

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.308-318>

УДК 57.085.23:631.234:633.111

## Влияние продолжительности яровизации *in vitro* на рост и продуктивность озимых злаков в условиях фитотронно-тепличного комплекса

© 2026. О. В. Ткаченко<sup>✉</sup>, Н. В. Рязанцев, А. А. Беляева, Е. Е. Костина  
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», г. Саратов, Российская Федерация

*Фитотронно-тепличные комплексы активно применяются в селекции озимых культур. Сокращение периода яровизации растений, в том числе с привлечением культуры *in vitro*, позволит получать более одного поколения за календарный год. Цель исследования – изучить эффективность яровизации *in vitro* на 12 сортообразцах пшеницы и тритикале, в том числе двуручках, при круглогодичном выращивании растений в защищенном грунте. Продолжительность яровизации *in vitro* при  $t +4$  °C составляла 20, 30, 40, 50 и 60 суток. Растения высаживали в гидропонную установку и выращивали в условиях длинного дня (22 часа). Переход к генеративной фазе роста после 20 суток *in vitro*-яровизации наступил только у тритикале-двуручек (60 % растений сорта Валентин 90 формировали продуктивные побеги), для остальных сортов и линий требовалось не менее 50 суток, для сортов Зубр (тритикале) и Скипетр (пшеница) – 60 суток. Период от получения эмбриокультуры, яровизации, выращивания в гидропонной установке растений до получения семенного потомства длился у большинства сортов озимой пшеницы и тритикале-двуручек от 118 до 152 суток, у озимой тритикале – от 150 до 170 суток. У всех сортов и линий общее количество побегов, формирующихся на растении, значительно снижалось при увеличении продолжительности яровизации и приобретении способности к формированию продуктивных побегов. Озерненность колосьев в вариантах, где растения успешно прошли яровизацию, у тритикале составила в среднем 45 зерен в колосе, у пшеницы – 26–40 зерен.*

**Ключевые слова:** пшеница мягкая, тритикале, сорт двуручка, эмбриокультура, гидропонная установка, вегетационный период, селекция

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в соответствии с Государственными планами научных исследований ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (тема № FRES-2025-0005).

Авторы благодарят доктора биол. наук Т. И. Дьячук (ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока») за предоставленные для исследования семена сортов и селекционных линий.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Ткаченко О. В., Рязанцев Н. В., Беляева А. А., Костина Е. Е. Влияние продолжительности яровизации *in vitro* на рост и продуктивность озимых злаков в условиях фитотронно-тепличного комплекса. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(2):308–318. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.308-318>

Поступила в редакцию: 08.08.2025

Принята к публикации: 25.03.2026

Доработана после рецензирования: 10.10.2025

Опубликована онлайн: 27.04.2026

## The effect of *in vitro* vernalization duration on the growth and productivity of winter cereals in a phytotron-greenhouse complex

© 2026. Oksana V. Tkachenko<sup>✉</sup>, Nikita V. Ryazantsev, Anna A. Belyaeva, Ekaterina E. Kostina

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

*Phytotron-greenhouse complexes are widely used in breeding winter crops. Reducing the period of plant vernalization, including the use of *in vitro* culture will make it possible to obtain more than one generation over the year. The aim of the study was to investigate the effectiveness of *in vitro* vernalization of 12 wheat and triticale variety samples including facultatives, during year-round cultivation of plants in protected soil. The duration of *in vitro* vernalization at  $t +4$  °C was 20, 30, 40, 50 and 60 days. The plants were set out in a hydroponic installation and grown under long-day conditions (22 hours). Only in facultative triticale could the transition to the generative growth phase occur in the variant with 20 days of *in vitro* vernalization: productive shoots were formed in 60 % of the 'Valentin 90' cultivar plants. At least 50 days of *in vitro* vernalization were required for most cultivars and lines, 60 days were necessary for the 'Zubr' (triticale) and 'Skipetr' (wheat) cultivars.*

*The period from obtaining the embryo culture, vernalization, growing plants in a hydroponic installation to obtaining seed offspring lasted from 118 to 152 days for most cultivars of winter wheat and facultative triticale, and from 150 to 170 days for winter triticale. In all cultivars and lines, the total number of shoots formed on the plant significantly decreased with an increase in the duration of vernalization and the development of the capacity for productive shoot formation. The grain content of ears in the variants where the plants successfully underwent vernalization averaged 45 grains per ear for triticale and 26-40 grains per ear for wheat.*

**Keywords:** *soft wheat, triticale, facultative cultivar, embryo culture, hydroponic system, vegetation period, plant breeding*

**Acknowledgments:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the State research plans of the Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (theme No. FRES-2025-0005).

The authors thank Taisiya I. Dyatchuk, Doctor of Biological Science (Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region) for providing the seeds of cultivars and breeding lines for the study.

The authors also thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Tkachenko O. V., Ryazantsev N. V., Belyaeva A. A., Kostina E. E. The effect of *in vitro* vernalization duration on the growth and productivity of winter cereals in a phytotron-greenhouse complex. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(2):308–318. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.308-318>

Received: 08.08.2025

Revised: 10.10.2025

Accepted for publication: 25.03.2025

Published online: 27.04.2026

Злаки составляют основу рациона большей части населения планеты. Пшеница – одна из важнейших сельскохозяйственных культур в России и мире. По данным Росстата<sup>1</sup>, в 2024 г. озимая пшеница выращивалась на площади более 16 млн га. В Саратовской области площадь под этой культурой составляла более 1 млн га, уступая по этому показателю только подсолнечнику. Озимая тритикале занимает значительно меньшие площади – в 2024 г. в России высевалась на площади 77 тыс. га, в Саратовской области – порядка 1 тыс. га. При этом доля озимых культур среди всех зерновых ежегодно увеличивается, в том числе благодаря растущей урожайности, устойчивости к факторам среды и качеству зерна новых сортов. В настоящее время в Государственном реестре сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию<sup>2</sup>, находится 469 сортов озимой пшеницы, из которых 115 – по 8-му Нижневолжскому региону. Сорта озимой тритикале зарегистрировано существенно меньше: всего 120, из них 27 – в 8-м регионе. Темпы селекции не только не ослабевают, но должны наращиваться для обеспечения потребностей производства в высокопродуктивных и адаптивных сортах, устойчивых к постоянно меняющемуся климату и патогенам.

