АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2021, том 27, № 2 (87), с. 3-11

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 632.112; 551.579.5

ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗАСУХ, НАБЛЮДАВШИХСЯ НА РУССКОЙ РАВНИНЕ С 1970-Х ГОДОВ[1]

© 2021 г. А.Г. Георгиади*, Е.А. Кашутина**

Институт географии РАН
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4
E-mail: galex50@gmail.com, kashutina@igras.ru

Поступила в редакцию 23.10.2020. После доработки 01.11.2020. Принята к публикации 01.12.2020

На основе многолетних данных о среднемесячной температуре воздуха, сумме атмосферных осадков, гидротермическом коэффициенте увлажнения Г.Т. Селянинова, статистических кривых их пространственного распределения выявлены особенности динамики характеристик экстремальных засух, наблюдавшихся на Русской равнине начиная с 1970-х годов.
Ключевые слова: современное глобальное потепление, экстремальные засухи, границы ареалов экстремальных засух, статистические кривые пространственного распределения, динамика гидроклиматических характеристик в период экстремальных засух.
DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10145

Современное глобальное потепление, начавшееся в 1970-1980-х годах, сопровождалось повышением температуры воздуха и, в меньшей степени, увеличением атмосферных осадков, что вызвало долговременные изменения различных составляющих водного цикла, включая запасы влаги в почве. Так, в период 1958-2007 гг. на значительной части территории Русской равнины, в субширотной полосе, протянувшейся с севера на юг на 9-10° по широте и с запада на восток на более чем 20° по долготе, многолетние изменения осредненных по территории областей и республик продуктивных почвенных влагозапасов под яровыми зерновыми культурами (пшеница и ячмень) характеризуются двумя основными долговременными периодами/фазами (Пространственно-временная корреляция …, 2014-2016). Сначала наблюдалась фаза пониженных значений влагозапасов (рис. 1), а преимущественно с 1980-х гг. ее сменила фаза повышенных влагозапасов. Эти фазы пониженных/повышенных почвенных влагозапасов сопряжены с соответствующими фазами изменений температуры воздуха, ослабления и усиления интенсивности зонального переноса в атмосфере (Георгиади и др., 2013, 2014; Георгиади, Кашутина, 2016).

На фоне долговременных изменений гидрометеорологических характеристик, формировались экстремальные засухи (Раунер, 1981; Золотокрылин и др., 2007, 2014; Страшная и др., 2011; Засухи ..., 2017; Черенкова, 2012; Dobrovolski, 2015). Экстремальные засухи – повторяющееся явление в зоне степей, лесостепей и южной части лесной зоны. Они характеризуются критически неблагоприятными метеорологическими условиями для растительного покрова, в особенности сельскохозяйственных культур. Поэтому анализ засух проводится, как с учетом их гидрометеорологических условий, так и реакции растительного покрова и, прежде всего, агрокультур, проявляющейся в снижении их урожая (Страшная и др., 2011; Фролов, Страшная, 2011). Обычно в качестве критически важных характеристик исследуются экстремально низкое атмосферное увлажнение и высокая температура воздуха на протяжении длительного периода, охватывающего не менее 20-30 дней (проявления атмосферной засухи), а также экстремально низкие влагозапасы почвы (проявления почвенной

[1] Работа выполнена в рамках Госзадания ИГ РАН, при поддержке гранта РНФ. Методические основы были разработаны в рамках государственного задания № 0148-2019-007/АААА-А19-119021990093-08 "Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования". Исследование динамики гидроклиматических характеристик экстремальных засух, наблюдавшихся на Русской равнине было выполнено в рамках гранта РНФ № 20-17-00209 «Гидроэкологическое состояние центральной части Русской равнины в условиях изменений климата и хозяйственных преобразований».

засухи), которые приводят к значительному снижению продуктивности сельскохозяйственных культур. Экстремальные засухи (когда атмосферная и почвенная засухи наблюдаются одновременно) приводят к наиболее значительному снижению урожайности. В условиях экстремальной засухи крайне неблагоприятные для растений условия формируются на обширных территориях (ареалах засух), границы которых меняются в период их развития.

На основе многолетних исследований были выработаны градации изменений гидроклиматических показателей, характеризующих засухи разной интенсивности (Мещерская, 1988; Уланова, Страшная, 2000; Страшная и др., 2011), которые использовались в наших оценках. Наряду с этими показателями у нас в стране и за рубежом были разработаны различные индексы засух, основанные на данных наземных наблюдений, а также на спутниковой информации. Часть из этих индексов довольно широко используется для характеристики географического распространения и интенсивности засух. Среди них гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) Г.Т. Селянинова (1958), индекс засушливости (S_i) Д.И. Педя (1975), а также существенно реже применяемые в нашей стране индекс сухости (ИС) М.И. Будыко, индекс суровости засухи У. Палмера (Palmer Drought Severity Index-PDSI; Palmer, 1965), стандартизованный индекс осадков и испаряемости (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI; Vicente-Serrano et al., 2010) и другие. Опыт использования этих индексов, в том числе и наш, показал, что достаточно надежные результаты были получены на основе гидротермического коэффициента Селянинова (Страшная и др., 2011; Черенкова, Золотокрылин, 2016).

