

**АНАЛИЗ И КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
В АДАПТИВНОЙ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ**

**А.И. Кинчаров**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
**Е.А. Дёмина**, кандидат сельскохозяйственных наук

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт  
селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова,  
446442, Самарская обл., п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76  
E-mail: kincharov\_ai@mail.ru

*Глобальное потепление климата привело к увеличению частоты проявлений экстремальных погодных аномалий – высоких температур, засух и ливней. Прогнозируемое повышение температуры на 1,5°C к 2050 г. свидетельствует о возможности дальнейших негативных изменений, которые затронут агропромышленный сектор. В ответ на климатические вызовы необходимо снижение зависимости растениеводства от меняющихся погодных условий и стабильное увеличение урожайности в будущем. Цель исследований – анализ текущего состояния и прогноз климатических изменений в регионе для коррекции подходов к адаптивной селекции и обеспечения устойчивости яровых зерновых к изменениям климата. Объект исследований – метеоусловия за 1990–2020 гг., фенологические наблюдения и урожайные данные конкурсного испытания пшеницы яровой и сорта «долгожителя» Кинельская 59. Метеоусловия за вегетацию культуры в регионе претерпели существенные изменения: среднесуточная температура воздуха в среднем за 2010–2020 гг. возросла на 2,11°C с прогнозом на 2021–2030 гг. до 3,00°C, сумма осадков снизилась соответственно на 23,94 мм и 49,80 мм к среднемноголетней норме. Это повлияло на продолжительность вегетации культуры: средние сроки сева по десятилетиям практически не изменились, но при этом сроки уборки урожая сократились на 8 суток. Увеличение вариабельности урожайности свидетельствует о том, что нынешние программы и методы селекции недостаточно подготавливают пшеницу к климатической неопределенности и изменчивости. С учетом анализа предстоящих климатических изменений считаем, что необходимо особое внимание уделить в первую очередь анализу разнообразия откликов сортов коллекционного материала на меняющиеся условия и выделять для скрещиваний формы с минимальной реакцией на неблагоприятные факторы среды в условиях более жарких и засушливых лет.*

**ANALYSIS AND SHORT-TERM FORECAST OF CHANGES IN CLIMATIC CONDITIONS  
IN THE ADAPTIVE BREEDING OF SPRING CEREALS**

**Kincharov A.I., Demina E.A.**

Samara Federal Research Scientific Center of RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection  
and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov,  
446442, Samarskaya obl., p.g.t. Ust-Kinelskiy, ul. Shosseynaya, 76  
E-mail: kincharov\_ai@mail.ru

*Global climate warming has led to an increase in the frequency of extreme weather anomalies – heat waves, droughts and downpours. The projected temperature increase of 1.5°C by 2050 indicates further negative changes that will affect the agro-industrial sector. In response to climate challenges, it is necessary to solve the problems of reducing the dependence of crop production on changing weather conditions and a stable increase in yields in the future. The purpose of the research is to analyze the current state and forecast of climate change in the region to correct the strategy of adaptive breeding and ensure the stability of spring cereals to climate change. The objects of research are weather conditions for 1990–2020, phenological observations and yield data of competitive testing of spring wheat and «long-lived» Kinelskaya 59 varieties. Weather data is analyzed using the capabilities of Microsoft Excel 2007. The analysis of weather conditions during the growing season of the crop in the region indicates significant changes: the average daily air temperature is plus 2.11°C on average for 2010–2020 and the forecast is plus 3.00°C for 2021–2030, according to the amount of precipitation, respectively, minus 23.94 mm and the forecast is minus 49.80 mm to the average annual norm. Weather conditions affected the duration of the growing season of the crop: the average sowing time for decades has practically not changed, but at the same time the maturation and harvesting periods have been reduced by eight days. The increase in yield variability in the world indicates that current breeding programs and breeding methods do not sufficiently prepare wheat for climatic uncertainty and variability. Taking into account the analysis of upcoming climate changes, we believe that special attention should be paid primarily to the analysis of the diversity of responses of varieties of collection material to changing conditions and to allocate forms for crosses with minimal reaction to adverse environmental factors in hotter and drier years.*

**Ключевые слова:** глобальное потепление, температура воздуха, осадки, пшеница яровая (*Triticum aestivum* L.), устойчивость, адаптивность, продуктивность.

**Key words:** global warming, air temperature, precipitation, spring wheat (*Triticum aestivum* L.), stability, adaptability, productivity.

Селекционная работа, в историческом плане, началась с того, что из года в год, отбирая более продуктивные соцветия с целью получения семян для посева, люди улучшали различные популяции культурных растений для возделывания в местных климатических условиях, ускоряя тем самым длительный естественный отбор, описываемый Чарльзом Дарвином. Таким образом, благодаря человеку и различным погодным условиям в течение продолжитель-

ного времени, происходило конкурентное выживание и преимущественное размножение определенных особей [1], форм и популяций. Со временем у них вырабатывалась приспособленность [2], адаптация к определенным условиям, складывающимся в конкретной местности. Образовавшиеся таким образом формы, в основном – популяции, имели хорошую и стабильную продуктивность по годам. С развитием научной селекции и современных познаний в

генетике, физиологии, биохимии, иммунологии, экологии и других смежных науках, создание сортов обрело более сложные очертания и ускоренные темпы улучшения культур в требуемом для человечества направлении. Однако, несмотря на то, что современный инструментарий геномной селекции позволяет сократить продолжительность селекционного процесса, в засушливых условиях при невысоком коэффициенте размножения семян, сроки создания и коммерциализации сортов превышают 10...15 лет. Таким образом, сегодня подбор исходного материала и скрещивания проводятся для получения сортов, которые будут возделывать в производстве в 2030-х гг. Поэтому в условиях глобального потепления климата, в первую очередь надо обратить внимание на характер и скорость изменения погодно-климатических факторов. Как отмечают J. Hansen et al. [3] частота проявлений чрезвычайно жаркой погоды, по сравнению с десятилетиями до 1980 г., увеличилась приблизительно в 50 раз. Если тогда, чрезвычайная летняя жара, как правило, затрагивала 0,1...0,2% поверхности планеты, сегодня около 10%. Глобальное потепление приводит к увеличению частоты экстремальных погодных явлений, включая волны жары, засух и ливней [4], а также пожаров и наводнений [5]. Многие исследователи на фоне этих изменений отмечают увеличение вариабельности урожайности сельскохозяйственных культур. D.K. Ray et al. [6] приводят данные, что за последние 20 лет в Западной Европе, в Соединенном Королевстве, Франции, Германии, Испании и Италии, изменчивость климата объясняет ~31...51% вариабельности урожайности пшеницы, в Восточной Европе, Украине, Российской Федерации и Казахстане – 23...66% вариабельности. Усредненная по всему миру изменчивость климата объясняла ~35% вариабельности урожайности пшеницы [6]. За 1990–2007 гг. валовое производство зерна пшеницы в России составило в среднем 38,8 млн.т (по годам  $\pm 30,4\%$ ), при средней урожайности 1,54 т/га ( $\pm 33,1\%$ ). Еще более высокая зависимость от погодных условий отмечается в Самарской области, где за анализируемый период валовое производство зерна варьировало от 647,5 тыс. до 2 748,4 тыс.т ( $\pm 61,9\%$ ), в том числе яровой пшеницы – от 162,0 тыс. до 690,9 тыс.т ( $\pm 62,0\%$ ), при средней урожайности по годам от 0,59 до 1,82 т/га.