Для ускорения селекционного процесса применяются различные технические решения

и биотехнологические методы. Существенное ускорение процесса селекции достигается использованием сооружений защищенного грунта, в том числе фитотронно-тепличных комплексов (ФТК) [1]. Сокращения периода вегетации («Speed Breeding») добиваются изменением длины дня, интенсивности и качественного состава света, температуры и влажности воздуха, что позволяет получать за год до 5 репродукций у яровых и до 4 репродукций у озимых культур [2]. Условия ускоренного выращивания растений предложены для ряда важнейших сельскохозяйственных культур [1, 3, 4]. Методика выращивания может корректироваться в зависимости от видовых особенностей растений [5].

Озимые культуры отличаются длительным периодом вегетации, составляющим до 320–350 дней [6], и требуют яровизации при пониженных положительных температурах в сочетании с коротким днем. Яровизацию растений или набухших семян можно провести в климатокамерах при температуре от 0 до +2 °C [7]. Другим вариантом является проращивание гаметических зародышей на питательной среде в культуре *in vitro* с последующим выдерживанием проростков при пониженной температуре [8].

<sup>1</sup>Федеральная служба государственной статистики. Официальный сайт. [Электронный ресурс].

URL: <https://ssl.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 01.08.2025).

<sup>2</sup>Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию. Официальный сайт Госсорткомиссии. [Электронный ресурс].

URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (дата обращения 01.08.2025)

Продолжительность яровизации в значительной степени зависит от генотипа растений и географического происхождения [9]. Сортам пшеницы разного происхождения для успешной яровизации проростков из семян может потребоваться от 30 до 60 суток воздействия пониженных температур [10]. У тритикале продолжительность яровизации проросших семян может составлять от 55 до 75 суток [7]. Возможность яровизации растений пшеницы и тритикале в культуре *in vitro* ранее отмечалась рядом авторов, но необходимая продолжительность процедуры не была установлена [8, 11].

Увеличения количества генераций озимых культур при круглогодичном выращивании в условиях искусственного климата можно достичь путем сокращения периодов яровизации и последующей вегетации до колошения, цветения и созревания семян. Метод эмбриокультуры *in vitro* («Embryo culture») незрелых зародышей позволяет не только провести яровизацию растений, но и исключить этапы созревания семян и периода послеуборочного покоя до получения следующего поколения. Необходимая продолжительность и условия яровизации растений *in vitro* для озимых злаков изучены недостаточно.

**Цель исследований** – изучить эффективность яровизации *in vitro* сортов и линий пшеницы, тритикале, в том числе двуручек, при круглогодичном выращивании растений в защищенном грунте.

**Новизна исследования** – установлены особенности влияния различной продолжительности яровизации растений пшеницы озимой, тритикале озимой и двуручек, полученных из зародышей в культуре *in vitro*, на переход в генеративную стадию развития, формирование морфологических и продуктивных признаков у растений в условиях ФТК. Полученные результаты будут использованы для разработки протокола ускорения селекционного процесса озимых злаков.

**Материал и методы.** Исследования проводили дважды в 2023-2024 и 2024-2025 гг. Объектами исследований являлись 4 сорта озимой пшеницы (Новоершовская, Губернатор Дона, Московская 40, Скипетр) и 8 сортов и линий гексаплоидной тритикале, из которых 4 озимые (сорт Георг, селекционные линии Л17, Л16, Л61) и 4 двуручки (сорта Зубр,

Валентин 90, селекционные линии Л14, Л11). Материал для исследования, в том числе селекционные линии, предоставлен доктором сельскохозяйственных наук Т. И. Дьячук (ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока).

Зрелые зерновки тритикале и пшеницы промывали раствором детергента, выдерживали в 3%-м растворе перекиси водорода 10 минут и замачивали в воде на 24 часа. Зерновки с наклюнувшимся зародышем стерилизовали 3–6%-м коммерческим раствором гипохлорита натрия 10 минут, промывали тремя порциями стерильной дистиллированной воды, затем вычленили зародыши в стерильных условиях ламинар-бокса. Для культивирования использовали питательную среду Мурасиге-Скуга без гормонов [12]. Через две недели пробирки с нормально развитыми проростками (с 3–5 корнями и 2–3 листьями) переносили в холодильную камеру (+4 °С) для яровизации *in vitro*. Изучали 5 вариантов продолжительности яровизации – 20, 30, 40, 50, 60 суток. Далее растения высаживали в кубики из минеральной ваты в гидропонную систему капельного типа в ФТК. Для каждого из 5 вариантов яровизации было высажено по 10 растений ( $n = 10$ ), что составило по 50 растений для каждого из 12 сортообразцов (всего 600 растений,  $N = 600$ ). Высадка растений всех вариантов производилась одновременно в третьей декаде февраля, чтобы все растения находились в одинаковых условиях освещения. Кроме естественного фона освещения проводили дополнительное досвечивание в течение 22 часов в сутки LD-лампами (производитель «Агрономия XXI века», светодиодные чипы SMD5630, температура света 6000К «Нусакан», 250–1000 Вт, ФАР 1621,3 мкмоль $\times$ см $^{-1}\times$ м $^{-3}$ , 104000 lux на уровне светильника, 40000 на уровне растений). Питательный раствор подавался капельно к каждому растению. Температура в вегетационном боксе поддерживалась в пределах 20–26 °С. Анализировали следующие признаки: продолжительность фенологических фаз (сут); количество побегов на растении всего и продуктивных (шт.); высота побега (см); площадь флагового листа (см $^2$ ); длина колоса (см); вынос колоса (см); количество колосков в колосе (шт.); количество цветков в колоске (шт.); масса зерна с колоса и растения (г). Окончание генерации считали на 18-е сутки после цветения, когда колосья