Основная задача наших исследований состояла в выявлении особенностей динамики комплекса характеристик засух, включающего в себя показатели изменения метеорологических условий, почвенных влагозапасов и характеристик урожайности агрокультур в период развития экстремальных засух, наблюдавшихся с 1970-х годов.

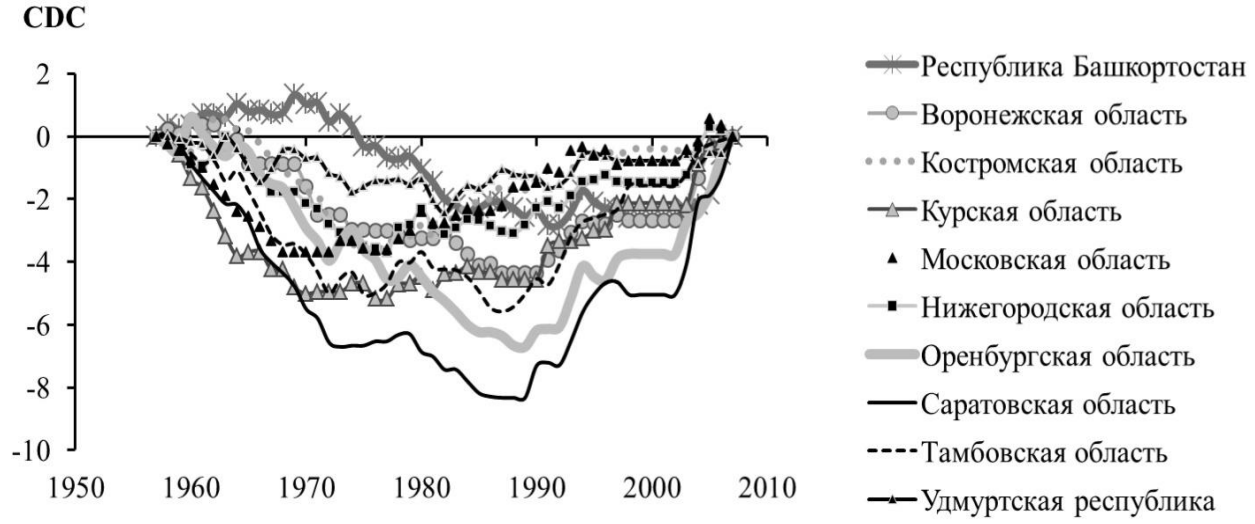

Рис. 1. Долговременные фазы пониженных/повышенных средних областных продуктивных влагозапасов почв, представленные в виде разностно-интегральных кривых.

Материалы и методы

Основу подхода к исследованию динамики гидроклиматических характеристик в период развития засух составляют эмпирические статистические кривые пространственного (территориального) распределения продуктивных влагозапасов почвы, температуры воздуха и атмосферных осадков и гидротермического коэффициента-ГТК, которые позволяют оценить долю территории в пределах ареалов экстремальных засух, где значения гидроклиматических характеристик выходят за пределы их критических значений. Такой подход к описанию пространственной структуры гидрологических характеристик используется в расчетах и прогнозах речного стока (Методические рекомендации …, 1986). Кривые распределения были построены по данным многолетних наблюдений, проводимых на станциях государственной сети наблюдений (ГСН) за почвенными влагозапасами и среднемесячным значениям ГТК (рассчитанным по

среднемесячным температурам воздуха и суммам атмосферных осадков из архива ВНИИГМИ-МЦД (Булыгина и др., 2020а, 2020б) и сеточным многолетним данным среднесуточных данных о температуре воздуха и атмосферным осадкам с шагом 0.25° на 0.25° по широте и долготе из Европейского архива (European Climate ..., 2020).