Учитывая все негативные аспекты и то, что большая часть посевных площадей сельскохозяйственных культур в Российской Федерации находится в континентальной зоне рискованного земледелия, в частности засушливого климата, зависимость растениеводства от агрометеорологических условий остается очень высокой. Поэтому многие исследователи уделяют особое внимание вопросам стабильности урожая [7, 8], адаптивности [9, 10] и устойчивости сортов к абиотическим стрессам [11, 12, 13]. Однако современные вызовы глобального потепления климата, особенно сильно проявившиеся в последнее десятилетие [14], требуют от мировой аграрной науки больших усилий по снижению зависимости отрасли от экстремальных погодных явлений [15], существенно выходящих за пределы среднемноголетних наблюдений, для обеспечения продовольственной безопасности [16]. Следует отметить, что агроклиматические зоны Российской Федерации, с учетом больших территориальных масштабов, имеют свои характерные неблагоприятные абиотические факторы среды, проявляющиеся в течение вегетации сельскохозяйственных культур. В условиях Поволжья, Оренбуржья, ряда регионов Сибири, а также Казахстана, негативное влияние на рост и развитие растений оказывают в основном следующие факторы:

низкая влагообеспеченность почвы, связанная с её малыми запасами весной и дефицитом осадков в период вегетации;

длительный повышенный температурный фон, превосходящий среднемноголетнюю норму за продолжительный период;

различные виды засух и суховеев, проявляющиеся с момента появления всходов и до уборки культур.

Дальнейшее потепление климата на земле, по данным различных исследователей, продлится, как минимум, до конца текущего столетия. При этом в Парижском соглашении по климату ставилась задача снижения темпов потепления климата не выше  $1,5^{\circ}\text{C}$  к 2050 г. и не более  $2,0^{\circ}\text{C}$  – к 2100 г. Однако в Шестом докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата от 07 августа 2021 г. отмечается, что порог превышения в  $1,5^{\circ}\text{C}$  будет достигнут уже к 2040 г. [5]. С учетом того, что среднегодовая температура в России растет быстрее общемировой более чем в 2,5 раза [17], необходим анализ изменения погодно-климатических условий в разрезе регионов страны. Прогнозирование климата в краткосрочной перспективе (от года до десятилетия), дает возможность адаптироваться и обеспечить устойчивость к изменениям климата [18].

В связи с этим, в работе поставлена цель – провести анализ изменения погодно-климатических условий вегетационного периода места проведения исследований в разрезе десятилетий за 31-летний период, выявить их влияние на рост и развитие яровой мягкой пшеницы, определить тренд и скорость агроклиматических изменений в регионе на короткую перспективу. Актуальность таких исследований обусловлена тем, что, несмотря на высокий адаптационный потенциал многих культурных растений, в условиях резкого изменения погодно-климатических условий он может оказаться недостаточным, и, скорее всего, потребуются корректировка некоторых аспектов стратегии адаптивной селекции в регионе.

**Методика.** В работе использовали массив данных с 1990 по 2020 гг. Характеристика метеоусловий места проведения исследований представлена по данным метеопоста Усть-Кинельский Самарского ГАУ, использовали такие показатели, как среднесуточная температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), сумма осадков (мм) за сутки с 01 мая по 31 августа, по которым рассчитывали среднюю температуру воздуха и сумму осадков за месяц. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) рассчитан по формуле:  $\text{ГТК} = R \cdot 10 / \Sigma t$ , где R – сумма осадков за период с температурами выше  $+10^{\circ}\text{C}$  (мм),  $\Sigma t$  – сумма температур за то же время ( $^{\circ}\text{C}$ ). Для большей информативности и наглядности анализируемый срок исследований разбит на три периода: 1990–1999 гг.; 2000–2009 гг. – по 10 лет и 2010–2020 гг. – 11 лет. С учетом работы с большими объемами данных полученные результаты представлены в виде аналитических таблиц, где за каждый период приведены минимальные и максимальные отклонения величин показателей от среднемноголетнего значения, среднее отклонение в год (отношение суммарного отклонения за период на количество лет) и соотношение количества лет с отрицательными и положительными отклонениями. Конкурсное сортоиспытание яровой мягкой пшеницы в объеме 36...60 образцов ежегодно закладывали в селекционном севообороте на делянках с учетной площадью  $25 \text{ м}^2$  по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [19] в четырехкратной повторности, с выполнением наблюдений за прохождением фенологических фаз развития растений, развитием болезней и вредителей. Почва опытного участка – чернозем типичный среднемощный легкоглинистый, содержание гумуса в слое 0...15 см (по И.В. Тюнину, ГОСТ 2613-91) в пределах 5...6 %, легкогидролизуемого азота – 28...49 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 61...77 мг/кг

