

## ОТКЛИК РИСКОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ПРОЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ

© 2022 г. М. В. Николаев\*

*Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт Петербург, Россия*

*\*E-mail: clenrusa@mail.ru*

Поступила в редакцию 10.04.2022 г.

После доработки 07.06.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В данной статье в качестве зон рискованного земледелия в изменяющемся климате рассматриваются контрастные по обеспеченности посевов атмосферной влагой регионы с учетом их растениеводческой специализации. К ним относятся регион избыточного увлажнения (западная и северная части европейского Нечерноземья) и регион неустойчивого увлажнения (восток Европейской России с прилегающими районами Западной Сибири). Исследование фокусируется на оценке повторяемости аномальных погодно-климатических ситуаций, приводящих к потерям урожая в двух периодах, отличающихся по степени антропогенного влияния на климат: 1945–1980 и 1981–2017 гг. Для индикации климатически обусловленных сельскохозяйственных рисков использованы диапазоны значений гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова, отвечающие категориям интенсивного переувлажнения и интенсивных засух. На их основе разработаны градации аномалий сумм температур воздуха и количества выпавших осадков. Оценена частота появления аномалий разной величины в указанные периоды. Пространственная оценка рисков, связанных с возникновением избытка и дефицита влаги в периоды вегетации полевых культур, отображается в виде карт повторяемости лет с аномалиями влажностных и термических условий, а также комплексного показателя – значений ГТК. Представленная информация дает возможность проследить особенности сдвига границ уязвимых территорий в изменяющемся климате. С климатологических позиций обсуждаются причины такого сдвига. Показывается, что, наряду с особенностями атмосферной циркуляции, термический фактор в сочетании с фактором подстилающей поверхности вносит все более весомый вклад в усугубление переувлажнения и засушливости. Немаловажная роль в эффектах воздействия атмосферного переувлажнения и атмосферной засухи на состояние посевов также принадлежит текстуре почв, от которой зависит степень проникновения атмосферной влаги в почвенные слои. Отмечается, что в изменяющемся климате наблюдается рост экстремальности погодно-климатических ситуаций по условиям влагообеспеченности посевов при одновременно нарастающей контрастности рассматриваемых регионов.

*Ключевые слова:* изменяющийся климат, регионы избыточного и неустойчивого увлажнения, климатически обусловленные сельскохозяйственные риски, картографирование уязвимых территорий

DOI: 10.31857/S0869607122030065

### ВВЕДЕНИЕ

Выявление уязвимых сельскохозяйственных территорий на основе повторяемости аномальных погодно-климатических ситуаций в изменяющемся климате приобретает

особую актуальность в вопросах регионализации адаптационных мер для поддержания устойчивого производства растениеводческой продукции.

В качестве регионов рискованного земледелия в изменяющемся климате выбраны регионы, контрастные по обеспеченности атмосферной влагой полевых культур. При выборе регионов и их оконтуривании в основу положена классификация сельскохозяйственных территорий по климатическому признаку Г.Т. Селянинова [26, 27]. Так, регион избыточного увлажнения включает западную и северную части европейского Нечерноземья с традиционно развитым луговодством и фуражным кормопроизводством. Регион неустойчивого увлажнения ограничен с юга параллелью  $50^{\circ}$  с.ш.<sup>1</sup> и охватывает Центральное Черноземье, Среднее Поволжье, южный Урал с прилегающими районами Западной Сибири: здесь концентрируются посевы ценных сортов яровых зерновых культур<sup>2</sup>.

Исследование фокусируется на анализе крайне неблагоприятных погодноклиматических условий, складывающихся в сезоны вегетации, и сравнении повторяемости таких условий на двух временных периодах, отличающихся по степени антропогенного влияния на климат. Для региона избыточного увлажнения выбранным отрезком вегетации выступает июль, на который приходится формирование конечного урожая озимых зернофуражных злаков и интенсивное накопление биомассы силосных и сенокосных культур. Для региона неустойчивого увлажнения выбран отрезок май – июнь (межфазный отрезок “посев – колошение”), от погодных условий которого напрямую зависит величина конечного урожая твердой яровой пшеницы.

Из сравнения средних многолетних агроклиматических показателей выявлено, что количество осадков, выпадающих в июле в регионе избыточного увлажнения (варьирует от 68 до 91 мм) близко к таковому на протяжении мая – июня в регионе неустойчивого увлажнения (68–112 мм). То есть, по среднему количеству получаемой влаги в указанные периоды вегетации регионы сопоставимы. Однако соответствующие суммы температур воздуха в регионе неустойчивого увлажнения почти в 2 раза выше, чем в регионе избыточного увлажнения.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходной информации использованы данные о средних месячных температурах воздуха и количестве осадков по годам с 1945 г. по 2017 г. для 25 агрометеорологических станций в пределах рассматриваемых регионов. Выбор этих станций производился на основе анализа распределения агроклиматических ресурсов и размещения посевов вышеупомянутых культур, а также наличия однородности в рядах наблюдений с учетом ввода поправок на усовершенствование приборов и уточнений методик измерения – т.е. согласно рекомендациям ВНИГМИ МЦД [2, 3, 5, 13, 25]. Кроме того, в целях последующего картографирования привлечены непрерывные, но более короткие временные ряды – с 1945 г. по 1980 г. и с 1981 г. по 2017 г. на 18 дополнительных станциях. Они выбирались исходя из ранее накопленного опыта картографирования помесечных сумм осадков, представленного в монографии Ц.А. Швер [30] и опыта агроклиматического картографирования, изложенного в монографии Д.И. Шашко [29]. Теоретической предпосылкой для проведения исследования также послужили результаты и выводы, представленные в работах [1, 14, 16, 18–23, 31–38].

К применяемым методам относятся: выделение категорий климатически обусловленных земледельческих рисков, разработка соответствующих им градаций аномалий сумм температур воздуха и количества осадков, анализ распределения частоты анома-

<sup>1</sup> Южнее концентрируются посевы сортов сильной озимой пшеницы.

<sup>2</sup> Алтайский край не рассматривался ввиду ограниченности данных.

лий разной величины в выбранные временные периоды и картографирование уязвимых территорий на основе автоматизированного построения изолиний.

Для выделения категорий климатически обусловленных рисков, при которых адаптивные возможности культурных растений исчерпываются или полностью утрачиваются, использованы градации высоких и низких значений гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова с выделением соответственных диапазонов его значений. [6, 20, 21]. В данном исследовании, где проводится сравнительный агроклиматический анализ на длительных временных интервалах с осуществлением картографирования, применение этого индикатора наиболее приемлемо, так как в нем в явном виде содержатся переменные, от которых зависят условия произрастания растений. Напомним, что гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова рассчитывается так:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0.1 \sum T},$$

где:  $\sum P$  – сумма выпавших осадков (мм) и  $\sum T$  – сумма температур воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) за период вегетации со среднесуточной температурой воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ .

Риски, связанные с резким атмосферным переувлажнением посевов, охарактеризованы повторяемостью лет со значениями ГТК за июль, заключенными в диапазонах  $2.5 \leq \text{ГТК}_{\text{VII}} \leq 3.5$  и  $3.5 < \text{ГТК}_{\text{VII}} \leq 4.5$  и выше. Они отражают внешние условия возникновения сильного и очень сильного полегания стеблевых культур. Риски, вызванные появлением сильных и очень сильных весенне-летних засух, характеризуются повторяемостью лет со значениями ГТК за май–июнь соответственно:  $0.20 \leq \text{ГТК}_{\text{V-VI}} \leq 0.39$  и  $\text{ГТК}_{\text{V-VI}} \leq 0.19$ . Они отражают внешние условия, приводящие к изреженности всходов вследствие иссушения растений.

Для выбранных агрометеорологических станций определена последовательность лет с суммами температур воздуха и количеством осадков в те годы, когда значения ГТК отвечали выбранным категориям переувлажнения и засух. Сравнение производится для двух временных периодов: 1945–1980 и 1981–2017 гг. Обоснованность их выбора базируется на выводах об изменяющемся во времени соотношении вклада естественных и антропогенных факторов в происходящие климатические изменения [7, 8, 10, 31].