В качестве границ ареалов, в пределах которых исследовалась статистистическая структура временных изменений полей гидроклиматических характеристик экстремальных засух, использовались данные о годовых аномалиях средней областной (средней по территории субъекта РФ) урожайности яровой пшеницы. Выбор этой культуры для оценки засухи определялся двумя факторами: 1) зерновые культуры чувствительны к засухам и отражают интегральный эффект сложившихся в период засухи гидроклиматических условий; 2) посевы яровой пшеницы охватывают значительную территорию зернового пояса Русской равнины. Использовались многолетние ряды урожайности этой культуры за период 1972-2010 гг. В связи с тем, что 1) для периода 1972-1989 гг. урожайность рассчитывалась с площади, которая засеивалась, а в период 1990-2010 гг. – с площади, с которой был собран урожай и 2) в период 1972-1989 гг. многолетний тренд в изменении урожайности практически отсутствовал, тогда как в период 1990-2010 гг. наблюдался ее интенсивный рост, расчет аномалий (модульных коэффициентов) урожайности в годы, в которые наблюдались засухи, проводился по-разному. В первом случае модульные коэффициенты рассчитывались от среднего многолетнего значения, определенного для периода 1972-1989 гг. Во втором – для каждого года определялось отклонение от линии тренда (Страшная и др., 2011). И в том, и в другом случае в качестве «критической» величины относительного снижения урожайности, показывающего засуху, использовались ее значения, меньшие ее «нормальных» значений. Этот критерий и был использован для отнесения субъекта РФ к ареалу засухи. Именно данные о снижении урожайности служили для выделения границ ареалов экстремальных засух. В пределах таких ареалов и анализировались особенности территориальной динамики гидроклиматических характеристик в период развития рассматриваемых засух.

Заметим, что использование для этих целей данных об урожайности, осредненной для меньших по площади территорий (например, административных районов в пределах субъектов РФ), видимо, позволило бы уточнить границы ареалов экстремальных засух, исключив административные районы, в которых та или иная культура не возделывается. С другой стороны в результате такого «уточнения» могут быть исключены территории, где условия для формирования экстремальной засухи сформированы (атмосферная засуха и критически низкие влагозапасы), а те или иные агрокультуры не возделываются. Таким образов, для определения границ экстремальных засух необходимо использовать как информацию о гидроклиматических условиях, так и данные о снижении урожайности сельскохозяйственных культур и данные о состояние растительного покрова.

Были рассмотрены экстремальные засухи, наблюдавшиеся в эпоху современного глобального потепления на территории Русской равнины в 1972, 1975, 1981, 1995, 1998, 1999 и 2010 гг.

В целом географическое положение ареалов распространения экстремальных засух достаточно устойчиво, но география аномалий снижения урожайности зерновых культур и гидроклиматических характеристик в период наиболее интенсивных засух, а также характер их сезонной динамики заметно отличаются.

В качестве критических значений интенсивности экстремальных засух применительно к продуктивным влагозапасам почв согласно работам (Уланова, Страшная, 2000; Страшная и др., 2011; Фролов, Страшная, 2011) были использованы их следующие значения: для слоя 0-20 см менее 10 мм – сильная по интенсивности почвенная засуха, 10-19 мм – средняя или слабая засуха; для слоя 0-100 см ниже 50 мм – сильная, 50-80 мм – средняя и слабая засуха. Для температуры воздуха в качестве критических были определены температуры выше 25, 22.5 и 20°С, а для атмосферных осадков – ниже 5, 10 и 15 мм, наблюдавшиеся в течение 30 суток.

В качестве интегрального показателя гидроклиматических условий экстремальных атмосферных засух использовался гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (1958). Согласно работе А.И. Страшной с соавторами (2011), при ГТК≤0.3 наблюдается очень сильная засуха, при 0.3<ГТК≤0.60 – сильная засуха, а при 0.6<ГТК≤0.8 – средняя.

Границы ареалов экстремальных засух, определенных по снижению урожайности, влагозапасов почв и ГТК, достаточно хорошо коррелируют между собой (рис. 2).