могут быть срезаны, а незрелые зерновки использованы для введения зародышей в культуру *in vitro* и получения следующего поколения растений. При этом основную часть растений оставляли до полного созревания для оценки продуктивности растений (массы зерна с колоса и растения, г).

Экспериментальные данные анализировали в программе STATISTICA 10 (StatSoft, США). Влияние факторов (продолжительность яровизации и генотип сортообразцов) оценивали методом двухфакторного дисперсионного анализа. В качестве апостериорного теста использовали тест Тьюки ( $P \leq 0,05$ ).

**Результаты и их обсуждение.** Проростки тритикале и пшеницы, полученные из зародышей в культуре *in vitro*, после яровизации были высажены в ФТК, успешно адаптировались и переходили к активной вегетации. Фазу кущения у тритикале фиксировали на 13–17 сутки во всех вариантах яровизации. У всех сортов пшеницы данная фаза наступила на 17–25 сутки, но только в вариантах при длительности яровизации 50 и 60 суток, у сорта Новоершовская – при 40 суток яровизации.

Период яровизации, после которого более чем у 50 % растений от общего количества высаженных наблюдалось формирование продуктивных побегов (наступало колошение, цветение и формирование семян), можно считать эффективным. Только у тритикале-двуручек переход к генеративной фазе роста отмечен даже в варианте с 20 сутками яровизации, у линии Л11 с частотой 20 %, у сорта Валентин 90 этот показатель достигал 60 % (рис. 1, а). У линий Л11 и Л14 эффективный период яровизации составил не менее 50 суток, у сорта Зубр – 60 суток. Продолжительность периода от наступления фазы кущения до цветения составил от 37 суток у сорта Валентин 90 (60 суток яровизации) до 59 суток у сорта Зубр (50 суток яровизации). Продолжительность генерации у двуручек составила от 118 суток у сорта Валентин 90 до 152 суток у линии Л11 и сорта Зубр.

Из четырех образцов озимой тритикале только для линии Л17 40 суток *in vitro*-яровизации были достаточным сроком для перехода к генеративной фазе (рис 1, б), но формирование продуктивных побегов в этом

варианте отмечено только у 10 % растений. Остальным образцам для яровизации потребовалось не менее 50 суток, а для колошения более половины растений – не менее 60 суток яровизации. У сорта Георг даже после 60 суток яровизации колошение наблюдали только у 37,5 % растений.

Продолжительность межфазного периода «кущение – цветение» у тритикале Л17 увеличилась с 34 до 69 суток при сокращении яровизации на 10 суток (с 60 до 50 суток). У сорта Георг после 50 суток яровизации этот период занял 60 суток. В целом у сортообразцов тритикале озимой продолжительность генерации от введения в культуру зародышей до получения зародышей следующего поколения была гораздо больше, чем у двуручек, и составила 150–170 суток.

У сорта озимой пшеницы Новоершовская в варианте с 40 сутками яровизации наблюдали успешный переход к генеративному этапу развития 50 % растений (рис 1, в). Сортам Губернатор Дона и Московская 40 требовалось не менее 50 суток яровизации, а растения сорта Скипетр переходили к формированию продуктивных побегов только после 60 суток яровизации. Продолжительность межфазного периода «кущение – цветение» составила от 28 суток у сорта Губернатор Дона (60 суток яровизации) до 52 суток у сорта Московская 40 (50 суток яровизации). Общая продолжительность генерации у сортов озимой пшеницы составила 119–152 суток, то есть на уровне двуручек тритикале.

Общая и продуктивная кустистость также в значительной степени зависели от сроков яровизации (рис. 2). У всех сортов и линий общее количество побегов, формирующихся на растении, значительно снижалось при увеличении продолжительности яровизации и приобретении способности к формированию продуктивных побегов, в том числе достоверное снижение установлено по результатам дисперсионного анализа и теста Тьюки по фактору В (продолжительность яровизации). Также наблюдалось достоверное различие по сортам (фактор А). Максимально формировалось до 33 побегов на растениях пшеницы сорта Губернатор Дона.

