УДК 551.5:633.491(476)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ В АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. В. ДАВЫДЕНКО [1], ***П. С. ЛОПУХ*** [1]

[1] *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь*

Выполнен анализ динамики термических условий за 1961–1988 и 1989–2015 гг., а также смежные десятилетия исследуемого периода. Оценивались изменения средних температур отдельных месяцев года, высоких средних и максимальных суточных температур, а также продолжительности активной вегетации картофеля и сумм активных температур. Установленный рост средних годовых температур составил 0,4 °C за десятилетие. При этом в первой половине периода вегетации картофеля (май – июнь) термические тенденции неоднозначны, тогда как во второй (июль – август) преобладает рост средних температур воздуха. Повышение летних температур сопровождается увеличением распространенности негативного термического воздействия на урожайность картофеля, которое подтверждается отрицательными коэффициентами корреляции отклонений урожайности картофеля от линий трендов и таких показателей, как температура воздуха в июле и число жарких дней (со средней температурой выше 20 °C и максимальной выше 30 °C). Статистическая достоверность корреляции между отклонениями урожайности картофеля от линий трендов и июльскими температурами подтверждается лишь в 1989–2015 гг. и охватывает 60 административных районов. В большинстве оставшихся районов коэффициенты корреляции отрицательны. Установлено, что предложенное и обоснованное критическое значение числа дней с максимальной температурой выше 30 °C (10 и более) определяет более трети отрицательных отклонений урожайности картофеля на большей части территории страны, а вероятность его негативного влияния в современный период составляет 70 %. При этом снижение урожайности в среднем равно 12,7 ц/га (8 %). Обнаружено, что наиболее неблагоприятный жаркий период приходится на время клубнеобразования и роста клубней картофеля, в связи с чем предложены возможные меры его адаптации к повышению температур: использование жаростойких сортов, смещение сроков посадки на более ранние даты, орошение (в случае сочетания высоких температур с недостаточным увлажнением).

Ключевые слова: температура воздуха; опасные явления погоды; жара; картофель; колебания урожайности.

Образец цитирования:
Давыденко ОВ, Лопух ПС. Влияние термических условий на урожайность картофеля в административных районах Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019;1:46–62.
https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-46-62

For citation:
Davydenko OV, Lopukh PS. The influence of thermal conditions on potato yield in the administrative regions of the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019;1:46–62. Russian.
https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-46-62

Авторы:
Ольга Васильевна Давыденко – старший преподаватель кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.
Петр Степанович Лопух – доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

Authors:
Olga V. Davydenko, senior lecturer at the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.
davol82@mail.ru
Piotr S. Lopukh, doctor of science (geography), full professor; head of the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.
lopuch49@mail.ru

THE INFLUENCE OF THERMAL CONDITIONS ON POTATO YIELD IN THE ADMINISTRATIVE REGIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

***O. V. DAVYDENKO*[a], *P. S. LOPUKH*[a]**

[a]*Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus*
Corresponding author: O. V. Davydenko (davol82@mail.ru)

The analysis of the dynamics of thermal conditions during 1961–1988 and 1989–2015, as well as the adjacent decade of the study period. Changes were estimated for the average temperatures of individual months of the year, high average and maximum daily temperatures, as well as for the duration of the active vegetation period and the sums of active temperatures. The established increase in average annual temperatures was 0.4 °C per decade. At the same time, in the first half of potato vegetation (May – June) the thermal trends are ambiguous, while in the second half (July – August) the increase of average air temperatures prevails. The increase in temperatures in the summer months is accompanied by an increase in the prevalence of negative thermal effects on potato yields, which is confirmed by negative correlation coefficients of potato yield deviations from trend lines and indicators such as the air temperature in July and the number of hot days (with an average temperature above 20 °C and a maximum temperature above 30 °C). Statistical reliability of correlation between potato yield deviations from trend lines and July temperatures is confirmed only in 1989–2015 and covers 60 administrative districts. In these and most of the remaining areas, the correlation coefficients are negative. It is established that the proposed and justified critical value of the number of days with a maximum temperature above 30 °C (10 and more) determines more than a third of the negative deviations of potato yield in most of the country, and the probability of its negative impact in the modern period is 70 %. The decrease in average yield is 12.7 c/ha (8 %). It was found that the most unfavorable hot period occurs during the tuber formation and growth of potato tubers, in connection with which possible measures of adaptation of potatoes to temperature increase are proposed: the use of heat-resistant potato varieties, the shift of potato planting dates to earlier dates, irrigation (in the case of a combination of high temperatures with insufficient moisture).

Keywords: air temperature; dangerous weather phenomena; heat; potato; productivity fluctuations.

Введение

Посевные площади картофеля на территории Республики Беларусь сократились с 1,028 млн га в 1960 г. до 277 тыс. га в 2017 г. [1], несмотря на то что данная культура названа ФАО одной из перспективных, которая может обеспечить продовольственную безопасность [2]. В указанной динамике посевных площадей картофеля в Беларуси не последнюю роль играют изменения климата.

Колебания в климатической системе порождают необходимость принятия хозяйственных решений по снижению потерь от неблагоприятных метеорологических воздействий. Предвидеть потери можно, зная критерии опасности погодных явлений, а также оптимальные значения метеорологических показателей. Условия выращивания картофеля, описываемые в различных научных и учебных изданиях, в целом совпадают или очень близки. В частности, рост картофеля начинается, когда температура почвы достигает 7–8 °С. Во время фаз бутонизации и начала цветения отмечается усиленный рост ботвы и клубнеобразование. При достаточном увлажнении почвы эффективным диапазоном температур воздуха для роста ботвы картофеля является 18–25 °С. Оптимальные температуры почвы для роста клубней составляют 17–19 °С. При температуре 28–30 °С клубнеобразование прекращается, а растения картофеля сильно угнетаются. Сумма активных температур, необходимых для роста и развития данной культуры за период вегетации, который длится от 50 до 120 и более дней, колеблется от 1000 до 1900 °С (в зависимости от сорта). Чем позже отмирает ботва, тем длиннее период роста клубней и выше урожай. Последнее обусловлено скоростью прохождения растением различных фаз развития, зависящей прежде всего от температуры окружающей среды. Так, при высокой, но неопасной температуре растение быстро развивается, проходя соответствующие фазы. Вместе с тем органическая масса, накопленная за более короткий межфазный период, несколько меньше, чем при большей продолжительности временного промежутка между фазами развития, наступающими в условиях более низких температур [3–6].

Голландские ученые отмечают, что если в течение сезона с температурами от 5 до 23 °С накапливается менее 1250 °С эффективных температур, то такой сезон следует считать слишком коротким, при котором коммерчески приемлемый урожай получить не удастся. Если же сумма температур превышает 2200 °С, то рекомендуется использовать два различных вегетационных периода (например, осенняя и весенняя культуры в средиземноморском климате или две культуры подряд в тропических высоко-

горьях выше 2000 м над уровнем моря) [7]. Подобные рекомендации приводятся для Крымского полуострова, где высокие температуры летних месяцев являются одной из причин быстрого вырождения картофеля: теряются его семенные качества, снижается урожайность, ухудшаются товарные и пищевые достоинства клубней. Выращивание высококачественного семенного картофеля здесь возможно только методом летних посадок, при которых период образования и роста клубней сдвигается на более прохладный период – конец августа и весь сентябрь, а поражение картофеля вирусами резко уменьшается [8].

Согласно обобщающим исследованиям, проведенным в Международном центре по картофелю (Лима, Перу), прогнозируемое различными сценариями изменений климата повышение температуры воздуха приведет к снижению урожайности картофеля на 18–32 %, а в случае принятия мер по адаптации – на 9–18 %. Отмечается, что в высоких широтах отклонения в урожайности картофеля будут относительно невелики (в том числе положительные), а климатические изменения приведут к сдвигу времени посадки и смещению мест производства картофеля (например, в Аргентине, Канаде, Китае, Японии, Великобритании, России и Испании). Для низких широт (тропические и субтропические) наиболее вероятно введение жаростойких сортов картофеля. Максимальное снижение урожайности прогнозируется в Бангладеш, Бразилии, Колумбии и Украине (более 20 % в 2040–2069 гг.). В некоторых регионах, например в части Алжира, Марокко, Китае и Южной Африке, урожайность можно будет повысить за счет выращивания озимого картофеля (вместо осенней или весенней культуры). Ожидается, что с глобальным потеплением расширится ареал обитания колорадского жука, а более длительный вегетационный период приведет к обострению проблем фитофтороза (увеличится число генераций), что, в свою очередь, вызовет необходимость большего расхода фунгицидов [9].

Негативные тенденции в связи с распространением вредителей описываются и учеными Черногории. В результате глобального потепления в последние годы в этом регионе регистрируется массовое появление картофельной клубневой моли. Высокие температуры регулярно вызывают здесь снижение урожайности картофеля и его качества. Средняя годовая температура воздуха в 1991–2014 гг., по сравнению с 1961–1990 гг., в регионах страны увеличилась на 0,9–1,3 °С. Наибольшие величины прироста характерны для более континентальных регионов. На всей территории Черногории увеличилось число дней, когда максимальная суточная температура достигает и превышает 30 °С: на 32 % – в южной части (с 66 до 87 дней) и 94 % – в центре страны (с 16 до 31 дня) [10].

Проведенный в Польше эксперимент по изучению влияния высоких температур (25–32 °С) на растения картофеля в разные периоды роста показал, что чем раньше происходит их воздействие, тем негативнее последствия для роста и урожайности культуры. Высокие температуры также являются причиной физиологических дефектов клубней, доля которых может превышать 10 %. При таком довольно умеренном тепловом стрессе в случае благоприятных почвенно-влажностных условий возможно увеличение высоты надземной части более чем на 50 % (без специального воздействия высоких температур). Однако это может обусловить вторичное клубнеобразование и, следовательно, появление в культуре хронологически и физиологически более молодых клубней, которые в момент сбора урожая легко повреждаются. Поэтому воздействие температур может сказаться не на величине урожая, а на его качестве [11].

