*АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2023, том 29, № 2 (95), с. 3-11*

**СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*УДК 551.5; 58.032.3*

# ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ЗАСУХА НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЕ В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ СЕРЕДИНЫ XX СТОЛЕТИЯ: КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АНАЛОГИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

**© 2023 г. В.В. Попова*, Д.Д. Бокучава**, Т.А. Матвеева****

**Институт географии РАН*
*Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29*
***Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН*
*Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3. E-mail: valeria_popova@mail.ru*

Поступила в редукцию 10.11.2022. После доработки 10.01.2023. Принята к публикации 13.01.2023.

Беспрецедентные аномалии годового стока Волги и Северной Двины 1920-1940 гг. рассматриваются в контексте глобального потепления середины XX столетия и климатических экстремумов последних десятилетий. Изучение гидрологических и климатических характеристик показывает, что на Восточно-Европейской равнине период глобального потепления проявился в многолетней засухе 1934-1940 гг., которая, согласно классификации Палмера, не имеет аналогов в этом регионе по интенсивности и продолжительности и стала причиной экстремальных гидрологических событий. Результаты проведенного спектрального анализа изменчивости речного стока, а также анализа эмпирических ортогональных функций аномалий атмосферного давления, позволяют считать, что ближайшими подобными явлениями, но значительно уступающими по воздействию на природную среду, можно считать засухи 1972 и 2010 гг.

*Ключевые слова:* потепление середины XX столетия, Восточно-Европейская Равнина, речной сток, экстремумы, засуха, индекс Палмера, циркуляционные условия.
**DOI: 10.24412/1993-3916-2023-2-3-11**
**EDN: CAILXD**

Глобальное потепление середины XX века (ПСДВ) является второй, по сравнению с современным потеплением, положительной климатической аномалией и представляет большой интерес для климатологов. Характерными признаками обоих эпизодов являются ярко выраженные аномалии приземной температуры воздуха (ПТВ) в высоких широтах Северного Полушария (Бокучава, Семенов, 2018). Резкий подъем температуры поверхности океана, в частности Северной Атлантики и описывающей ее аномалии моды Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО), с пиком в 1930-е гг. рассматривается в качестве основного фактора ПСДВ (Bokuchava, Semenov, 2022; Chylek et al., 2016; Hegerl et al., 2018; Tokinaga et al., 2017).

Анализ региональных климатических аномалий, зафиксированных в этот период инструментальными наблюдениями или косвенными данными, изучение их связи с глобальными изменениями, характеризующими ПСДВ, предоставляют возможности для изучения механизмов внутренней естественной климатической изменчивости и условий возникновения подобных аномалий в настоящем и будущем, на фоне продолжающегося антропогенного потепления климата. Особое значение приобретает изучение климатических событий, связанных с рисками для природной среды и общества.

Исследования региональных проявлений ПСДВ в умеренных и высоких широтах Евразии, в основном сфокусированы на зимнем сезоне и проблеме сокращения площади морского арктического льда, а также связанных с ним аномалий атмосферной циркуляции (Hegerl et al., 2018; Wegmann et al., 2018, 2020). В то же время, зафиксированные в многолетних рядах гидрологических наблюдений беспрецедентные подъем и сокращение годового стока Волги и Северной Двины, свидетельствуют о крупномасштабных аномалиях увлажнения в период 1920-1940 гг.

Учитывая, что крупномасштабный речной сток является прямым показателем увлажненности, аномалии водности крупнейших рек Восточно-Европейской равнины, Волги и Северной Двины, в

1920-1940-х гг. указывают на уникальность этого периода, а его хронология предполагает связь с ПСДВ и его возможными механизмами. Цель исследования состоит в анализе климатических характеристик и циркуляционных условий этих событий, рассматривая их в контексте ПСДВ и его вклада в региональные аномалии увлажнения на северо-западе Евразии. В задачи исследования входит получение количественных характеристик гидротермических показателей, в том числе, индекса засух, и проведение сравнительного анализа событий периода ПСДВ с подобными явлениями на Восточно-Европейской равнине в конце XIX – начале XX века, их частотно-временными особенностями и циркуляционными условиями.

## Материалы и методы

Использовались сеточные архивы данных наблюдений за приповерхностной температурой – HadCRUT5.0 (Climatic Research Unit Dataset, 2022) и GISTEMP v4 (GISS Surface Temperature Analysis, 2022); атмосферными осадками – CRU TS4.05 (Climatic Research Unit Dataset, 2022), а также индексом суровости засухи Палмера (PDSI) (Climatic Research Unit Dataset, 2022). Для сравнения изменений температуры из разных источников также использовались данные реанализов XX века: NOAA-CIRES Twentieth-Century Reanalysis и реанализы Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) ERA20C и CERA20C (ECMWF Dataset, 2022).

Для выявления циркуляционной структуры, «ответственной» за формирования жары и засухи на Восточно-Европейской равнине, применялся анализ эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) изменчивости аномалий атмосферного давления на уровне моря по данным наблюдений из сеточного архива HadSLP2 (Hadley Centre Sea Level Pressure Dataset, 2022). Спектральный анализ изменчивости годового стока Волги и осредненного за лето (июнь-сентябрь) индекса Североатлантического колебания (North Atlantic Oscillation, NAO) за 1882-2007 гг. в среднем, а также по 64-летним скользящим средним, проводился по методу преобразования Фурье; количество степеней свободы для определения доверительного интервала функции спектральной плотности и уровня значимости функции взаимной когерентности принималось равным 2N/m.