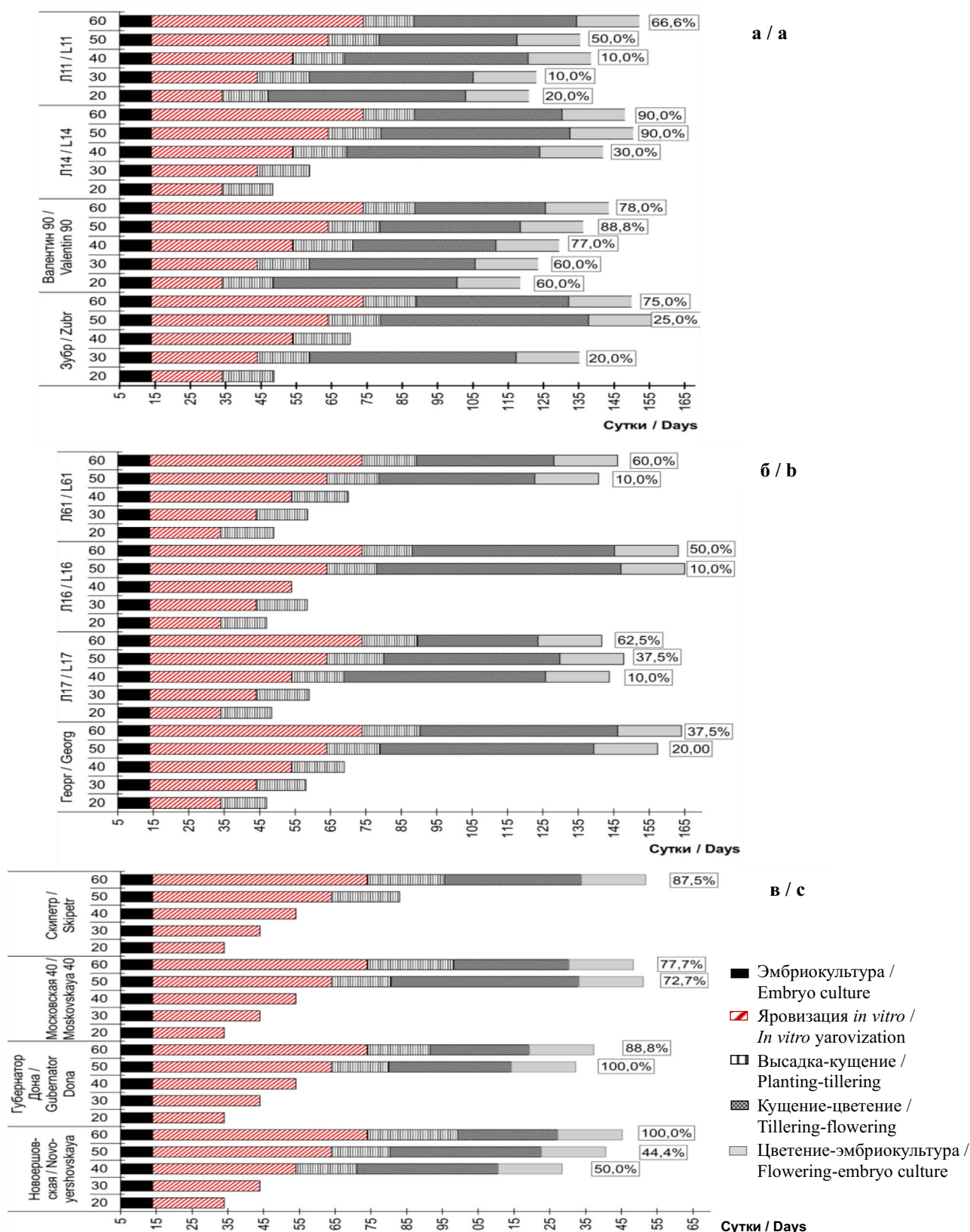


Рис. 1. Продолжительность фаз вегетации сортов и линий тритикале дурочек (а), тритикале озимой (б) и пшеницы озимой (в) в зависимости от сроков яровизации *in vitro* (20, 30, 40, 50, 60 суток) и количество растений, достигших генеративной фазы роста, % /

Fig. 1. Duration of the vegetation phases of cultivars and lines of facultative triticale (a), winter triticale (b) and winter wheat (c) depending on the time of *in vitro* vernalization (20, 30, 40, 50, 60 days) and the number of plants that have reached the generative growth phase, %