**Табл. 1. Анализ среднесуточной температуры воздуха за 31-летний период (по данным метеопоста Усть-Кинельский, 1990–2020 гг.)**

| Показатель   | Отклонение среднесуточной температуры воздуха от среднегодовой нормы (°C) |             |             |               |                   |
|--|---|-------------|-------------|---------------|-------------------|
|  | май (14,1*)   | июнь (18,7) | июль (20,7) | август (18,9) | май–август (18,1) |
| 1990–1999 гг.  |   |             |             |               |                   |
| Интервал отклонений, °C  | -3,0...+4,0   | -1,7...+4,8 | -3,0...+2,9 | -1,9...+0,3   | -1,5...+2,4       |
| Среднее отклонение в год, °C   | +0,55   | +1,44       | +0,17       | -0,85         | +0,33             |
| Количество лет с отрицательными / положительными отклонениями**  | 5/5   | 4/6         | 5/5         | 8/2           | 5/5               |
| 2000–2009 гг.  |   |             |             |               |                   |
| Интервал отклонений, °C  | -3,9...+4,1   | -4,1...+3,7 | -2,0...+2,6 | -2,0...+4,1   | -0,9...+1,4       |
| Среднее отклонение в год, °C   | +0,58   | +0,15       | +0,77       | +0,79         | +0,57             |
| Количество лет с отрицательными / положительными отклонениями**  | 2/8   | 5/5         | 2/8         | 3/7           | 2/8               |
| Период 2010–2020 гг.   |   |             |             |               |                   |
| Интервал отклонений, °C  | -0,3...+4,4   | -2,2...+4,6 | -0,6...+6,2 | -0,9...+5,9   | +0,1...+5,1       |
| Среднее отклонение в год, °C   | +2,61   | +1,36       | +2,21       | +2,15         | +2,11             |
| Количество лет с отрицательными / положительными отклонениями**  | 1/10  | 4/7         | 3/8         | 2/9           | 0/11              |
| *среднегодовая норма за соответствующий период;  |   |             |             |               |                   |
| **в числителе количество лет за десятилетие с отрицательными отклонениями средней температуры от среднегодовой нормы, в знаменателе – с положительными |   |             |             |               |                   |

(ГОСТ 26204-91), обменного калия – 374...423 мг/кг (ГОСТ 26210-91), рН солевой вытяжки – 5,4 ед. (ГОСТ 26483-85).

Уборку осуществляли селекционными комбайнами Sampo 130, массу зерна с делянки приводили к стандартной влажности 14% с пересчетом на урожайность в ц/га.

Математическую обработку урожайных данных конкурсного сортоиспытания выполняли с использованием пакета селекционно-ориентированных программ Agros 2.11 [20], STATISTICA, с расчетом наименьшей существенной разницы на 95% уровне значимости. Графики, расчеты и уравнения линейного, полиномиального трендов подготовлены при помощи пакета Анализ данных Microsoft Excel 2007, с расчетом коэффициента аппроксимации ( $R^2$ ), который показывает уровень соответствия линии тренда фактическим данным.

**Результаты и обсуждение.** Анализ погодных условий по десятилетиям, в сравнении со среднегодовыми значениями, сложившимися к 1990 г., свидетельствует о наличии значительных изменений условий вегетации яровой мягкой пшеницы за эти годы относительно среднегодовой нормы (табл. 1). Результаты ретроспективного анализа свидетельствуют о том, что первый месяц вегетации культуры (май) в 90-х гг. XX-го столетия характеризуется практически равными значениями отрицательных и положительных отклонений среднесуточной температуры воздуха от среднегодового значения (14,1°C), которые по годам составляли от -3,0 до +4,0 °C. Среднее отклонение в год за период составило +0,55 °C (суммарное за 10 лет +5,5 °C). При этом количество лет с отрицательными и положительными отклонениями за десятилетие были равны – пять на пять (5/5).

Аналогичную картину наблюдали в июле и в среднем за вегетационный период (май–август). В качестве исключения можно выделить август, в котором большинство лет за десятилетие было несколько более прохладным по сред-

несуточной температуре относительно среднегодовых значений – восемь прохладных лет из десяти (8/2).

В последующие 10 лет (2000–2009 гг.) наблюдается незначительное увеличение температурного фона за условную вегетацию в целом (в среднем на +0,57 °C в год) и некоторое снижение амплитуды отклонений от среднегодовых значений по годам от -0,9 до +1,4 °C.

При этом отмечается значительное снижение количества лет с отрицательными отклонениями – с пяти лет в предыдущем десятилетии, до двух – в анализируемом периоде: 20% прохладных лет и 80% более теплых и жарких. Следует особо отметить резкое, по сравнению с предыдущим десятилетием, изменение температурных условий августа месяца – три года с отрицательными отклонениями, против восьми в предыдущем десятилетии. В последний раз значительное отклонение температуры воздуха в отрицательную сторону отмечено в августе 2002 г. – минус 2,0 °C к норме, до 16,9 °C.

Третий анализируемый период (2010–2020 гг.) стал намного теплее и жарче предшествующих двух десятилетий. Отрицательные отклонения среднесуточной температуры мая, июля и августа в эти годы не превышали 1°C, исключение – июль 2017 г. (16,5°C) – минус 2,2° к норме. При этом положительные отклонения по всем месяцам достигали 4,4...6,2°C и в целом за вегетацию – плюс 5,1°C. Отклонение среднесуточной температуры воздуха от среднегодовых значений по всем месяцам 11-летнего периода, в годовом выражении, достигло рекордных положительных значений в пределах 1,36...2,61°C, а за условную вегетацию яровых зерновых – 2,11°C, тогда как в предыдущем десятилетии эти величины были почти в 4 раза ниже. Анализируя в целом вегетационный период (май–август), необходимо отметить, что за последние 11 лет во все годы отмечали только положительные отклонения среднесуточной температуры воздуха относительно среднегодовой нормы.