## Результаты и обсуждение

Многолетние данные о годовом стоке Северной Двины и Волги, а также ее притоков Вятки и Белой (рис. 1 а-д), свидетельствуют об экстремально высокой амплитуде аномалий и резком переходе от режима переувлажнения к засушливости в течение 1920-1940 гг. В бассейне Волги многоводный период, не прерывавшийся в течение 1922-1929 гг. был отмечен абсолютным максимумом за период наблюдений в 1926 г., с величиной аномалии около 60% (от нормы за 1961-1990 гг.), а также максимумами 5% обеспеченности в 1927 и 1928 гг., до 40-50% от нормы. Резкое падение водности с 1930 привело к 9-летнему периоду непрерывного дефицита годового стока Волги (в среднем около 18%), который стал абсолютным максимумом продолжительности маловодья за период наблюдений; следующий за ним по рангу маловодный период 1954-1957 гг. составлял 4 года, при дефиците стока 8%.

В ходе годового стока Вятки и Белой, притоков Волги, принадлежащих наиболее многоводному бассейну Камы, описанные явления имеют еще более выраженный характер (рис. 1 в, г). В бассейне Вятки, маловодный период 1930-1940-х гг., который продолжался более 10 лет при среднем дефиците водности около 30%, до настоящего времени остается уникальным явлением. На востоке, в бассейне Белой, аномалии стока 1926-1927 гг. и амплитуда падения водности к середине 1930-х гг. достигали 80-90% и 120-130% от нормы, соответственно. Западнее, в бассейне Оки, напротив, эти события практически не проявлялись (рис. 1 д), что указывает на юго-восточную составляющую в направление переноса воздушных масс, ответственных за формирование засухи.

Аномалии стока Северной Двины в этот период (рис. 1 а) свидетельствуют, что масштабы описанных гидроклиматических экстремумов распространялись на север почти до самого побережья Баренцева моря. В силу соотношения площадей водосборов (1: 4) и, возможно, географического положения относительные аномалии годового стока Северной Двины и их амплитуда выше, а продолжительность маловодной и многоводной фаз короче по сравнению с Волгой. Непрерывный дефицит стока в бассейне Северной Двины продолжался в течение 5 лет, 1936-1940 гг., а пиковые значения этого события, в 1936 и 1937 гг., с дефицитом 43% и 33%, соответственно, до сих пор

остаются первым и вторым по рангу повторяемости за период наблюдений. Многоводный период практически распадается на два периода – 1922-1924 гг., с абсолютным максимумом аномалии годового стока 68% (от нормы за 1961-1990 гг.) в 1923 г., и 1927-1930 гг., с максимумом 59% в 1928 г.