В нашей стране среди научных работ, посвященных современным климатическим изменениям и их последствиям для различных отраслей хозяйства (видов деятельности), следует выделить исследования под руководством академика В. Ф. Логинова, выполненные сотрудниками Института природопользования Национальной академии наук Беларуси (Г. А. Камышенко, Ю. А. Бровка, В. В. Коляда). Изучая динамику урожайности картофеля в Германии и Польше, В. Ф. Логинов пришел к выводу, что вклад погоды в изменения урожайности в этих странах меньше, чем в Беларуси, в которой метеорологическая составляющая дисперсии урожайности находилась на уровне 47 % в период 1960–2005 гг. [12]. Несколько бóльшие цифры для погодного влияния были получены на примере картофеля в наших исследованиях [13]. Как видно, климатические условия определяют около половины дисперсии урожайности картофеля.

Принятие плановых и оперативных решений при выращивании картофеля (как и других сельскохозяйственных культур) должно базироваться на данных о текущих условиях и повторяемости опасных погодных условий в пределах конкретной территории. Учитывая глобальные тенденции термических изменений, а также повышение температур воздуха, установленное для территории Беларуси [12; 14; 15], актуальной является оценка термических условий нашей страны для выращивания картофеля. Цель проведенного исследования – выявление характера и степени влияния температур вегетационного периода на урожайность картофеля в пределах административных районов Республики Беларусь во временны́е отрезки 1970–1987 и 1989–2015 гг. и указанные годы в целом.

Методика исследования

По метеорологическим данным за 1961–2015 гг. выполнен анализ динамики термических условий путем сравнения значений определенных показателей за 1961–1988 и 1989–2015 гг., а также смежные десятилетия исследуемого периода. Обоснование выбора нижней границы периода исследований и его разделения на два временны́х отрезка приводится в работах [13; 16]. Сравнение проводилось по следующим показателям: средние и максимальные суточные температуры воздуха, число дней с высокими температурами, даты перехода температур воздуха через фиксированные пределы. Недостающие величины по двум последним показателям вычислены на основе исходных значений средних и максимальных температур воздуха. Продолжительность периода активной вегетации и суммы активных температур вычислялись по датам перехода температур воздуха через 10 °С и среднесуточным температурам воздуха.

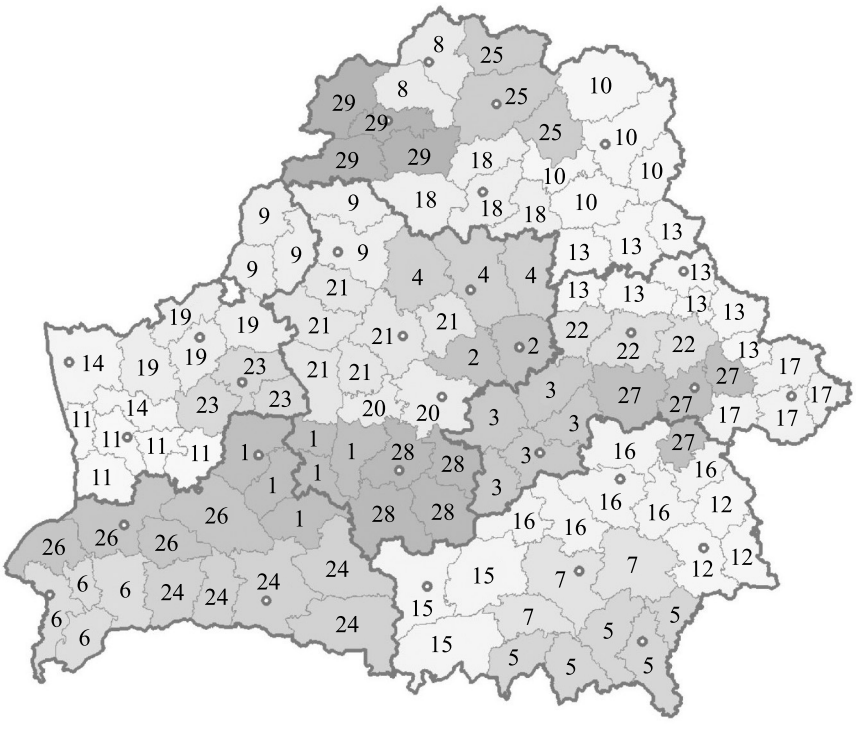
Затем оценивалось влияние термических условий на урожайность картофеля в 1970–2015 гг. в сельскохозяйственных организациях. Доля посевных площадей последних в общей площади посевов картофеля в 2015 г. составляла около 15 %, а в 2017 г. сократилась до 10 % [1]. Несмотря на малый удельный вес принадлежащих сельскохозяйственным организациям посевов картофеля, исследования проводились именно для них. Это связано с тем, что агротехника (а вместе с ней и урожайность) в подобных организациях более инерционна, чем в хозяйствах населения. К тому же обязательная ежегодная статистическая отчетность делает такие данные более надежными.

С целью исследовать динамику урожайности картофеля исходный ряд данных был разбит на временны́е отрезки: 1970–1987 и 1989–2015 гг., для каждого из которых с помощью табличного процессора *Microsoft Excel* построены графики динамики урожайности в административных районах и соответствующие линии тренда (в статье приводятся лишь для территории Беларуси в целом). Для обоих временны́х отрезков наиболее удачной оказалась линия тренда в виде полинома третьей степени. Выбор степени полинома определялся коэффициентом детерминации (R^2): степень повышалась, если коэффициент детерминации увеличивался при этом на 0,1 и более. В связи с тем что Дрибинский район был восстановлен лишь в 1989 г., урожайность в его пределах рассматривалась только за второй временной отрезок.

Тренд отражает агротехническую составляющую урожайности, обусловленную экономическими причинами. Отклонения значений урожайности от линий трендов обусловлены главным образом метеоусловиями. Статистически оценив связь отклонений с метеорологическими показателями, можно установить причины колебаний урожайности. Эта методика нашла применение на постсоветском пространстве (М. В. Николаев, И. В. Свисюк, В. И. Мельник, В. В. Коляда и др.). С таким подходом соглашается и В. Ф. Логинов, отмечая на основе трендов урожайности наличие положительной роли агротехники с начала нынешнего столетия [12].

В предыдущих совместных публикациях авторов данной статьи дисперсия урожайности картофеля и ее метеорологическая составляющая рассматривались по всем административным районам Республики Беларусь [13], а влияние конкретных метеорологических показателей на отклонения урожайности картофеля от линий трендов описывалось лишь для районов, включающих один из пунктов метеонаблюдений, обеспеченных исходными данными [16]. Представляемые ныне результаты получены с учетом зависимости колебаний урожайности картофеля от температурных характеристик во всех административных районах страны. Полный охват территории осуществлен за счет расширения зоны влияния пунктов метеорологических наблюдений: для оценки воздействия погодных условий на урожайность картофеля использовались данные ближайшего к территории района пункта (рис. 1). При наличии нескольких метеопунктов вблизи района выбирался ближайший по гипсометрическому уровню.

После построения линий трендов и получения их уравнений были рассчитаны отклонения урожайности картофеля от этих трендов. Затем с помощью названного выше табличного процессора определены коэффициенты корреляции указанных отклонений урожайности и ряда термических показателей (средние температуры за отдельные месяцы, число дней со средней температурой выше 20 °С и максимальной выше 30 °С, суммы активных температур, продолжительность периода активной вегетации). Статистическая достоверность коэффициентов корреляции оценивалась на основе критерия Стьюдента. Далее выделялись метеорологические показатели, наиболее значимые по оказываемому воздействию, и показатели, отличавшиеся в первом и втором временны́х отрезках направленностью влияния. Кроме того, на основании средних дат наступления фаз развития картофеля (за 1989–2015 гг.) выполнен анализ распределения опасных температур в рамках периода вегетации данной культуры для трех агроклиматических областей в границах, предложенных А. Х. Шкляром. Новые области не использовались в связи с динамичностью их границ, которые автор районирования постоянно уточняет.



1 – Барановичи	9 – Вилейка	17 – Костюковичи	25 – Полоцк
2 – Березино	10 – Витебск	18 – Лепель	26 – Пружаны
3 – Бобруйск	11 – Волковыск	19 – Лида	27 – Славгород
4 – Борисов	12 – Гомель	20 – Марьина Горка	28 – Слуцк
5 – Брагин	13 – Горки	21 – Минск	29 – Шарковщина
6 – Брест	14 – Гродно	22 – Могилёв	
7 – Василевичи	15 – Житковичи	23 – Новогрудок	
8 – Верхнедвинск	16 – Жлобин	24 – Пинск	

Рис. 1. Территориальная репрезентативность пунктов наблюдений
Fig. 1. Territorial representativeness of observation points

На основе коэффициентов корреляции был предложен критерий опасности температурных воздействий на урожайность картофеля. Для всех административных районов была вычислена степень влияния установленного опасного явления (условия), а также его доля среди всех лет с отрицательными отклонениями урожайности. Вычислены средние по административным районам значения отклонений урожайности от линий трендов при наличии данного явления. В завершение приведены рекомендации по адаптации картофеля к новым термическим условиям.

При исследовании использовались фондовые материалы Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (по 29 пунктам наблюдений), где были получены метеорологические данные за 1961–2015 гг., а также данные по фенологии картофеля за 1989–2015 гг.

По урожайности картофеля исходными послужили сведения из ряда статистических сборников: «Регионы Республики Беларусь»; «Сельское хозяйство Республики Беларусь»; «Основные показатели сельского хозяйства по Республике Беларусь, областям, районам». В Национальном статистическом комитете были предоставлены аналогичные двум последним сборникам издания советского периода, а также документ «Окончательные итоги фактического сбора урожая сельскохозяйственных культур» за 1980-е гг., которые позволили дополнить базу данных по урожайности картофеля. В результате была получена возможность в районном разрезе проанализировать динамику этой урожайности за 1970–2015 гг. Исходная информация отсутствует лишь за 1988 г., а для административных районов Гомельской области – и за 1992 г.

В настоящей статье акцентируется внимание на снижении урожайности картофеля под воздействием высоких температур воздуха, тогда как низкие значения температур воздуха и почвы не рассматриваются. Анализ изменения заморозкоопасности и влияния заморозков на колебания урожайности картофеля заслуживает отдельного разбора и в рамках данной статьи, очевидно, избыточен.

Графические построения для иллюстраций статьи выполнены с помощью табличного процессора *Microsoft Excel*. Картосхемы подготовлены с использованием *ArcMap* (приложения *ArcGIS*).