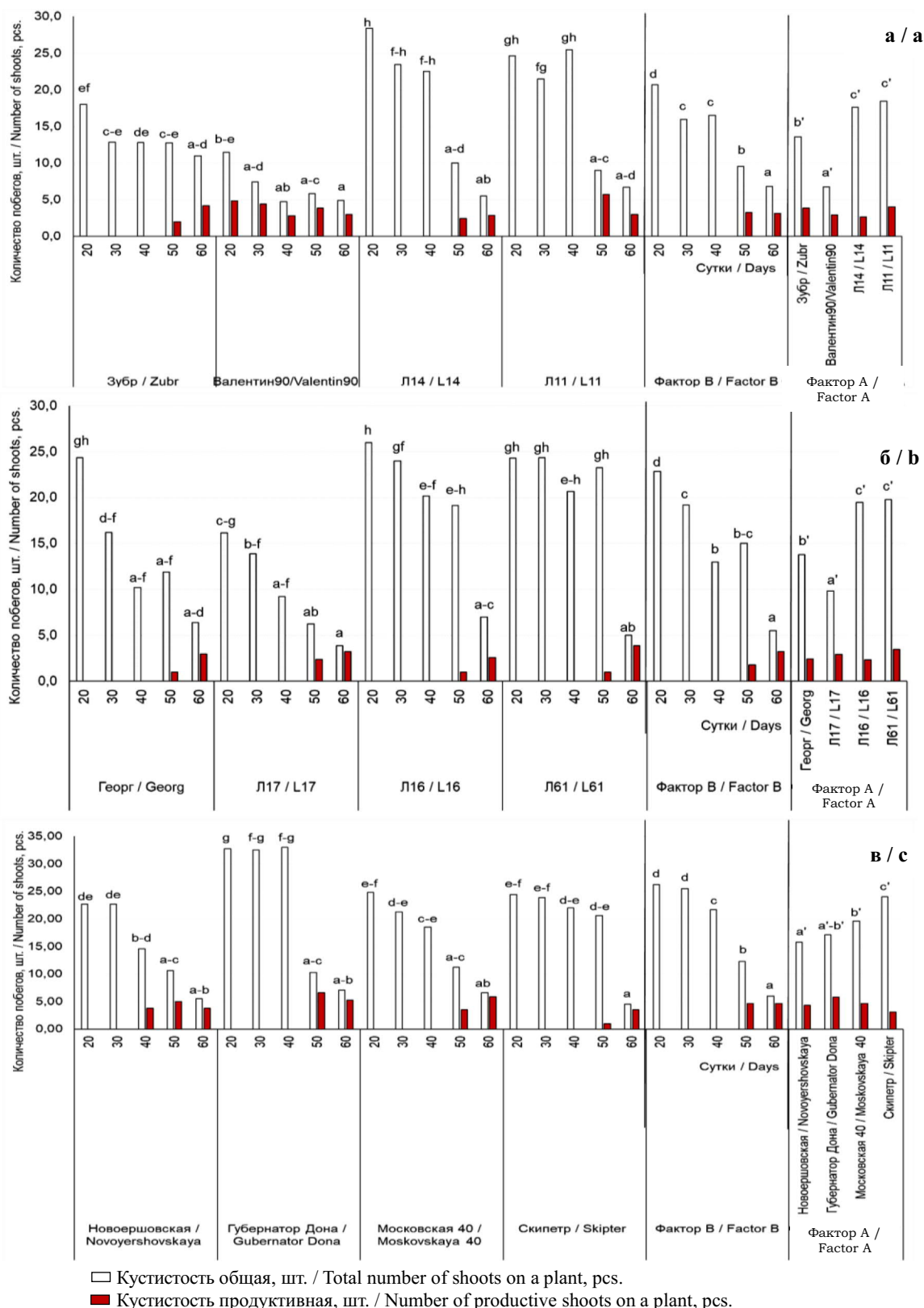


Рис. 2. Общая и продуктивная кустиность у сортов и линий тритикале двуручек (а), тритикале озимой (б) и пшеницы озимой (в) в зависимости от сроков яровизации *in vitro* (20, 30, 40, 50, 60 суток), а также в среднем по генотипам (Фактор А) и по продолжительности яровизации (Фактор В). Разными буквами латинского алфавита (а, б, с и т. д.) отмечены значения, статистически значительно различающиеся при  $p < 0,05$

Fig. 2. Total and productive tillering of cultivars and lines of facultative triticale (a), winter triticale (b) and winter wheat (c) depending on the *in vitro* vernalization period (20, 30, 40, 50, 60 days), as well as on average by genotypes (Factor A) and by the duration of vernalization (Factor B). Different letters of the Latin alphabet (a, b, c etc.) mark the values that differ significantly at  $p < 0.05$

У большинства сортообразцов продуктивные побеги формировались только в вариантах с 50 и 60 сутками яровизации, различия между вариантами по данному признаку были незначительные. Исключение составлял сорт тритикале двуручки Валентин 90 (рис. 2, а). В отличие от остальных сортообразцов, в том числе двуручек, у данного сорта продуктивные побеги образовывались во всех вариантах опыта, но общая закономерность снижения общей кустистости (в 2,3 раза) при увеличении продолжительности яровизации сохранялась.

В вариантах, где яровизация прошла успешно, отношение количества продуктивных побегов к общему количеству побегов в зависимости от генотипа у двуручек составляло не более 1,0:1,5 (табл. 1), у озимой тритикале и озимой пшеницы – 1,0:1,2 (табл. 2, 3). У некоторых генотипов, например, у сорта тритикале Зубр и линии Л16, это соотношение составляло не менее 1:3, даже в вариантах с 60-суточной яровизацией.

Анализ морфологических признаков и элементов структуры продуктивности по вариантам опыта показал, что в большинстве случаев величины изучаемых признаков не зависели от продолжительности яровизации. По признакам: площадь флагового листа, вынос колоса, длина колоса, количество колосков в колосе, количество цветков в колоске данные не приводятся, так как достоверных различий между вариантами не установлено. По некоторым признакам были определены различия между вариантами яровизации у части генотипов (табл. 1, 2, 3). Озерненность колосьев в вариантах, где растения успешно прошли яровизацию, у тритикале составляла в среднем 45 зерен в колосе, у пшениц – 26 зерен, кроме сорта Скипетр, у которого завязывалось около 40 зерен в колосе.

У тритикале-двуручек установлено достоверное повышение массы зерна с колоса и растения. Так, у сорта Валентин 90 эти показатели увеличились соответственно на 52 и 48 % в варианте с 60 сутками яровизации по сравнению с вариантом с 20 сутками, а у линии Л14 масса зерна с растения при увеличении продолжительности яровизации возросла на 63,5 % (табл. 1).

У озимой тритикале линии Л61 в варианте с 60 сутками яровизации достоверно увеличилась высота растений (на 34 %) и масса

зерна с растения (в 68 раз), у сорта Георг возросла масса зерна с растения в 6,3 раза, у линии Л17 отмечено снижение высоты растений в среднем на 15 % (табл. 2).

У озимых пшениц выделился сорт Новоершовская, у которого в варианте с 50 сутками яровизации достоверно увеличилась высота растений (на 18 % по сравнению с вариантом с 40 сутками яровизации), масса зерна с колоса (в 2,8 раза) и растения (в 7 раз) (табл. 3). Кроме того, наблюдали повышение массы зерна с растения (в 4,3 раза) у сорта Московская 40 с увеличением продолжительности яровизации (с 50 до 60 сут).

В проведенном исследовании продолжительность генерации в среднем составила около 150 суток. У двуручек этот период может быть сокращен еще на месяц, при этом понятие «двуручка» является не биологическим, а хозяйственным; особенности таких сортов и линий зависят от присутствия в генотипе аллелей генов ортологичной серии *Vrn-1* [13]. Все изученные сорта в естественных условиях выращивания характеризуются как средне-спелые, кроме сорта пшеницы Губернатор Дона, который в государственном реестре сортов указан как среднеранний. Общая продолжительность генерации этого сорта в условиях фитотронно-тепличного комплекса также была в среднем на 10 дней меньше, чем остальных сортов пшеницы.