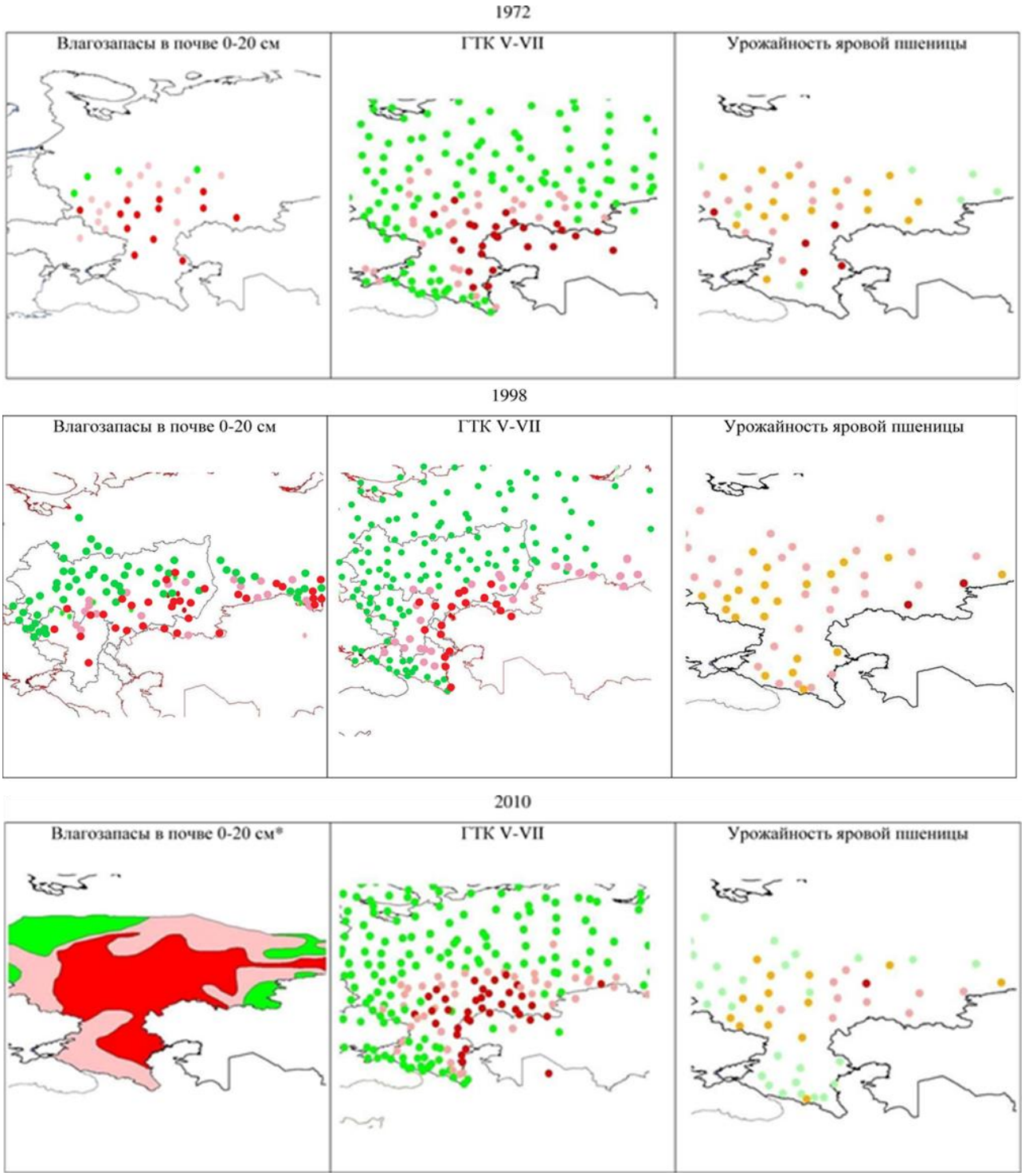

Рис. 2. Ареалы снижения урожайности яровой пшеницы, влагозапасов в слое почвы 20 см и ГТК для экстремальных засух, наблюдавшихся в 1972, 1998 и 2010 гг. *Условные обозначения.* Влагозапасы в июле (в 1972 г. – в июне), мм: ● – ≤10, ● – 10-19, ● – ≥19. ГТК V-VII: ● – ≤0.3. ● – 0.3-0.6, ● – ≥0.6. Урожайность[2] яровой пшеницы: ● – ≤0.5, ● – 0.5-0.75, ● – 0.75-1, ● – ≥1. * – картосхема влагозапасов подготовлена по данным из статьи А.В. Фролова и А.И. Страшной (2011).

[2] Урожайность дана в модульных коэффициентах, которые рассчитывались от среднего многолетнего значения для периода 1972-1989 гг., и для периода 1990-2010 гг. – по отклонениям от линии тренда.

Результаты и обсуждение

Для определенных указанным выше способом границ ареалов экстремальных засух для каждого месяца за период апрель-июль (август) были исследованы особенности сезонных изменений доли их площади, для которых гидроклиматические характеристики были ниже (или выше) их критических значений, рассмотренных в предыдущем разделе.

Сезонная динамика территориального распределения гидроклиматических характеристик в пределах границ экстремальных засух

Атмосферные осадки. Наибольшая доля площади ареалов с экстремальной засухой с количеством осадков меньше 5, 10 и 15 мм в месяц приходилась на апрель 1975, 1995 и 2010 гг., май – 1972, 1975 и 1998 гг., июнь – 1975, 1998 и 2010 гг., июль – 1972 и 2010 гг., август – 1972 г. (рис. 3), в котором наблюдались также наибольшие площади с критически низкими осадками (соответственно, 66%, 72% и 84% территории всего ареала с экстремальной засухой).