**Табл. 2. Анализ количества осадков в месяц за 31-летний период (по данным метеопоста Усть-Кинельский), мм**

| Показатель  | Отклонение суммы осадков от среднегодовой нормы за период |               |                |               |                  |
|---|---|---------------|----------------|---------------|------------------|
|   | май (33*)   | июнь (39)     | июль (47)      | август (44)   | май–август (163) |
| 1990–1999 гг.   |   |               |                |               |                  |
| Интервал отклонений, мм   | -23,5...+100,5  | -36,9...+68,0 | -39,8...+50,7  | -43,5...+51,4 | -74,3...+162,0   |
| Сумма отклонений за период, мм/год  | +14,30  | +7,55         | +5,71          | +0,49         | +16,63           |
| Количество лет с отрицательными / положительными отклонениями**   | 3/7   | 5/5           | 7/3            | 6/4           | 6/4              |
| 2000–2009 гг.   |   |               |                |               |                  |
| Интервал отклонений, мм   | -17,8...+18,0   | -21,4...+43,1 | -34,1...+108,9 | -37,7...+62,3 | -72,3...+106,0   |
| Сумма отклонений за период, мм/год  | -2,15   | +14,60        | +11,63         | -10,13        | +13,95           |
| Количество лет с отрицательными / положительными отклонениями **  | 7/3   | 3/7           | 5/5            | 7/3           | 3/7              |
| 2010–2020 гг.   |   |               |                |               |                  |
| Интервал отклонений, мм   | -26,9...+37,4   | -38,5...+90,8 | -45,3...+34,4  | -42,7...+63,5 | -105,3...+60,9   |
| Сумма отклонений за период, мм/год  | -2,59   | +2,12         | -14,15         | -9,31         | -23,94           |
| Количество лет с отрицательными / положительными отклонениями **  | 7/4   | 6/5           | 8/3            | 8/3           | 8/3              |
| *среднегодовая норма за соответствующий период;   |   |               |                |               |                  |
| **в числителе количество лет за десятилетие с отрицательными отклонениями суммы осадков от среднегодовой нормы, в знаменателе – с положительными отклонениями |   |               |                |               |                  |

За годы исследований вегетационный период с отрицательным отклонением от среднегодовых значений (то есть ниже 18,1°C) среднесуточной температуры воздуха в последний раз в регионе наблюдали в 2003 г. (-0,3°C к норме) и в 2002 г. (-0,9°C), то есть более 17 лет назад. В 2021 г. среднесуточная температура воздуха за май составила 20,8°C (+6,7 к среднегодовой норме), за июнь – 22,9°C (+4,2), за июль – 23,5°C (+2,8), за август – 24,7°C (+5,8), что вызывает определенную обеспокоенность складывающейся ситуацией.

Анализ вегетационных периодов (май–август) трех десятилетий свидетельствует о значительных изменениях температурного фона за столь короткий срок: в первый анализируемый период (1990–1999 гг.) условия вегетации растений оказались теплее в среднем на +0,33 °C. При этом в половине лет (1990, 1992, 1993, 1994, 1999 гг.) температурный режим был относительно более прохладным (менее 18,1 °C), что вполне приемлемо для условий континентального климата Самарской области и Средневожжского региона; во втором периоде (2000–2009 гг.) условия вегетации в среднем теплее уже на +0,57°C, но при этом количество прохладных лет существенно меньше – два года (2002 и 2003 гг.); третий период (2010–2020 гг.) существенно отличается от предыдущих десятилетий тем, что по условиям вегетации яровых зерновых он оказался намного теплее предыдущих – в среднем на +2,11°C. Данное отклонение в 6,4 раза выше, чем в первом периоде, и при этом не отмечено ни одного года с температурным фоном ниже климатической нормы (среднегодовых значений).

Повышение температуры воздуха, теоретически увеличивает испарение влаги с водной поверхности, почвы и других объектов, и соответственно стоит ожидать увеличения количества осадков. Анализ количества вы-

павших осадков по месяцам и в целом за вегетационный период (май–август) трех десятилетий свидетельствует о том, что в первый период (1990–1999 гг.) за все месяцы в среднем происходило увеличение количества выпавших осадков по месяцам от +0,49 мм до +14,30 мм (табл. 2). В целом за вегетацию – +16,63 мм, при разбросе по годам: от недобора осадков -74,3 мм (1998 г.) до значительного их увеличения +162,0 мм (1990 г.), которое практически равнялось среднегодовым значениям (163 мм), то есть в 1990 г. за май–август выпала почти двойная норма осадков равная 325 мм.

Во втором десятилетии (2000–2009 гг.) на фоне дальнейшего повышения среднесуточной температуры воздуха за май–август, по сравнению с предыдущим периодом, отмечали небольшой недобор осадков в течение двух месяцев – май (-2,15 мм/год) и август (-10,13 мм/год). Но при этом условно каждая вегетация растений яровой пшеницы в этот период проходила при незначительном превышении осадков, а в среднем за вегетацию выпадало на 13,95 мм осадков больше нормы.

Третий изучаемый период (2010–2020 гг.) особо выделился недобором осадков практически по всем исследуемым месяцам. При этом отмечен значительный дефицит осадков в июле –14,15 мм (суммарно за 11 лет 155,7) и августе –9,31 мм (суммарно – 102,4 мм). Средние отклонения за год в мае (-2,59 мм) и июне (-2,21 мм) были значительно меньше. И это в условиях сильного повышения температурного фона. Необходимо отметить, что среднее увеличение за последний период среднесуточной температуры воздуха за май–август на +2,11°C (к среднегодовой норме), скорее всего, привело и к определенному дефициту осадков за условную вегетацию –23,94 мм (суммарный недобор осадков за 11 лет составил 263,3 мм).

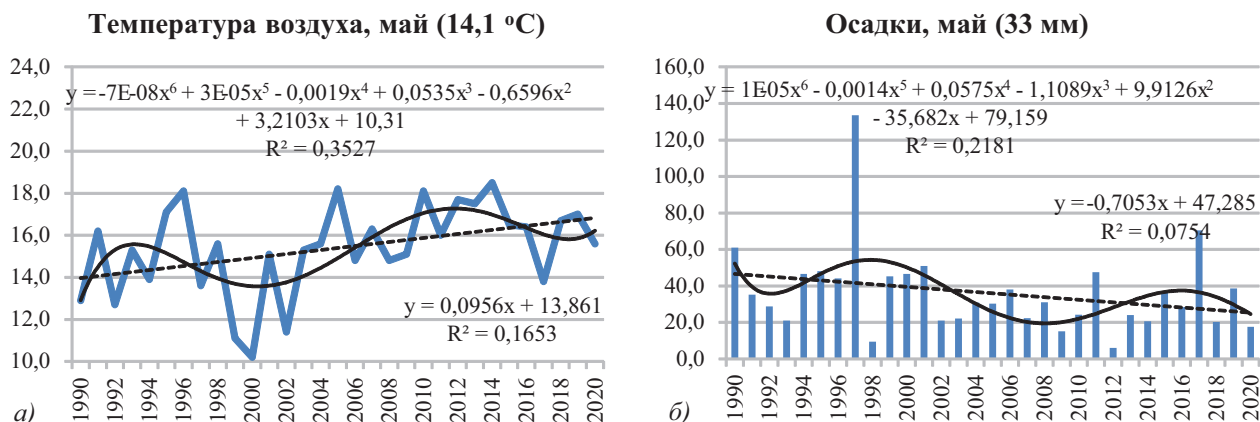


Рис. 1. График изменения среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков за май с 1990 по 2020 г.: а) — температура; ———— — линейная (температура); ————— — полиномиальная (температура); б) — осадки; ———— — линейная (осадки); ————— — полиномиальная (осадки).

