

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ РЖИ В Контрастных Гидротермических Условиях Севера Среднево́лжья

**С.Н. ПОНОМАРЕВ**, доктор сельскохозяйственных наук, ORCID 0000-0001-8898-4435,  
E-mail: s.ponomarev2020@yandex.ru

**М.Л. ПОНОМАРЕВА**, доктор биологических наук, ORCID 0000-0002-1648-3938

**Г.С. МАННАПОВА**, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID 0000-0002-9097-783X

**С.И. ФОМИН**, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID 0000-0002-9295-4770

ТАТАРСКИЙ НИИСХ – ОСП ФИЦ «КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН»

*Цель исследования – выявить реакцию урожайности сортов озимой ржи на дефицит увлажнения и корреляции с компонентами урожая в благоприятных условиях весенне-летней вегетации и в условиях засухи. Исследование было выполнено в ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН (Республика Татарстан, север Среднево́лжского региона) в контрастные по гидротермическому режиму 2020-2021 гг. Объектом исследования являлись 11 сортов и популяций озимой ржи конкурсного сортоиспытания. Для анализа результатов использован метод главных компонент с биплот визуализацией. Выявлено, что урожайность в большей степени зависела от количества продуктивных стеблей на единице площади, числа зерен с 1 м<sup>2</sup>, массы зерна с главного колоса, массы 1000 зерен, натуры зерна и высоты растений. Факторные нагрузки перечисленных показателей определяли 94,4% изменчивости урожайности в благоприятный год и 87% – при лимите влаги. Показан разный вклад и неодинаковые факторные нагрузки урожайобразующих признаков в изменчивость урожайности в контрастные годы. В результате негативного влияния погодных факторов в 2021 году наиболее существенную депрессию, по сравнению с благоприятным годом, проявили урожайность зерна (на 40,7%), масса 1000 зерен (28,5%) и масса зерна с главного колоса (27,6%). Выявлена неодинаковая реакция на дефицит влаги и благоприятное увлажнение при формировании урожайности сортов Подарок, Огонек, Татарская 1, Популяция 18, Популяция Дымчатая. Наибольшую урожайность по результатам контрастных лет проявили перспективные популяции Популяция 19, Популяция 20, Популяция 18 и сорт Татарская 1. Рассмотрены корреляционные связи между хозяйственными признаками сортов озимой ржи в благоприятных условиях весенне-летней вегетации и в условиях засухи.*

**Ключевые слова:** озимая рожь, сорт, засухоустойчивость, метод главных компонент, урожайность, густота продуктивного стеблестоя, высота растений, масса 1000 зерен.

**Для цитирования:** Пономарев С.Н., Пономарева М.Л., Маннапова Г.С., Фомин С.И. Особенности формирования урожайности озимой ржи в контрастных гидротермических условиях севера Среднево́лжья. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022; 4(44):151-162. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-151-162

## FEATURES OF WINTER RYE YIELD FORMATION IN CONTRASTING HYDROTHERMAL CONDITIONS OF THE NORTHERN MIDDLE VOLGA REGION

**S.N. Ponomarev, M.L. Ponomareva, G.S. Mannapova, S.I. Fomin**

TATAR RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE - SSU FRC «KazSC RAS»

**Abstract:** The goal of the study was to determine the response of winter rye varieties to humidity deficit and correlations with yield components under favorable conditions of spring-summer vegetation and under drought conditions. The study was carried out in Tatar Scientific Research Institute of Agriculture, FRC Kazan Scientific Center of RAS (Republic of Tatarstan, the north of the Middle Volga region) in contrasting hydrothermal conditions in 2020-2021. The object of the study was 11 varieties and populations of winter rye of the competitive variety trials. Principal components method with biplot visualization was used to analyze the results. It was found that the yield depended to a larger extent on the number of productive stems per unit area, grains per 1 m<sup>2</sup>, grain weight from the main spike, 1000 grains weight, hectoliter weight and plant height. These factors contributed 94,4% to the variability of the yield in the favorable year and 87% in the case of limiting the moisture content. The different contribution and unequal factor loadings of yield-forming traits to the variability of the yield in the contrasting years are shown. As a result of negative influence of weather factors in 2021, the most significant depression as compared with a favorable year showed grain yield (40.7%), 1000 grains weight (28.5%) and grain weight from the main spike (27.6%). It was revealed unequal response to moisture deficit and favorable moisture in the formation of the yield of varieties Podarok, Ogonek, Tatarskaya 1, Population 18, Population Dymchataya. Promising populations Population 19, Population 20, Population 18, and variety Tatarskaya 1 showed the highest yield according to the results of contrasting years. The correlations between economic traits of winter rye varieties under favorable conditions of spring-summer vegetation and under drought conditions were considered.

**Keywords:** winter rye, varieties, drought tolerance, principal components analysis, yield, number of productive stems, plant height, 1000-grain weigh.

### Введение

Засуха является одним из наиболее распространенных и серьезных абиотических стрессовых факторов, воздействующих на сельскохозяйственные растения. Поэтому селекционные программы, направленные на повышение урожайности, параллельно сконцентрированы и на улучшение засухоустойчивости, природа которой сложна и зависит от множества морфологических, биохимических и физиологических признаков.

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) считается довольно засухоустойчивой культурой среди других злаков [1, 2]. Рожь обычно выращивается на песчаных или малоплодородных почвах с низкой водоудерживающей способностью, поэтому для получения высоких и стабильных урожаев зерна необходимы засухоустойчивые сорта озимой ржи. Устойчивость этой зерновой культуры к засухе имеет огромное значение, так как каждый центнер урожая в годы с сильной и продолжительной засухой имеет большую ценность, чем в благоприятные годы. В связи с этим, увеличение доли посевов озимой ржи в зерновом клине и использование в производстве наиболее засухоустойчивых сортов озимой ржи приведет к стабилизации валовых сборов зерна [3].