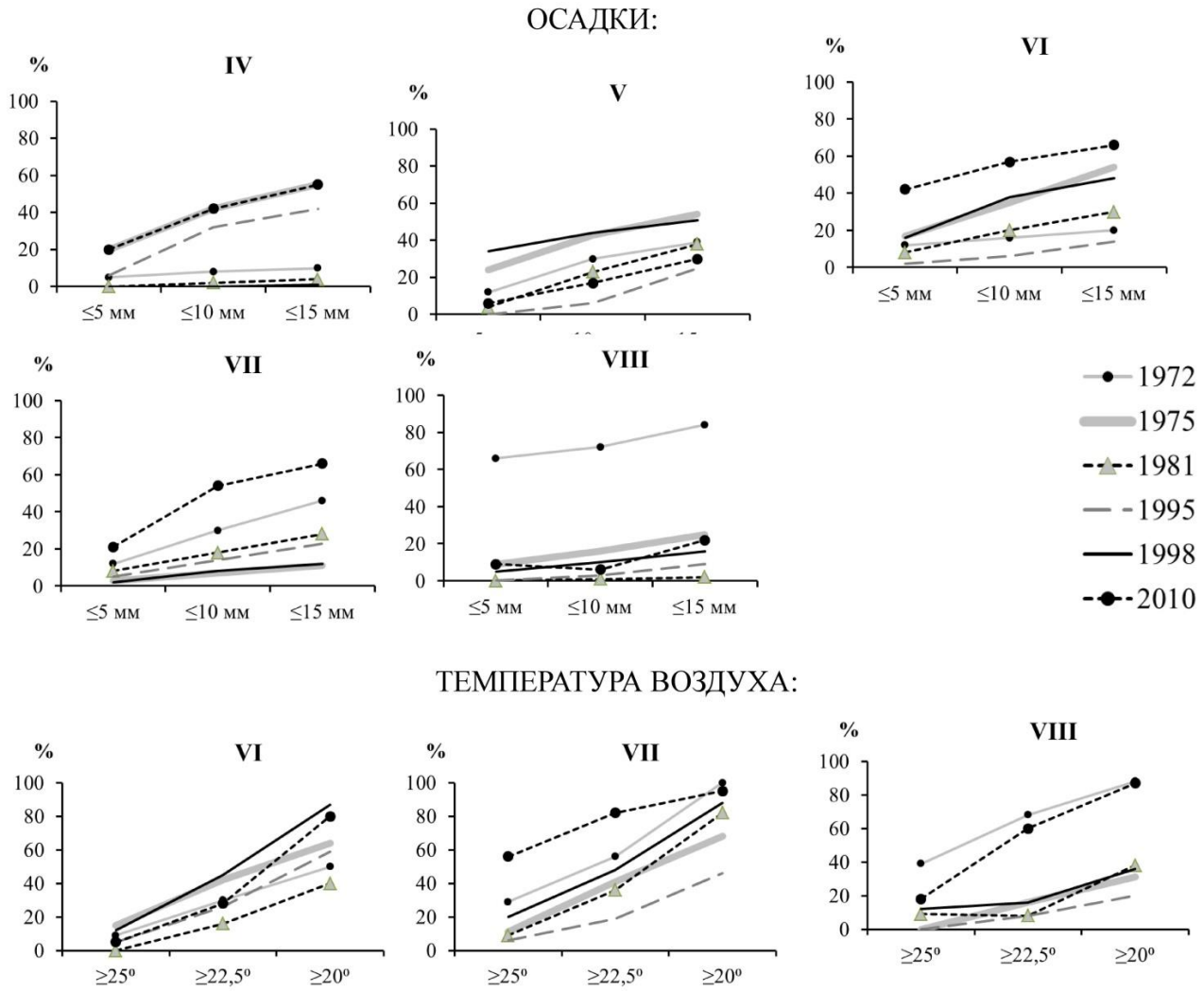

Рис. 3. Сезонная динамика доли площади ареалов экстремальных засух, в которых а) сумма атмосферных осадков была меньше 5, 10 и 15 мм, б) температура превышала 25, 22.5 и 20°С.

Температура воздуха. Наибольшие доли площади с высокой температурой воздуха (соответственно, выше 25, 22.5 и 20°С) в июле и августе наблюдались в 2010 и 1972 гг., в июне – в 1998 и 1975 гг. (за исключением территории с температурой выше 20°С; рис. 3). Одна из двух самых больших относительных долей площади ареала экстремальной засухи с температурой воздуха выше 20°С

наблюдалась в июне 2010 г. При этом наименьший общий разброс долей в годы с экстремальными засухами наблюдался в июне. В июле и августе он был примерно одинаков с одной важной особенностью. В июле из общего ряда выделялся один год (2010 г.), в августе – два (1972 и 2010 гг.).

Гидротермический коэффициент увлажнения. Наибольшей доли площади ареалов с засухами, выделенными по снижению урожайности яровой пшеницы, с атмосферной засухой разной степени интенсивности достигают в июне (1975, 1981, 1998 гг.) и в июле (1972, 1995, 2010 гг.; рис. 4).

