Научная статья
УДК 633.1:631.53.02:632
doi: 10.55186/25876740_2026_69_6_852

# КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ АНТИСТРЕССОВОЙ ЗАЩИТЫ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

**В.И. Левин, А.С. Ступин**

Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

***Аннотация.*** В статье представлены результаты многолетних экспериментальных исследований и теоретического обоснования, целью которых являлась разработка антистрессовой концепции защиты семян и растений на ранних этапах развития зерновых культур. Необходимость формирования данного концептуального направления и его практическая реализация продиктованы тем, что уже в течение многих десятилетий и до настоящего времени, в семеноводстве зерновых культур сохраняется проблема механического повреждения семян. В посевном материале зерновых культур доля травмированных семян составляет от 1/3 до 2/3, но при этом данный показатель не нормируется ГОСТом. Проблема защиты семян от травмирования пока не находит эффективного решения в инженерно-конструкторских разработках. Исследования по антистрессовой защите были выполнены на яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.) сортов Агата, Дарья, Любава и на ячмене (*Hordeum distichon* L.) сортов Владимир, Яромир, Надежный. Семена отвечали требованиям ГОСТ Р 52325-2005, уровень травмирования по годам, видам и сортам варьировал от 31 до 57%. Партии семян дифференцировали по физиологическому состоянию на две категории в зависимости от уровня стресса и стрессоустойчивости: 1) физиологически качественные; 2) физиологически низкокачественные. Послеуборочное хранение включало 2 варианта: традиционное — напольное хранение и стрессозащитное — контейнерное. Установлено, что контейнерное хранение у физиологически качественных семян способствовало увеличению лабораторной всхожести на 2,7%, а у физиологически низкокачественных — на 5,1%, у ячменя — на 1,3 и 3,6% соответственно. Контейнерное хранение физиологически качественных семян обеспечивало формирование максимальной полевой всхожести у яровой пшеницы и ячменя в среднем за годы исследований на 87,2 и 85,7%, тогда как при хранении данных семян напольно этот показатель был равен 79,3 и 82,1% или был на 7,9 и 3,6% ниже.

***Ключевые слова:*** семена, механическое травмирование, концепция, разнокачественность, напольное и контейнерное хранение, стресс, стрессоустойчивость, этилен

Original article

# THE CONCEPTUAL DIRECTION OF ANTI-STRESS PROTECTION OF GRAIN SEEDS

**V.I. Levin, A.S. Stupin**

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev,
Ryazan, Russia

***Abstract.*** The article presents the results of many years of experimental research and theoretical substantiation, the purpose of which was to develop an anti-stress concept for the protection of seeds and plants at the early stages of the development of grain crops. The need to form this conceptual direction and its practical implementation is dictated by the fact that for many decades and up to the present, the problem of mechanical damage to seeds has persisted in the seed production of grain crops. In the seed material of grain crops, the proportion of injured seeds ranges from 1/3 to 2/3, but this indicator is not standardized by GOST. The problem of protecting seeds from injury has not yet found an effective solution in engineering and design developments. Anti-stress protection studies were performed on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) of Agate, Daria, Lyubava and barley (*Hordeum distichon* L.) varieties Vladimir, Yaromir, Reliable. The seeds met the requirements of GOST R 52325-2005, and the injury rate by year, type, and variety ranged from 31 to 57%. The seed batches were differentiated into two categories according to their physiological state: 1) physiologically high-quality; 2) physiologically low-quality, depending on the level of stress and stress tolerance. Post-harvest storage included 2 options: traditional — outdoor storage and stress-protective — container storage. It was found that container storage of physiologically high-quality seeds contributed to an increase in laboratory germination by 2.7% and physiologically low-quality by 5.1%, respectively, in barley by 1.3 and 3.6%. Container storage of physiologically high-quality seeds ensured the formation of maximum field germination in spring wheat and barley on average over the years of research — 87.2 and 85.7%, while when storing these seeds on the floor, this indicator was 79.3 and 82.1%, or 7.9 and 3.6% lower.