Примененный метод эмбриокультуры *in vitro* не позволил снизить продолжительность яровизации менее, чем до 50 суток. Общая продолжительность генерации составила от 118 до 152 суток у изученных сортов и линий озимой пшеницы и тритикале-двуручек, от 150 до 170 суток – у озимой тритикале. Это не позволяет получать более 2 поколений за год с учетом того, что получаемые незрелые зародыши из зерновок на 14–16 сутки после опыления могут быть вычленены и помещены на искусственную питательную среду. Полученные проростки подвергнуты яровизации по предложенной схеме и затем высажены в ФТК для получения семян. Продолжительность выращивания двух поколений растений при таком способе составит 300–340 суток. Резерв для дальнейшего сокращения срока вегетации может заключаться в подборе условий для сокращения периода яровизации, а также выращивания в межфазный период «кущение – колошение», что успешно достигнуто на яровых злаках [2].

Таблица 1 – Влияние яровизации *in vitro* на морфологические признаки и продуктивность растений тритикале-двуручек /  
Table 1 – The effect of *in vitro* vernalization on the morphological characteristics and productivity of facultative triticale plants

Сорт, линия / Cultivar, line	Продолжительность яровизации, сут / Vernalization, days	Отношение количества продуктивных побегов к общему количеству побегов / The ratio of the number of productive shoots to the total number of shoots	Высота растений, см / Plant height, cm	Количество зерен в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pcs.	Масса зерна, г / Grain weight, g	
					с колоса / grain per ear	с растения / grain per plant
Зубр / 'Zubr'	50	0,16	107,0 abc	35,3	0,8 a	1,5 a
	60	0,38	112,6 c	40,0	0,7 a	3,4 ab
	20	0,42	81,4 a	40,1	1,2 a	5,4 b
Валентин 90 / 'Valentin 90'	30	0,59	87,6 ab	53,0	1,5 a	6,1 b
	40	0,60	82,5 a	50,5	2,0 ab	4,9 b
	50	0,66	90,6 ab	48,6	1,7 a	5,0 b
Л11 / L11	60	0,61	84,8 a	62,3	2,6 b	8,0 c
	50	0,64	94,5 ab	59,2	2,5 b	14,6 d
	60	0,45	86,7 ab	61,8	2,6 b	6,8 bc
Л14 / L14	50	0,24	99,4 bc	54,1	1,9 ab	5,2 b
	60	0,53	96,5 ab	59,0	2,5 b	8,5 c

Таблица 2 – Влияние яровизации *in vitro* на морфологические признаки и продуктивность растений озимой тритикале /  
Table 2 – The effect of *in vitro* vernalization on the morphological characteristics and productivity of winter triticale plants

Сорт, линия / Cultivar, line	Продолжительность яровизации, сут / Vernalization, days	Отношение количества продуктивных побегов к общему количеству побегов / The ratio of the number of productive shoots to the total number of shoots	Высота растений, см / Plant height, cm	Количество зерен в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pcs.	Масса зерна, г / Grain weight, g	
					с колоса / grain per ear	с растения / grain per plant
Георг / 'Georg'	50	0,08	82,7 ab	32,0	0,9	1,0 ab
	60	0,47	78,4 a	33,0	0,9	6,3 c
Л16 / L16	50	0,05	86,5 ab	45,9	1,0	1,0 ab
	60	0,37	89,4 b	48,0	1,6	6,0 bc
Л17 / L17	50	0,38	93,8 b	40,4	1,7	6,2 c
	60	0,84	80,1 a	45,8	2,1	7,8 c
Л61 / L61	50	0,04	87,0 ab	54,4	0,1	0,1 a
	60	0,77	116,6 c	63,1	1,8	6,8 c

Примечание: разными буквами латинского алфавита (a, b, c и т. д.) отмечены значения, статистически значимо различающиеся при  $p < 0,05$ .  
Note: Different letters of the Latin alphabet (a, b, c, etc.) mark the values that differ significantly at  $p < 0,05$ .

Таблица 3 – Влияние яровизации *in vitro* на морфологические признаки и продуктивность растений озимой пшеницы /  
Table 3 – The effect of *in vitro* vernalization on the morphological characteristics and productivity of winter wheat plants

Сорт, линия / Cultivar, line	Продолжительность яровизации, сут / Vernalization, days	Отношение количества продуктивных побегов к общему количеству побегов / The ratio of the number of productive shoots to the total number of shoots	Высота растений, см / Plant height, cm	Количество зерен в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pcs.	Масса зерна, г / Grain weight, g	
					с колоса / grain per ear	с растения / grain per plant
Новоершовская / 'Novoyershovskaya'	40	0,26	76,0 b	22,4 a	0,5 a	1,2 a
	50	0,47	86,4 bc	27,2 ab	1,4 b	8,4 b
	60	0,69	73,8 b	23,8 a	1,3 ab	5,9 ab
Губернатор Дона / 'Gubernator Dona'	50	0,64	54,2 a	25,0 a	0,9 a	4,8 ab
	60	0,74	54,1 a	29,1 ab	1,2 a	5,4 ab
Московская 40 / 'Moskovskaya 40'	50	0,31	91,8 c	27,1 ab	0,6 a	1,7 a
	60	0,88	80,0 bc	26,4 ab	1,2 ab	7,3 b
Скипетр / 'Skipter'	50	0,05	78,0 abc	40,0 b	1,3 ab	6,0 ab
	60	0,78	74,3 b	41,7 b	1,8 b	6,6 b

Примечание: разными буквами латинского алфавита (a, b, c и т. д.) отмечены значения, статистически значимо различающиеся при  $p < 0,05$ .  
Note: Different letters of the Latin alphabet (a, b, c, etc.) mark the values that differ significantly at  $p < 0,05$ .