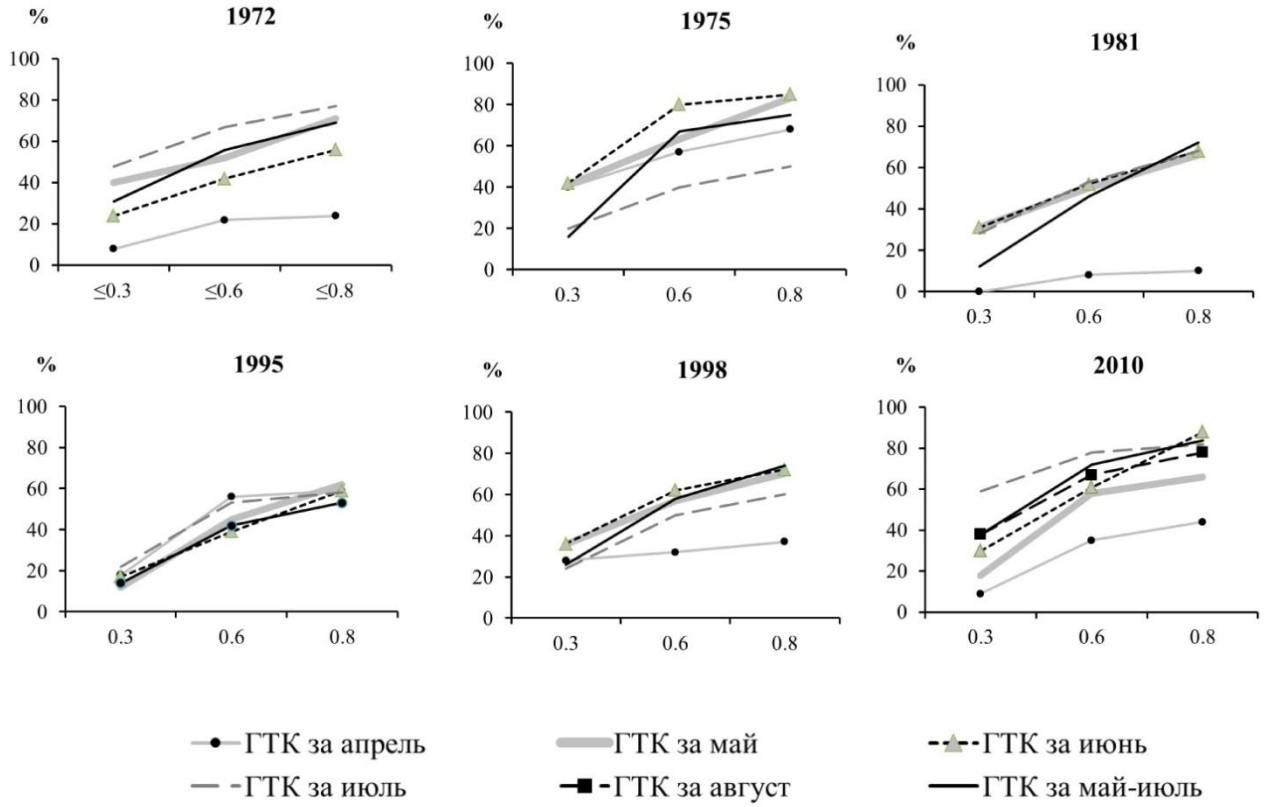

Рис. 4. Сезонная динамика доли площади ареалов экстремальных засух, в которых наблюдалась атмосферная засуха разной интенсивности.

Самую большую относительную долю ареала экстремальная атмосферная засуха охватывала в июне 1975 г.: 42% (при ГТК<0.3) и 85% (ГТК<0.8). В июле 2010 г. эти доли составляли, соответственно, 59% и 82%, а в июле 1972 г. – 48% и 77%. При этом в 1981, 1995, 1998 гг. доли площади ареалов с атмосферной засухой разной интенсивности в мае, июне, июле и в среднем за май-июль (а в 1995 г. также и в апреле) отличались между собой незначительно. Напротив, в 1972, 1975, 2010 гг. эти различия были существенно заметнее.

Как правило, наиболее низкие доли площади с атмосферной засухой разной степени интенсивности наблюдаются в апреле (1972, 1981, 1998 и 2010 гг.), исключая 1995 и 1975 гг.

Продуктивные влагозапасы почвы. В 1972 и 1975 гг. ко второй декаде июля практически на всей территория ареала с засухой влагозапасы достигали критически низких значений, соответствующих как сильной, так и средней или слабой интенсивности почвенной засухи в слоях глубиной 20 см и 1 м (рис. 5).

В 1981 г. почти на всей территории влагозапасы были равны или меньше уровня, соответствующего средней или слабой интенсивности почвенной засухи, тогда как влагозапасы ниже уровня сильной засухи занимали более 50% (для слоя 20 см) и около 40% всей территории (для слоя 1 м). В другие годы (1995 и 1998 гг.) почвенная засуха наблюдалась на меньшей территории, особенно в 1995 г. Наиболее быстрый рост площадей с почвенной засухой происходил с апреля по май (особенно в 1972, 1975 и 1995 гг.), а в 1981 г. – с мая по июнь. В апреле в 1981 г. территорий с почвенной засухой практически не наблюдалось, а в апреле 1975 г. они были уже хорошо выражены. Значительная доля территорий с почвенной засухой, продолжавшейся в течение мая-июля,

отмечается в 1972, 1975 и в меньшей степени в 1995 г. В 1981 гг. такая ситуация была характерна для июня-июля.