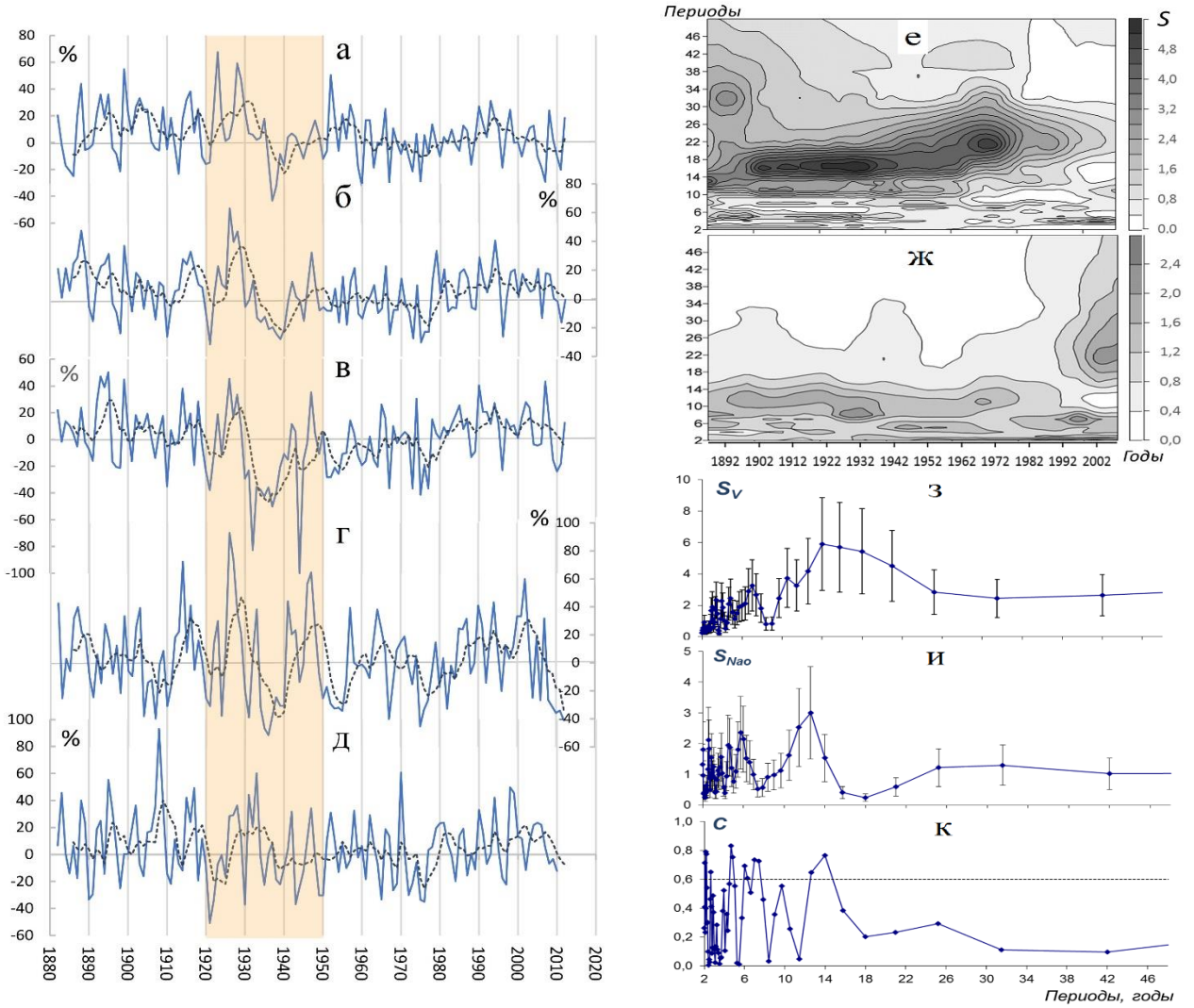


**Рис. 1.** Особенности изменчивости речного стока в период потепления середины XX века, годовой сток в % от нормы за 1961-1990 гг. *Условные обозначения: а* – Северной Двины, *б* – Волги, *в* – Вятки, *г* – Белой, *д* – Оки; *е, з* – спектры годового стока Волги, *ж, и* – летнего (июнь-сентябрь) индекса NAO по 64 скользящим средним (*е, ж*), *з, и* – средние за 1892-2007 гг., *к* – функция взаимной когерентности годового стока Волги и летнего индекса NAO, пунктир (*а-д*) – 5-летние скользящие средние значения, вертикальные линии (*з, и*) – 90% доверительный интервал, горизонтальная линия (*к*) – порог статистической значимости ($p \leq 0.05$).

Скользящие спектры стока Волги (рис. 1 е) демонстрируют максимальную за период наблюдений концентрацию дисперсии на временном отрезке 1920-1940 гг. в области периодичностей около 14-18 лет, которая отчетливо проявляется в средней спектральной функции за 1892-2007 гг. (рис. 1 е, з). Сопоставление со скользящим спектрами летнего индекса NAO (июнь-сентябрь) показывает пик дисперсии в этот период (рис. 1 ж), а также статистически значимую взаимную когерентность в области периодичностей 10-14 лет (рис. 1к), что может указывать на летние условия циркуляции и вызванные ими климатические аномалии как причину аномалий речного стока 1920-1940 гг.

Анализ данных сеточных архивов данных наблюдений, а также реанализов XX столетия (рис. 2 а, б), подтверждает роль летних температурных аномалий (рис. 2 а) в формировании условий

резкого перехода от режима избыточного увлажнения к продолжительной засухе на территории Восточно-Европейской равнины и вызванных ими экстремумов водности Северной Двины и Волги в 1920-1940-х гг. Изменения температуры и осадков на территории Европейской равнины за период 1910-1950 гг. демонстрируют летние экстремумы обоих знаков – холодное и избыточно влажное лето, в 1926 и 1928 гг., и продолжительную засуху на фоне аномальной жары, в 1931, 1936-1939 гг. (рис. 2 а, б). Скорость роста летней температуры (июнь-август), осредненной в пределах Восточно-Европейской равнины (20-60° с.ш.; 45-70° в.д.), за 20 лет составила 1.4°С. Этот показатель уступает темпам современного летнего потепления с начала 1990-х гг. на 0.6°С, тем не менее, как показывают изменения индекса суровости засухи Палмера (PDSI), темпы роста дефицита влаги и продолжительность засухи на территории Восточно-Европейской равнины (1934-1940 гг.) не имеют аналогов за период наблюдений (рис. 2 е). Аномалии температуры осеннего сезона 1930-х гг. (рис. 2 б), значимые для увлажнения и формирования весеннего речного стока, превосходят по величине летние показатели и, на фоне дефицита осадков (рис. 2 г, д), усиливают почвенную засуху в начале следующего теплого сезона.