Для сопоставимости аномалий сумм температур воздуха и сумм осадков использование величины их отклонений от средних многолетних показателей за весь рассматриваемый период с 1945 г. по 2017 г. представляется предпочтительнее. Среднее многолетнее значение является более надежной статистической характеристикой, учитывая также то, что на более коротких периодах отличие в средних значениях оценивается по критерию Стьюдента как статистически незначимое.

Для оценки изменяющегося вклада влажностного и термического факторов в эффекты сверх – увлажненности и засушливости разработаны градации аномалий сумм температур воздуха и количества осадков. Но если градация аномалий сумм температур воздуха одина для обоих регионов, то градация сумм осадков выполнена раздельно по регионам. Аномалии количественно охарактеризованы процентным отношением к средним многолетним показателям, а их повторяемость на временных периодах оценивалась из анализа распределений частоты попадания аномалий в тот или иной диапазон. Градация аномалий сумм температур воздуха осуществлялась с шагом 10% ниже и выше среднего многолетнего значения, принятого за 100%. Градация аномалий избыточных осадков производилась с шагом 50% в сторону увеличения их сумм относительно средней многолетней суммы. Аномалии, вызванные дефицитом осадков, градуировались с шагом 10% относительно средней многолетней суммы в сторону уменьшения сумм выпавших осадков. Общее количество проанализированных случа-

ев составило 390 (186 случаев для региона избыточного увлажнения и 204 случая для региона неустойчивого увлажнения).

Для региона избыточного увлажнения сравнение вида гистограмм аномалий сумм температур воздуха в июле свидетельствует, что в их распределениях наблюдается сдвиг в сторону увеличения частоты аномалий выше среднего многолетнего значения в период 1981–2017 гг. для северных станций (Петрозаводск, Вытегра, Вологда, Шенкурск, Котлас и Сыктывкар). В регионе неустойчивого увлажнения в этот период отмечается увеличение частоты аномалий выше среднего многолетнего значения в мае–июне для станций, расположенных к востоку от р. Волги (Ершов, Безенчук, Оренбург, Стерлитамак). Что касается аномалий сумм температур воздуха ниже среднего многолетнего значения, то частота их появления в последние десятилетия снизилась в западной части региона избыточного увлажнения в 1.3 раза, а в северной его части в 1.7 раза. Для региона неустойчивого увлажнения частота таких аномалий осталась неизменной, и они попадают в диапазон от 91 до 100% среднего многолетнего значения.

Анализ частоты появления обильных июльских осадков в регионе избыточного увлажнения показал, что частота выпадения их в количестве от 201 до 250% средней многолетней суммы в период 1981–2017 гг. в западной части этого региона возросла более чем в 2 раза по сравнению с периодом 1945–1980 гг. В северной части европейского Нечерноземья, начиная с 2000 г., отмечаются рекордные суммы выпавших за июль осадков в количестве 251–300% и 301–350% средней многолетней величины: Кострома – 201 мм (275%, 2008 г.); Вытегра – 226 мм (298%, 2017 г.); Котлас – 250 мм (347%, 2000 г.)<sup>3</sup>.

В то же время, анализ частоты появления дефицита осадков на протяжении мая – июня в регионе неустойчивого увлажнения показал, что верхний предел их количества, отвечающего выбранным категориям засух, очень тесно соответствует 50-процентной сумме осадков относительно средней многолетней суммы. Для степных районов Среднего Поволжья и юга Урала в период 1981–2017 гг. наблюдается резкое увеличение частоты появления сумм осадков в диапазоне 21–30% среднемноголетнего значения: она возросла в 2–3 раза. Частота же сумм осадков в диапазонах 31–40% и 41–50% среднемноголетней суммы, наоборот, снизилась в 2–3 раза. Для сухой степи в период 1981–2017 гг. фиксируется рекордно скудное количество выпавших осадков в мае – июне по сравнению с периодом 1945–1980 гг.: Ершов – 7 мм (10%, 1948 г.) и 3 мм (4%, 1998 г.); Оренбург – 8 мм (12%, 1975 г.) и 2 мм (3%, 2010 г.).

В отличие от степных районов, для лесостепи (Центральное Черноземье, Среднее Зауралье и прилегающие районы Западной Сибири) в период 1981–2017 гг. характерно отсутствие случаев аномалий осадков в диапазоне 21–30% среднемноголетней суммы, но при наблюдаемом их учащении в диапазонах 31–40% и 41–50% среднемноголетнего количества. То есть, условия в последние десятилетия здесь становятся несколько менее засушливыми, чем в предшествующие десятилетия.

Были опробованы разные варианты подбора градаций путем варьирования шириной диапазонов, но наиболее приемлемые из них для картографирования даны в подписях к приводимым далее рисункам. Преимущество этих градаций состоит в том, что на их основе обеспечивается наибольшая информативность в виде количества изолиний, нанесенных на карты, а также достигается сбалансированность и сопоставимость картографической информации при одновременном отражении агроклиматической контрастности рассматриваемых регионов. Для сглаживания изолиний применялся квадратичный сплайн [12].

<sup>3</sup> Для сравнения: в период 1945–1980 гг. рекордная сумма выпавших за июль осадков отмечалась в западной части европейского Нечерноземья и составила в Смоленске в 1962 г. 190 мм (209% средней многолетней величины).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственный отклик сельскохозяйственных регионов к риску возникновения резкого избытка и недостатка атмосферной влаги для посевов полевых культур в изменяющемся климате иллюстрируют карты (рис. 1–5). Информация, представленная на картах в виде поля изолиний повторяемости лет с такими условиями за два периода, отличающиеся по степени антропогенного влияния на климат, дает возможность проследить региональные особенности смещения границ уязвимых территорий.

На рис. 1 приводится пространственное сравнение повторяемости лет с суммами температур воздуха, составляющими более 110% среднего многолетнего значения в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг. Суммы температур соотнесены значениям ГТК, индицирующим возникновение интенсивного полегания в июле в регионе избыточного увлажнения и появление интенсивных засух в мае–июне в регионе неустойчивого увлажнения.