Таким образом, необходимо отметить снижение суммарного количества осадков за вегетацию яровых зерновых культур (май–август) в течение исследуемого тридцатидвухлетнего периода. Если в первом десятилетии на фоне незначительного повышения температуры воздуха, максимальное превышение количества осадков за вегетацию над среднегодовым нормой в благоприятном 1990 г. составило 162 мм (99,4%), во втором (2006 г.) – 106,0 мм (65,0%), а в третьем (2017 г.) – всего 60,9 мм (37,4%). Следовательно, благоприятные по осадкам мая и летних месяцев годы суммарно потеряли за 31 год более 100 мм осадков за условную вегетацию ранних зерновых культур.

В контексте исследований важно выявить интенсивность изменения погодных условий за анализируемый период и рассчитать возможные последствия глобального потепления для региона на ближайшее десятилетие. На графиках изменения среднесуточной температуры воздуха отчетливо виден восходящий линейный тренд изменения средней температуры воздуха за период исследований и нисходящий – по сумме осадков за май месяц (рис. 1).

Уровень достоверности – аппроксимация ( $R^2$ ) по линейному тренду – довольно низкий для обоих показателей, поэтому фактические данные дополнительно описаны полиномом в шестой степени, где величина достоверности по температуре воздуха находится на уровне средних значений ( $R^2=0,352$ ), а по сумме осадков за май чуть ниже

средней ( $R^2=0,218$ ).

Согласно полиномиальному графику формируется волнообразный восходящий тренд на увеличение среднесуточной температуры воздуха в мае. Для определения прогноза изменения суточной температуры воздуха в среднем к маю 2030 г. можно использовать уравнение линейной регрессии:

$$Y_t = 0,095x + 13,86 = 0,095 \cdot (31+10) + 13,86 = 17,16 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

где  $x$  – количество лет анализируемого периода (31 год с 1990 по 2020 гг., 10 – прогноз до 2030 г.).

Необходимо отметить, что в начале исследуемого периода (1990 г.), по расчетным данным, среднесуточная температура воздуха составляла  $Y = 0,095 \cdot 1 + 13,86 = 14,0$  ( $^\circ\text{C}$ ), фактическое значение – 12,9  $^\circ\text{C}$ , а в среднем за 5 лет (1990–1994 гг.) по расчетным данным – 14,15  $^\circ\text{C}$ , по фактическим – 14,20, что свидетельствует о высокой точности расчетных данных в среднем за 5 лет.

Количество осадков в мае к 2030 г. в среднем по прогнозу составит:

$$Y_{pr} = -0,705x + 47,28 = -0,705 \cdot (31+10) + 47,28 = 18,4 \text{ (мм)},$$

что на 14,6 мм ниже многолетних значений (то есть 55,8% от нормы).

За годы исследований оптимальные сроки сева яровой пшеницы на опытном поле практически не изменились – в среднем по десятилетиям 7–8 мая, а максимально поздние по годам из-за осадков отмечали 21 мая в 1990–1999 гг. и

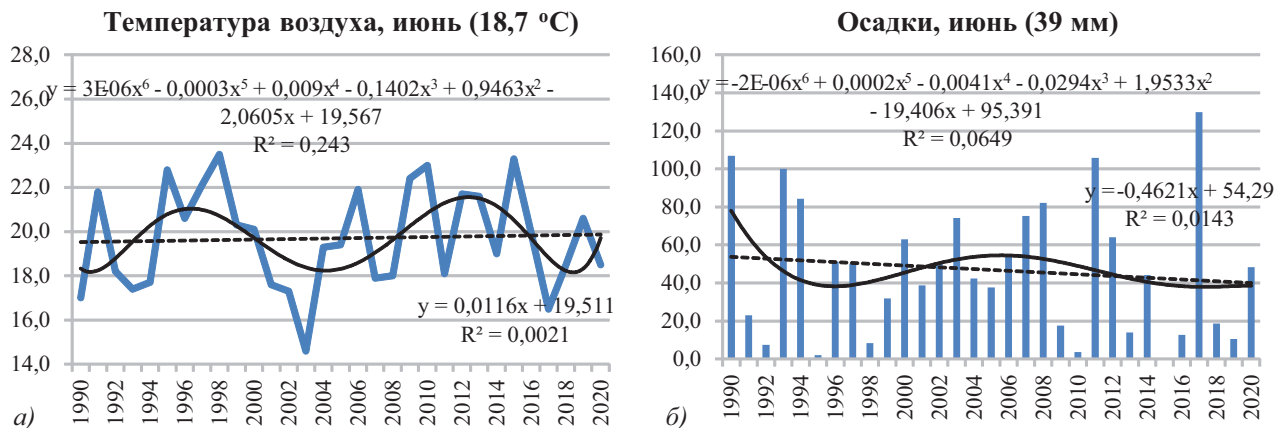


Рис. 2. График изменения среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков за июнь с 1990 по 2020 г.: а) — температура; ———— — линейная (температура); ————— — полиномиальная (температура); б) — осадки; ———— — линейная (осадки); ————— — полиномиальная (осадки).