Изменения климата, наблюдаемые в последние годы, многообразны и проявляются не только в колебаниях температурного и водного режимов, но и в изменении частоты и интенсивности климатических аномалий и экстремальных погодных явлений. Посевы озимой ржи ценны для республики Татарстан из-за того, что особенностью климата этого региона является неравномерное чередование повторяющихся засух с благоприятными для роста и развития годами. Наибольшая частота засух очень сильной интенсивности наблюдалась в период с 1940 по 1975 гг., а наименьшая – в период 1976-2009 гг. Наибольший ущерб урожайности и валовым сборам ржи нанесли продолжительные летние засухи 1998, 2010, 2012 и 2021 гг., причем наиболее губительной стала засуха 2010 г. Производство зерна ржи в 2010 г. составило 113,76 тыс. т и урожайность 1,17 т/га в сравнении с 584,5 тыс. т и 3,31 т/га, соответственно, в благоприятном 2009 году [4]. В последние годы наблюдается последовательный рост засух, различных по интенсивности, продолжительности и времени наступления. В связи с вышесказанным, представляется очень важным провести оценку сортов озимой ржи по засухоустойчивости в критических условиях естественного

проявления недостатка влаги и высоких температур в сравнении с благоприятным годом для корректировки селекционной программы.

**Цель исследования** – выявить реакцию урожайности сортов озимой ржи на дефицит увлажнения и корреляции с компонентами урожая в благоприятных условиях весенне-летней вегетации и в условиях засухи.

### Материал и методы исследований

В экспериментах были использованы семь сортов озимой ржи, включенные в Госреестр РФ и четыре перспективные популяции в сравнении со стандартом Тантана (все собственной селекции). Полевые опыты размещались по черному пару на серой лесной, среднесуглинистой почве селекционного стационара Татарского НИИСХ. Территория землепользования расположена в с. Большие Кабаны Лаишевского района республики Татарстан (координаты 55.647559, 49.308059).

Закладка опыта и анализ урожайности сортов проводились по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [5]. Сорта озимой ржи высевались рендомизированными блоками в четырехкратной повторности, с нормой посева 5 млн. всхожих семян на гектар, учетная площадь делянок составляла 12,5 м<sup>2</sup>.

Для характеристики влажностного и температурного режима вегетационного периода озимой ржи в период весенне-летней вегетации анализировали соответствующие показатели, зарегистрированные на агрометеостанции института: среднесуточная и среднемесячная температура воздуха и сумма осадков, а также гидротермический коэффициент (ГТК), рассчитанный по формуле Г.Т. Селянинова. Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием программ XL STAT 2019.2.2.59614 и GraphPad Prism методами дисперсионного, корреляционного анализа и главных компонент.

Для определения степени влияния засухи на продуктивность сортов озимой ржи были изучены урожайность зерна (т/га), густота продуктивного стеблестоя (шт./м<sup>2</sup>), число зерен с 1 м<sup>2</sup> (шт./ м<sup>2</sup>), высота растений (см), масса 1000 зерен (г), масса зерна с главного колоса (г).

Агрометеорологические условия весенне-летнего периода вегетации растений за 2020 и 2021 годы были сильно контрастными (табл. 1). Среднесуточная температура воздуха за май и июнь в 2021 году была значительно выше, чем в 2020 году, и существенно отличалась от нормы. Сумма осадков за этот период в 2020 году составила 209 мм (уборка проведена во второй декаде августа), что близко к среднесуточным данным, а в 2021 – всего 60 мм (уборка проведена в третьей декаде июля), т.е. на 71% меньше в сравнении с 2020 годом.

Таблица 1

### Агрометеорологические условия вегетации озимой ржи (май – август 2020-2021 гг.)

| Месяцы | 2020 год                               |       |                   |       | 2021 год                               |       |                   |       |
|--------|----------------------------------------|-------|-------------------|-------|----------------------------------------|-------|-------------------|-------|
|        | Среднесуточная температура воздуха, °С |       | Сумма осадков, мм |       | Среднесуточная температура воздуха, °С |       | Сумма осадков, мм |       |
|        | факт.                                  | норма | факт.             | норма | факт.                                  | норма | факт.             | норма |
| Май    | 13,4                                   | 12,9  | 60                | 34    | 18,0                                   | 12,9  | 17                | 34    |
| Июнь   | 16,6                                   | 17,1  | 35                | 62    | 22,2                                   | 17,1  | 11                | 62    |
| Июль   | 22,1                                   | 19,5  | 32                | 59    | 22,0                                   | 19,5  | 32                | 59    |
| Август | 17,0                                   | 17,3  | 82                | 55    | 22,2                                   | 17,3  | 18                | 55    |

Условия весенне-летнего периода вегетации растений в 2020 году протекали при очень благоприятных условиях по увлажненности (рис.1). Май, июнь и август были избыточно влажными (ГТК= 5,1, 1,8 и 3,8, соответственно), а июль – недостаточно влажным (ГТК= 0,9). В 2021 году период вегетации с мая по август характеризовался крайним дефицитом влаги (ГТК= 0,45), особенно экстремально сухим был июнь (ГТК= 0,14). Период активного роста в мае также сопровождался остро засушливыми условиями (ГТК= 0,32). Такая контрастная картина естественно сложившихся гидротермических условий позволила нам провести

сравнение урожайности и других хозяйственно ценных показателей для повышения прогресса селекции в отношении устойчивости к засухе.