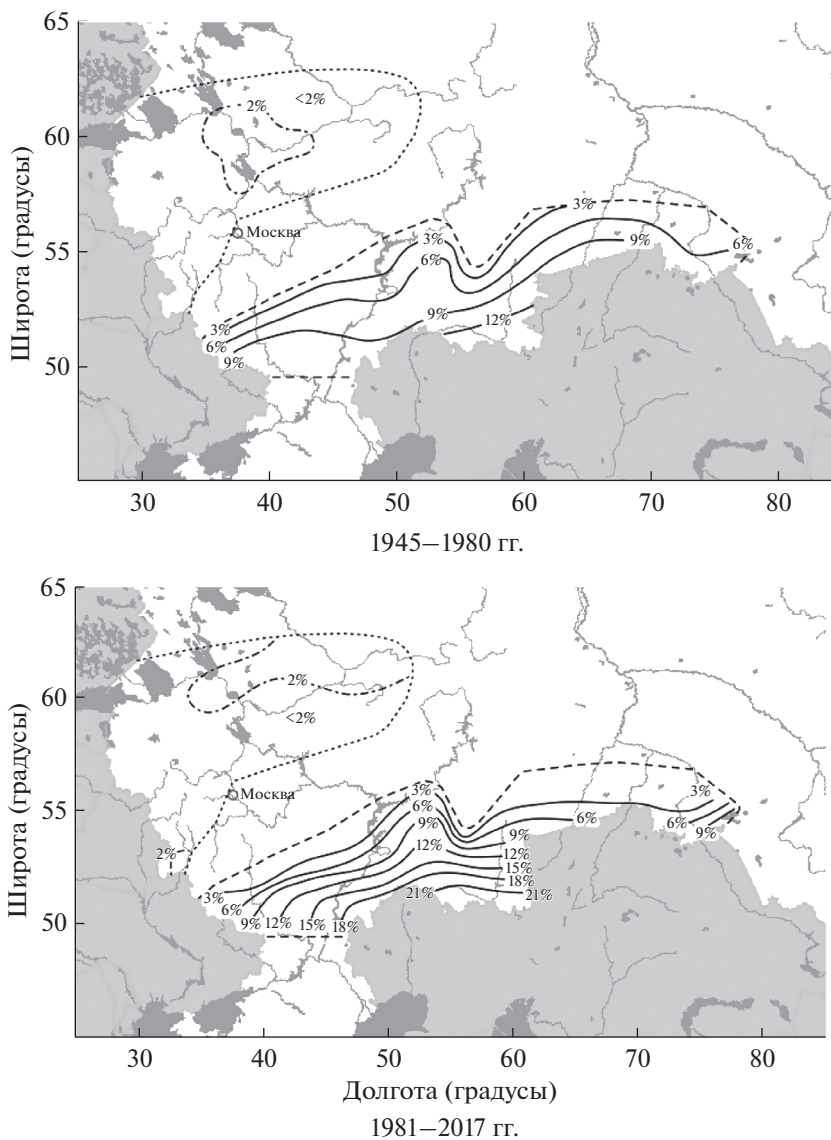
Сравнение повторяемости таких лет на двух периодах в регионе избыточного увлажнения показывает выраженное смещение области с более чем двухпроцентным увеличением их повторяемости к северо-востоку при одновременном расширении этой области в период 1981–2017 гг. То есть, из зоны южной тайги она смещается в зону суб-бореальной тайги (подтайги). Также выявляется очень небольшая по площади область с более чем двухпроцентным увеличением повторяемости лет и в самой южной части европейского Нечерноземья – в ареале распространения хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. Для региона неустойчивого увлажнения в этот же период обнаруживается смещение области, оконтуренной изолиниями 9% и 12% повторяемости лет с суммами температур воздуха в мае–июне более 110% среднего многолетнего значения, по направлению к северу из сухостепной зоны в степную зону. Такое смещение особенно выражено для Заволжья и юга Урала с добавлением изолиний 15, 18 и 21% повторяемости таких лет. То есть, частота лет с повышенным термическим фоном при формировании интенсивных засух в последние десятилетия возросла здесь от 1.5 до 2 раз.

На рис. 2 изображена повторяемость лет с июльскими осадками от 151 до 250% средней многолетней суммы ( $2.5 \leq ГТК_{VII} \leq 3.5$ ) и осадками за май–июнь от 26 до 50% средней многолетней суммы ( $0.20 \leq ГТК_{V-I} \leq 0.39$ ) в периоды 1945–1980 и 1981–2017 гг. Такое количество осадков приводит к эффектам сильного полегания в регионе избыточного увлажнения и появлению сильной засухи в регионе неустойчивого увлажнения.

Внутри региона избыточного увлажнения в распределении повторяемости лет с июльскими осадками от 151 до 250% средней многолетней их суммы в период 1945–1980 гг. прослеживается большая увлажненность западных районов по сравнению с восточными. Наиболее высокий процент лет с такими осадками отмечается для юго-западных областей европейского Нечерноземья. Но в период 1981–2017 гг. обнаруживается значительное смещение области с 15% и 18% повторяемостью лет с таким количеством осадков к северо-востоку и эта область приобретает замкнутость.

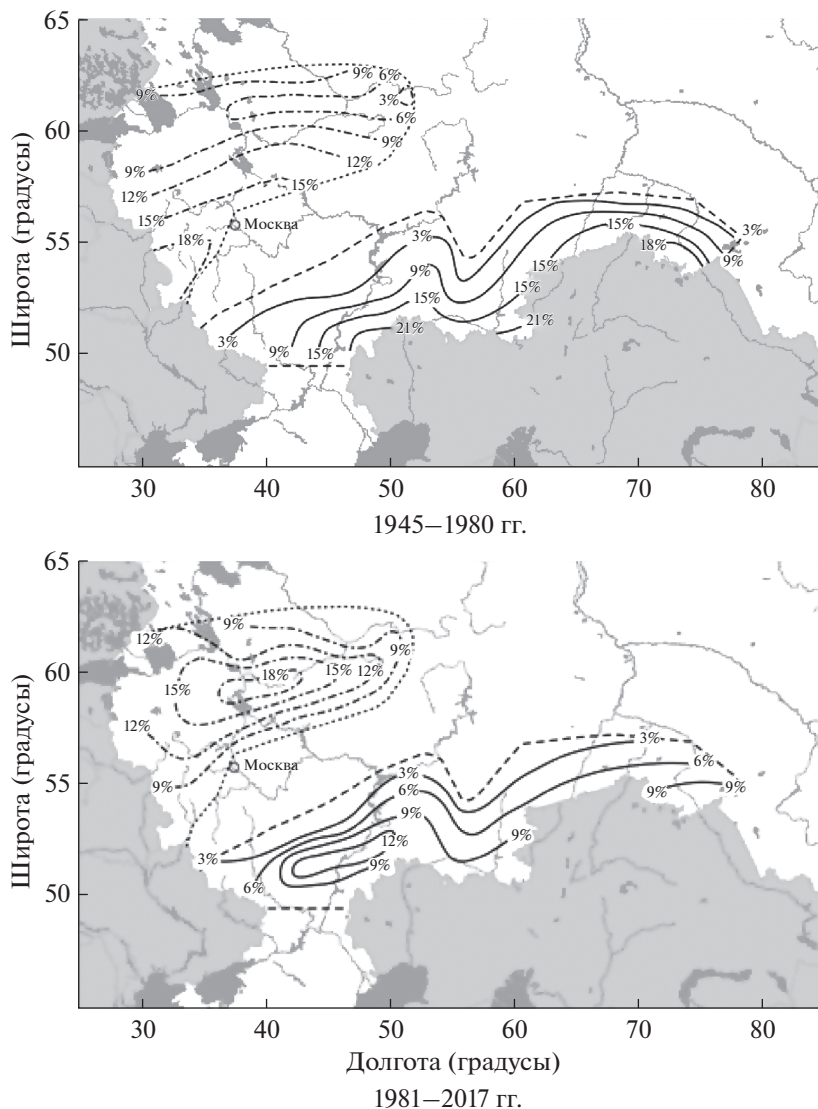
Для региона неустойчивого увлажнения в ходе изолиний повторяемости лет с осадками за май – июнь от четверти до половины средней многолетней суммы в период 194–1980 гг. прослеживается рост засушливости территорий по направлению к границе с Казахстаном. Конфигурация изолиний в период 1981–2017 гг., напротив, показывает, что повторяемость лет с такими осадками в степных и сухостепных районах Заволжья и Южного Урала сократилась в последние десятилетия в 1.5–2 раза, имея некоторое смещение 12% повторяемости лет в степное Приволжье.

Рисунок 3 иллюстрирует повторяемость лет с июльскими осадками более 250% средней многолетней суммы ( $3.5 < ГТК_{VII} \leq 4.5$  и выше) и осадками за май–июнь менее 26% средней многолетней суммы ( $ГТК_{V-I} \leq 0.19$ ) в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг.



**Рис. 1.** Повторяемость лет (%) с суммами температур воздуха, составляющими более 110% среднего многолетнего значения при возникновении сильного и очень сильного полегания в июле в регионе избыточного увлажнения ( $HTK_{VII} \geq 2.5$ ) и появлении сильной и очень сильной засухи в мае–июне в регионе неустойчивого увлажнения ( $HTK_{V-VI} \leq 0.39$ ) (точечная линия – граница региона избыточного увлажнения; пунктирная линия – граница региона неустойчивого увлажнения).

**Fig. 1.** The recurrence of years (%) with accumulated air temperatures greater than 110% of the mean annual value in July in the event of a strong and very strong lodging in the Humid region ( $HTC_{VII} \geq 2.5$ ) and greater than 110% of the mean annual value in May–June in the occurrence of a severe and very severe drought in the Semi-arid region ( $HTC_{V-VI} \leq 0.39$ ) (the pointed line is the boundary of the Humid region; the dotted line is the boundary of the Semi-arid region).