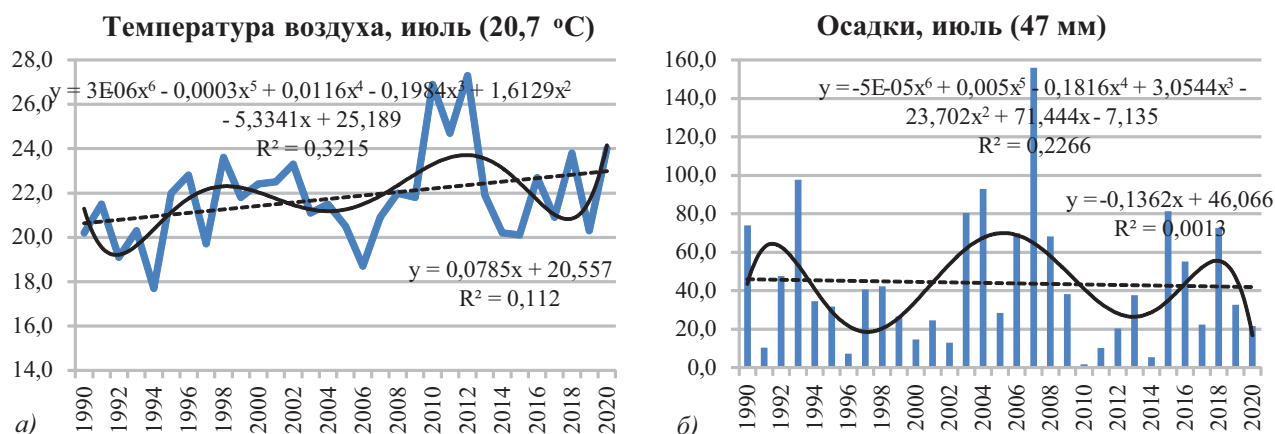


Рис. 3. График изменения среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков за июль с 1990 по 2020 гг.: а) — температура; ———— — линейная (температура); ————— — полиномиальная (температура); б) — осадки; ———— — линейная (осадки); ————— — полиномиальная (осадки).

17 мая в 2010–2020 гг. В условиях интенсивного нарастания среднесуточной температуры воздуха и отсутствия осадков в 2021 г., оптимальные сроки сева яровой пшеницы приходились на 2–7 мая, при его проведении в более поздние сроки (с 9 по 12 мая) урожайность снижалась более чем на 30%.

С учетом прогноза сокращения количества осадков и повышения температурного режима в мае, весенне-полевые работы, необходимо проводить в более сжатые и максимально ранние сроки, для обеспечения условий получения дружных всходов. При этом эффективное использование зимне-весенней влаги будет зависеть от сортов раннего срока сева с интенсивным начальным ростом и кушением. При этом к наступлению жары растения должны практически «сомкнуться в рядках», максимально закрыв междурядья. Высокая дневная температура воздуха, установившаяся в мае 2021 г., привела к увеличению температуры поверхности почвы до 58...60°C, что вызвало гибель части растений в фазе начала всходов.

Во второй месяц вегетации растений – июнь, наблюдаются высокие колебания температуры воздуха и суммы осадков по годам, но в целом тренд изменений за исследуемый период плавный (рис. 2). Это видно на обоих графиках по снижению значения коэффициента линейной регрессии относительно мая. По расчетным данным среднесуточная температура воздуха в июне к 2030 г. со-

ставит в среднем 20,0°C (+1,3° к норме), а сумма осадков снизится в среднем до 35,4 мм (-3,6 мм). Условия июня в среднем прогнозируются благоприятными для роста и развития яровой пшеницы. На этот месяц приходятся фазы развития, связанные с формированием продуктивного стеблестоя, числа колосков в колосе и числа цветков в колосках, кроме того, от погодных условий будет зависеть фертильность пыльцы и яйцеклеток. В последние годы в особо жарких и засушливых условиях на некоторых сортах уже наблюдается так называемая «череззерница», которая играет существенную роль в снижении продуктивности сортов, неадаптированных к жарким условиям и тепловому шоку, связанному, в том числе, с высокими ночными температурами воздуха.

В июле отмечается более высокий темп прироста среднесуточной температуры воздуха (+0,078°C в год; R²=0,112), которая к 2030 г. может составить в среднем 23,8°C (+3,1° к среднегодовым значениям). По осадкам, как и в предыдущем месяце, прогнозируется снижение суммы за месяц – до 40,5 мм, что на 6,5 мм меньше климатической нормы июля (рис. 3).

В июле яровая пшеница проходит такие фазы развития, как полное колошение, цветение, налив зерна и молочная спелость. От условий их прохождения зависят озерненность колоса и величина зерновки (крупность, плотность). Поэтому для сохранения и повышения уровня потенци-

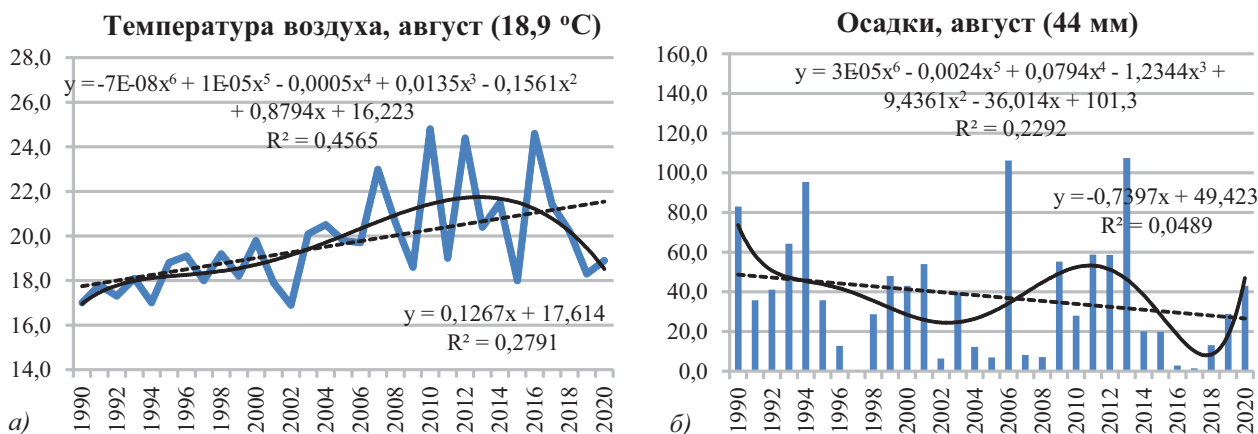


Рис. 4. График изменения среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков за август с 1990 по 2020 гг.: а) — температура; ———— — линейная (температура); ————— — полиномиальная (температура); б) — осадки; ———— — линейная (осадки); ————— — полиномиальная (осадки).