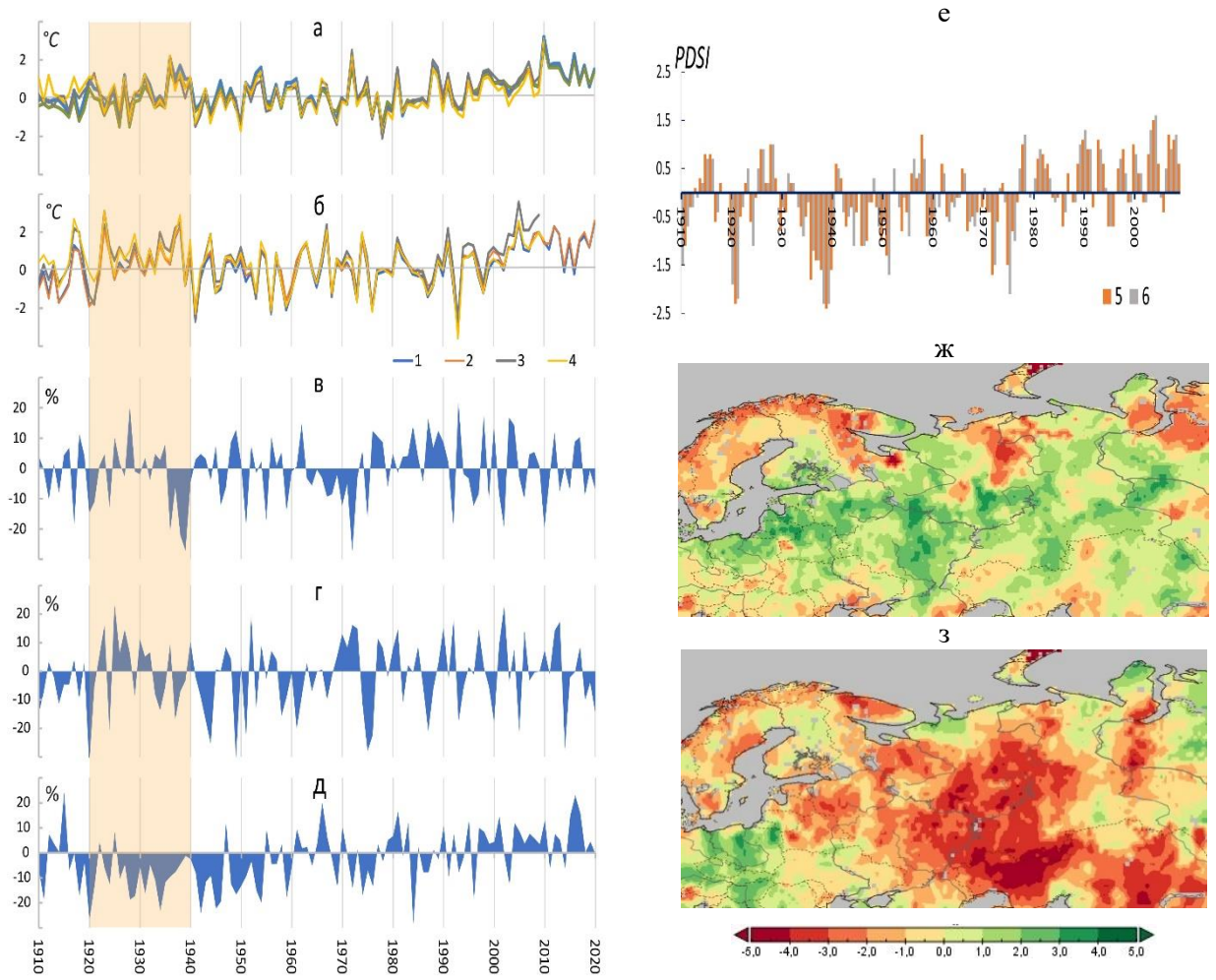


**Рис. 2.** Климатические показатели и индекс засушливости Палмера в период потепления середины XX века. *Условные обозначения: а-б* – изменения приповерхностной температуры по данным 1) HadCTUT.5, 2) GISSTEMP1200, 3) ERA20C, 4) CERA20C в °С, *а* – в среднем за летний сезон, *б* – за осенний, *в-д* – изменения атмосферных осадков CRU TS4.05 в % (от нормы за 1961-1990 гг.), *в* – за летний сезон, *г* – за осенний, *д* – за холодный период (октябрь-апрель) на территории Восточно-Европейской равнины (20-65° с.ш., 45-70° в.д.), *е* – многолетний ход, 5 – лето, 6 – осень, *ж-з* – распределение PDSI в среднем за июнь-август в годы избыточного увлажнения в среднем за 1923, 1926, 1927, 1928 гг. (*ж*), в годы засух в среднем за 1936, 1938, 1939, 1940 гг. (*з*).

Помимо аномально жарких и сухих летних сезонов, важнейшую роль в формировании засух сыграл дефицит осадков холодного периода, то есть снегозапасов, который продолжался с середины 1990-х гг. до середины 1950-х гг. (рис. 2е). Учитывая, что инструментальные наблюдения за осадками на территории России, которые использовались в архиве CRU TS4.05, до 1950-х гг. могли занижать количество осадков в твердом виде из-за несовершенства измерительного оборудования, сопоставление аномалий осадков холодного периода до и после 1950 гг. было бы некорректным. Тем не менее, анализируя изменения осадков за период ПСДВ, нельзя не отметить, что холодные сезоны 1928-1936 гг. на Восточно-Европейской равнине (рис. 2е) были наименее обеспеченными в отношении осадков и, следовательно, запаса воды в снеге, являющимся основным источником питания рек умеренного пояса и запаса влаги в почве к началу вегетации.

Летом (июнь-август) минимальные значения PDSI в среднем по территории (рис. 2 е) не опускаются ниже -3, что по классификации Палмера (Palmer, 1965) соответствует умеренной засушливости. При этом пространственное распределение PDSI в среднем за 4 наиболее засушливых года (рис. 2 з) показывает, что на значительной части территории и особенно в областях питания Волги и Северной Двины – в бассейнах Камы и Вычегды, на Верхней и Средней Волге, значения индекса опускаются ниже -4 (локально ниже -5) и свидетельствуют *о сильной, местами, экстремальной засухе* по классификации Палмера. Одновременно более суровая, *экстремальная засуха* с устойчивыми значениями PDSI ниже -5, наблюдалась на значительной территории на северо-западе Казахстана.