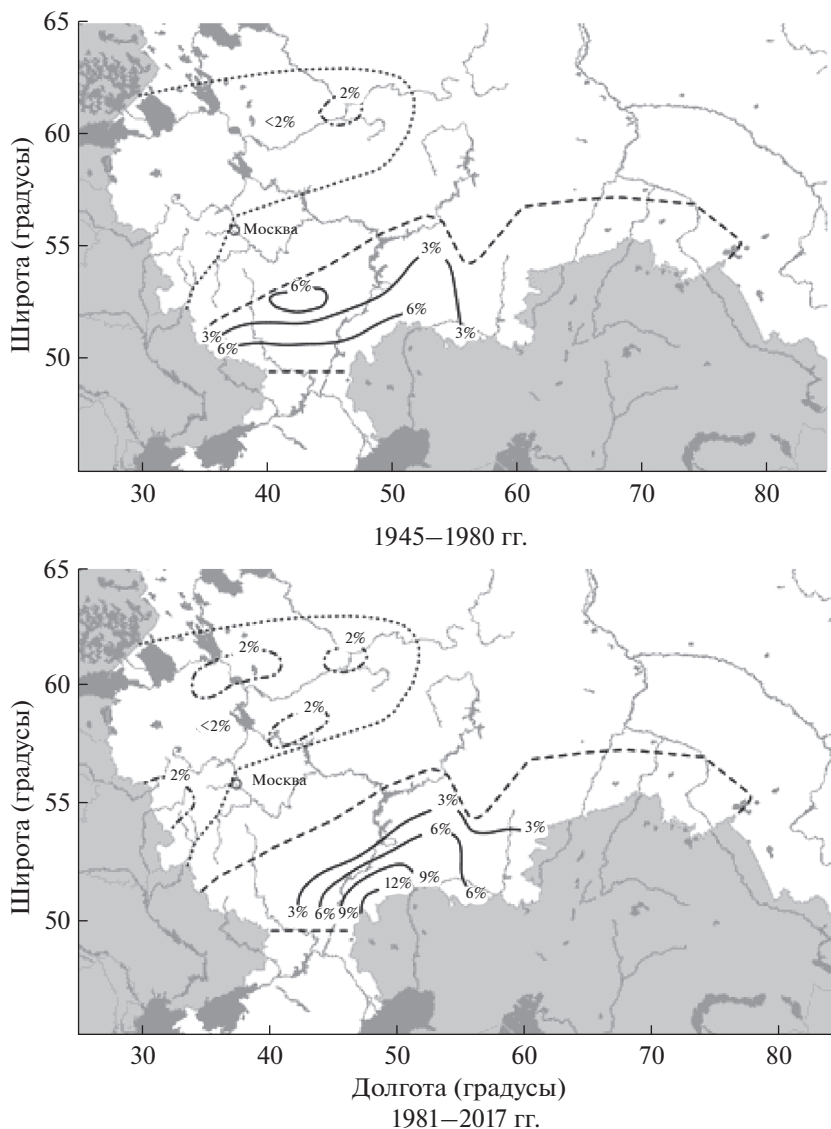


**Рис. 2.** Повторяемость лет (%) с июльскими осадками от 151 до 250% средней многолетней суммы в регионе избыточного увлажнения и осадками за май–июнь от 26 до 50% средней многолетней суммы в регионе неустойчивого увлажнения в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг. (пояснения обозначений см. на рис. 1).

**Fig. 2.** The recurrence of years (%) with July precipitation amounts from 151 to 250% of the mean annual value in July within Humid region and with May–June precipitation amounts from 26 to 50% of the mean annual value in May–June within Semiarid region for the periods 1945–1980 and 1981–2017 (for explanations of designations, see fig. 1).

Такие осадки вызывают очень сильное полегание посевов в регионе избыточного увлажнения и появление очень сильной засухи в регионе неустойчивого увлажнения.

В регионе избыточного увлажнения в период 1945–1980 гг. более чем 2% повторяемость лет с июльскими осадками, превышающими 250% средней многолетней суммы, отмечается только для небольшой области на водоразделах рек Северная Двина, Сухо-



**Рис. 3.** Повторяемость лет (%) с июльскими осадками более 250% средней многолетней суммы в регионе избыточного увлажнения и осадками за май–июнь менее 26% средней многолетней суммы в регионе неустойчивого увлажнения в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг. (пояснения обозначений см. на рис. 1).

**Fig. 3.** The recurrence of years (%) with July precipitation amounts more than 250% of the mean annual value in July within Humid region and with May–June precipitation amounts less than 26% of the mean annual value in May–June within Semiarid region for the periods 1945–1980 and 1981–2017 (for explanations of designations, see fig. 1).

на и Юг. В период 1981–2017 гг. выявляются четыре такие области. Три из них локализируются в северной части европейского Нечерноземья и одна в южной его части.

Для региона неустойчивого увлажнения в период 1981–2017 гг. характерно существенное смещение поля изолиний повторяемости лет с осадками в мае–июне менее



26% средней многолетней суммы к востоку по сравнению с его расположением в период 1945–1980 гг. В этот же период выявляется область, где повторяемость лет с резким дефицитом осадков превышает 9% лет, и она локализуется в сухостепной зоне Заволжья. Внутри этой области повторяемость лет с резким дефицитом осадков возросла в 1.5–2 раза по сравнению с повторяемостью в первый период.

Рисунок 4 отображает изменение совокупного вклада влажностного и термического факторов в распределение повторяемости лет со значениями  $2.5 \leq ГТК_{VII} \leq 3.5$ , характеризующими частоту возникновения сильного полегания в регионе избыточного увлажнения, и со значениями  $0.20 \leq ГТК_{V-VI} \leq 0.39$ , характеризующими частоту появления сильной засухи в регионе неустойчивого увлажнения.

Отмечается определенное сходство в конфигурации изолиний на рис. 4 с их конфигурацией на рис. 2, поскольку ГТК является комплексным показателем влагообеспеченности культур. Однако вклад термического фактора обуславливает внутри-региональные различия в распределении полей изолиний. Во второй период для европейского Нечерноземья это выражается в значительном увеличении повторяемости лет с эффектами переувлажнения посевов в северо-восточной его части, которая полностью расположена в суббореальной зоне. Для региона неустойчивого увлажнения характерны более редкая повторяемость засух такой интенсивности в сухостепном Заволжье и одновременное ее учащение на востоке Оренбуржья.

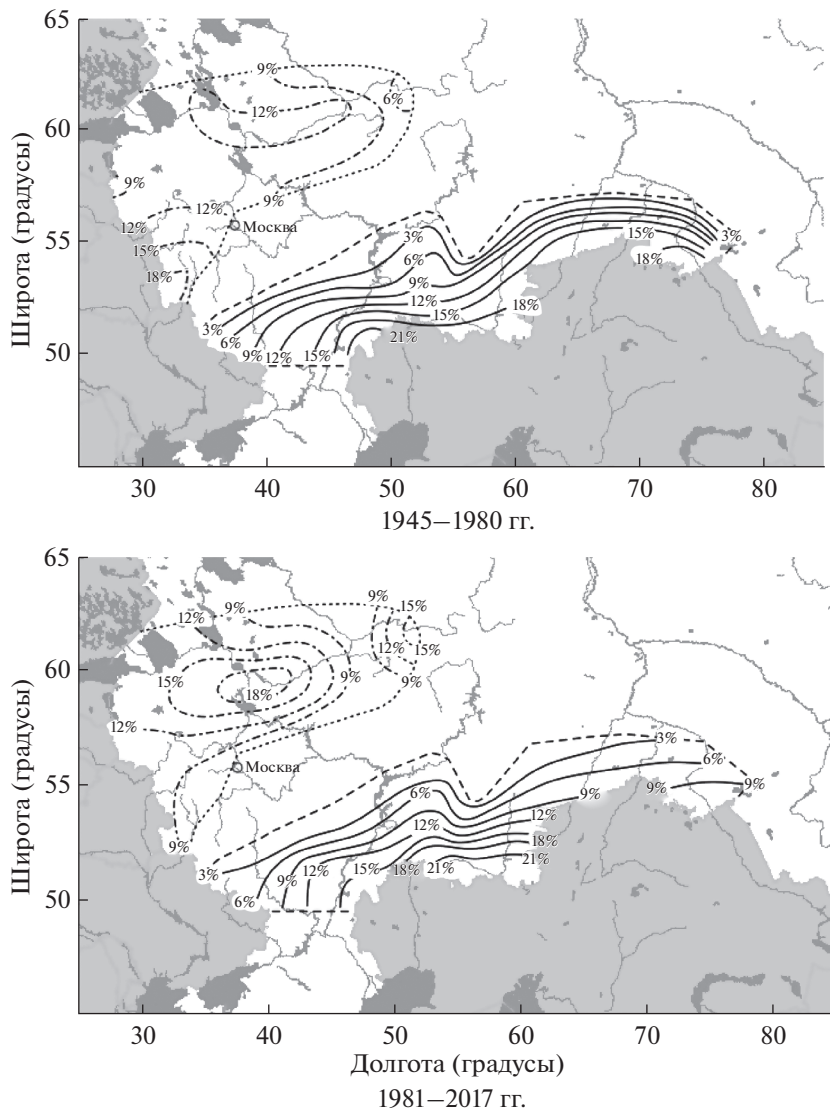
Рисунок 5 демонстрирует пространственный сдвиг уязвимых сельскохозяйственных территорий посредством сравнения повторяемости лет с лежащими в маргинальных диапазонах значениями ГТК, которые индицируют возникновение очень сильного полегания в регионе избыточного увлажнения и появление очень сильной засухи в регионе неустойчивого увлажнения в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг.

