.43 %)	1988 (2.52 %)	2001 (0.00 %)	2018 (22.78 %)
2008 (15.07 %)	1992 (34.98 %)	1998 (1.95 %)	2002 (0.00 %)	2019 (22.30 %)
2002 (14.67 %)	1987 (34.85 %)	2008 (1.80 %)	2009 (0.00 %)	1997 (22.24 %)

*Примечание.* В таблице для краткости указан только начальный год соответствующего зимнего периода.

### Заключение

На основании данных реанализа проведена автоматическая идентификация объектов, ассоциированных с различными экстремальными характеристиками температурного режима и осадков на сезонных и внутрисезонных интервалах времени.

Рассмотрены некоторые особенности пространственно-временной изменчивости ЭМЯ в масштабах Северного полушария. Показана связь изменений характеристик экстремальных явлений с изменениями климата.

В зависимости от занимаемой площади проведено ранжирование ЭМЯ и составлены каталоги аномальных режимов температуры и осадков на временном интервале 1981–2019 гг. Отмечены годы с наиболее яркими событиями с точки зрения интенсивности, продолжительности и пространственных масштабов ЭМЯ.

Полученные результаты предполагается использовать при анализе долгосрочной предсказуемости ЭМЯ.

### Список литературы

1. Руководство по гидрологической практике. Том I. Гидрология: от измерений до гидрологической информации // ВМО-№ 168. Geneva: WMO, 2011. 314 с.
2. *Исаев А.А.* Атмосферные осадки. Часть 1. Изменчивость характеристик осадков на территории России и сопредельных стран. М.: МГУ, 2002. 191 с.
3. *Boer G.J.* A spectral analysis of the predictability and error in an operational forecast system // *Mon. Wea. Rev.* 1984. Vol. 112. P. 183-1197.
4. *Branstator G., Mai A., and Baumhefner D.* Identification of Highly Predictable Flow Elements for Spatial Filtering of Medium and Extended-Range Numerical Forecasts // *Mon. Wea. Rev.* 1993, Vol. 121, no. 6. P. 1786-1802.
5. *Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L.* NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2002. Vol. 83, no. 11. P. 1631-1643.
6. *Mantua N.J., Hare S.R.* The Pacific Decadal Oscillation // *J. Oceanogr.* 2002. Vol. 58. P. 35-44.
7. *Newman M. et al.* The Pacific decadal oscillation, revisited // *J. Climate.* 2016. Vol. 29. P. 4399-4427.
8. *Peterson T.C.* Climate Change Indices // *WMO Bulletin.* 2005. Vol. 54 (2). P. 83-86.
9. *Shukla J.* Dynamical predictability of monthly means // *J. Atmos. Sci.* 1981. Vol. 38. P. 2547-2572.
10. Standardized Precipitation Index. User Guide // WMO-No. 1090. Geneva: WMO, 2012. 16 p.
11. *Tracton M.S., Mo K., Chen W., Kalnay E., Kistler R., White G.* Dynamical extended-range forecasting (DERF) at the National Meteorological Center // *Mon. Wea. Rev.* 1989. Vol. 117. P. 1604-1635.
12. *Trenberth K.E., Dai A., Rasmussen R.M., Parsons D.B.* The changing character of precipitation // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2003. Vol. 84. P. 1205-1217.
13. *Tribbia J.J.* The predictability of monthly mean teleconnection patterns. Study week on: Persistent Meteorological-oceanographic Anomalies and Teleconnections. Vatican City: Pontificia Academia Scientiarum, 1988. P. 567-592.

### References

1. *WMO-No. 168. Guide to Hydrological Practices.* Vol. I. Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. WMO, Geneva, 2011, 314 p.
2. *Isaev A.A.* Atmosfernye osadki. CHast' 1. Izmenchivost' harakteristik osadkov na territorii Rossii i sopredel'nyh stran. Moscow, MSU publ., 2002, 191 p. [in Russ.].

3. Boer G.J. A spectral analysis of the predictability and error in an operational forecast system. *Mon. Wea. Rev.*, 1984, vol. 112, pp. 183-1197.
4. Branstator G., Mai A., and Baumhefner D. Identification of Highly Predictable Flow Elements for Spatial Filtering of Medium and Extended-Range Numerical Forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, 1993, vol. 121, no. 6, pp. 1786-1802.
5. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2002, vol. 83, no. 11, pp. 1631-1643.
6. Mantua N.J., Hare S.R. The Pacific Decadal Oscillation. *J. Oceanogr.*, 2002, vol. 58, pp. 35-44.
7. Newman M. et al. The Pacific decadal oscillation, revisited. *J. Climate*, 2016, vol. 29, pp. 4399-4427.
8. Peterson T.C. Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, 2005, vol. 54, no. 2, pp. 83-86.
9. Shukla J. Dynamical predictability of monthly means. *J. Atmos. Sci.*, 1981, vol. 38, pp. 2547-2572.
10. WMO-No. 1090. Standardized Precipitation Index. User Guide. Geneva, WMO, 2012, 16 p.
11. Tracton M.S., Mo K., Chen W., Kalnay E., Kistler R., White G. Dynamical extended-range forecasting ( DERF) at the National Meteorological Center. *Mon. Wea. Rev.*, 1989, vol. 117, pp. 1604- 1635.
12. Trenberth K.E., Dai A., Rasmussen R.M., Parsons D.B. The changing character of precipitation. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 2003, vol. 84, pp. 1205-1217.
13. Tribbia J.J. The predictability of monthly mean teleconnection patterns. Study week on: Persistent Meteo-oceanographic Anomalies and Teleconnections. Vatican City: Pontificia Academia Scientiarum, 1988, pp. 567-592.

*Поступила 19.01.2021; одобрена после рецензирования 02.03.2021;  
принята в печать 23.03.2021.*

*Submitted 19.01.2021; approved after reviewing 02.03.2021;  
accepted for publication 23.03.2021.*