***Keywords:*** seeds, mechanical injury, concept, heterogeneity, floor and container storage, stress, stress resistance, ethylene

**Введение.** Современная стратегия динамичного наращивания производства растениеводческой продукции, в условиях неустойчивой погоды, перманентного воздействия абиотических и биотических стресс-факторов на агрофитоценозы, базируется на тесной интеграции фундаментальных научных исследований и передового опыта сельскохозяйственного производства [1, 2, 3].

Наряду с инновационными агротехнологиями, в число базовых основ формирования высокопродуктивных посевов зерновых культур, резистентных к широкому спектру повреждающих факторов окружающей среды, входит применение физиологически полноценных семян с высокими посевными качествами, как биологического ресурса, обеспечивающего стабильную продуктивность [4]. Между тем, в агроинженерии и семеноводстве зерновых культур до настоящего времени сохраняется целый ряд не решенных проблем, к которым относятся несовершенная технология комбайновой уборки урожая зерна и механизированных послеуборочных операций по подготовке к хранению семенного материала.

Экспериментальные исследования, выполненные в различных регионах России, свидетельствуют о том, что современная механизированная уборка зерновых культур сопровождается неизбежным микро- и макро-травмированием зерновок, доля которых достигает от 1/3 до 2/3 всей совокупности зерновой массы [5-8]. Отдельные авторы с целью повышения урожайности зерновых культур предлагают использовать для посевных целей семена с низким уровнем травмирования [9], так как повреждения подобного характера сопровождаются у семян ухудшением посевных качеств, усилением повреждения фитопатогенами, снижением полевой всхожести и продуктивности растений [10, 11].

Даже применение столь многообещающего пневматического обмолота зерна, при комбайновой уборке урожая зерновых, вызывало снижение механического травмирования не более чем на 15%. Кроме того, вибрационное выделение зерна из колоса сопряженно с целым рядом недостатков — ускоренный износ уборочного агрегата, постоянный подбор оптимальной частоты колебаний из-за неравномерности созревания зерна, его влажности, силы связи колоса с соломиной [12].

На текущий период времени впечатляющие масштабы травмированного семенного материала, обусловленного преимущественно несовершенством средств механизации (уборки, сортировки, очистки, погрузки) ведет к ежегодному значительному перерасходу посевного материала. Однако до настоящего времени травмированность семян, как один из важнейших показателей физиологического состояния семян, ГОСТами не нормируется. В этой связи ключевую роль, наряду с инженерно-конструкционными разработками, в решении проблемы



© Левин В.И., Ступин А.С., 2026

травмирования семенного материала может достаточно успешно выполнить применение раннее малоизвестных фундаментальных знаний в агробиологии об экофизиологических особенностях стрессированных семян и методах их безопасного хранения. Основанием для адаптирования и приоритетного включения фундаментальных знаний в управление качеством поврежденных семян является обширный массив экспериментального материала последнего десятилетия отечественных [13-15] и зарубежных авторов [16-18], где отражены научно-теоретические данные об экологии и физиологии семян.

Установлено ранее неизвестное свойство воздушно-сухих семян, стрессированных — поврежденных механическими ударными воздействиями, дистанционно индуцировать физиологические модификации во всей совокупности партии, в диапазоне от стимуляции до угнетения, в зависимости от условий послеуборочной подготовки семенного зерна для хранения. Обусловлено это выделением фитогормона этилена каждой травмированной зерновкой, отвечающей на повреждение неспецифической адаптационно-защитной реакцией [13]. Хранение в условиях гипоксии минимизировало отрицательное влияние всех видов повреждающего воздействия на семена за счет купирования выделения этилена [15].