Для региона избыточного увлажнения прослеживается расширяющийся охват сельскохозяйственных территорий эффектами очень резкого переувлажнения – что следует из сравнения конфигурации областей, оконтуренных изолиниями 3% и 6% повторяемости лет на двух периодах. В период 1945–1980 гг. подверженной таким эффектам оказывается только западная часть европейского Нечерноземья, тогда как в период 1981–2017 гг. к уязвимым территориям добавляются регионы, расположенные севернее  $58^\circ$  с.ш. Недостаточное же сходство поля изолиний повторяемости лет с указанными значениями ГТК с полем изолиний повторяемости лет с июльскими осадками более 250% средней многолетней суммы (см. рис. 3) объясняется вкладом как повышенных, так и пониженных сумм температур в величину значений ГТК.

В пределах региона неустойчивого увлажнения повторяемость лет со значениями  $ГТК_{V-VI} \leq 0.19$  (индицируют появление очень сильной засухи) в последние десятилетия резко возросла в сухостепной зоне Заволжья и прилегающих районах юга Самарской области. Здесь она составила от 9 до 12% лет – т.е. увеличилась по сравнению с повторяемостью лет в предшествующие десятилетия в 2 раза. Но если ход изолиний в период 1945–1980 гг. носит широтный характер, то изолинии в период 1981–2017 гг. приобретают вытянутую по направлению с юга на север форму и концентрируются между меридианами  $43^\circ$  и  $56^\circ$  в.д.

## ВЫВОДЫ

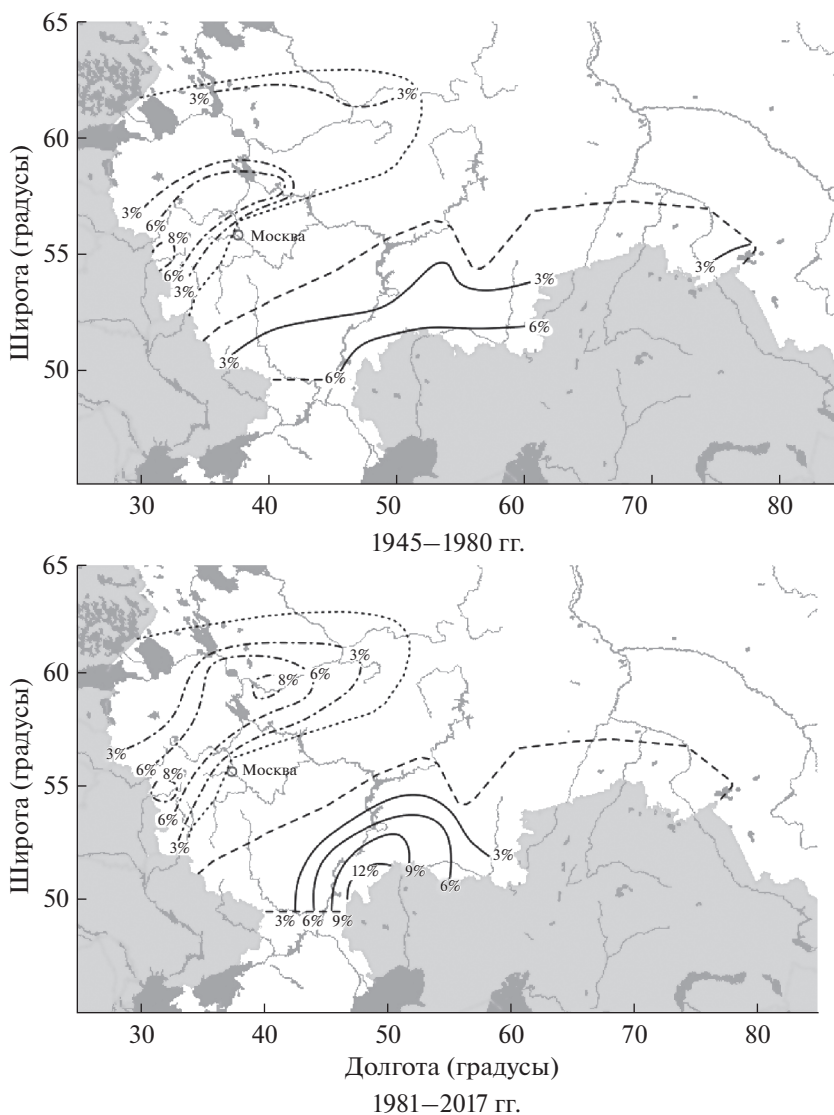
Сравнение карт позволяет проследить пространственный сдвиг границ уязвимых территорий внутри рассматриваемых регионов. Для того чтобы объяснить такой сдвиг с климатологической точки зрения, следует отталкиваться как от анализа крупномасштабных циркуляционных механизмов, так и физических процессов в приземном слое атмосферы, которые приводят к эффектам резкого переувлажнения и засушливости, но с учетом региональных изменений термических условий и особенностей подстилающей поверхности.



**Рис. 4.** Повторяемость лет (%) со значениями  $2.5 \leq ГТК_{VII} \leq 3.5$  в регионе избыточного увлажнения и со значениями  $0.20 \leq ГТК_{V-VI} \leq 0.39$  в регионе неустойчивого увлажнения в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг. (пояснения обозначений см. на рис. 1).

**Fig. 4.** The recurrence of years (%) with values of  $2.5 \leq НТС_{VII} \leq 3.5$  in the Humid region and with values of  $0.20 \leq НТС_{V-VI} \leq 0.39$  in the Semiarid region at the periods of 1945–1980 and 1981–2017 (for explanations of designations, see fig. 1).

Количество осадков, выпадающих в теплые месяцы, включая июль, в регионе избыточного увлажнения во многом определяют воздушные массы океанического происхождения [15, 17]. Например, в [22] показано, что выпадение избыточных июльских осадков, особенно в западной части европейского Нечерноземья, сопряжено с “пове-



**Рис. 5.** Повторяемость лет (%) со значениями  $3.5 < ГТК_{VII} \leq 4.5$  и выше в регионе избыточного увлажнения и значениями  $ГТК_{VII} \leq 0.19$  в регионе неустойчивого увлажнения в периоды 1945–1980 гг. и 1981–2017 гг. (пояснения обозначений см. на рис. 1).

**Fig. 5.** The recurrence of years (%) with values of  $3.5 < НТС_{VII} \leq 4.5$  in the Humid region and with values of  $НТС_{VII} \leq 0.19$  in the Semiarid region at the periods of 1945–1980 and 1981–2017 (for explanations of designations, see Fig. 1).