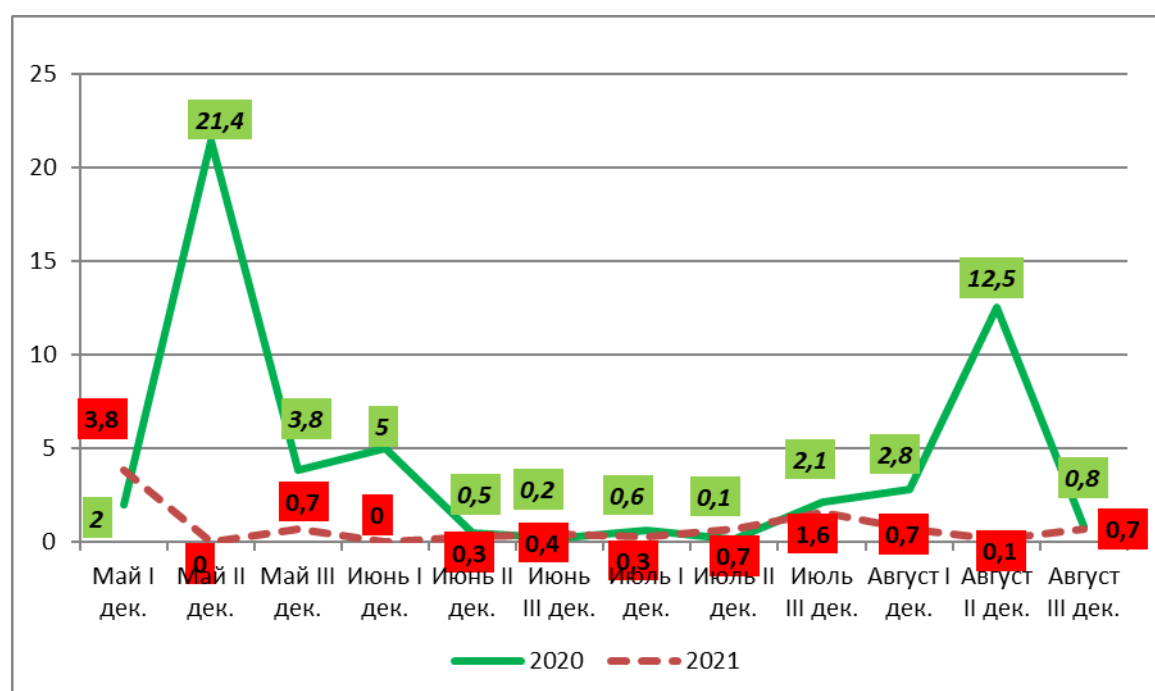


Рис. 1. Подекадная динамика гидротермического коэффициента весенне-летней вегетации растений озимой ржи, 2020-2021 гг.

### Результаты и их обсуждение

Селекционные программы по созданию засухоустойчивых сортов озимой ржи, реализуемые в РФ и в ТатНИИСХ, в основном базируются на отборе перспективного материала в экстремальные по гидротермическим характеристикам годы.

Урожайность сортов конкурсного испытания в 2020 г. варьировала от 4,69 до 6,17 т/га. Лидерами по урожайности были районированные сорта Эстафета Татарстана и Огонек (+0,40 и +0,65 т/га к стандарту, соответственно) (рис. 2). Из новых перспективных сортообразцов выделились Популяция Дымчатая и Популяция 20, урожайность которых была достоверно выше стандарта и равнялась 6,17 и 5,75 т/га, соответственно ( $НСР_{05}=0,38$  т/га). Амплитуда изменчивости урожайности в засушливом году (2021 г.) составила 2,87-3,56 т/га. По урожайности достоверно превысили стандарт перспективные Популяции 18, 19 и 20. Прибавка урожая к стандарту у данных популяций составила 0,38, 0,42 и 0,30 т/га, соответственно. В 2021 г. сорта Татарская 1, Эстафета Татарстана, Зилант по урожайности превысили стандарт Тантану на 0,02...0,28 т/га, но прибавка статистически не доказана.

Средняя урожайность всех изучаемых сортов озимой ржи в 2020 г. составила 5,44 т/га, а в 2021 г. – 3,23 т/га, снижение значений признака на фоне засухи равнялось на 40,7% (рис. 3). Продуктивный стеблестой в среднем по сортам и перспективным популяциям озимой ржи в 2021 году составил 471 шт./м<sup>2</sup>, в 2020 – 515 шт./м<sup>2</sup>. Вредоносность засухи по данному признаку проявилась на 8,5% (или на 44 шт./м<sup>2</sup>). Формирование довольно хорошей густоты продуктивного стеблестоя и небольшое снижение данного показателя у сортов озимой ржи произошло за счет благоприятных условий, сложившихся в осенний период, и хорошей сохранности посевов в период перезимовки. Влияние неблагоприятных гидротермических условий на высоту растений сортов озимой ржи конкурсного сортоиспытания проявилось на 17%, уменьшение данного показателя с 159 см (2020 г) до 132 см (2021 г.) положительно отразилось на устойчивости к полеганию.

Число зерен с 1 м<sup>2</sup> в неблагоприятном 2021 г. составило 15305 шт./м<sup>2</sup>, что на 16,2% меньше, чем в предыдущем году (рис.3). По массе 1000 зерен разница средних значений

равнялась 28,5% (26,5 г в 2020 г и 18,9 г в 2021 г.). Другим значительно сниженным признаком, который уменьшился в результате засухи, была масса зерна с главного колоса. Разница средних показателей в контрастные годы составила 27,6%.

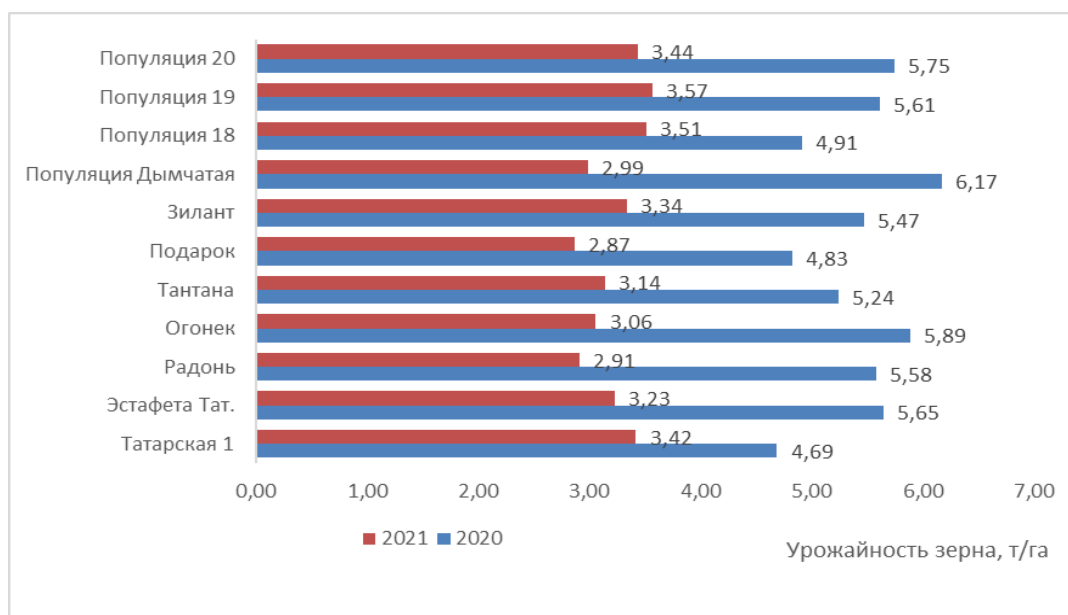


Рис. 2. Урожайность зерна сортов озимой ржи конкурсного сортоиспытания, т/га, 2020-2021 гг.