В годы избыточного увлажнения (рис. 2 ж) аномалии PDSI меняются на противоположные не вполне симметрично – по абсолютному значению они не превышают 4 в районах максимального значения индекса, на севере и западе Волжского бассейна, и таким образом, не выходят из градации *сильное переувлажнение*. В среднем по территории Восточно-Европейской равнины (рис. 2 ж) величина положительных аномалий PDSI в 1923-1928 гг., также как и летних осадков (рис. 2 в), значительно уступает отрицательным аномалиям в 1936-1940 гг. Полученные регрессионные оценки показывают, что в период 1920-1950 гг. аномалии PDSI, в среднем по площади водосборов, объясняют 80% изменчивости годового стока Волги, включая продолжительный маловодный период 1931-1940 гг., причем основной вклад, более 70%, принадлежит летнему сезону.

Продолжительность периода аномалий летней температуры и дефицита увлажнения, который охватывает вторую половину 1930-х гг., очевидно, указывает на факторы планетарного масштаба, имеющие инерционный характер. К таким факторам относятся аномалии температуры поверхности океана, в частности Северной Атлантики, которые выражаются индексом АМО и имеют характерные низкочастотные колебания с периодом около 60-80 лет. В 1930-е гг. наблюдался пик положительной фазы АМО, и согласно результатам ряда исследований, в том числе, с применением численного моделирования (Chylek et al., 2016), связанные с ней аномалии в Северной Атлантике способны вызывать климатические изменения, диагностируемые в период ПСДВ.

В скользящих спектрах изменчивости индекса NAO, а также годового стока Волги (рис. 1 е, ж) полоса высокой дисперсии с 1910-х до 1980-х гг. и максимумом в 1930-1940-х гг. примерно совпадает с полной фазой АМО и пиком его положительной фазы. Расхождение в областях периодов – для индекса NAO в этот период максимум дисперсии приходится на 10-14 лет, а для стока – на 14-18 лет, ожидаемо, оно связано с процессами перераспределения влаги и инерционностью реакции годового стока на климатические аномалии в пределах обширного бассейна Волги. Связь этих явлений подтверждается функцией взаимной когерентности, которая в области периодов 12-14 лет статистически значима (на уровне $p \leq 0.05$) и достигает 70-80% общей изменчивости между стоком и циркуляцией, описываемой индексом NAO (рис. 1 к). Второй по значимости максимум дисперсии летнего индекса NAO, который приходится на 1970-е гг., также совпадает по времени с аналогичным максимумом в скользящем спектре годового стока Волги (рис. 1 е, ж). В изменении климатических показателей этот период отмечен второй по рангу, после 2010 г., аномалией летней температуры 1972 г. и продолжительным периодом дефицита осадков (рис. 2 а, г). Даже с учетом сильного антропогенного влияния в этот период, для годового стока Волги эти аномалии имели критический характер – они привели к его снижению в 1975-1977 гг. до минимального уровня, сравнимого с концом 1930-х гг. (рис. 1 б, в, г). Отметим, что в отличие от 1930 гг., в начале 1970-х годов АМО находилась в отрицательной фазе, причем на самой низкой отметке.

Следующий за периодом ПСДВ максимум АМО, связанный с положительной фазой этой моды, наблюдался в конце 1990-х – 2000-х гг., и был отмечен резким потеплением на Восточно-Европейской равнине с абсолютным максимумом летней температуры в 2010 году, сопровождавшимся катастрофической жарой и засухой (Мохов, 2011; Попова, 2014). В силу краевых эффектов спектральный анализ не позволяет оценить влияние этих аномалий на спектральную структуру годового стока Волги, но данные наблюдений фиксируют его снижение в этот период, особенно заметное после 2010 г. (Второй оценочный доклад …, 2014). Анализ ЭОФ изменчивости атмосферного давления (на уровне моря) в летние месяцы (июль-август) во внетропической зоне Северного Полушария (HadSLP.2) за 1900-2010 гг., показывает, что аномалии и 2000-х гг., также как и второй половины 1930-х гг., описываются 3-ей по вкладу в изменчивость пространственной структурой (ЭОФ3) и соответствующей главной компонентой – ГК3[1] (рис. 3 а, б).