Высота растений в условиях гидропоники была несколько снижена по сравнению с описанием сортов, но общая характеристика сохранялась. Среди сортов тритикале-двуручек к высокорослым относится Зубр (128 см), сорт Валентин 90 – средней высоты (98 см) [14]. Это соотношение сохранилось и в условиях ФТК (табл. 1). Среди пшениц сорта Московская 40 и Скипетр характеризуются короткой и средней длиной соломины, Новоершовская и Губернатор Дона как среднерослые. В условиях фитотронно-тепличного выращивания сниженной высотой растений выделился сорт Губернатор Дона (табл. 3), что может быть сортовой особенностью реакции на искусственные условия.

Формирование зерна в условиях опыта проходило успешно, что позволяет получать достаточно материала для следующих этапов селекционного процесса (табл. 1, 2, 3). Выявленные различия в продуктивности растений тем не менее не позволяют говорить о возможности проведения отбора в искусственных условиях, так как селекция на продуктивность должна проводиться в естественных условиях и сочетаться с адаптивностью к стрессовым факторам [15].

**Заключение.** Таким образом, проведенные исследования показали, что метод яровизации *in vitro* растений, полученных из зрелых зародышей, может успешно применяться для сокращения продолжительности генерации озимой тритикале и пшеницы. Однако эффективная продолжительность периода яровизации в изученных условиях составляет для истинных озимых форм не менее 50 суток. Для сортов тритикале-двуручек может быть достаточно 20 суток. В условиях ФТК при выращивании растений в малообъемной капельной гидропонной установке формируются полноценные растения пшеницы и тритикале, у которых продуктивность составила более 30 зерен с колоса, что достаточно для получения необходимого количества семян в ранних звеньях селекционного процесса. Дальнейшая работа по сокращению продолжительности генерации может вестись по двум направлениям: дальнейший подбор условий для сокращения времени яровизации и уменьшение межфазного периода «кущение – колошение».

*Список литературы*

1. Watson A., Ghosh S., Williams M. J., Cuddy W. S., Simmonds J., Rey M. D. et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature plants*. 2018;4(1):23–29. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0083-8>
2. Schoen A., Wallace S., Holbert M. F., Brown-Guidera G., Harrison S., Murphy P. et al. Reducing the generation time in winter wheat varieties using speed breeding. *Crop Science*. 2023;63(4):2079–2090. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20989>
3. Lee G. H., Kim T. K., Choi C. H., Kim J. Y. Evaluation of tissue culture efficiency in a speed breeding system for stable and sustainable supported wheat (*Triticum aestivum*) immature embryogenesis. *The Korean Journal of Crop Science*. 2020;65(4):365–376. DOI: <https://doi.org/10.7740/kjcs.2020.65.4.365>
4. Jähne F., Hahn V., Würschum T., Leiser W. L. Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. *Theoretical and Applied Genetics*. 2020;133(8):2335–2342. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03601-4>
5. Chai Y., Zhao Z., Lu S., Chen L., Hu Y. Field evaluation of wheat varieties using canopy temperature depression in three different climatic growing seasons. *Plants (Basel)*. 2022;11(24):3471. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11243471>
6. Захарова Н. Н., Захаров Н. Г. Сортовая дифференциация озимой мягкой пшеницы по группам спелости в лесостепи Среднего Поволжья. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020;(2(50)):91–97. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-2-91-97> EDN: ERKOEK
7. Мединский А. В., Стёпочкин П. И. Яровизация озимых сортов тритикале. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2013;(4):27–30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21226327> EDN: RWMWXX
8. Ергебаева Р. С., Абдурахманова М. А., Бастаубаева Ш. О., Таджибаев Д. Эмбриогенез и регенерация растений в культуре пыльников гексаплоидной тритикале ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack) под влиянием цитокинина зеатина. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(5):934–945. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.934rus> EDN: RZQJMC
9. Мусинов К. К., Козлов В. Е., Сурначёв А. С., Лихенко И. Е. Потребность в продолжительности яровизации коллекционных образцов мягкой озимой пшеницы. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2021;51(6):31–38. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-6-4> EDN: KYULQN
10. Булавка Н. В. Яровизационная потребность сортов озимой мягкой пшеницы в связи с их морозоустойчивостью. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2014;(50):383–392. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30029797> EDN: ZHDRTX
11. Акинина В. Н., Дьячук Т. И., Жилин С. В., Калашникова Э. В. Методы культуры ткани *in vitro* для создания исходного материала для селекции тритикале в Поволжье. *Зерновое хозяйство России*. 2020;(1):64–68. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-64-68> EDN: VUFZEV
12. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473–497. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
13. Файт В. И., Губич Е. Ю., Зеленина Г. А. Различия сортов двуручек мягкой пшеницы по генам Vrn-1 типа развития. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018;14(2):160–169. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134762> EDN: XSUURN
14. Дьячук Т. И., Акинина В. Н., Жилин С. В., Хомякова О. В., Барнашова Е. К., Калашникова Э. В., Куликова В. П. Новый сорт озимой тритикале Зубр. *Аграрный научный журнал*. 2022;(6):19–22. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp19-22> EDN: WAAWZV
15. Cha J. K., Park H., Choi C., Kwon Y., Lee S. M., Oh K. W. et al. Acceleration of wheat breeding: enhancing efficiency and practical application of the speed breeding system. *Plant Methods*. 2023;19:118. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01083-1>