Результаты исследования

Выполненные расчеты показали, что в 1989–2015 гг. в сравнении с 1961–1988 гг. средние годовые температуры воздуха возросли на всех исследуемых станциях на 1,1–1,7 °С – в среднем на 1,3 °С. Такие изменения являются статистически значимыми. Рост температур по линейному тренду составил 0,4 °С за десятилетие. Потепление в различные месяцы происходило неодинаково. Наши исследования подтвердили наибольшее повышение температур воздуха в холодный период (особенно в январе – марте (1,8–4,0 °С), а также в апреле (1,2–1,9 °С)). Значения среднего по республике прироста температур воздуха в июле совпадают с апрельскими (1,6 °С) и колеблются на пунктах наблюдений от 1,2 до 2,2 °С. Температурные изменения в августе соответствуют средним годовым. Ранее, при рассмотрении периода до 2011 г., в мае и ноябре на отдельных станциях отмечалось похолодание [15]. В 1989–2015 гг. по отношению к 1961–1988 гг. для октября, ноября и мая уже выявлены незначительные положительные изменения температур воздуха. Статистически незначим их рост на большинстве пунктов наблюдений в июне и сентябре.

Сравнительный анализ изменений температур воздуха по парам смежных десятилетий выявил неоднозначность описанных тенденций (табл. 1). Основные особенности динамики температур воздуха между сравниваемыми десятилетиями сводятся к следующему. Рост средних годовых температур от десятилетия к десятилетию сохраняется и даже немного увеличивается, оставаясь на уровне в среднем около 0,4 °С за десятилетие. Выраженное повышение температур февраля отмечалось в последнее десятилетие XX в. (ему предшествовало небольшое понижение), январские температуры росли на протяжении второй половины XX в., а первое десятилетие XXI в. оказалось для этих месяцев примерно на 1 °С холоднее предыдущего.

Таблица 1

Разница средних температур воздуха для смежных десятилетий, °С

Table 1

Difference of average air temperatures for adjacent decades, °C

Месяц	Десятилетия				
	1970-е и 1960-е гг.	1980-е и 1970-е гг.	1990-е и 1980-е гг.	2000-е и 1990-е гг.	2010-е (до 2015 г.) и 2000-е гг.
Январь	1,7	1,6	1,7	–0,9	–0,3
Февраль	1,9	–0,4	2,0	–1,1	–0,2
Март	1,7	0,4	0,6	0,2	0,4
Апрель	–0,3	0,6	0,9	0,2	0,2
Май	–0,5	1,4	–1,1	0,6	1,2
Июнь	–0,3	–0,2	0,8	–0,3	1,0
Июль	–0,4	0,2	0,8	1,7	–0,1
Август	0,1	0,1	0,7	1,0	0,2
Сентябрь	–0,7	0,3	0,1	0,9	0,5
Октябрь	–1,3	1,3	–0,4	0,3	–0,2
Ноябрь	–0,1	–0,7	–0,5	2,1	1,1
Декабрь	2,1	–0,2	–0,5	0,4	2,1
Год	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5

В XXI в. замедлился рост температур марта и апреля. Рассмотренные выше незначительные изменения майских температур объясняются чередованием их падения и роста. Однако именно во время тенденции к похолоданию мая в последнее десятилетие XX в. этот месяц стал самым теплым в 1993 г. на юго-западе Беларуси. Прекращение повышения температур в июне и их незначительное снижение в начале XXI в. привели к тому, что с 2000 по 2012 г. включительно июнь не был самым теплым месяцем года. На рубеже веков активизация роста температур отчетливо заметна в июле и августе, однако после 2010 г. рост замедлился. В сентябре тенденция повышения температур воздуха заметна с 1980-х гг. Для октября, ноября и декабря окончание XX в. ознаменовалось похолоданием, когда декабрь стал самым холодным месяцем года, а начало XXI в. – потеплением, которое сильнее проявилось в ноябре, а после 2010 г. – в декабре.

Температурные тенденции в основном меняются от десятилетия к десятилетию, сохраняясь в отдельные месяцы. В 1970-х гг., в сравнении с 1960-ми, отмечался рост зимних температур. В 1980-х гг. относительно 1970-х заметен прирост температур воздуха в весенние месяцы. Для 1990-х гг. характерна тенденция повышения температур в начале календарного года и летом. В первом десятилетии XXI в. заметнее повышались температуры июля, августа и осенних месяцев. Текущее десятилетие характеризуется преимущественно ростом температуры воздуха. Наиболее заметен он в декабре и предшествующем ему ноябре, а также в мае и июне. Незначительное снижение температуры наблюдается лишь в январе, феврале, июле и октябре. Таким образом, в первой половине периода вегетации картофеля (май – июнь) термические тенденции неоднозначны, тогда как во второй (июль – август) преобладает повышение средних температур воздуха.

Даты прогревания почв до температур, благоприятных для посадки картофеля, близки к датам перехода температур воздуха через 10 °С. Следовательно, динамика продолжительности активной вегетации (со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °С), дат ее наступления и окончания, а также сумм активных температур (выше 10 °С) отражает изменения условий возделывания картофеля. Период активной вегетации увеличился в среднем на 10 сут как по причине смещения дат устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 10 °С весной на более ранние сроки (3–10 сут), так и в связи с более поздним завершением этого периода осенью (1–7 сут). Время со средними суточными температурами выше 10 °С в 1989–2015 гг. длится от 143 сут в Лынтупах до 168 сут в Бресте. В исследуемом периоде динамика сумм активных температур согласуется с динамикой средних месячных температур и, в свою очередь, обусловлена изменением как последних, так и продолжительности активной вегетации. В период активизации климатических изменений суммы активных температур в среднем по пунктам метеорологических наблюдений увеличились на 235 °С (рис. 2, *а*). Рост сумм активных температур отличается территориальной неоднородностью: наиболее обширная область прироста расположена на западе республики, а также вблизи Витебска и Гомеля, в полосе от Брагина до Верхнедвинска прирост минимален (рис. 2, *б*). Указанная полоса примерно соответствует зоне наибольшего увеличения продолжительности весны, где процесс перехода от весенних процессов к летним затягивается.

Характеризуя динамику сумм активных температур, следует отметить, что для данного показателя после минимума 1978 г. в 1979 г. начался его направленный рост (рис. 3). Это отмечено на всех исследуемых станциях. Примечательно, что на 1979 г. пришелся максимум 21-го цикла солнечной активности, а на 1989 г., когда начинается преобладание положительных отклонений от нормы средних годовых температур, – максимум 22-го цикла.

Общее увеличение термических ресурсов естественно сопровождается ростом количества случаев высокой средней и максимальной температур воздуха. В агрометеорологических ежегодниках в таблицу «Опасные явления погоды» включены средние температуры воздуха выше 20 °С и максимальные выше 30 °С.

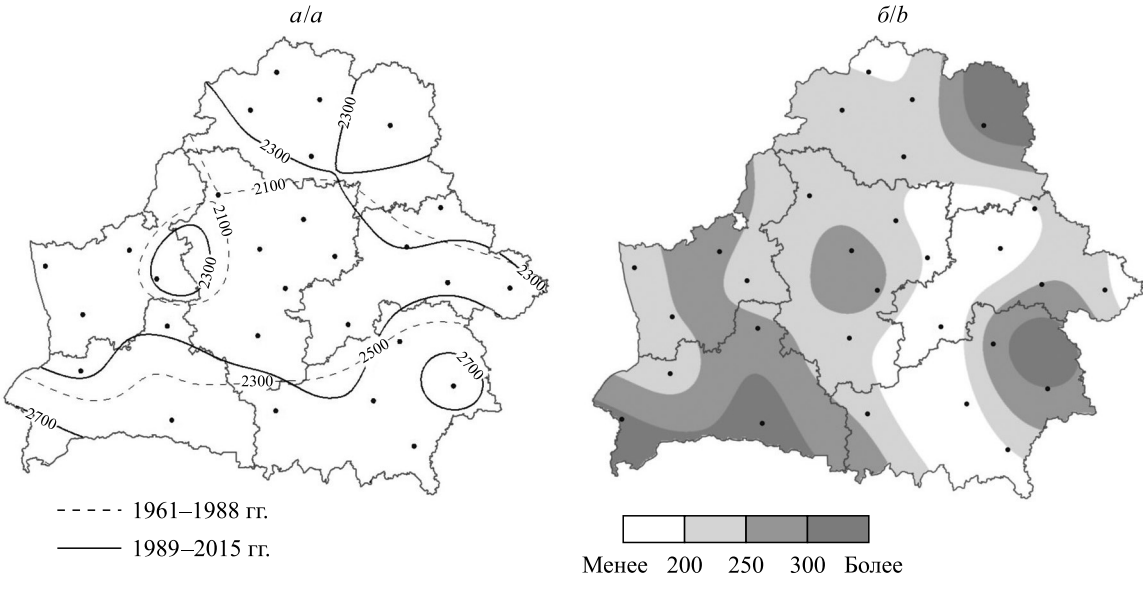


Рис. 2. Суммы активных температур выше 10 °С (*а*) и их прирост (*б*) в 1989–2015 гг. по сравнению с 1961–1988 гг.