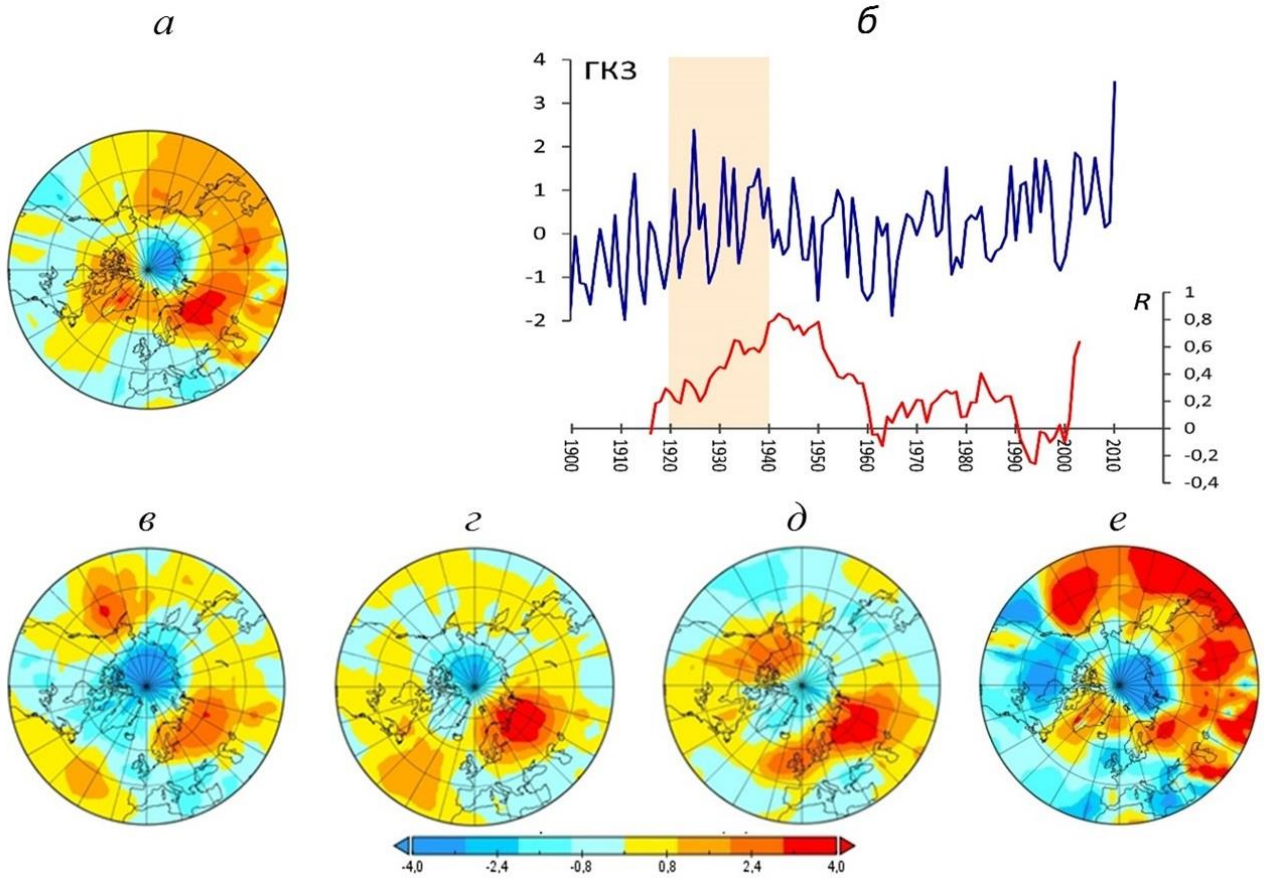


**Рис. 3.** Циркуляционные условия летнего потепления в середине XX века и в современный период. *Условные обозначения: а* – поле ЭОФ3, *б* – ГК3 изменчивости атмосферного давления и коэффициенты корреляции между ГК3 и изменениями температуры в среднем за июль-август на Восточно-Европейской равнине, рассчитанные по 15-летним скользящим средним, *в* – поля аномалий атмосферного давления в 1938 г., в среднем за 1936, 1938, 1939 гг., *г* – относительно 1923,1926,1928 гг., *д* – 1972 г., *е* – 2010 г.

Основные очаги ЭОФ3 (рис. 3 а) – обширная антициклоническая аномалия с центром на территории Восточно-Европейской равнины и циклонический очаг в приполярной области тихоокеанского сектора, выделяются на фоне пояса повышенного давления, простирающегося на восток, через Азию на акваторию Тихого океана, и на запад, на атлантический и североамериканский сектор Северного Ледовитого океана и западную часть Северной Атлантики. Во временном ходе этой

[1] ГК3 — главная компонента, соответствующая 3-ей эмпирической ортогональной функции ЭОФ3 изменчивости атмосферного давления.

циркуляционной структуры, описываемом ГК3 (рис. 3 б), в 1900-2010 гг., помимо тренда, соответствующего изменению летней температуры на Восточно-Европейской равнине, выделяются аномалии 1920-1930 гг., а также конца 1990-х и 2000-х гг. с абсолютным максимумом в 2010 г. Линейная корреляция между ГК3 и изменениями приповерхностной температурой в среднем по территории Восточно-Европейской равнины (за июль-август), рассчитанная по 15-летним скользящим средним (рис. 3 б), демонстрирует два максимума – в период ПСДВ (до 0.6-0.8) и в последнее 15-летие (0.5-0.6). Достаточно высокая связь указывает, что структура аномалий давления, описываемая ЭОФ3, объясняет циркуляционный механизм формирования температурных экстремумов исследуемого региона в период ПСДВ и в период современного потепления. В отношении аномалий 1970-х гг., в частности экстремальной жары 1972 г. эти закономерности не «работают», поскольку корреляция между ГК3 давления и изменениями температуры не достигает уровня статистической значимости (рис. 3 б).