Единственным показателем, который несколько увеличился (на 1,7%) в результате воздействия напряженных гидротермических условий, оказалась натура зерна.

В.А. Крупнов утверждал, что засуха – это не просто дефицит воды, а сложная комбинация недостатка влаги, температурного стресса, сухости воздуха («суховей»), и других абиотических и биотических факторов [6]. И от того, какова напряженность этого стресса и на какой стадии возник дефицит воды зависит ответная реакция растений, выражаемая засухоустойчивостью. Поэтому при оценках в полевых условиях сортов озимой ржи на этот показатель, следует учитывать фенологическую фазу развития растений, попавшую под воздействие засухи.

На создание 1 ц зерна рожь расходует 6-8 мм запасов почвенной влаги, причем до 60% ассимилятов, поставляемых в колос, образуется в тканях стебля [7]. Выявлено, что засуха в фазу трубкования в основном снижает количество колосьев и зерен с колоса, тогда как ее наступление в фазу колошения способно усилить уменьшение количества предварительно сформированных побегов и снизить урожай зерна, уменьшая число завязавшихся зерен в колосе. Дефицит воды, низкая влажность воздуха и высокие температуры в период цветения и оплодотворения уменьшают озерненность колосьев [8]. Засуха в фазу формирования и налива зерна лимитирует урожайность за счет снижения массы 1000 зерен и продуктивности главного колоса [9]. При этом ряд авторов подчеркивает, что максимальная засухоустойчивость отдельных сортов может проявляться на разных стадиях развития растений [10].

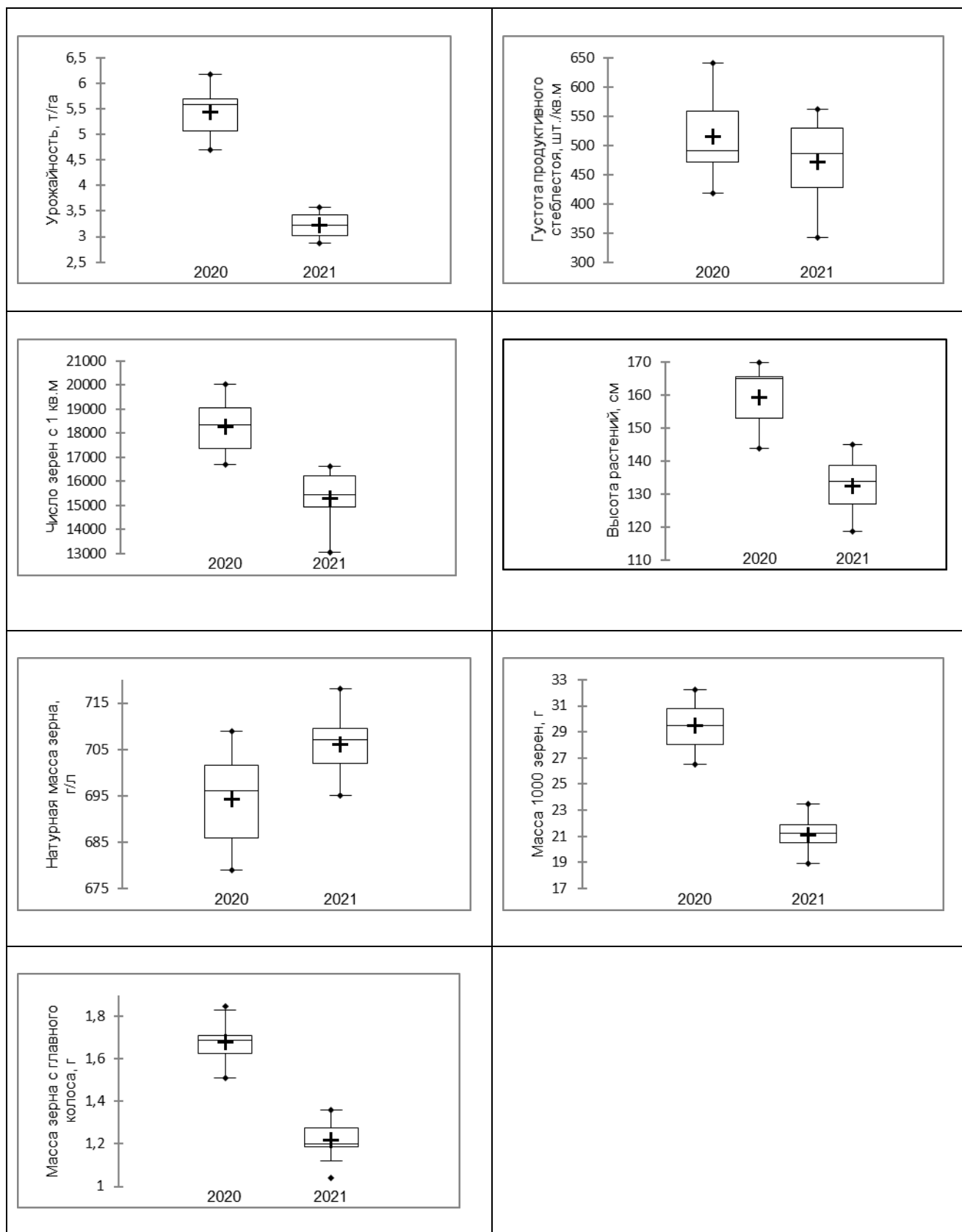


Рис. 3. Диаграмма размаха (боксплот), показывающая изменчивость показателей у 11 сортов в 2020 (благоприятном) и 2021 (засушливом) годах. Величина ящика представляет интерквартильный размах, крестик – среднее значение, усы – минимальные и максимальные значения, горизонтальная линия – медиана.