дением” такой моды климатической изменчивости, как Восточно-Атлантическое колебание. С конца 1990-х гг. индексы этой моды для июля положительны, отражая усиление циклонической активности, что в свою очередь, сопровождается выпадением обильных осадков даже в районах, удаленных вглубь континента. Обычно такие осад-

ки выпадают в виде обложных дождей и вызывают понижение температуры воздуха вследствие пасмурной погоды.

В то же время, проведенное сравнение динамики 7-летних скользящих средних значений в многолетнем ходе июльских температур показывает, что термические условия июля северных метеостанций с конца 1990-х гг. приближаются к термическим условиям июля на более южных метеостанциях в более ранние десятилетия. То есть, выявляется широтный сдвиг ресурсов теплообеспеченности в сторону их роста. Поскольку в регионе избыточного увлажнения доля территорий с переувлажненными почвами и заболоченными землями возрастает по направлению с юго-запада на северо-восток, увеличение повторяемости высоких июльских температур приводит к увеличению испарения с больших площадей с последующим образованием конвективной облачности и выпадением осадков ливневого характера.

Таким образом, учащение обильных осадков и появление их сверх-обильного количества в северной части европейского Нечерноземья может быть объяснено не только усиливающимися инвазиями насыщенных влагой воздушных масс, но и возрастающей ролью конвекционных процессов в осадкообразовании [38].

Как известно, происхождение и характер распространения засух различны [4, 16]. Длительный опыт изучения динамики засух свидетельствует, что “суровость” засухи и площадь ее охвата обусловлены особенностями атмосферной циркуляции, а также термического режима, и в изменяющемся климате это проявляется в сложной картине взаимодействия региональных циркуляционных режимов и процессов блокирования [9, 11, 14, 24, 28]. В частности, в [11, 16] установлено, что в формирование засух на юго-востоке Европейской России вклад арктических антициклонов меридиональной направленности возрастает по сравнению с зональным переносом под влиянием Азорского антициклона.

Отметим, что в ходе изолиний на рисунках, помещенных в данном исследовании, прослеживается согласование с таким выводом. Из сопоставления картографических оценок также следует, что частота появления интенсивных засух на фоне повышенных температур воздуха в степных и сухостепных районах Заволжья и южного Предуралья в последние десятилетия возросла почти вдвое. При этом повторяемость лет с осадками мая–июня от четверти до половины средней многолетней суммы здесь снизилась в полтора–два раза, но повторяемость осадков менее четверти средней многолетней суммы, наоборот, возросла в подобное число раз. То есть, засуха из категории сильной “трансформировалась” в категорию очень сильной засухи.

С позиций физической климатологии это объяснимо тем, что степень иссушения поступающих с севера сухих воздушных масс в условиях повышенного термического фона усиливается. Поэтому, достигая степных пространств, разогретый воздух уже становится очень сухим. На рис. 3 это отображается в сдвиге границы области с 6% повторяемостью лет с осадками мая–июня менее четверти средней многолетней суммы в северном направлении: из сухостепной зоны в степную зону.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что, наряду с региональными особенностями атмосферной циркуляции, термический фактор вносит все более весомый вклад не только в усиление переувлажнения и засушливости, но и определяет характер сдвига границ уязвимых территорий. В интегрированном виде это наиболее наглядно отображается в конфигурации полей изолиний повторяемости лет со значениями ГТК, лежащими в маргинальных диапазонах (см. рис. 5).

Нужно подчеркнуть, что почвенный фактор также играет немаловажную роль в преломлении эффектов атмосферного переувлажнения и атмосферной засухи через состояние посевов. Черноземы степи и каштановые почвы содержат мало влаги, и выпавшие в сухие годы скудные осадки быстро впитываются в поверхностный слой почвы. Но этой влаги оказывается недостаточно для растений, и они продолжают находиться в угнетенном состоянии или гибнут. Подзолистые почвы южной тайги и суббо-

реальной тайги (подтайги), наоборот, обладают высоким влагосодержанием при широком распространении суглинистых и тяжелосуглинистых почв. В таких почвах с затрудненной водопроницаемостью выпавшая обильная влага скапливается в верхних слоях почвы, приводя к ее разжиженному состоянию (при одновременном утяжелении стебля). Это вызывает корнево-стеблевое полегание посевов с последующим поражением их тлями [21, 37].

Как отмечалось во введении, по среднемноголетнему количеству получаемых осадков в выбранные периоды вегетации оба региона имеют сходство. Для краевых областей исследуемых регионов (суббореальная тайга и сухая степь) величина таких осадков почти эквивалентна, составляя 68–74 мм. Однако, если сравнивать в них верхний и нижний экстремумы, то размах вариации в количестве осадков в период 1981–2017 гг. оказывается больше, чем в период 1945–1980 гг. Нарастание контрастности резко отличающихся по условиям увлажнения регионов в изменяющемся климате также отображается в сопоставимости площадей уязвимых территорий, ограниченных изолиниями близких по величине процентов повторяемости лет.

Поэтому в заключение отметим, что понятие “рискованное земледелие”, которое, как правило, применяется к регионам с неустойчивым режимом увлажнения, где концентрируются посевы хлебных культур, в современных условиях приобретает значительно более широкий смысл. Результаты выполненного исследования показывают, что в такой же мере к регионам рискованного земледелия относятся территории, подверженные резкому избытку атмосферной влаги. Отрицательное воздействие переувлажнения на посевы приводит к значительным потерям не только в объемах произведенной растениеводческой продукции, но и в ее качестве, что наносит совокупный ущерб кормовой базе животноводства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы природных зон СССР и их использование / Под ред. акад. Ф.Ф. Давитая Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 160 с.
2. Агроклиматические ресурсы Архангельской, Белгородской, Брянской, Вологодской, Воронежской, Калининской, Кировской, Костромской, Куйбышевской, Курганской, Курской, Ленинградской, Липецкой, Новгородской, Новосибирской, Омской, Оренбургской, Пензенской, Псковской, Саратовской, Смоленской, Тамбовской, Ульяновской, Челябинской и Ярославской областей; Карельской АССР, Коми АССР, Башкирской АССР, Татарской АССР и Чувашской АССР (справочники) Л.: Гидрометеоиздат, 1968–1977.
3. Агроклиматический атлас мира / Под ред. И.А. Гольцберг. М.: ГУГК; Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 143 с.
4. *Алпатьев А.М., Иванова В.М.* Характеристика и географическое распространение засух // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. Л.: Гидрометеоиздат, 1958. С. 31–45.
5. Атлас сельского хозяйства СССР. М.: ГУГК, 1960. 309 с.
6. Биоклиматический потенциал России: методы мониторинга в условиях изменяющегося климата / Под ред. А.В. Гордеева. М.: Изд. РАСХН, 2007. Гл. 1. Разд. 1.2. С. 35–57.
7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 58 с.
8. Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 г. М.: Росгидромет, 2019. С. 10–14, 18–20.
9. *Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Черенкова Е.А.* Динамика засух в европейской России в ситуации глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 21. 2007. С. 160–182.
10. *Катицов В.М., Школьник И.М., Ефимов С.В.* Перспективные оценки изменений климата в российских регионах: детализация в физических и вероятностных пространствах // Метеорология и гидрология. 2017. № 6. С. 68–81.
11. *Кононова Н.К.* Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М.: Воентехиздат, 2009. 372 с.
12. *Константинов А.Р., Химин Н.М.* Применение сплайнов и методов остаточных отклонений в гидрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 184 с.
13. Ландшафтная карта СССР / Под ред. А.Г. Исаченко. М.: ГУГК, 1988. 4 л.