Сравнивая пространственное распределение аномалий давления летом 1938 и 2010 г. (рис. 3 в, е), помимо сходства дипольной структуры, соответствующей ЭОФ3, с очагами противоположного знака в центре Восточно-Европейской равнины и в приполярной зоне, можно отметить и существенные различия. В первую очередь, это превосходящие по величине антициклонические аномалии над Тихим океаном, а также аномалия над Гренландией и в атлантическом секторе Арктики в 2010 г., в отличие от 1938 г., когда обширная антициклоническая аномалия наблюдалась в субтропической зоне Северной Атлантики. Еще больше различий показывает сравнение с полем атмосферного давления летом 1972 г. (рис. 3 а, в-е), с циркуляционными аномалиями 2010 гг. его объединяет только антициклонический очаг аномалий над Восточно-Европейской равниной, с 1938 г. – помимо этого очага, пониженное давление на севере Атлантики.

Итак, анализ климатических характеристик и индекса засушливости на территории Восточно-Европейской равнины за 1910-2020 гг. показывает, что период ПСДВ, в частности 1920-1940 гг., был отмечен многолетней засухой, последовавшей за непродолжительным периодом повышенного увлажнения. В каталоге сильных засух на территории России и других исследованиях, посвященных этой проблеме (Страшная и др., 2011), 1930-е годы, наряду с 1950-ми и 1990-ми гг., выделяются высокой повторяемостью засух. В то же время зафиксированные в этот период засухи (1931, 1936, 1938, 1939 гг.) не рассматривались как события, выходящие из ряда других 32 сильных засух, наблюдавшихся на Европейской территории России в 1891-2010 гг., и не изучались в контексте глобальных изменений климата, в частности ПСДВ. Проведенный анализ показывает, что дефицит осадков, а также интенсивность и продолжительность периода повторяющихся засух 1934-1940 гг. не имеют аналогов за период наблюдений. Переувлажнение летом 1923, 1926, 1928 гг. не превышало градацию «сильного», но есть вероятность его недооценки имеющимися архивами данных из-за несовершенства измерительных приборов, применявшихся в этот период. В изменчивости речного стока, который в исследуемый период не испытывал существенного антропогенного влияния и по существу является интегральной характеристикой увлажнения на территории водосборов, описанные аномалии отразились в абсолютных экстремумах обоих знаков и резком, в течение менее 10 лет, падении его от высокой фазы к минимуму водности, что до настоящего времени остается уникальным событием. Сравнимым, но значительно уступающим по амплитуде, было сокращение стока Волги в середине 1970-х гг., которое последовало после многолетнего дефицита осадков и засухи 1972 г., которая по температурным показателям превосходит пиковое значение в 1938 г., но уступает абсолютному максимуму 2010 гг.

Подобные явления в период ПСДВ – катастрофические засухи в 1930-х гг. на Великих Равнинах североамериканского континента (Cook et al., 2011; Hegerl et al., 2018; Schubert et al., 2004), а также разрушительное наводнение на Миссиссипи в 1927 гг. (Barry, 1997), ранее отмечались за пределами России и на более низких географических широтах. С точки зрения циркуляционных условий эти события связываются с расширением на север ячейки Хэдли и субтропического пояса высокого давления (Brönnimann et al., 2009; Cook et al., 2011). Структура аномалий атмосферного давления, выделенная путем разложения по ЭОФ, как и полученная в результате анализа аномалий давления за годы сильных засух 1930-х гг. (рис. 3 а, в, г), также указывает на расширение субтропического пояса высокого давления над Атлантикой, которое способствует усилению высотных планетарных волн в зоне умеренных широт и, по-видимому, стало одним из факторов

формирования устойчивого антициклона над центром Восточно-Европейской равнины. В сочетании с циклоническим очагом в приполярной области он образует дипольную структуру, характерную для циркуляционных условий сухого и жаркого лета 1930-х гг. (рис. 3 в, г) и имеющую сходство с описанным ранее циркуляционным механизмом потепления Арктики в период ПСДВ (Grant et al., 2009). Анализ многолетнего хода ГКЗ (рис. 3 б), с максимумом в 2010 г., указывает на сходство с АМО (Hegerl et al., 2018), в частности с положительными фазами в 1930-1940-х и в 2000-х гг. В то же время, в поле аномалий атмосферного давления летом 2010 г., помимо описанной дипольной структуры, отчетливо проявляется возросшее влияние Тихого океана, которому ряд исследований отдают лидирующую роль в формировании условий этого климатического экстремума (Мохов, 2011; Попова, 2014), и это существенное отличие от засух 1930-х гг. Другое отличие засухи 2010 г. связано с отсутствием ощутимых последствий для крупномасштабного речного стока. Причина заключается в закономерном росте атмосферных осадков при современном потеплении климата (Второй оценочный доклад …, 2014), особенно заметным в зимний период, который восполняет потери на испарение на фоне значительного роста летних температур (рис. 2 а, д) и серии засух в 1990-х гг. (Страшная и др., 2011).

## Выводы

Анализ изменений водности Волги и Северной Двины и климатических характеристик показывает, что на Восточно-Европейской равнине период потепления середины XX столетия проявился в многолетней засухе, 1934-1940 гг., которая, по классификации Палмера, не имеет аналогов в этом регионе по интенсивности и продолжительности и стала причиной экстремальных гидрологических событий. Помимо резкого сокращения годового стока Волги и Северной Двины, этот период отмечен абсолютным минимумом годового стока в бассейне Северной Двины и самым продолжительным за историю наблюдений маловодным периодом в бассейне Волги.