*References*

1. Watson A., Ghosh S., Williams M. J., Cuddy W. S., Simmonds J., Rey M. D. et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature plants*. 2018;4(1):23–29. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0083-8>
2. Schoen A., Wallace S., Holbert M. F., Brown-Guidera G., Harrison S., Murphy P. et al. Reducing the generation time in winter wheat varieties using speed breeding. *Crop Science*. 2023;63(4):2079–2090. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20989>
3. Lee G. H., Kim T. K., Choi C. H., Kim J. Y. Evaluation of tissue culture efficiency in a speed breeding system for stable and sustainable supported wheat (*Triticum aestivum*) immature embryogenesis. *The Korean Journal of Crop Science*. 2020;65(4):365–376. DOI: <https://doi.org/10.7740/kjcs.2020.65.4.365>
4. Jähne F., Hahn V., Würschum T., Leiser W. L. Speed breeding short-day crops by LED-controlled light schemes. *Theoretical and Applied Genetics*. 2020;133(8):2335–2342. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03601-4>
5. Chai Y., Zhao Z., Lu S., Chen L., Hu Y. Field evaluation of wheat varieties using canopy temperature depression in three different climatic growing seasons. *Plants (Basel)*. 2022;11(24):3471. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11243471>
6. Zakharova N. N., Zakharov N. G. Varietal differentiation of winter soft wheat by maturity groups in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2020;(2(50)):91–97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-2-91-97>
7. Medinsky A. V., Stepochkin P. I. Winter triticale varieties vernalization. *Vestnik NGAU (Novosibirsky gosudarstvenny agrarny universitet) = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2013;(4):27–30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21226327>
8. Yezhebayeva R. S., Abdurakhmanova M. A., Bastaubayeva Sh. O., Tadjibayev D. Effect of zeatin on *in vitro* embryogenesis and plant regeneration from anther culture of hexaploid triticale ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack). *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2019;54(5):934–945. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.934rus>

9. Musinov K.K., Kozlov V.E., Surnachev A.S., Likhenko I.E. The need for the vernalization duration of soft winter wheat collection samples. *Sibirsky vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2021;51(6):31–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-6-4>

10. Bulavka N. V. Vernalization requirement of winter soft wheat varieties in relation to their winter hardiness. *Zemledeliye i selektsiya v Belarusi* = Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2014;(50):383–392. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30029797>

11. Akinina V.N., Diyachuk T.I., Zhilin S.V., Kalashnikova E.V. *In vitro* fabric culture methods to develop the initial material for triticale breeding in the Volga region. *Zernovoye khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(1):64–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-64-68>

12. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473–497. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

13. Fait V. I., Gubich O. Yu., Zelenina G. A. Differences in the alternate varieties of soft wheat for Vrn-1 genes of development type. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018;14(2):160–169. (In Ukraina). DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134762>

14. Dyachuk T. I., Akinina V. N., Zhilin S. V., Khomyakova O. V., Barnashova E. K., Kalashnikova E. V., Kulikova V. P. New variety of winter triticale Zubr. *Agrarny nauchny zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(6):19–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i6pp19-22>

15. Cha J. K., Park H., Choi C., Kwon Y., Lee S. M., Oh K. W. et al. Acceleration of wheat breeding: enhancing efficiency and practical application of the speed breeding system. *Plant Methods*. 2023;19:118. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01083-1>

**Вклад авторов:** Ткаченко О. В. – концепция и план исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Рязанцев Н. В., Костина Е. Е. – концепция и план исследования, подготовка рукописи; Беляева А. А. – анализ данных, подготовка рукописи.

#### **Сведения об авторах**

✉ **Ткаченко Оксана Викторовна**, кандидат с.-х. наук, доцент, заведующая кафедрой «Растениеводство, селекция и генетика», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», просп. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Российская Федерация, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-6763>, e-mail: [oktkachenko@yandex.ru](mailto:oktkachenko@yandex.ru)

**Рязанцев Никита Валерьевич**, кандидат с.-х. наук, директор Института генетики и агрономии, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», просп. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Российская Федерация, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5808-9827>

**Беляева Анна Анатольевна**, кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры «Растениеводство, селекция и генетика», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», просп. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Российская Федерация, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3847-4874>

**Костина Екатерина Евгеньевна**, заведующая лабораторией кафедры «Растениеводство, селекция и генетика», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», просп. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, Российская Федерация, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7448-9987>

**Author contributions:** Tkachenko O. V. – research concept and plan, data analysis, manuscript preparation; Ryazantsev N. V., Kostina E. E. – research concept and plan, manuscript preparation; Belyaeva A. A. – data analysis, manuscript preparation.

#### **Information about the authors**

✉ **Oksana V. Tkachenko**, PhD in Agricultural Science, associate professor, Head of the Department of Crop Production, Breeding and Genetics, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Peter Stolypin Ave., 4/3, Saratov, Russian Federation, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8327-6763>, e-mail: [oktkachenko@yandex.ru](mailto:oktkachenko@yandex.ru)

**Nikita V. Ryazantsev**, PhD in Agricultural Science, Director, the Institute of Genetics and Agronomy, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Peter Stolypin Ave., 4/3, Saratov, Russian Federation, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5808-9827>

**Anna A. Belyaeva**, PhD in Agricultural Science, associate professor, associate professor at the Department of Crop Production, Breeding and Genetics, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Peter Stolypin Ave., 4/3, Saratov, Russia Federation, 410012, e-mail: e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3847-4874>

**Ekaterina E. Kostina**, Head of the Laboratory, the Department of Plant Breeding, Breeding and Genetics, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Peter Stolypin Ave., 4/3, Saratov, Russian Federation, 410012, e-mail: [rector@vavilovsar.ru](mailto:rector@vavilovsar.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7448-9987>

✉ – Для контактов / Corresponding author