14. *Мохов И.И., Семенов В.А.* Погодно – климатические аномалии в российских регионах в связи с глобальными изменениями климата. // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 2. С. 16–28.
15. *Муравьев А.В., Куликова И.А.* Взаимосвязь суммарных осадков над Евразией с центрами действия атмосферы Северного полушария и главными модами изменчивости температуры поверхности Северной Атлантики // *Метеорология и гидрология*. 2011. № 5. С. 5–16.
16. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: проявление засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидации последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)”. Т.3. Эдельгериев Р.С.Х., Иванов А.Л., Донник И.М., Багиров В.А. и др. М: Изд–во Почвенного института им. В.В. Докучаева, 2021. 700 с. <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>
17. *Нестеров Е.С.* О восточно-атлантическом колебании атмосферы // *Метеорология и гидрология*. 2009. № 12. С. 32–40.
18. *Николаев М.В.* Современный климат и изменчивость урожаев // Раздел 3.5. Засухи и динамика неурожаев. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. С. 86–100.
19. *Николаев М.В.* Изменения глобального термического режима и изменчивость урожаев хлебных культур // *Известия Русского географического общества*. 1994. Т. 126. вып. 5. С. 11–20.
20. *Николаев М.В.* Оценка изменяющегося вклада влажностного и термического факторов в засушливость территорий Европейской части России и Западной Сибири // *Агрофизика*. 2016. № 4. С. 24–34.
21. *Николаев М.В.* Оценка изменяющегося вклада обильных осадков в рискованность земледелия в Нечерноземье Европейской России // *Известия Русского географического общества*. 2018. Т. 150. вып.6. С. 1–14. <https://doi.org/10.1134/S0869607118060010>
22. *Николаев М.В.* Влияние климатических изменений на продуктивность мелиорируемых земель // *Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием “Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки”*, Санкт- Петербург, 1–2 октября 2020 г. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2020. С. 478–483.
23. *Николаев М.В.* Уязвимость полевых культур к переувлажнению в условиях изменений климата в Нечерноземье Европейской России и варианты адаптации // *Известия Русского географического общества*. 2021. Т. 153. № 4. С. 47–67. <https://doi.org/10.31857/S0869607121040030>
24. *Обухов А.М., Курганская М.В., Татарская М.С.* Динамика условий возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий // *Метеорология и гидрология*. 1984. № 10. С. 5–14.
25. *Природно–сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР (карта)*. М.: ГУГК, 1984.
26. *Селянинов Г.Т.* Специализация сельскохозяйственных районов по климатическому признаку // *Растениеводство СССР*. Т. 1. М.: Сельхозгиз, 1933. С. 1–15.
27. *Селянинов Г.Т.* Принципы агроклиматического районирования СССР // *Вопросы агроклиматического районирования СССР*. М.: Изд -во МСХ СССР, 1958. С. 7–14.
28. *Черенкова Е.А., Семенова И.Г., Кононова Н.К., Титкова Т.Б.* Засухи и динамика синоптических процессов на юге Восточно – Европейской равнины в начале XXI века // *Известия РАН. Сер. геогр.* 2014. № 5. С. 1–21.
29. *Шашко Д.И.* Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 247 с.
30. *Швер Ц.А.* Атмосферные осадки на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 300 с.
31. *Climate Change 2014 Synthesis Report / Ed. by The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer.* WMO: Geneva, 2014. 132 p.
32. *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment /Ed. by J. Sillman, S. Sippel and S. Russo.* Elsevier, 2020. 355 p.
33. *Eitzinger J., Utset A., Trnka M., Zalud Z., Nikolaev M., and Uskov I.* Weather and Climate and Optimization of Farm Technologies at Different Input Levels // *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture/Sivakumar M. V. K. and Motha R. (eds.)*. Springer, 2007. P. 141–170.
34. *Eitzinger J., et all.* Vulnerability and Adaptation Options of European Agriculture // *Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in Southeastern Europe / V.Alexandrov, M.F.Gajdusek, C.G.Knight, A.Yotova (eds.)*. Springer, 2010. P. 139–161.
35. *Eitzinger J., et all.* Adaptation Options to Climate Change Impacts in European Agriculture // *Climate Change Adaptation: Ecology, Mitigation and Management /Adam L. Jenkins (Ed.)*. Nova Science Publishers, 2011. P. 151–162.
36. *Nikolaev M.V.* Impact of Climate Change on Agriculture in North-West Russia and Adaptation Options // *Advances in Environmental Modeling and Measurements*. Chapter 20. / D.T.Mihailovic, B.Lalic (eds.). Nova Science Publishers, 2010. P. 223–231.
37. *Nikolaev M.V.* Integrated Assessment of Change in Contribution of Excessive Moisture to Farming Risks in the Humid Zone of Western Russia // *Meteorology, Hydrology and Water Management*.

2020. V. 8. issue 1. P. 46–53.  
<https://doi.org/10.26491/mhwm/111>

38. *Nikolaev M.V.* Assessment of Crop Farming Vulnerability to Over - Wetting Effects under Climate Change in the Humid Zone of Western Russia // Book of Abstracts of the 13th International Conference on Agrophysics "Agriculture in Changing Climate", 15–16 November 2021, Lublin, Poland. 2021. P. 69.

## Response of Risk Farming to Anomalous Weather-Climatic Situations Under Changing Climate

**M. V. Nikolaev\***

*Agrophysical Research Institute, St Petersburg, Russia*

*\*E-mail: clenrusa@mail.ru*

In this paper as the risk farming zones in a changing climate, the regions that are contrasting in terms of the provision of crops with atmospheric moisture are considered, taking into account their crop production specialization. These include the Humid region (western and northern parts of the European Non-Chernozem Region) and the Semiarid region (the East of the European territory of Russia with adjacent areas of the Western Siberia). The study focuses on assessing the recurrence of anomalous weather-climatic situations leading to crop losses in two periods that differ in the degree of anthropogenic influence on climate: 1945–1980 and 1981–2017 years. To indicate climate – related farming risks, the ranges of the G.T. Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC) values are used, corresponding to the strong crop overwetting effects and severe droughts. On their basis, the gradations of anomalies in the accumulated air temperatures as well as anomalies in the precipitation totals are developed. Then, the frequency of anomalies of various magnitude on the indicated periods is evaluated. The spatial assessment of the risks associated with the excess and deficit of moisture in the segments of the field crops growing season is displayed in the form of maps of the recurrence of years with anomalies in humidity and thermal conditions as well as with anomalies of integrated indicators such as HTC values. The presented information makes it possible to visually trace the features of shifting the boundaries of vulnerable areas within zones in a changing climate. The reasons for such a shift are discussed from climatological positions. It is shown that, along with the features of atmospheric circulation, the thermal factor in combination with the the underlying surface factor makes an increasingly significant contribution to the intensifying overwetting and dryness. An important role in the excessive moisture and drought effects on state of crops also belongs to the soil texture, which determines the degree of atmospheric moisture penetration into the soil layers. It is noted that in a changing climate, there is an evidence in increase in the extremeness of weather-climatic situations in terms of the moisture supply of crops with a simultaneous increase in the contrast of the regions under consideration.

*Keywords:* changing climate, Humid and Semiarid regions, climate-related farming risks, mapping of vulnerable areas

## REFERENCES

1. *Agroklimaticheskie resursy prirodnih zon SSSR i ih ispol'zovanie / Pod red. akad. F.F. Davitaya L.: Gidrometeoizdat, 1970. 160 s.*
2. *Agroklimaticheskie resursy Arxangel'skoj, Belgorodskoj, Bryanskoj, Vologodskoj, Voronezhskoj, Kalininskoj, Kirovskoj, Kostromskoj, Kujbyshevskoj, Kurganskoj, Kurskoj, Leningradskoj, Lipeckzkoj, Novgorodskoj, Novosibirskoj, Omskoj, Orenburgskoj, Penzenskoj, Pskovskoj, Saratovskoj, Smolenskoj, Tambovskoj, Ul'yanovskoj, Chelyabinskoj i Yaroslavskoj oblastej; Karel'skoj ASSR, Komi ASSR, Bashkirskoj ASSR, Tatarskoj ASSR i Chuvashskoj ASSR (spravochniki) L.: Gidrometeoizdat, 1968–1977.*
3. *Agroklimaticheskij atlas mira / Pod red. I.A. Gol'czberg. M.: GUGK; L.: Gidrometeoizdat, 1972. 143 s.*
4. *Alpat'ev A.M., Ivanova V.M. Charakteristika i geograficheskoe rasprostranenie zasux // Zasuhi v SSSR, ix proisxozhdenie, poyavtoryaemost' i vliyanie na urozhaj. L.: Gidrometeoizdat, 1958. S. 31–45.*
5. *Atlas sel'skogo xozyajstva SSSR. M.: GUGK, 1960. 309 s.*