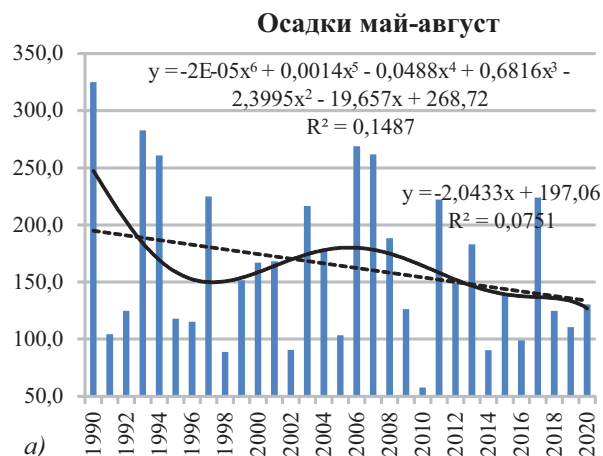
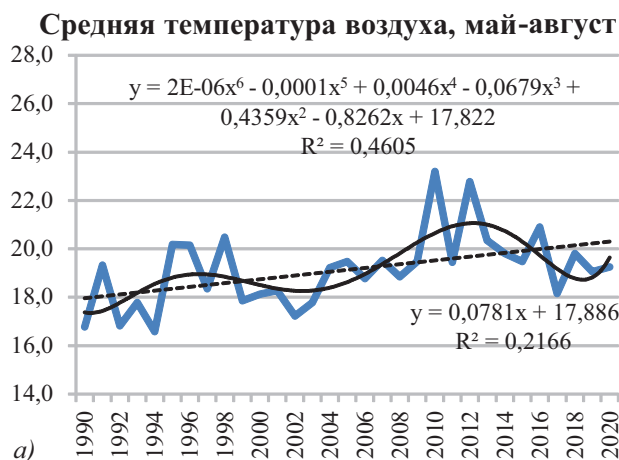


Рис. 5. График изменения среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков за период май-август с 1990 по 2020 гг.: а) — температура; ———— — линейная (температура); ———— — полиномиальная (температура); б) — осадки; ———— — линейная (осадки); ———— — полиномиальная (осадки).

альной продуктивности будущих сортов, необходимо обратить внимание на озерненность колоса сортов исходного и селекционного материала в аномально жаркие годы.

Наиболее сильные изменения в последнее десятилетие происходят со среднесуточной температурой воздуха в августе месяце (рис. 4). Согласно уравнению линейной регрессии ее повышение составляет 0,126°C в год ( $R^2=0,279$ ). Согласно графикам и уравнениям регрессии можно прогнозировать, что к августу 2030 г. средняя температура воздуха вырастет до 22,8°C (на 3,9°C выше климатической нормы), а сумма осадков снизится на 24,8 мм и составит в среднем 19,2 мм (43,6% от нормы).

Эти условия будут накладываться на фазы восковой и полной спелости зерна, когда происходит формирование таких важных элементов продуктивности, как выполненность и масса зерновки, влияющие на продуктивность растения. Величины этих показателей определяют не только формирование уровня урожайности культуры, но и его качественные характеристики, влияющие на выход муки. В стратегическом плане, уже сейчас, необходимо подбирать исходный материал для скрещиваний, устойчивый по этим признакам к предстоящим изменениям погодных условий, возможно и в ущерб высокой потенциальной продуктивности новых сортов. Необходимо также отметить, что все более часто наблюдаемые жаркие и засушливые условия в течение вегетации яровых зерновых, могут привести к тому, что уборка, преимущественно, сдвинется на конец июля.

В целом погода в период условной вегетации ранних зерновых культур (май-август), согласно расчетам по уравнениям линейной регрессии, в среднем к 2030 г. изменится следующим образом (рис. 5):

средняя температура воздуха за период май-август составит 21,1°C (+3,0°C к среднесуточной норме). При этом по аналогии с 2010–2020 гг. будут наблюдаться более высокие колебания значений по годам в сторону повышения среднесуточной температуры воздуха, а более низкие величины будут близки к среднесуточному (18,1°C). Таким образом, в предстоящее десятилетие можно ожидать в некоторые годы, повышения среднесуточной температуры воздуха за «условную вегетацию» до 24,1°C, что на 0,9°C выше аномально жаркого 2010 г.;

количество выпавших осадков за период май-август к 2030 г. сократится в среднем до 113,2 мм (-49,8 мм к среднесуточному значению).

Существенные изменения погодных условий за тридцатилетний период и, особенно за последнее десятилетие,

повлияли на продолжительность вегетации яровой мягкой пшеницы. Оптимальные сроки сева культуры, с учетом физиологической спелости почвы и погодных условий в 1990–1999 гг., согласно фенологическим наблюдениям, приходились на 26.04-21.05 (в среднем по годам на 8-9 мая), уборочная спелость культуры наступала 05.08-07.09 (в среднем за десятилетие 22 августа). Во втором периоде (2000–2009 гг.) средние сроки сева яровой пшеницы условно приходились на 07 мая, что на 1,5 суток раньше предыдущего десятилетия, но при этом интервал сроков сева по годам сократился до 14 суток (30.04-13.05). Несколько более высокий температурный фон летних месяцев, особенно августа, ускорил созревание культуры примерно на 3 суток, по сравнению с первым десятилетием (по годам – с 12.08 по 31.08, в среднем – 19 августа). В третий период (2010–2020 гг.) сроки сева в среднем приходились на 8-9 мая (по годам с 27.04 по 19.05), что практически соответствует первому десятилетию, но сроки уборочной спелости в среднем уже приходились на 14 августа (по годам 04.08-02.09), что на 8 суток раньше первого десятилетия.

Негативное влияние изменения погодных условий на рост и развитие яровой мягкой пшеницы за исследуемый период можно проследить по урожайности сорта Кинельская 59 в питомниках размножения первого и/или второго года. Анализ этих данных и расчеты по уравнению линейного тренда:  $Y_{K59} = -0,124x + 17,91$  ( $R^2 = 0,027$ ), свидетельствуют о том, что в условиях повышения среднесуточной температуры воздуха и снижения количества осадков за вегетацию она ежегодно снижается условно на 12,4 кг/га. Одновременно урожайность новых сортов и линий конкурсного испытания увеличилась на 14,8 кг/га в год ( $y = 0,148x + 17,90$ ; при  $R^2 = 0,034$ ).