Заключение

На фоне современного глобального потепления, начало которого относится к 1970-1980-м годам, довольно часто (один раз в несколько лет) на территории Русской равнины формируются экстремальные засухи, охватывающие большие территории, распространяясь на зоны степей и лесостепей и южную часть лесной зоны. При этом они сопровождаются значительными потерями урожая сельскохозяйственных культур, в особенности зерновых.

Основу подхода к исследованию динамики гидроклиматических характеристик в период развития экстремальных засух составляют эмпирические кривые статистической структуры территориального распределения продуктивных влагозапасов почвы, температуры воздуха и атмосферных осадков, а также гидроклиматических индексов засухи, которые позволяют оценить динамические изменения доли территории в пределах ареалов экстремальных засух, где значения гидроклиматических характеристик выходят за пределы их критических значений. В качестве границы ареалов экстремальных засух использовались данные о снижении среднеобластной урожайности зерновых культур.

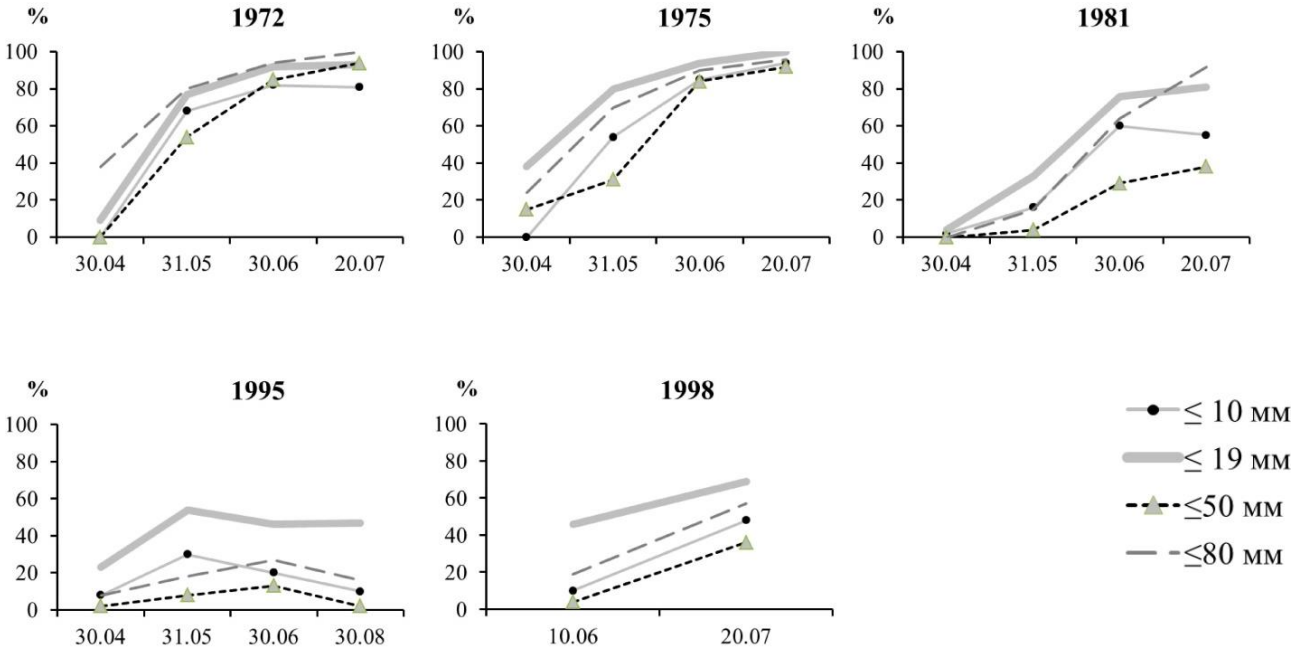

Рис. 5. Сезонная динамика доли площади ареалов экстремальных засух с продуктивными влагозапасами, не превышающими 10 и 19 мм в слое почвы 0-20 см, и не превышающими 50 и 80 мм в слое почвы 0-100 см.

Территориальное распределение гидроклиматических характеристик в пределах границ экстремальных засух, наблюдавшихся в 1972, 1975, 1981, 1995, 1998 и 2010 гг., характеризуется следующими особенностями. Наибольшей доли площади ареалов экстремальных засух, на которых формируется атмосферная засуха разной степени интенсивности, достигали в июне (1975, 1981, 1998 гг.) и в июле (1972, 1995, 2010 гг.). В июне 1975 г., в июле 1972 г. и 2010 г. атмосферная засуха разной степени интенсивности охватывала соответственно 85%, 82% и 77% территории, а сильная атмосферная засуха 42%, 59% и 48%. При этом в 1981, 1995, 1998 гг. доли площади ареалов с атмосферной засухой разной интенсивности в мае, июне, июле и в среднем за май-июль (а в 1995 г. также и в апреле) отличались между собой незначительно. Напротив, в 1972, 1975, 2010 гг. эти различия были очень заметны.