Fig. 2. The amounts of active temperatures above 10 °C (*a*) and their increase (*b*) in 1989–2015 compared with 1961–1988

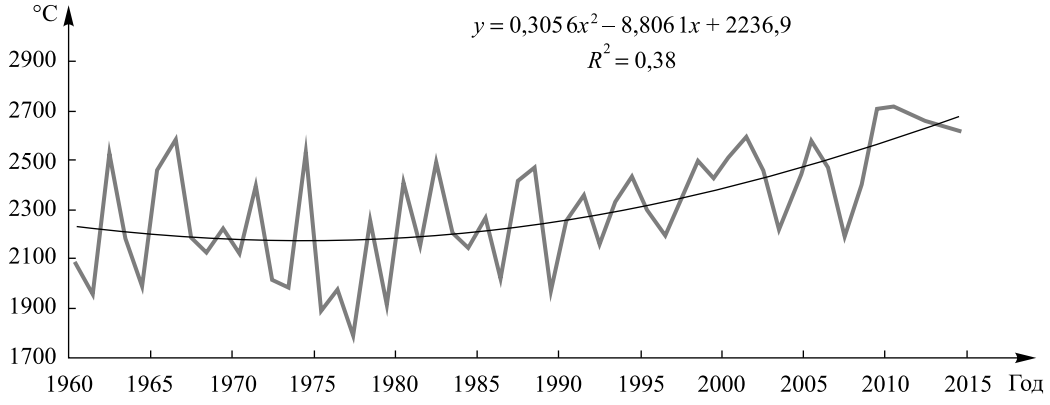


Рис. 3. Динамика сумм активных температур в Республике Беларусь
Fig. 3. Dynamics of sums of active temperatures in the Republic of Belarus

Рассмотрим динамику повторяемости лет с высокими максимальными температурами и среднего числа жарких дней в году. Повторяемость лет с максимальной температурой воздуха выше 30 °C в 1961–1988 гг. была ниже 20 % только на Новогрудской возвышенности, а на юге даже превышала 80 %. В 1989–2015 гг. минимум повторяемости высоких температур увеличился и был отмечен в Езерище (52 %). На большей части страны высокие температуры наблюдались более чем в 80 % лет, а в некоторых пунктах на юго-западе страны (Брест, Высокое, Пружаны) – ежегодно. Территория с наибольшим ростом повторяемости тяготеет к центральным и северным районам республики (рис. 4).

Вместе с ростом повторяемости высоких температур воздуха увеличилось и среднее число дней в году с такими температурами (рис. 5). В 1961–1988 гг. количество дней с максимальной температурой воздуха выше 30 °C в годы наличия на большей части страны не превышало 5. Область наибольших значений располагалась на юго-востоке республики. В 1989–2015 гг. среднее количество жарких дней на территории Гомельской области и значительной части территории Брестской области составило 10 и более, а на остальной части республики было в пределах от 5 до 10.

Приведенные характеристики динамики термических показателей для территории Беларуси свидетельствуют об изменении условий выращивания картофеля. Эти изменения проявились как в межгодовых колебаниях урожайности, так и в ее распределении по территории страны. Средняя величина урожайности картофеля в каждом из периодов (1970–1987 и 1989–2015 гг.) составила 147–148 ц/га. Что касается экономических тенденций, то они наиболее отчетливо обозначены во втором временно́м интервале – это подтверждается более высоким коэффициентом детерминации (рис. 6).

Общие тенденции в изменении урожайности картофеля согласуются с изменениями удельного веса административных районов с урожайностью выше и ниже средней за период исследований. Однако распределение районов по отдельным диапазонам величины урожайности далеко неравномерно, что свидетельствует о значительной территориальной дифференциации, которая меняется из года в год (рис. 7).

Графики динамики урожайности картофеля и линии трендов приводятся здесь для Беларуси в целом (см. рис. 6). Подобные графики и соответствующие им линии трендов были построены по каждому административному району страны. Для отклонений урожайности картофеля от линий трендов и значений термических показателей были вычислены коэффициенты корреляции. Анализ последних показал, что для первых шести месяцев года статистическая достоверность коэффициентов корреляции подтверждена не более чем в 10 административных районах (для обоих временны́х отрезков). Статистическая достоверность коэффициентов корреляции июльских температур в первом временно́м отрезке не подтверждается ни для одного района. Во втором временно́м периоде преобладают отрицательные коэффициенты корреляции, достоверность которых установлена для 60 районов, и только для 2 районов коэффициенты были положительными (статистически незначимыми).

Статистическая достоверность влияния продолжительности периода активной вегетации установлена лишь в 1970–1987 гг. для 8 районов: в 5 районах Витебской области зависимость была положительной, а в 3 районах Гомельской области – отрицательной. Очевидно, уже тогда юго-восток страны страдал от избытка термических ресурсов, тогда как на севере отмечался их дефицит. В первом временно́м отрезке только для 2 районов установлена достоверная связь отклонений урожайности картофеля от линии тренда и сумм активных температур, которая была положительной, а во втором достоверная корреляционная связь наблюдалась в 3 районах, но уже имела обратный знак, т. е. была отрицательной.

Коэффициенты корреляции отклонений урожайности картофеля от линий тренда и числа дней со средними высокими температурами воздуха (выше 20 °C) в первом временно́м отрезке статистически

значимы лишь в нескольких районах и имеют положительное значение. Во втором временнóм отрезке эти зависимости отрицательны и статистически достоверны для 51 района, где коэффициенты корреляции отклонений урожайности и числа дней со средними температурами воздуха выше 20 °С в июле составляют от –0,61 до –0,38. В этот же период для 50 административных районов статистически достоверно отрицательное влияние на урожайность картофеля числа дней с высокими максимальными температурами (коэффициенты корреляции составляют от –0,76 до –0,38). Очевидно усиление отрицательного влияния высоких температур на урожайность, а зачастую и смена положительного влияния на отрицательное (рис. 8).

Согласованность в динамике воздействия высоких температур и температур июля на урожайность картофеля обусловлена тем, что именно на указанный месяц приходится значительная часть жарких дней. Сопоставив распределение числа жарких дней и сроки наступления фаз развития картофеля во всех агроклиматических областях, следует заметить, что бóльшая часть дней с максимальными температурами выше 30 °С приходится на время роста клубней, на межфазные периоды цветение – конец цветения и конец цветения – увядание ботвы. Лишь в период от появления соцветий (бутонизации) до цветения повторяемость жары невелика. Как отмечалось выше, это время, когда формируются клубни картофеля и воздействие высоких температур может негативно отразиться на величине и качестве урожая.

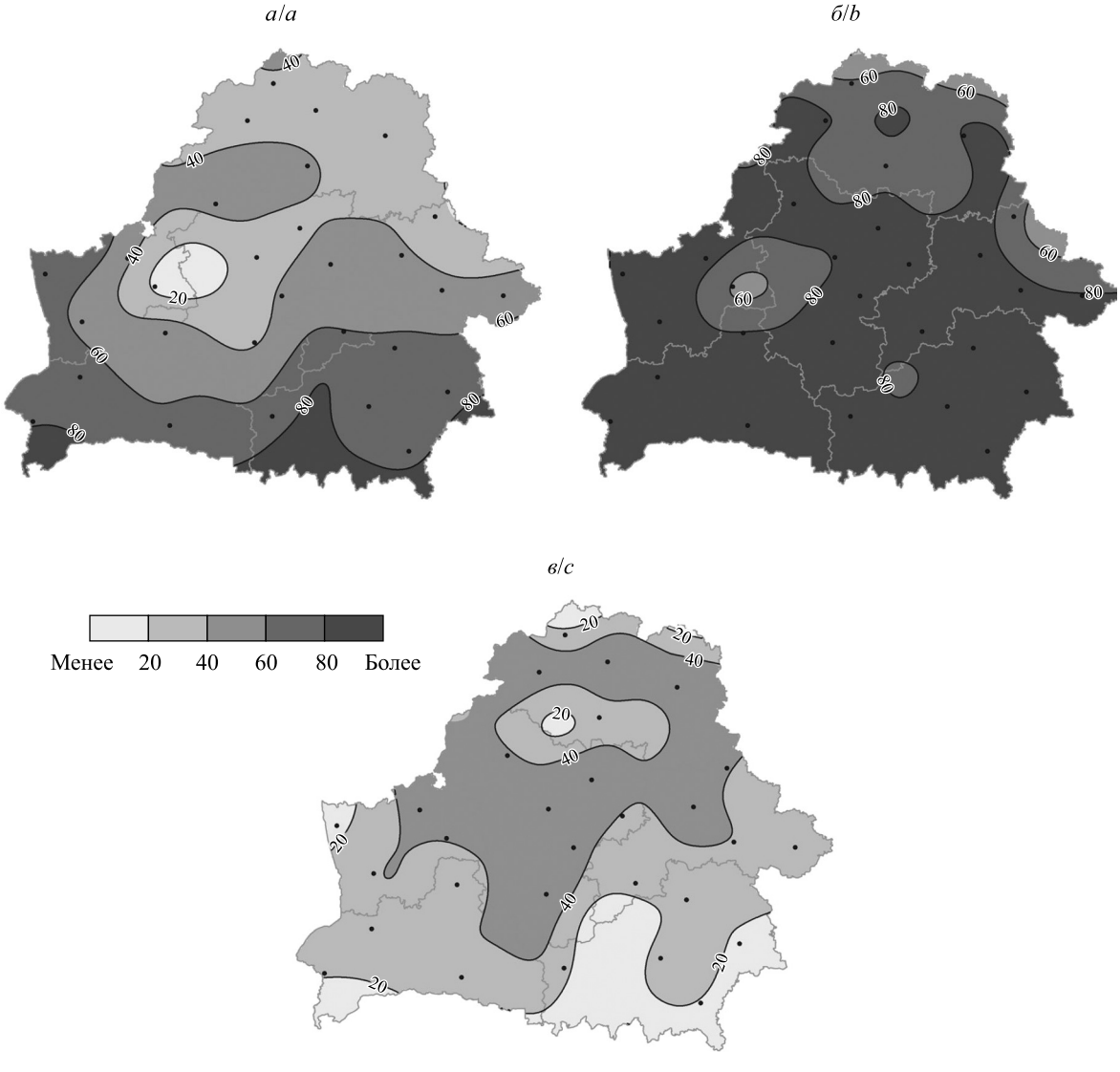


Рис. 4. Повторяемость (%) лет с максимальной температурой воздуха выше 30 °С в 1961–1988 гг. (*а*) и 1989–2015 гг. (*б*), ее изменение между указанными периодами (*в*)

Fig. 4. Repeatability (%) years with maximum air temperature above 30 °C in 1961–1988 (*a*) and 1989–2015 (*b*), its change between the specified periods (*c*)

Заметны существенное увеличение повторяемости жарких дней в 1989–2015 гг. по сравнению с 1961–1988 гг., а также рост термической напряженности с севера на юг, представленные на рис. 9 (средние даты наступления фаз развития приведены без разделения сортов по группам спелости). Рассчитанные для раннеспелых и позднеспелых сортов даты посадки и увядания ботвы отличаются примерно на неделю: посадка – 30 апреля и 6 мая, увядание ботвы – 14 и 19 августа соответственно. В Северной агроклиматической области, по имеющимся у нас данным, преобладают посадки ранних и среднеранних сортов картофеля (61 % лет), а в Центральной и Южной областях – поздние и среднепоздние сорта (63–66 %).