Весенне-летний период 2021 года характеризовался крайне засушливыми условиями, особенно в критические периоды водопотребления, начиная от фазы трубкования – до формирования зерна. Неблагоприятные условия в этот период приостановили увеличение вегетативной массы, привели к замедлению процессов морфогенеза, негативно отразились на наливе зерна, а также вызвали его щуплость и невыполненность. Наши исследования показали, что в результате негативного влияния погодных факторов в 2021 году наиболее существенную депрессию, по сравнению с благоприятным годом, проявили урожайность зерна, масса зерна с главного колоса и масса 1000 зерен.

В селекционном плане важно установить влияние отдельных урожайобразующих признаков на формирование конечной урожайности при разных гидротермических условиях. При этом урожайность рассматривается как целевой признак, а другие признаки рассматриваются как объясняющие признаки или коварианты целевого признака. На основе анализа результатов исследования с использованием метода главных компонент (РСА) рассчитаны вклады, с которыми изучаемые признаки включены в главные компоненты (табл. 2). Значения, выделенные жирным шрифтом, соответствуют для каждой переменной фактору, для которого квадратный косинус является наибольшим.

Главные компоненты отражают несколько причин изменчивости урожайности, а их значимость оценивается по доле дисперсии в общей дисперсии признака. Было выявлено семь главных компонент, влияющих на урожайность, причем первая имеет наибольший вклад в вариацию урожайности сортов озимой ржи, а каждая последующая меньший. Учитывая относительно невысокий вклад с четвертой по седьмую компоненту, ими можно пренебречь.

Густота продуктивного стеблестоя и число зерен с единицы площади могут, таким образом, объяснить 41,8% наблюдаемых вариаций урожайности анализируемых генотипов во взаимосвязи с комфортными условиями роста в 2020 году. Вторую компоненту составили масса 1000 зерен и натура зерна, которые в случае достаточного увлажнения в период налива способны увеличить заложенный урожай (изменчивость 29,86%). Масса зерна с главного колоса преобладала в 3-ей компоненте, объясняя 12,6% вариации урожайности сортов ржи. Четвертая компонента, включающая высоту растений, способна изменить урожайность на 11,3%. Обычно это обусловлено тем, что высокорослые сорта при избытке влаги в период активного роста способны полегать, что приводит к потере урожайности. На эти урожайобразующие показатели суммарно приходится 94,4% всей изменчивости результирующего признака.

В неблагоприятный по гидротермическим условиям год выявлены другие особенности, приводящие к изменчивости урожайности, которые были распределены на 3 главные компоненты (табл. 2). Наибольшую долю объясненной изменчивости (43,05%) в урожайность вносят густота продуктивного стеблестоя, число зерен с 1 м<sup>2</sup> и масса зерна с главного колоса. Почти 27% вариации обусловлены признаками масса 1000 зерен и натура зерна, и 17% - высотой растений. Суммарное значение накопленной изменчивости факторных нагрузок на эти три главные компоненты равнялось 87%, оставшиеся 13% объяснялись иными признаками, которые не фиксировались в данном эксперименте.

Интерпретация метода главных компонент дополнена анализом биплота и его графическим представлением в системе двух первых компонент с наибольшей долей в дисперсии. Построение биплота графика, представленного на рисунке 4, позволило облегчить понимание фенотипических корреляций между признаками и сгруппировать отдельные сорта, имеющие схожие морфогенетические реакции на контрастные гидротермические условия вегетации. Благоприятные условия (2020 г.) продемонстрировали 41,84% изменчивости урожайности, наблюдаемой для F1, и 28,64% изменчивости для F2; общая изменчивость по всем признакам составила 70,48%. В условиях засухи эти значения составили 43,05 и 26,97% для F1 и F2, соответственно, и 70,02% от общей изменчивости.

При анализе биплотов расположение векторов признака вблизи генотипа указывает на то, что данный признак является подходящим по отношению к нему. В 2020 г. селекционно-

ценные признаки, расположенные далеко от центра и близко друг к другу (урожайность, продуктивный стеблестой, масса зерна с колоса, число зерен с единицы площади и высота растений) коррелировали положительно.

Результаты анализа биплота свидетельствуют о различной реакции созданных сортов и перспективных популяций озимой ржи к засушливым и благоприятным условиям, поэтому на графике они распределены по всем четвертям.

Таблица 2

**Значения факторных нагрузок урожайобразующих показателей  
сортов и популяций озимой ржи**

|                                  | Главные компоненты |              |              |              |
|----------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                  | F1                 | F2           | F3           | F4           |
| Благоприятный год (2020)         |                    |              |              |              |
| Урожайность                      | <b>0,869</b>       | 0,101        | 0,005        | 0,002        |
| Густота продуктивного стеблестоя | <b>0,574</b>       | 0,016        | 0,292        | 0,100        |
| Число зерен с 1 м <sup>2</sup>   | <b>0,808</b>       | 0,102        | 0,009        | 0,000        |
| Высота растений                  | 0,264              | 0,121        | 0,020        | <b>0,560</b> |
| Масса зерна с главного колоса    | 0,391              | 0,016        | <b>0,532</b> | 0,026        |
| Масса 1000 зерен                 | 0,021              | <b>0,877</b> | 0,001        | 0,000        |
| Натурная масса зерна             | 0,000              | <b>0,774</b> | 0,025        | 0,100        |
| Изменчивость (%)                 | 41,835             | 28,642       | 12,609       | 11,274       |
| Накопленная изменчивость %       | 41,835             | 70,477       | 83,086       | 94,359       |
| Засушливый год (2021)            |                    |              |              |              |
| Урожайность                      | <b>0,763</b>       | 0,129        | 0,059        | 0,030        |
| Густота продуктивного стеблестоя | <b>0,870</b>       | 0,000        | 0,010        | 0,054        |
| Число зерен с 1 м <sup>2</sup>   | <b>0,750</b>       | 0,118        | 0,090        | 0,010        |
| Высота растений                  | 0,030              | 0,036        | <b>0,854</b> | 0,037        |
| Масса зерна с главного колоса    | <b>0,378</b>       | 0,242        | 0,002        | 0,356        |
| Масса 1000 зерен                 | 0,003              | <b>0,919</b> | 0,004        | 0,004        |
| Натурная масса зерна             | 0,220              | <b>0,444</b> | 0,173        | 0,063        |
| Изменчивость (%)                 | 43,048             | 26,971       | 17,032       | 7,892        |
| Накопленная изменчивость %       | 43,048             | 70,020       | 87,052       | 94,944       |

Особое внимание следует уделить сортам на вершинах биплота (отмечены красным свечением), которые характеризуются своеобразными путями формирования урожайности в контрастные по гидротермическому режиму годы (Подарок, Огонек, Татарская 1, Популяция 18, Популяция Дымчатая).