Наиболее близким, по интенсивности, продолжительности и влиянию на речной сток, подобием засухи 1930-х гг. можно считать засушливый период с конца 1960 до середины 1970-х гг., с максимумом летней температуры и интенсивности засухи в 1972 г. В спектре изменчивости годового стока Волги он отражается как второй по значимости максимум дисперсии, после абсолютного максимума в 1930-х гг. По циркуляционным условиям – сходству дипольной структуры аномалий атмосферного давления и связи с положительной фазой Атлантической мультидекадной осцилляции (т.е. с периодами повышения температуры поверхности Северной Атлантики), экстремальная жара и засуха 2010 г. может рассматриваться как аналог засух в период потепления середины XX в. В тоже время имеется ряд существенных различий, связанных с особенностями современного летнего потепления. С одной стороны, это отсутствие ощутимых последствий для крупномасштабного речного стока, связанное с ростом осадков холодного периода, с другой – усиление влияния Тихого океана на формирование циркуляционных условий.

*Финансирование.* Исследование выполнено в рамках проекта Российского научного фонда №22-27-00495 «Климатические и циркуляционные факторы аномалий увлажнения крупных речных бассейнов Европейской России в эпоху потепления середины XX столетия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бокучава Д.Д., Семенов В.А.* 2018. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов // Фундаментальная и прикладная климатология. № 1. С. 28-51.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. 2014. С. 551-587.

*Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В.* 2011. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. № 345. С. 171-188.

*Мохов И.И.* 2011. Особенности формирования летней жары 2010 г. на европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Известия РАН. Физика Атмосферы и океана. Т. 47. № 6. С. 709-716.

*Попова В.В.* 2014. Летнее потепление на Европейской территории России и экстремальная жара 2010 г. как проявление тенденций крупномасштабной атмосферной циркуляции в конце XX – начале XXI вв. //

Метеорология и гидрология. № 3. С. 37-49.

*Barry J.M.* 1997. Rising tide: The great Mississippi flood of 1927 and how it changed America. New York. NY: Simon & Schuster. 528 p.

*Bokuchava D.D., Semenov V.A.* 2021. Mechanisms of the Early 20th Century Warming in the Arctic // Earth-Science Reviews. No. 222. P. 103820.

*Brönnimann S., Stickler A., Griesser T., Ewen T., Grant A.N., Fischer A.M., Ross T.* 2009. Exceptional atmospheric circulation during the "Dust Bowl" // Geophysical Research Letters. Vol. 36. No. 8. P. 1-6.

*Chylek P., Klett J.D., Dubey M.K., Hengartner N.* 2016. The role of Atlantic Multi-decadal Oscillation in the global mean temperature variability // Climate Dynamics. Vol. 47. No. (9-10). P. 3271-3279.

*Cook B.I., Seager R., Miller R.L.* 2011. Atmospheric circulation anomalies during two persistent North American droughts: 1932-1939 and 1948-1957 // Climate Dynamics. Vol. 36. No. (11–12). P. 2339-2355.

Climatic Research Unit Dataset. 2022 [Электронный ресурс https://www.uea.ac.uk/web/groups-and-centres/climatic-research-unit/data (дата обращения 09.06.2022)].

ECMWF Dataset. 2022 [Электронный ресурс https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset (дата обращения 09.06.2022)].

GISS Surface Temperature Analysis. 2022 [Электронный ресурс https://data.giss.nasa.gov/gistemp/ (дата обращения 09.06.2022)].

*Grant A., Brönnimann S., Ewen T., Griesser T., Stickler A.* 2009. The early twentieth century warm period in the European Arctic // Meteorologische Zeitschrift. Vol. 18. No. 4. P. 425-432.

Hadley Centre Sea Level Pressure Dataset. 2022 [Электронный ресурс https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadslp2/ (дата обращения 09.06.2022)].

*Hegerl GC, Brönnimann S, Schurer A, Cowan T.* 2018. The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences // WIREs Climate Change. No. 9. P. e522.

*Palmer W.C.* 1965. Meteorological Drought. Technical Report // Weather Bureau Research Paper. No. 45, US Department of Commerce, Washington DC. 58 p.

*Schubert S.D., Suarez M.J., Pegion P.J., Koster R.D., Bacmeister J.T.* 2004. Causes of long-term drought in the U.S. Great Plains // Journal of Climate. Vol. 17. No. 3. P. 485-503.

*Tokinaga H., Xie S.-P., Mukougawa H.* 2017. Early 20th-century Arctic warming intensified by Pacific and Atlantic multidecadal variability // Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol. 114. No. 24. P. 6227-6232.

*Wegmann M., Orsolini Y., Zolina O.* 2018. Warm Arctic−cold Siberia: comparing the recent and the early 20th-century Arctic warmings // Environ. Res. Lett. No. 13. P. 025009

*Wegmann M., Rohrer M., Santolaria-Otín M., Lohmann G.* 2020.Eurasian autumn snow link to winter North Atlantic Oscillation is strongest for Arctic warming periods // Earth System Dynamics. No. 11. P. 509-524.