Знак коэффициента корреляции в каждом временно́м отрезке показывает преобладание значений температурных показателей из восходящей (положительные) или нисходящей (отрицательные) ветви кривой, отражающей влияние погодных характеристик на вегетацию растений. Повышение температур в целом отрицательно сказалось на урожайности картофеля.

Коэффициенты корреляции отклонений урожайности картофеля от линий трендов и числа дней с неблагоприятными явлениями изначально предполагались отрицательными. Как показано выше, только во втором временно́м отрезке это предположение подтвердилось. Возможно, в первом временно́м отрезке неблагоприятные явления недостаточно часто повторялись, однако они были, а достоверность

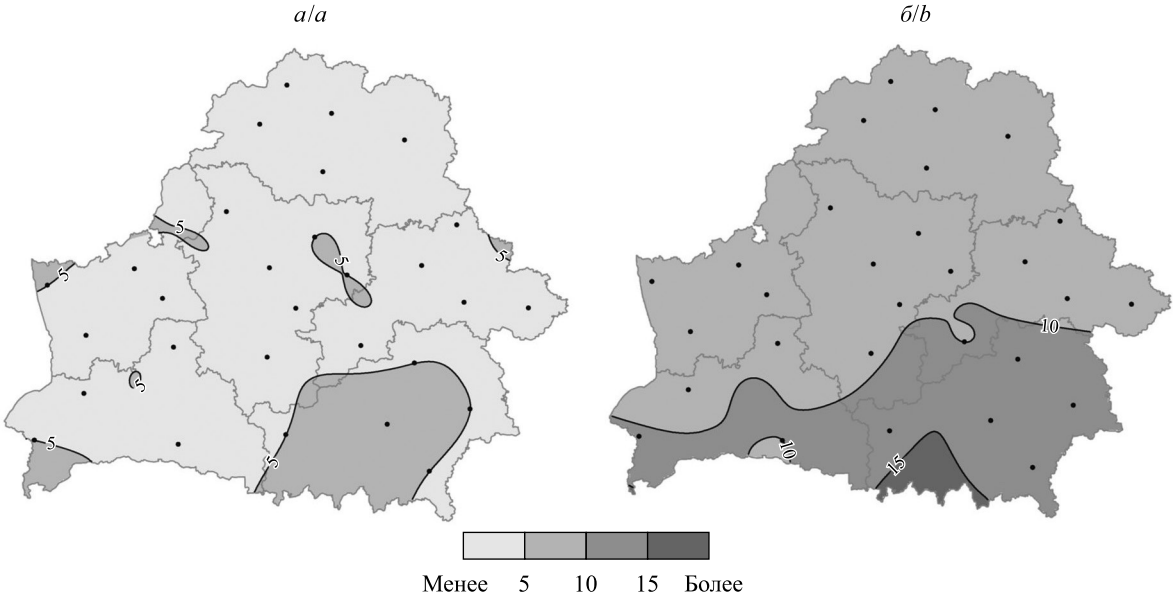


Рис. 5. Количество дней с максимальной температурой воздуха выше 30 °С в годы наличия за 1961–1988 гг. (*а*) и 1989–2015 гг. (*б*)

Fig. 5. The number of days with the maximum air temperature above 30 °C in years of availability 1961–1988 (*a*) and 1989–2015 (*b*)

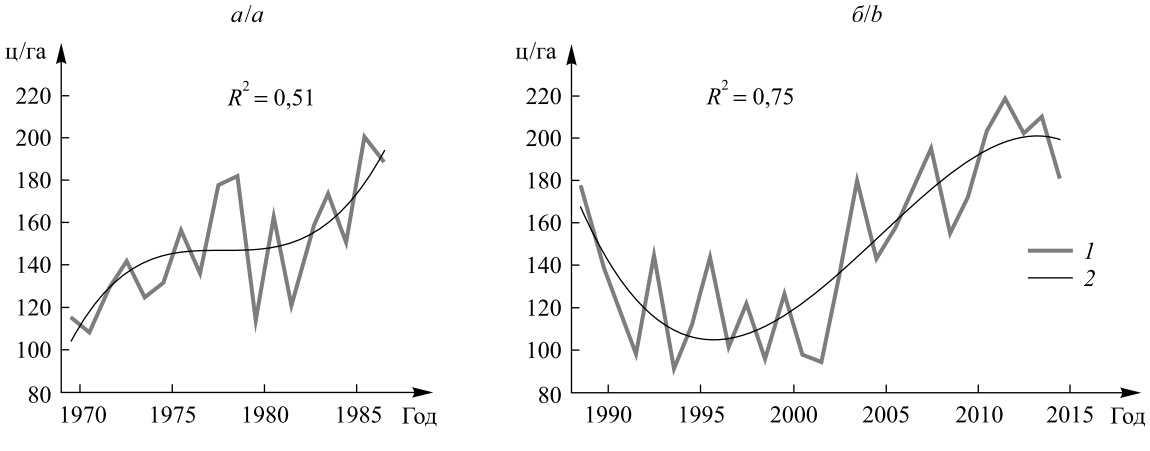


Рис. 6. Динамика урожайности картофеля в Республике Беларусь в 1970–1987 гг. (*а*), 1989–2015 гг. (*б*): *1* – статистические данные; *2* – тренд

Fig. 6. Dynamics of potato yield in the Republic of Belarus in 1970–1987 (*a*), 1989–2015 (*b*): *1* – statistical data; *2* – trend

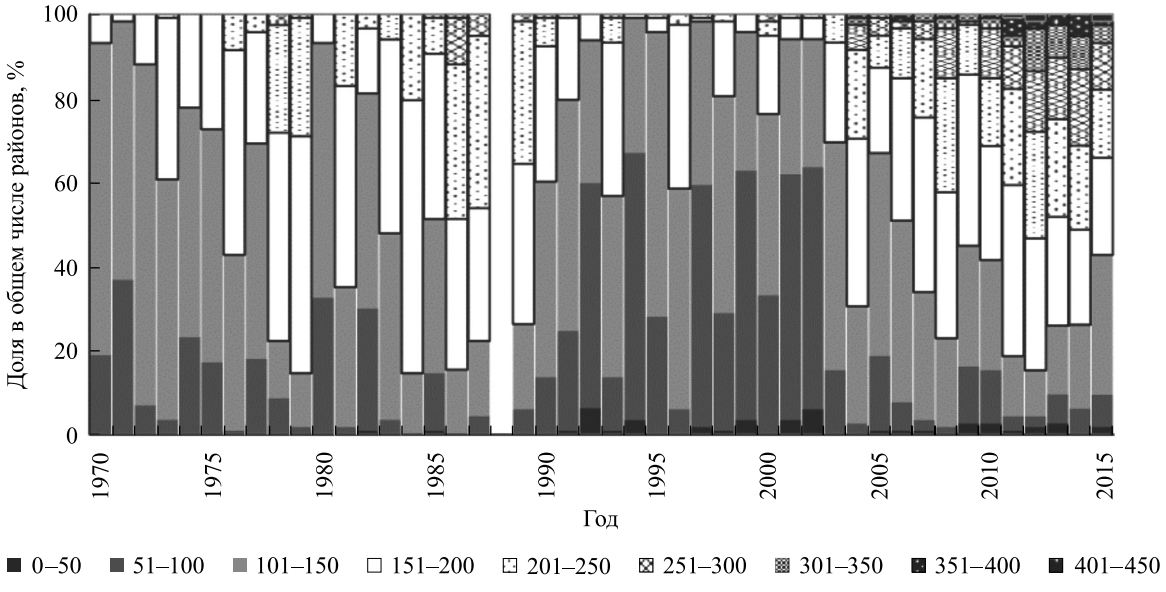
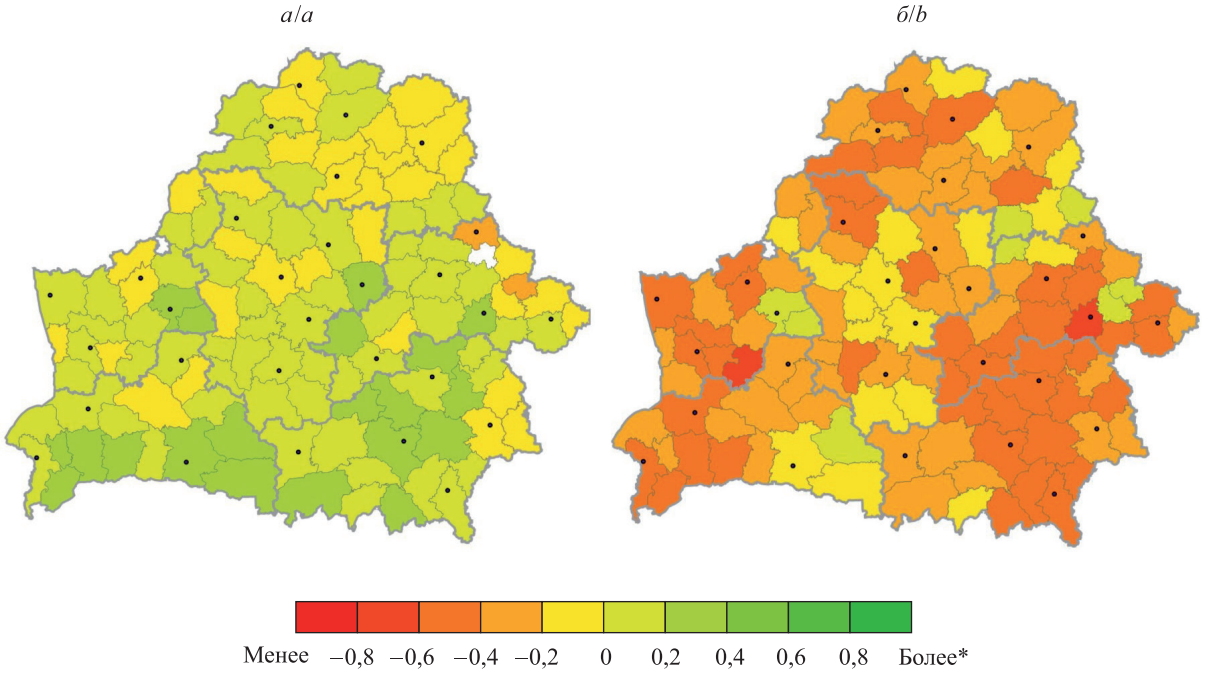


Рис. 7. Удельный вес (доля) административных районов
с различным уровнем урожайности картофеля (ц/га) по годам периода 1970–2015 гг.