Продуктивные влагозапасы почвы в 1972, 1975 гг. ко второй декаде июля практически на всей территория ареала с засухой достигали критически низких значений, соответствующих как сильной,

так и средней или слабой почвенной засухе для почвенных слоев в 20 см и в 1 м. В 1981 г. почти на всей территории влагозапасы были равны или меньше уровня, соответствующего почвенной засухе средней или слабой интенсивности, тогда как влагозапасы ниже уровня сильной засухи занимали более 50% (для слоя почвы 20 см) и около 40% всей территории (для слоя почвы в 1 метр). В другие годы (1995 и 1998 гг.) почвенная засуха наблюдалась на меньшей территории. Наиболее быстрый рост площадей с почвенной засухой происходил с апреля по май (особенно в 1972, 1975 и 1995 гг.), а в 1981 г. с мая по июнь. В апреле 1981 г. территорий с почвенной засухой практически не наблюдалось, а в апреле 1975 г. они были уже хорошо выражены. Значительная доля территорий с почвенной засухой, продолжавшейся в течение мая-июля, отмечалась в 1972, 1975 гг. и в меньшей степени в 1995 г. В 1981 гг. такая ситуация была характерна для июня-июля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. 2020а. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения 23.10.2020)].

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. 2020б. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных (дата обращения 23.10.2020)].

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А., Бородин О.О., Вишневская И.А. 2013. Пространственно-временная корреляция влагозапасов почвы, климатических и спутниковых индексов на Русской равнине // Одиннадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» [Электронный ресурс http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=78&thesis=3938 (дата обращения 23.10.2020)].

Георгиади А.Г., Кашутина Е.А., Милюкова И.П. 2018. Долговременные фазы многолетних изменений стока воды и тепла крупнейших арктических рек России // Тезисы докладов всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий», 24-29 сентября 2018 года, Сочи. М.: Институт географии Российской академии наук, Гляциологическая ассоциация. С. 53.

Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. 2017 / Ред. О.Н. Соломина. М.-СПб.: Нестор-История. 358 с.

Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Мещерская А.В., Страшная А.И., Черенкова Е.А. 2014. Засухи и опустынивание // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет. С. 551-587.

Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Черенкова Е.А. 2007. Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат. Т. 21. С. 160-181.

Методические рекомендации по оценке запасов воды на поверхности водосборов в период весеннего снеготаяния на основе авиационных гамма-съемок. 1986. Ленинград. 38 с.

Мещерская А.В. 1988. О показателе засух и урожайности зерновых культур // Метеорология и гидрология. № 2. С. 91-98.

Педь Д.А. 1975. Климатические особенности атмосферных засух и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 156. С. 39-63.

Пространственно-временная корреляция долговременных и экстремальных гидрологических и климатических изменений. 2014-2016. Проект РФФИ № 14-05-00761.

Раунер Ю.Л. 1981. Климат и урожайность зерновых культур. М.: Наука. 163 с.

Селянинов Г.Т. 1958. Происхождение и динамика засух // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л.: Гидрометеоиздат. С. 5-30.

Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. 2014 / Ред. А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милюкова и др. М.: МАКС Пресс. 214 с.

Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. 2011. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды Гидрометцентра. Вып. 345. С. 171-188.

Уланова Е.С., Страшная А.И. 2000. Засухи в России и их влияние на урожайность зерновых культур // Труды ВНИИСХМ. Вып. 33. С. 64-83.

Фролов А.В., Страшная А.И. 2011. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур // Сборник докладов ГУ «Гидрометцентр России» М.: ТРИАДА ЛТД. 72 с.

Черенкова Е.А. 2012. Анализ особенностей обширных атмосферных засух на юге Европейской равнины //

Аридные экосистемы. Т. 18. № 4 (53). С. 13-21. [*Cherenkova E.A.* 2012. Analysis of extensive atmospheric droughts features in the South of European Russia // Arid Ecosystems. Vol. 2. No. 4. Pp. 209-215.]

Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. 2016. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи // Фундаментальная и прикладная климатология. № 2. С. 79-94.

Dobrovolski S.G. 2015. World Droughts and Their Time Evolution: Agricultural, Meteorological, and Hydrological Aspects // Water Resources. Vol. 42. No. 2. P. 147-158.

European Climate Assessment & Dataset project. 2020 [Электронный ресурс www.ecad.eu (дата обращения 19.10.2020)].

Palmer W.C. 1965. Meteorological Droughts. US Department of Commerce Weather Bureau Researh Paper. No. 45. 58 p.

Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index SPEI // Journal of Climate. No. 23 (7). P. 1696-1718.