В 2020 г. сорта Радонь, Эстафета Татарстана и Популяция 20 формировали урожайность за счет сохранения к уборке продуктивного стеблестоя и высокой массы зерна с колоса, Популяция Дымчатая за счет увеличения числа зерен с единицы площади, а Зилант – еще за счет более короткой соломины, которая позволяет противостоять полеганию. Для сортов Огонек и Популяция 19 характерны более высокие масса 1000 зерен и натура зерна.

При дефиците влаги перспективные Популяции 18, 19, 20 и сорт Эстафета Татарстана формировали высокую урожайность за счет повышения массы зерна с главного колоса, а Татарская 1 и Зилант – высокого числа зерен с 1 м<sup>2</sup>. В 2021 г. признаки масса 1000 зерен и натура зерна не внесли существенный вклад в формирование урожайности озимой ржи, поскольку погодные условия привели к крайней мелкозерности и щуплости зерна практически всех сортов. Вектора последних признаков находятся под прямым углом (отсутствие корреляции) или тупым углом (отрицательные корреляции) к вектору урожайности. Из рис. 4 также следует, что сорт Подарок генетически отличается от сортов, локализованных в правой половине биплота, другими корреляционными связями, поэтому он локализовался отдельно, причем в разные годы в разных четвертях. Сорт Тантана,



наоборот, в различные по увлажнению годы стабильно занимал одинаковое местоположение на графике, что подтверждает его относительно устойчивую продуктивность независимо от режима увлажнения и выбор в качестве стандарта в сортоиспытании.

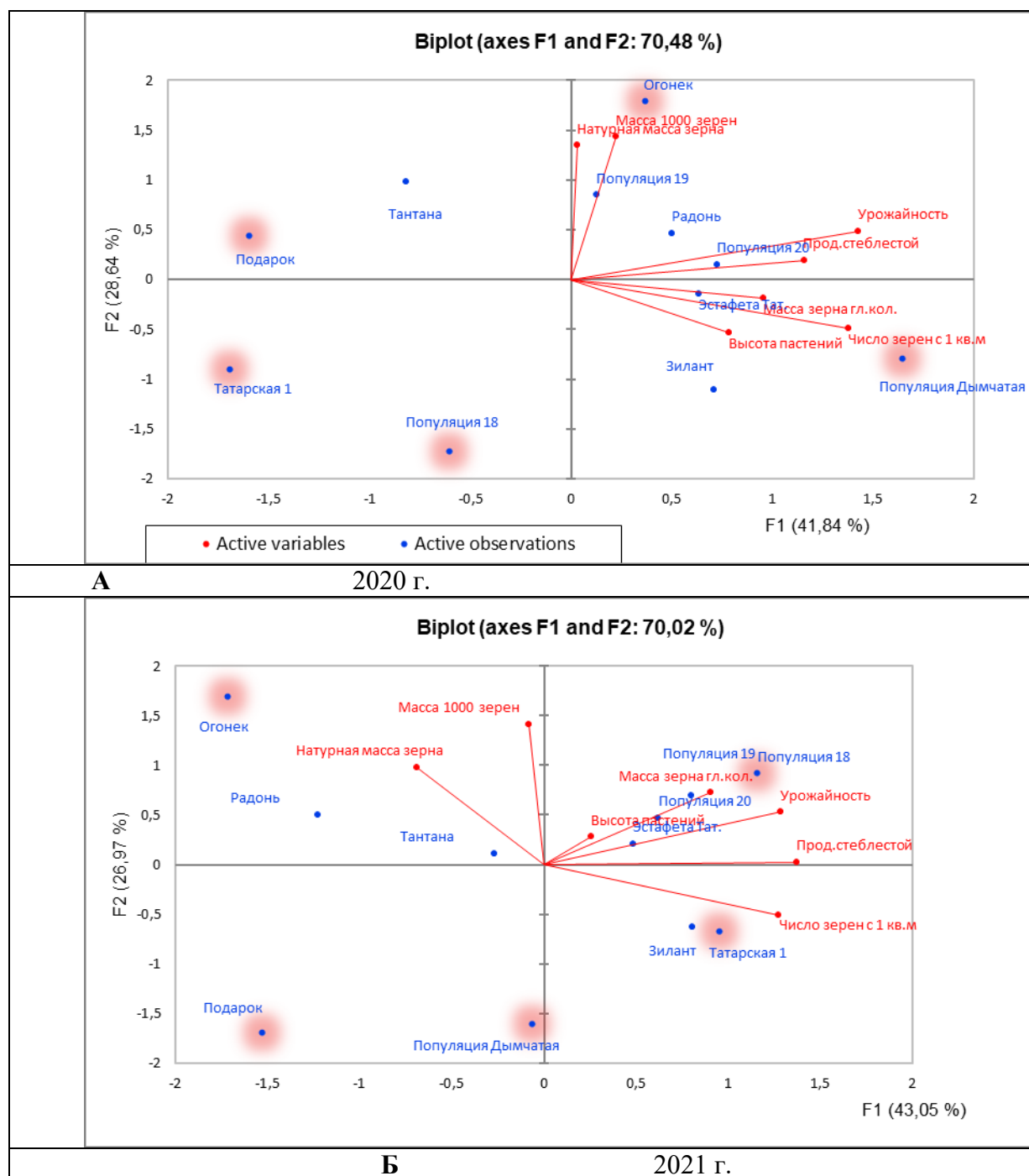


Рис. 4. Биплот (РСА) корреляций урожайности, продуктивного стеблестоя, высоты растений, числа зерен с 1 м<sup>2</sup>, массы зерна с главного колоса, массы 1000 зерен, натурной массы зерна в благоприятный год (2020, А) и засушливый год (2021, Б) для 11 сортов озимой ржи конкурсного сортоиспытания. График показывает эффекты первой и второй главных компонент (F1 и F2, соответственно).