6. Bioklimaticheskij potencial Rossii: metody monitoringa v usloviyah izmenyayushhegosya klimata / Pod.red.A.V. Gordeeva. M.: Izd.RASXN, 2007. Gl. I. Razd. 1.2. S. 35–57.
7. Vtoroj ocenочnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezyume. M.: Rosgidromet, 2014. 58 s.
8. Doklad Rosgidrometa ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2018 g. M.: Rosgidromet, 2019. S. 10–14, 18–20.
9. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Cherenkova E.A. Dinamika zasuh v evropejskoj Rossii v situacii global'nogo potepeniya // Problemy` e`kologicheskogo monitoringa i modelirovaniya e`k-sistem. T. 21. 2007. S.160–182.
10. Katczov V.M., Shkol'nik I.M., Efimov S.V. Perspektivnye ocenki izmenenij klimata v rossijskih re-gionah: detalizaciya v fizicheskikh i veroyatnostny`h prostranstvah // Meteorologiya i gidrologiya. 2017. № 6. S. 68–81.
11. Kononova N.K. Klassifikaciya cirkulyacionnyh mehanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzer-dzeevskomu. M.: Voentehizdat, 2009. 372 s.
12. Konstantinov A.R., Himin N.M. Primenenie splajnov i metodov ostatочnyh otklonenij v gidro-meteorologii. L.: Gidrometeoizdat, 1983. 184 s.
13. Landsaftnaya karta SSSR / Pod red. A.G. Isachenko. M.: GUGK, 1988. 4 l.
14. Mohov I.I., Semenov V.A. Pogodno – klimaticheskie anomalii v rossijskih regionah v svyazi s glob-al'nymi izmeneniyami klimata. // Meteorologiya i gidrologiya. 2016. № 2. S. 16–28.
15. Murav'ev A.V., Kulikova I.A. Vzaimosvyaz' summarnyh osadkov nad Evraziej s centrami dejstviya atmosfery Severnogo polushariya i glavnymi modami izmenchivosti temperatury poverhnosti Severnoj Atlantiki // Meteorologiya i gidrologiya. 2011. № 5. S. 5–16.
16. Nacional'nyj doklad "Global'nyj klimat i pochvennyj pokrov Rossii: proyavlenie zasuhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidacii posledstvij i adaptacionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe hozyajstvo)". T. 3. Edel'geriev R.S.H., Ivanov A.L., Donnik I.M., Bagirov V.A. i dr. M.: Izd-vo Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva, 2021. 700 s. <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>
17. Nesterov E.S. O vostochno-atlanticheskom kolebanii atmosfery // Meteorologiya i gidrologiya. 2009. № 12. S. 32–40.
18. Nikolaev M.V. Sovremennyy klimat i izmenchivost' urozhav // Razdel 3.5. Zasuhi i dinamika neu-rozhav. SPb.: Gidrometeoizdat, 1994. S. 86–100.
19. Nikolaev M.V. Izmeneniya global'nogo termicheskogo rezhima i izmenchivost' urozhav hlebnyh kul'tur // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshhestva. 1994. T. 126, vyp. 5. S. 11–20.
20. Nikolaev M.V. Ocenka izmenyayushhegosya vklada vlazhnostnogo i termicheskogo faktorov v za-sushlivost' territorij Evropejskoj chasti Rossii i Zapadnoj Sibiri // Agrofizika. 2016. № 4. S. 24–34.
21. Nikolaev M.V. Ocenka izmenyayushhegosya vklada obil'nyh osadkov v riskovannost' zemledeliya v Nechernozem'e Evropejskoj Rossii // Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2018. T. 150. vyp.6. S.1–14. <https://doi.org/10.1134/S0869607118060010>
22. Nikolaev M.V. Vliyanie klimaticheskikh izmenenij na produktivnost' melioriruemym zemel' // Ma-terialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Vklad agrofiziki v resh-enie fundamental'nyh zadach sel'skohozyajstvennoj nauki", Sankt- Peterburg, 1–2 oktyabrya 2020 g. SPb.: FGBNU AFI, 2020. S. 478–483.
23. Nikolaev M.V. Uyazvimost' polevyh kul'tur k pereuvlazhneniyu v usloviyah izmenenij klimata v Nechernozem'e Evropejskoj Rossii i varianty adaptacii // Izvestiya Russkogo geograficheskogo ob-shhestva. 2021. T. 153. № 4. S. 47–67. <https://doi.org/10.31857/S0869607121040030>
24. Obuhov A.M., Kurganskaya M.V., Tatarskaya M.S. Dinamika uslovij vozniknoveniya zasuh i dru-gih krupnomasshtabnyh pogodnyh anomalij // Meteorologiya i gidrologiya. 1984. № 10. S. 5–14.
25. Prirodno–sel'skohozyajstvennoe rajonirovanie zemel'nogo fonda SSSR (karta). M.: GUGK, 1984.
26. Selyaninov G.T. Specializaciya sel'skohozyajstvennyh rajonov po klimaticheskomu priznaku // Rastenievodstvo SSSR. T. 1. M.: Sel'hozgid, 1933. S. 1–15.
27. Selyaninov G.T. Principy agroklimaticheskogo rajonirovaniya SSSR // Voprosy agroklimatichesk-ogo rajonirovaniya SSSR. M.: Izd -vo MSH SSSR, 1958. S. 7–14.
28. Cherenkova E.A., Semanova I.G., Kononova N.K., Titkova T.B. Zasuhi i dinamika sinopticheskikh processov na yuge Vostochno–Evropejskoj ravniny v nachale XXI veka // Izvestiya RAN. Ser. geogr. 2014. № 5. S. 1–21.
29. Shashko D.I. Agroklimaticheskie resursy SSSR. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 247 s.
30. Shver Cz.A. Atmosfernye osadki na territorii SSSR. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 300 s.
31. Climate Change 2014 Synthesis Report / Ed. by The Core Writing Team, Rajendra K. Pachauri, Leo Meyer. WMO: Geneva, 2014. 132 p.
32. Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment / Ed. by J. Sillman, S. Sippel and S. Russo. Elsevier, 2020. 355 p.
33. Eitzinger J., Utset A., Trnka M., Zalud Z., Nikolaev M., and Uskov I. Weather and Climate and Optimization of Farm Technologies at Different Input Levels // Managing Weather and Climate Risks in Agriculture/Sivakumar M.V.K. and Motha R. (eds.). Springer, 2007. P. 141–170.



34. Eitzinger J., et all. Vulnerability and Adaptation Options of European Agriculture // *Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in Southeastern Europe* / V. Alexandrov, M.F. Gajdusek, C.G. Knight, A. Yotova ( eds.). Springer, 2010. P. 139–161.
35. Eitzinger J., et all. Adaptation Options to Climate Change Impacts in European Agriculture // *Climate Change Adaptation: Ecology, Mitigation and Management* / Adam L. Jenkins (Ed.). Nova Science Publishers, 2011. P. 151–162.
36. Nikolaev M.V. Impact of Climate Change on Agriculture in North-West Russia and Adaptation Options // *Advances in Environmental Modeling and Measurements. Chapter 20.* / D.T. Mihailovic, B. Lalic (eds.). Nova Science Publishers, 2010. P. 223–231.
37. Nikolaev M.V. Integrated Assessment of Change in Contribution of Excessive Moisture to Farming Risks in the Humid Zone of Western Russia // *Meteorology, Hydrology and Water Management*. 2020. V. 8. issue 1. P. 46–53. <https://doi.org/10.26491/mhwm/111>
38. Nikolaev M.V. Assessment of Crop Farming Vulnerability to Over – Wetting Effects under Climate Change in the Humid Zone of Western Russia// *Book of Abstracts of the 13th International Conference on Agrophysics “Agriculture in Changing Climate”, 15–16 November 2021, Lublin, Poland*. 2021. P. 69.