Fig. 7. Specific weight (share) of administrative districts
with different levels of potato yield (c/ha) over the years 1970–2015



*Шкала значений коэффициентов корреляции построена для серии картосхем, не вошедших в статью, поэтому включает отсутствующие на представленных здесь картосхемах градации цветов

Рис. 8. Коэффициенты корреляции отклонений урожайности картофеля
от линии тренда и числа дней с максимальной температурой воздуха выше 30 °С
в 1970–1987 гг. (*а*); 1989–2015 гг. (*б*)

Fig. 8. Correlation coefficients of potato yield variance from the trend line
and the number of days with a maximum air temperature above 30 °C
in 1970–1987 (*a*); 1989–2015 (*b*)

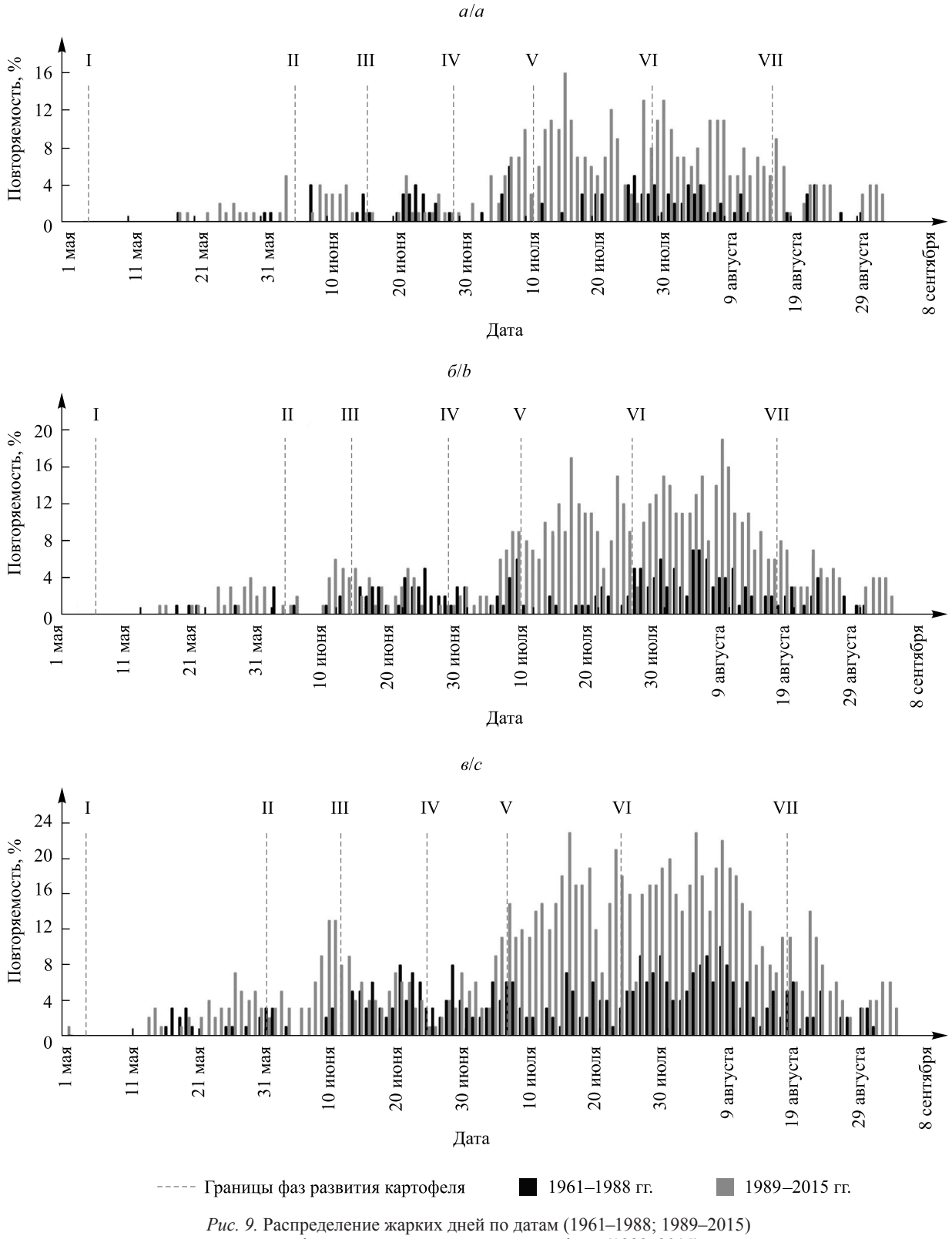


Рис. 9. Распределение жарких дней по датам (1961–1988; 1989–2015) и межфазным периодам развития картофеля (1989–2015):
I – посадка; II – всходы; III – появление боковых побегов; IV – появление соцветий; V – цветение; VI – конец цветения; VII – увядание ботвы.
Агроклиматическая область: *а* – Северная; *б* – Центральная; *в* – Южная

Fig. 9. Distribution of hot days by dates (1961–1988; 1989–2015) and interfacial periods of potato development (1989–2015):
I – planting; II – shoots; III – the appearance of lateral shoots; IV – the appearance of inflorescences; V – flowering; VI – the end of flowering; VII – wilting tops.
Agroclimatic area: *a* – North; *b* – Central; *c* – South

связи при этом статистически не обосновывалась. Поэтому сделано предположение, что существует некая критическая продолжительность воздействия неблагоприятного явления, которая приводит к снижению урожайности. Путем предварительного анализа отклонений урожайности картофеля от линии тренда в годы с высокими максимальными температурами для отдельных административных районов, включающих пункты метеорологических наблюдений, было выявлено, что наиболее часто отрицательные отклонения урожайности отмечались при количестве жарких дней за теплый сезон не менее 10.

Ранее (1961–1988) повторяемость лет с критическим числом жарких дней только на юге и западе страны была больше 10 %, на остальной территории во многих случаях число жарких дней не достигало 10. В 1989–2015 гг. повторяемость в южной части республики превысила 30 % и во всех пунктах была ненулевой (рис. 10).

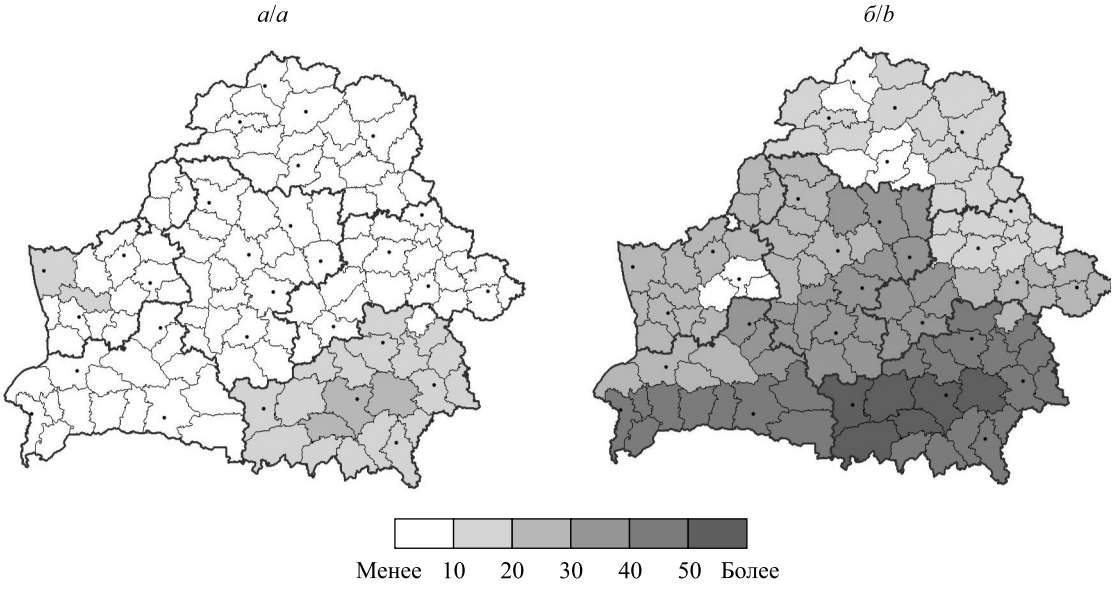


Рис. 10. Повторяемость лет (%) с критическим числом жарких дней в 1961–1988 гг. (*а*) и 1989–2015 гг. (*б*)

Fig. 10. Repeatability years (%) with a critical number of hot days in 1961–1988 (*a*) and 1989–2015 (*b*)

По результатам исследований с вероятностью 69 % можно утверждать, что урожайность картофеля будет низкой, если в течение вегетационного периода было более 10 дней с максимальной температурой выше 30 °С (рис. 11). Незначительная распространенность названных условий в первом временно́м отрезке привела к тому, что большинство административных районов не подвергались влиянию данного явления. В районах же, где критическое число жарких дней было достигнуто, степень влияния часто составляла 100 %, а в среднем – 59 %. В 1989–2015 гг. критическое число жарких дней отмечалось уже по всей стране, и степень влияния в среднем составила 70 %. Однако в Кореличском районе влияние продолжительной жары вообще отсутствовало. Здесь, как и в других районах с невысокой степенью влияния на урожайность критического числа жарких дней, сказалось то условие, что дни с температурами выше 30 °С приходились на разные летние месяцы и в одном из них наблюдалось переувлажнение.

Наличие критического числа жарких дней определяет более трети отрицательных отклонений урожайности картофеля от линий трендов на значительной части территории Беларуси (рис. 12, *а*). Средние отклонения урожайности в годы с критическим числом жарких дней составили –12,7 ц/га (8 %). Наибольшие отрицательные отклонения отмечены на востоке страны. В отдельных районах, расположенных на возвышенностях, в некоторых случаях и на низменностях (вблизи рек), где влияние жары нивелируется увлажнением, а жаркие дни распределяются на несколько месяцев, эти отклонения положительны. Однако в преобладающем большинстве районов (106 из 118) отклонения урожайности картофеля от линий трендов отрицательны (рис. 12, *б*).