Отмечено, что новые сортообразцы (Популяция 19 и 20) более адаптированы к условиям региона, менее зависят от неблагоприятных температурных факторов, а Популяции 18 и Дымчатая в большей степени отзывчивы на осадки в период летней вегетации растений.

Сравнение матрицы парных коэффициентов корреляции в контрастные по увлажнению годы показало, что урожайность зерна стабильно в сильной степени зависела от плотности продуктивного стеблестоя и числа зерен с 1 м<sup>2</sup> как в 2020 (r=0,78 и r=0,74), так и в 2021 году (r=0,81 и r=0,73), соответственно (рис. 5).

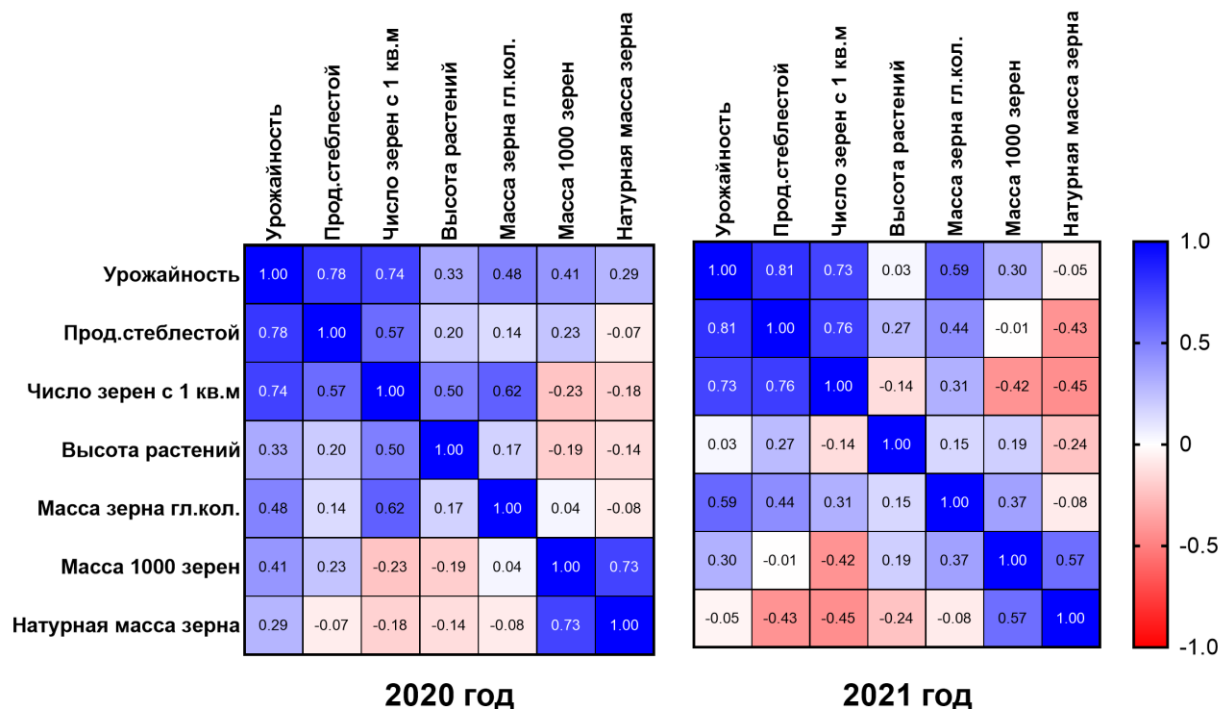


Рис. 5. Матрицы парных коэффициентов корреляции в благоприятном по увлажнению 2020 г. и неблагоприятном (засушливом) 2021 г.

В засушливых условиях 2021 г. отмечается усиление зависимости урожайности от массы зерна с главного колоса (r=0,59) и ослабление от массы 1000 зерен (r=0,30) по сравнению с благоприятным по увлажнению 2020 г. (r=0,48 и r=0,30, соответственно). Густота продуктивного стеблестоя на фоне дефицита влаги более тесно коррелирует с числом зерен с 1 м<sup>2</sup>, массой зерна с главного колоса и натурой зерна. Высота растений в благоприятных условиях имела умеренную корреляцию с числом зерен с 1 м<sup>2</sup>, которая отсутствовала в условиях дефицита влаги. Таким образом, отмечены изменения в силе связей между важнейшими хозяйственными признаками озимой ржи на фоне разных по гидротермическим условиям лет изучения, что является результатом приспособительных реакций растений на количество ресурсов тепла и влаги.

### Закключение

В условиях севера Среднего Поволжья засушливые годы непредсказуемо чередуются с сезонами, относительно благоприятными по водному режиму, поэтому круг селекционных задач расширяется. Необходимо улучшать не только толерантность к высоким температурам и дефициту воды, но одновременно и отзывчивость на благоприятные условия увлажнения, когда урожайность зерна озимой ржи может быть значительно выше, чем в остро засушливые сезоны.