Несмотря на высокий положительный эффект селекционной работы, который выражается в ежегодной прибавке урожайности новых сортов и линий 27,2 кг/га (12,4+14,8 кг), в ближайшие годы потребуются создание для региона еще более засухо- и жаростойких сортов пшеницы и других сельскохозяйственных культур. Для их выведения необходимо в первую очередь изменить подход к подбору родительских форм для гибридизации с учетом предстоящих климатических изменений даже на короткую перспективу. Несмотря на то, что изучение коллекционного материала проводится в институте давно, а с 1990 г. объемы исследований были существенно увеличены – до 450 образцов в год, основная задача при их

изучении заключалась в выделении из разнообразия сортов источников и доноров хозяйственно-ценных признаков и свойств с высокими значениями средних показателей за годы исследований, необходимых для создания сортов интенсивного и полунинтенсивного типа с высоким потенциалом продуктивности. Такая стратегия повсеместно была связана с так называемой «зеленой революцией» 1960-х гг. и имела огромный успех во всем мире. Однако погодные аномалии начала XXI в. и более частые их проявления в последнее десятилетие даже в условиях Европы, могут свидетельствовать о том, что существующие программы и методы селекции недостаточно подготавливают европейские сорта пшеницы и других основных продовольственных культур к климатической неопределенности и изменчивости [21]. Гонка за высоким потенциалом продуктивности новых сортов в условиях глобального потепления даже на 1,0 °C привела в последние годы к существенным недоборам валовой продукции зерна по всему миру.

Таким образом, в Самарской области повышение среднесуточной температуры воздуха вегетационного периода с 1990 по 2030 гг. (прогноз) в среднем на 3,0°C (фактическое повышение в 2021 г. составило 4,9°C). При этом сумма осадков снизится в среднем на 49,8 мм (в 2021 г. – снижение 51,6 мм), ГТК к концу прогнозного периода может уменьшиться в среднем до 0,44 (климатическая норма на начало периода составляла 0,73). С учетом предстоящих изменений погодных условий в регионе необходимо также выявление разнообразия откликов сортов коллекционного материала на меняющиеся условия и выделение для программ адаптивной селекции форм с минимальной реакцией на абиотические факторы среды, которые уже складывались в такие аномально жаркие и засушливые годы, как 2010 г. (ГТК вегетационного периода 0,20, осадков минус 105,3 мм от нормы, среднесуточная температура воздуха выше на 5,1°C), 2016 г. (ГТК 0,38, осадки минус 64,0 мм, температура +2,8°C) и 2021 г. (ГТК 0,39, осадки минус 51,6 мм, температура воздуха +4,9°C).

#### Литература.

1. Futuyma D.J. *Evolution*. Sunderland: Sinauer Associates. 2005. 543p.
2. Barker J.S.F. *Defining fitness in natural and domesticated populations* // *Adaptation and Fitness in Animal Populations* / ed. Van der Werf J., et al. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 3–14.
3. Hansen J., Sato M. and Ruedy R. *Perception of climate change* // *PNAS*. 2012. 109(37). P. 2415–2423. doi:10.1073/pnas.1205276109.
4. Battisti D.S., Naylor R.L. *Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat* // *Science*. 2009. 323(5911). P. 240–244. doi:10.1126/science.1164363.
5. *Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2021. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) (дата обращения 14.11.2021).
6. *Climate variation explains a third of global crop yield variability* / D.K. Ray, J.S. Gerber, G.K. MacDonald, et al. // *Nature Communications*. 2015. 6(5989). P. 1–9. URL: <https://www.nature.com/articles/ncomms6989> (дата обращения 14.11.2021). doi:10.1038/ncomms6989.
7. Грабовец А.И., Фоменко М.А. *Стабильность урожая в широком диапазоне сред – основной параметр при селекции озимой пшеницы*. – *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 5. С. 3–7. doi:10.31857/S2500262720050014.
8. Сапег В.А., Турсумбекова Г.Ш. *Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области* // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21. № 2. С. 114–123. doi:10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123.
9. *Современные сорта яровой мягкой пшеницы для лесостепной зоны Средневолжского региона* / Е.А. Дёмина, А.И. Кинчаров, Т.Ю. Таранова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. № 10. С. 16–21. doi:10.24411/0235-2451-2020-11002.
10. *Адаптивный потенциал сортов пшеницы (озимой, яровой мягкой и яровой твердой) селекции Омского аграрного научного центра* / М.Г. Евдокимов, И.А. Белан, В.С. Юсов и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 10. С. 9–15. doi:10.24411/0235-2451-2020-11001.
11. Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Дёмина Е.А. *Специфическая реакция сортов яровой мягкой пшеницы на погодные условия* // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 9. С. 61–69. doi:10.36718/1819-4036-2020-9-61-68.
12. *Оценка адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы в лесостепных условиях Среднего Поволжья* / Е.А. Дёмина, А.И. Кинчаров, Т.Ю. Таранова и др. // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 11 (214). С. 8–19. doi:10.32417/1997-4868-2021-214-11-8-19.
13. *Yield components, reproductive allometry and the tradeoff between grain yield and yield stability in dryland spring wheat* / Du Y.-L., Xi Y., Cui T. et al. // *Field Crops Research*. 2020. 257. 107930. doi:10.1016/j.fcr.2020.107930
14. Немцев С.Н., Шарипова Р.Б. *Агроклиматические ресурсы, их изменение и экологические ограничения вегетационного периода Ульяновской области* // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 3. С. 10–14. doi:10.24411/0235-2451-2021-1030
15. Жученко А.А. *Адаптивное растениеводство*. Кишинев: Штиинца. 1990. 432 с.
16. Гончаров Н.П., Косолапов В.М. *Селекция растений – основа продовольственной безопасности России* // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25. № 4. С. 361–366. doi:10.18699/VJ21.039
17. Путин В.В. *Особенно нас беспокоит таяние вечной мерзлоты* // *Газета.Ru*. URL: <https://www.gazeta.ru/social/2021/10/31/14154643.shtml?updated> (дата обращения 15.11.2021).
18. Kushnir, Y., Scaife, A.A., Arritt, R. et al. *Towards operational predictions of the near-term climate* // *Nature Climate Change*. 2019. 9. P. 94–101. doi:10.1038/s41558-018-0359-7.
19. *Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. М. 2019. Выпуск первый. Общая часть. 329 с. URL: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica\\_1.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_1.pdf) (дата обращения 14.11.2021).
20. Мартынов С.П., Мусин Н.Н., Кулагина Т.В. *Пакет программ, селекционно-ориентированных и биометрико-генетических методов «Agros»*. Тверь, 1993.
21. *Decline in climate resilience of European wheat* / H. Kahiluoto, J. Kaseva, J. Balek, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019. 116(1). P. 123–128. doi:10.1073/pnas.1804387115.

Поступила в редакцию 14.10.2021  
После доработки 18.11.2021  
Принята к публикации 25.01.2022