Пути решения проблемы негативного воздействия высоких температур на урожайность картофеля могут быть разными. Во-первых, в регионах, наиболее подверженных воздействию высоких температур, следует вводить в севообороты жаростойкие сорта картофеля. Жароустойчивость была обнаружена у его диких видов, а во второй половине прошлого столетия достигнут определенный прогресс

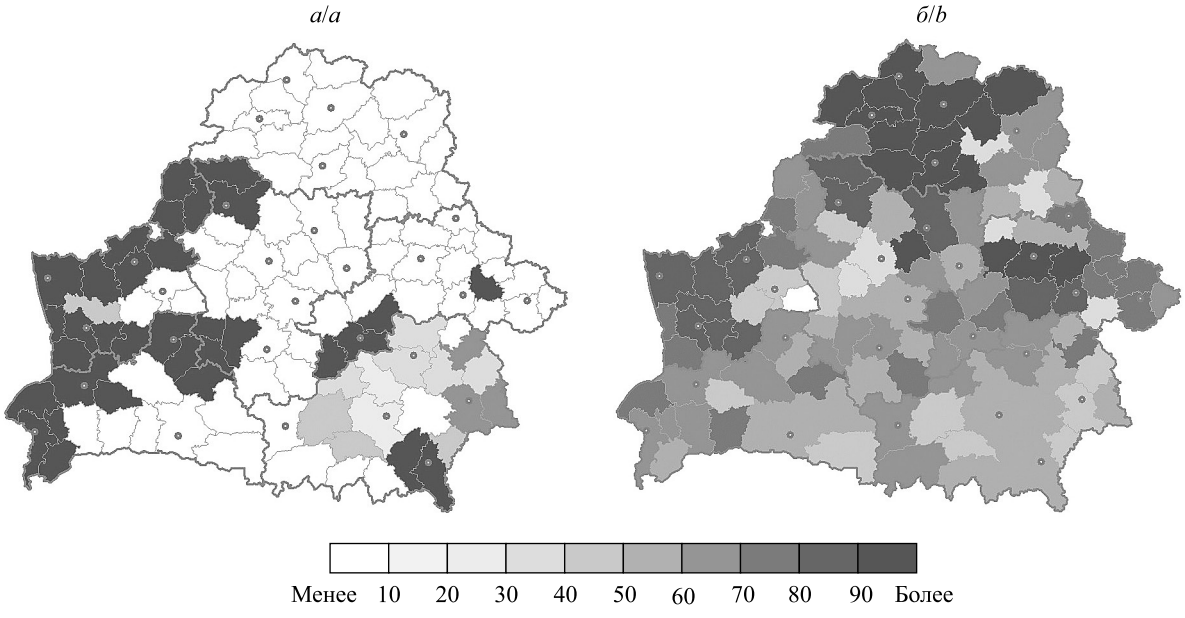


Рис. 11. Степень отрицательного влияния на отклонения урожайности картофеля критически жарких условий (максимальные температуры воздуха выше 30 °С в течение 10 дней и более) в 1961–1988 гг. (*а*) и 1989–2015 гг. (*б*)

Fig. 11. The degree of negative influence on deviations of potato yield of critically hot conditions (maximum air temperature above 30 °C for 10 days or more) in 1961–1988 (*a*) and 1989–2015 (*b*)

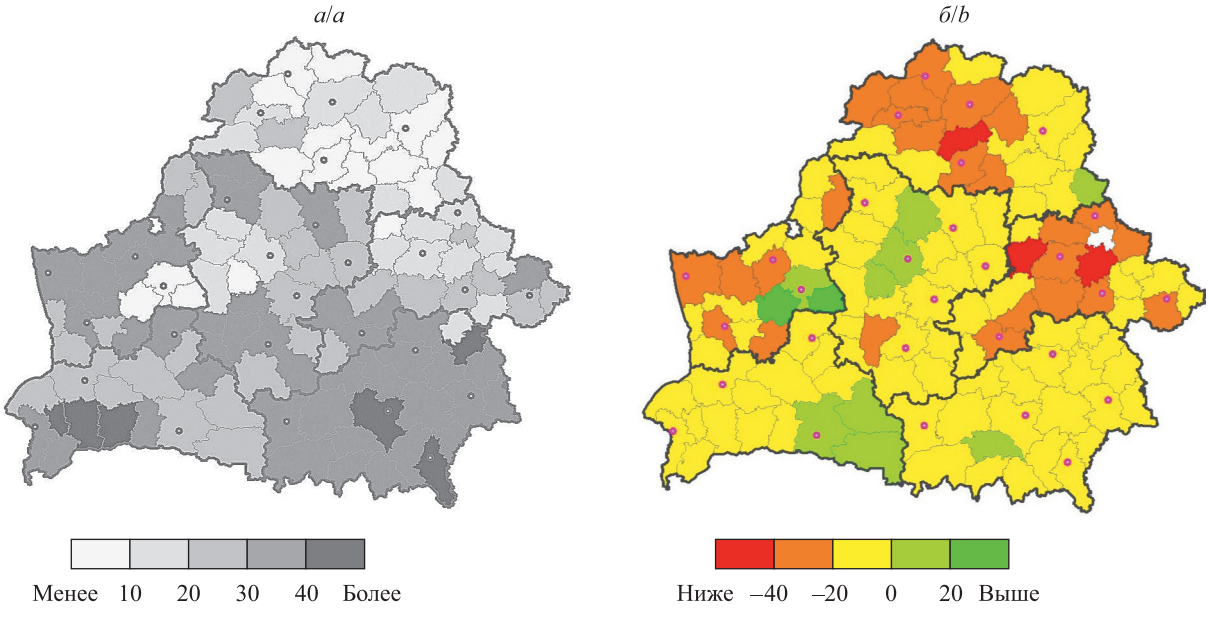


Рис. 12. Доля (%) «жарких» лет в числе лет с отрицательными отклонениями урожайности картофеля от линий трендов (*а*) и величина отклонений урожайности (ц/га) в «жаркие» годы (*б*) за 1970–2015 гг.

Fig. 12. The share of «hot» years (%) in the number of years with negative deviations of potato yield from the trend lines (*a*) and the magnitude of the yield deviations (c/ha) in the «hot» years (*b*) for 1970–2015

в отборе и разведении сортов, устойчивых к высоким температурам [9]. Перспективным картофелеводство считается даже в жарком, по сравнению с Беларусью, Узбекистане, где выведены жаростойкие сорта картофеля Туйимили, Акраб, Умид [17]. Белорусскими поставщиками предлагаются несколько жароустойчивых сортов картофеля: немецкий ультраранний Ювель (Джувел), а также ранний Ред Скарлет и поздний Пикассо (Нидерланды).

Во-вторых, нужно сместить сроки посадки картофеля. Летние посадки, рекомендуемые для Республики Крым, на данный момент в нашей стране еще неактуальны в связи с недостаточной продолжительностью периода активной вегетации. С целью сместить время воздействия высоких температур на растения картофеля на более поздние межфазные периоды необходимо перенести сроки посадки на более ранние даты. Такие рекомендации приводились в свое время А. Х. Шкляром [6]. Выполненные под руководством О. В. Давыденко исследования показали, что фактические сроки посадки картофеля в Республике Беларусь до настоящего времени запаздывают относительно оптимальных сроков на период от нескольких недель до месяца [18]. Для Среднего Урала установлено повышение массы клубней в гнезде и увеличение урожайности картофеля при более ранней посадке [19]. Таким образом, соблюдение оптимальных сроков посадки позволит улучшить условия вегетации картофеля в важный для него период (клубнеобразование), который сместится на менее жаркую первую половину лета. В данном случае несколько уменьшить эффект от смещения сроков посадки может тот факт, что клубнеобразование придется на период года с максимальной продолжительностью светлого времени суток, тогда как для образования клубней оптимальны короткие дни [4]. Смещение сроков посадки наиболее ощутимый эффект должно создать для раннеспелых и среднеспелых сортов. Позднеспелые сорта будут нуждаться в дополнительных мерах.

В-третьих, исходя из того, что при больших значениях сумм температур выше 10 °С за вегетационный период вероятность засушливых явлений на территории России значительно возрастает [20] и это справедливо также для Беларуси, можно предложить путь косвенного воздействия на температурные условия в посадках картофеля – орошение. В связи с наличием севооборотов на пахотных землях в нашей стране реализация такого пути пока проблематична. Однако в настоящее время исследования, направленные на обоснование режима орошения, проводятся даже для территории Московской области, которая по климатическим условиям близка к северным регионам Беларуси. Причем глубины расчетного слоя почвы приводятся вплоть до девятой декады вегетационного периода картофеля. Орошение же рекомендуется выполнять дождевальными машинами, которые можно использовать и в условиях севооборотов [21]. Поступающая в растение вода не только обеспечивает его питание, но и способствует стабилизации температуры тела растения (в процессе транспирации). Охлаждение в процессе транспирации предотвращает перегрев клеток и растения в целом, а вода, благодаря высокой теплоемкости, защищает культуру от резких температурных колебаний, происходящих в окружающей среде [22]. Кроме того, часть воды неизбежно испарится с поверхности почвы, что, в свою очередь, приведет к некоторому снижению температуры грунта, так как на испарение расходуется энергия. Следовательно, орошение в условиях недостаточного увлажнения может благоприятно повлиять и на температурный режим.

Заключение

Термические ресурсы на территории Беларуси в целом увеличились. Это уже позволяет выращивать позднеспелые сорта растений и более теплолюбивые культуры. Температурные тенденции в основном меняются от десятилетия к десятилетию, сохраняясь в отдельные месяцы. В первой половине вегетации картофеля (май – июнь) термические тенденции неоднозначны, тогда как во второй (июль – август) преобладает повышение средних температур воздуха. Повышение температур сопровождается увеличением распространенности негативного термического воздействия на урожайность картофеля в летние месяцы. Это подтверждается отрицательными коэффициентами корреляции отклонений урожайности картофеля от линий трендов и таких показателей, как температура воздуха в июле и число жарких дней (со средней температурой выше 20 °С и максимальной выше 30 °С). В настоящее время жаркие дни сконцентрированы в периоде клубнеобразования картофеля, поэтому следует учитывать опасность климатического (теплового) вырождения культуры, которое резко снижает урожайность. Установленное критическое значение числа жарких дней (с максимальной температурой 30 °С и более) определяет более трети отрицательных отклонений урожайности картофеля на большей части территории страны, а вероятность его негативного влияния в современный период составляет 70 %. Нивелировать негативное воздействие можно, используя новые жаростойкие сорта картофеля, смещая время его посадки на более ранние даты или применяя орошение (в случае сочетания высоких температур с недостаточным увлажнением).