Величина урожайности в большей степени зависела от количества продуктивных стеблей на единице площади, числа зерен с 1 м<sup>2</sup>, массы зерна с главного колоса, массы 1000 зерен, натуре зерна и высоты растений. Факторные нагрузки перечисленных показателей определяли 94,4% изменчивости урожайности в благоприятный год и 87% – при лимите влаги, объединенные в 4 и 3 главные компоненты, соответственно. В результате негативного влияния погодных факторов в 2021 году, когда недостаток влаги наблюдался от выхода в трубку до налива зерна, наиболее существенную депрессию по сравнению с благоприятным

годом проявили урожайность зерна (на 40,7%), масса 1000 зерен (28,5%) и масса зерна с главного колоса (27,6%). Указанные показатели могут быть предметом косвенного отбора на урожайность, когда прямой отбор на устойчивость к дефициту увлажнения невозможен. Выявлена различная реакция в формировании урожайности сортов Подарок, Огонек, Татарская 1, Популяция 18, Популяция Дымчатая в контрастные по гидротермическому режиму годы. Наибольшую урожайность по результатам контрастных лет проявили перспективные популяции Популяция 19, Популяция 20, Популяция 18 и сорт Татарская 1. Выявлены сходные по направлению, но неодинаковые по силе, корреляционные связи между хозяйственными признаками сортов озимой ржи в благоприятных условиях весенне-летней вегетации и в условиях засухи.

**Статья подготовлена по теме НИР № 122011800138-7 в рамках Государственного задания ТамНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН.**

### Литература

1. Шабает А.И., Бамбышев У.С. Особенности технологии возделывания новых сортов озимой ржи в Поволжье. //Сборник трудов конференции: Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии, переработка. Саратов: НИИСХ Юго-Востока. – 2008 – С. 178-185.
2. Баталова Г.А. Состояние и перспективы селекции и возделывания зернофуражных культур в России. // Зерновое хозяйство России. – 2011. – № 3. – С. 15-22.
3. Чайкин В.В., Тороп А.А., Рыльков А.И. Зимо- и засухоустойчивость озимой ржи в условиях Центрально-Чернозёмного региона. // Земледелие. – 2017. – № 2. – С. 32-35.
4. Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Тагиров М.Ш. Динамика факторов производства и использования зерна ржи в Российской Федерации и республике Татарстан // Земледелие. – 2014. – №. 8. – С. 6-9.
5. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. – М. – 2019. – 329 с. [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica\\_1.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_1.pdf)
6. Крупнов В.А. Генетическая сложность и контекст-специфичность признаков урожая пшеницы в засушливых условиях // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17. – №. 3. – С. 524-534.
7. Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Маннапова Г.С., Гильмуллина Л.Ф., Фомин С.И., Илалова Л.В., Гараева Н.Ш., Хамитова Г.М., Сайфутдинова Д.Д. Рожь и тритикале: биология, технология, использование / Научно-технологический справочник. Казань: Изд-во Академия наук РТ. – 2020. – 80 с.
8. Kottmann L., Wilde P., Schittenhelm S. How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye? // European Journal of Agronomy. - 2016. - V. 75. - pp. 25-32. DOI 10.1016/j.eja.2015.12.010
9. Graß R., Böttcher, U., Lilienthal, H., Wilde, P., Kage H. Is canopy temperature suitable for high throughput field phenotyping of drought resistance of winter rye in temperate climate? //European Journal of Agronomy. – 2020. – Т. 120. – С. 126104. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126104>
10. Сухоруков А.Ф., Сухоруков А.А. Селекция озимой пшеницы на засухоустойчивость в Среднем Поволжье // Аграрная наука. – 2017. – № 5. – С. 15-18.

### References

1. Shabaev A.I., Bambyshchev U.S. Osobennosti tehnologii vozdeleyvaniya novykh sortov ozimoy rzhi v Povolzh'e [Characteristics of the growing technology of new varieties of winter rye in the Volga region]. *Sbornik trudov konferencii: Ozimaya rozh': Selekcija, semenovodstvo, tehnologii, pererabotka*. Saratov: NIISH Jugo-Vostoka, 2008, pp. 178-185. (In Russian)
2. Batalova G.A. Sostojanie i perspektivy selekcii i vozdeleyvaniya zernofurazhnykh kul'tur v Rossii [Current state and prospects of breeding and cultivation of forage crops in Russia]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, 2011, no.3, pp. 15-22. (In Russian)

3. Chajkin V.V., Torop A.A., Ryl'kov A.I. Zimo- i zasuhoustojchivost' ozimov rzhii v uslovijah Central'no-Chernozjonnogo regiona [Winter and drought resistance of winter rye under conditions of the Central Chernozem Region]. *Zemledelie*, 2017, no.2, pp. 32-35. (In Russian)
4. Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Tagirov M.Sh. Dinamika faktorov proizvodstva i ispol'zovaniya zerna rzhii v Rossijskoj Federacii i Respublike Tatarstan [Dynamic factors of production and use of grain rye in the Russian Federation and Tatarstan Republic]. *Zemledelie*, 2014, no.8, pp. 6-9. (In Russian)
5. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozjajstvennykh kul'tur [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Vypusk pervyj. Obshhaja chast'. Moscow, 2019, 329 p. (In Russian)
6. Krupnov V.A. Geneticheskaja slozhnost' i kontekst-spezifichnost' priznakov urozhdaja pshenicy v zasushlivykh uslovijah [Genetic complexity and context specificity of traits improving wheat yield under drought conditions]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2013, 17, no.3, pp. 524-534. (In Russian)
7. Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Mannapova G.S., Gil'mullina L.F., Fomin S.I., Ilalova L.V., Garaeva N.Sh., Hamitova G.M., Sajfutdinova D.D. Rozh' i tritikale: biologija, tehnologija, ispol'zovanie [Rye and triticale: biology, technology, using]. Nauchno-tehnologicheskij spravocnik. Kazan': Izdatel'stvo Akademija nauk RT Publ., 2020, 80 p. (In Russian)
8. Kottmann L., Wilde P., Schittenhelm S. How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye? *European Journal of Agronomy*. 2016; 75: 25-32. DOI 10.1016/j.eja.2015.12.010
9. Graß R., Böttcher, U., Lilienthal, H., Wilde, P., Kage H. Is canopy temperature suitable for high throughput field phenotyping of drought resistance of winter rye in temperate climate? *European Journal of Agronomy*, 2020, v.120, p.126104. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126104>
10. Cuhorukov A.F., Suhorukov A.A. Selekcija ozimov pshenicy na zasuhoustojchivost' v Srednem Povolzh'e [Winter wheat breeding for drought tolerance in the Middle Volga region]. *Agrarnaya nauka*. 2017, no.5, pp. 15-18. (In Russian)