Представленные выше результаты подтверждают значительную обусловленность потерь урожайности картофеля воздействием высоких температур, однако создать более полную картину позволит рассмотрение влияния комплекса неблагоприятных погодных условий. В ходе дальнейших исследований необходимо выяснить направление и степень зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от критических характеристик увлажнения.

Библиографические ссылки

1. *Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник.* Минск: Национальный статистический комитет; 2018. 235 с.

2. Международный год картофеля [Интернет]. 2008 [процитировано 15 декабря 2018 г.]. Доступно по: http://www.fao.org/potato-2008/ru/.

3. Шпаар Д, Дрегер Д, Иванюк В, Кюрцингер В, Постников А, Шуманн П и др. *Картофель.* Шпаар Д, редактор. Минск: ФУАинформ; 1999. 272 с.

4. Карпук ВВ, Сидорова СГ. *Растениеводство.* Минск: БГУ; 2011. 351 с.

5. Пятовская ЛК. *Методические указания по составлению прогноза оптимальных сроков начала полевых работ и сева основных сельскохозяйственных культур в Белоруссии.* Минск: Управление гидрометеослужбы БССР; 1977. 66 с.

6. Шкляр АХ. *Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве.* Минск: Вышэйшая школа; 1973. 432 с.

7. Haverkort AJ, Verhagen A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. *Potato Research*. 2008;51:223–237.

8. Турбин ВА, Синковец ГА, Дементьев ЮН, Резник НГ, Корниенко НЯ, Кушнарев АА и др. Инновационные предложения по технологиям выращивания овощных культур. В: *Инновации в растениеводстве и животноводстве Крыма. Рекомендации аграрным предприятиям Республики Крым* [Интернет]. [S. l.]: Академия биоресурсов и природопользования. Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского [процитировано 15 декабря 2018 г.]. Available from: http://abip.cfuv.ru/?page_id=403.

9. Hijmans RJ. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*. 2003;80:271–280.

10. Jovovic Z, Micev B, Velimirovic A. Impact of climate change on potato production in Montenegro and options to mitigate the adverse effects. *Academia Journal of Environmental Sciences.* 2016;4(3):047–054. DOI: 10.15413/ajes.2016.0301.

11. Rykaczewska K. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*. 2013;4:2386–2393. DOI: 10.4236/ajps.2013.412295.

12. Логинов ВФ. *Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия.* Минск: ТетраСистемс; 2008. 496 с.

13. Давыденко ОВ, Лопух ПС. Влияние погодных условий на колебания урожайности картофеля и сахарной свеклы в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2017;1:79–88.

14. Логинов ВФ. *Глобальные и региональные изменения климата: доказательная база и международные соглашения по защите климата.* Минск: Институт природопользования НАН Беларуси; 2018. 102 с.

15. Давыденко ОВ. Динамика средних годовых температур воздуха и их внутригодовых вариаций на территории Беларуси. *Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. Химия. Биология. География.* 2014;2:89–95.

16. Давыденко ОВ, Лопух ПС. Зависимость урожайности картофеля и сахарной свеклы от метеорологических показателей периода вегетации. *Весці БДПУ. Серыя 3.* 2010;3:56–62.

17. Азимов ББ. Развитие картофелеводства в Узбекистане перспективно. *Картофель и овощи.* 2005;5:14.

18. Бокшиц ВА, Давыденко ОВ. Оптимальные и фактические сроки посадки картофеля в Республике Беларусь. В: *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. Материалы Международной научной конференции; 5–8 мая 2015 г.; Минск, Беларусь.* Минск: БГУ; 2015. с. 246–248.

19. Спирькова ЮА. Влияние сроков посадки на урожайность клубней картофеля в условиях Среднего Урала. *Молодежь и наука* [Интернет]. 2015 [процитировано 15 декабря 2018 г.];2:46. Доступно по: http://min.usaca.ru/issues/12/articles/355.

20. Сиротенко ОД, Грингоф ИГ. Оценка влияния ожидаемых изменений климата на сельское хозяйство Российской Федерации. *Метеорология и гидрология.* 2006;8:92–101.

21. Герасимов ВО. *Водобалансовые исследования и обоснование режима орошения картофеля на дерново-подзолистых почвах водораздельных площадей Московской области* [диссертация]. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева; 2017. 24 с.

22. Хохлова ЛП, Бабужина ДИ. *Физиологические основы формирования продуктивности растений.* Казань: КГУ; 2006. 41 с.

References

1. *Sel'skoe khozyaistvo Respubliki Belarus'. Statisticheskii sbornik* [Agriculture of the Republic of Belarus. Statistical collection]. Minsk: Natsional'nyi statisticheskii komitet; 2018. 235 p. Russian.

2. International Year of the Potato [Internet]. 2008 [cited 2018 December 15]. Available from: http://www.fao.org/potato-2008/ru/. Russian.

3. Shpaar D, Dreger D, Ivanyuk V, Kurzinger V, Postnikov A, Schumann P, et al. *Kartofel'* [Potatoes]. Spaar D, editor. Minsk: FUAinform; 1999. 272 p. Russian.

4. Karpuk VV, Sidorova SG. *Rastenievodstvo* [Crop Production]. Minsk: BSU; 2011. 351 p. Russian.

5. Patovska LK. *Metodicheskie ukazaniya po sostavleniyu prognoza optimal'nykh srokov nachala polevykh rabot i seva osnovnykh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Belorussii* [Methodical instructions on drawing up of the forecast of the optimum timing of the start of field works and sowing of major crops in Belarus]. Minsk: Upravlenie gidrometeosluzhby BSSR; 1977. 66 p. Russian.

6. Shklyar AH. *Klimaticheskie resursy Belorussii i ispol'zovanie ikh v sel'skom khozyaistve* [Climatic resources of Belarus and their use in agriculture]. Minsk: Vyshjejshaja shkola; 1973. 432 p. Russian.

7. Haverkort AJ, Verhagen A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. *Potato Research*. 2008;51:223–237.

8. Turbin VA, Sinkovec GA, Dementev YuN, Reznik NG, Kornienko NYa, Kushnarev AA, et al. [Innovative technologies of cultivation of vegetable crops]. In: *Innovatsii v rastenievodstve i zhivotnovodstve Kryma. Rekomendatsii agrarnym predpriyatiyam Respubliki Krym* [Innovations in crop and livestock Crimea. Recommendations for agricultural enterprises of the Republic of Crimea] [Internet]. [Place unknown]: Akademiya bioresursov i prirodopol'zovaniya. Krymskii federal'nyi universitet imeni V. I. Vernadskogo [cited 2018 December 15]. Available from: http://abip.cfuv.ru/?page_id=403. Russian.

9. Hijmans RJ. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*. 2003;80:271–280.

10. Jovovic Z, Micev B, Velimirovic A. Impact of climate change on potato production in Montenegro and options to mitigate the adverse effects. *Academia Journal of Environmental Sciences.* 2016;4(3):047–054. DOI: 10.15413/ajes.2016.0301.

11. Rykaczewska K. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*. 2013;4:2386–2393. DOI: 10.4236/ajps.2013.412295.

12. Loginov VF. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate change: causes and consequences]. Minsk: TetraSistems; 2008. 496 p. Russian.

13. Davydenko OV, Lopuch PS. Influence of weather conditions on productivity fluctuations of potatoes and sugar beet in Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*. 2017;1:79–88. Russian.

14. Loginov VF. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: dokazatel'naya baza i mezhdunarodnye soglasheniya po zashchite klimata* [Global and regional climate change: causes and consequences]. Minsk: Institute of Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus; 2018. 102 p. Russian.

15. Davydenko OV. Dynamics of the average annual air temperatures and their variations interannuales in Belarus. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya.* 2014;2:89–95. Russian.

16. Davydenko OV, Lopuch PS. [The dependence of the yield of potatoes and sugar beet from the meteorological parameters of the vegetation period]. *Vesci BDPU. Seryja 3*. 2010;3:56–62. Russian.

17. Asimov BB. [The Development of the potato industry in Uzbekistan is perspective]. *Kartofel' i ovoshchi.* 2005;5:14. Russian.

18. Bokshits VA, Davydenko OV. [Optimal and actual terms of potato planting in the Republic of Belarus]. In: *Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya khozyaistvennoi deyatel'nosti v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii; 5–8 maya 2015 g.; Minsk, Belarus'* [Problems of hydrometeorological support of economic activities in a changing climate. Materials of the International Scientific Conference; 2015 May 5–8; Minsk, Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2015. p. 246–248. Russian.

19. Spirkova YuA. Influence of terms of landing to productivity of tubers of potatoes in the conditions of the Central Urals. *Molodezh' i nauka* [Internet]. 2015 [cited 2018 December 15];2:46. Available from: http://min.usaca.ru/issues/12/articles/355. Russian.

20. Syrotenko OD, Gringof IG. [Evaluation of the impact of expected climate change on agriculture in the Russian Federation]. *Meteorologiya i gidrologiya.* 2006;8:92–101. Russian.

21. Gerasimov VO. *Vodobalansovye issledovaniya i obosnovanie rezhima orosheniya kartofelya na dernovo-podzolistykh pochvakh vodorazdel'nykh ploshchadei Moskovskoi oblasti* [Water balance studies and justification of the regime of potato irrigation on sod-podzolic soils of watershed areas of the Moscow region] [dissertation]. Moscow: Russian state agrarian University – MAA name K. A. Timiryazev; 2017. 24 p. Russian.

22. Khokhlova LP, Babuzhina DI. *Fiziologicheskie osnovy formirovaniya produktivnosti rastenii* [Physiological basis of the formation of plant productivity]. Kazan: Kazanskii gosudarstvennyi universitet; 2006. 41 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 10.10.2018.
Received by editorial board 10.10.2018.