Исследование дает основания рассматривать каждую партию семян зерновых культур как отдельную динамичную экосистему [19], где экологическая взаимосвязь между физиологическими гетерогенными семенами и эпифитной микробиотой происходит с учетом летучих физиологически активных метаболитов [14]. Показаны ведущая роль атмосферного кислорода, как биологического окислителя антиоксидантов в семенах, обеспечивающих жизнеспособность семян [16], модель безопасного хранения семенного материала [17], зависимость их жизнеспособности от сроков и способов хранения [18], молекулярно-генетический механизм устойчивости семян ячменя к окислительному стрессу [20] и ответная реакция клеток растительных организмов на передачу этиленового сигнала [21, 22].

Таким образом, анализ современных научно-экспериментальных данных об эколого-физиологических особенностях растительных организмов дополняет парадигму семян новыми знаниями и позволяет обосновать, разработать и на практике реализовать антистрессовую концепцию по управлению физиологическими процессами, протекающими в травмированных — стрессированных семенах, блокировать в них развитие деструктивных процессов, пролонгировать улучшение посевных качеств, повысить полевую всхожесть и устойчивость растений на ранних этапах онтогенеза.

**Цель работы** — на основании экспериментальных исследований и теоретического обоснования разработать антистрессовую концепцию защиты семян и растений на ранних этапах онтогенеза зерновых культур.

**Методика исследований.** Исследование проводили в 2018-2024 гг. на базе сельскохозяйственных предприятий Рязанской области. Объектом изучения были семена и растения яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Агата, Дарья, Любава и ячменя (*Hordeum distichon* L.) сортов Владимир, Яромир, Надежный. В опытах использовали семена категории элита и репродукционные первого и второго поколений (РС 1, РС 2), по посевным качествам отвечающее требованиям ГОСТ Р 52325-2005. Уборку урожая зерновых культур, в зависимости от погодных условий, проводили при влажности зерна 14,5-17,0%, комбайнами ACROS 595 Plus, John Deere X9 1100 и другими, с последующим высушиванием до кондиционной влажности и выполнением всего комплекса операций по подготовке семян к хранению. В партии семян, предназначенных для посевных целей, в разные годы содержание зерновок с микро- и макро-повреждениями варьировало в пределах 31-57% и 1-3% соответственно.

Базовой основной защиты травмированных семян зерновых культур являлся алгоритм, направленный на формирование двух категорий семян: 1) физиологически качественные семена; 2) физиологически низкокачественные семена.

Категорию физиологически качественных семян формировали из партии на основе разработанных авторами методов по критериям:

а) скрининг партий семян с низким уровнем стресса (патент RU 2858178 от 13.03.2026);
б) выделение из партий семян с низким уровнем стресса наиболее устойчивых к этиленовому стрессу (патент RU 2790268 от 15.02.2023);
в) послеуборочное хранение семян с низким уровнем стресса и повышенной устойчивостью в замкнутых емкостях — контейнерах, максимально заполненных семенами (патент RU 2217894C1 от 10.12.2003), что позволяло блокировать фотоактивацию, нарушение гормонального баланса и сохранять функциональную активность у семян.

К категории физиологически низкокачественных семян были отнесены партии семян зерновых культур с повышенным уровнем стресса и менее устойчивые к этиленовому стрессу.

Послеуборочный режим хранения данных категорий семян в зерноскладе включал два варианта: а) традиционное напольное — ворох; б) контейнерное — стрессозащитное, изолирующее зерновую массу от воздухообмена, влияния атмосферного кислорода и света.

Продолжительность хранения семян, от уборки урожая зерна и до его последующего использования для посевных целей, составляла 9-12 мес. При хранении в динамике проводили оценку посевных качеств, определяли интенсивность прорастания семян, морфометрические показатели проростков, уровень содержания этилена в летучих физиологически активных метаболитах (ЛФАМ) межзерновой воздушной среде у стрессированных семян и у плесневых грибов (род Pénicillium) с использованием хроматографа «Кристалл-2000 М».

Почва в полевых опытах серая лесная и легкосуглинистая, содержание гумуса 3,39-3,73% (ГОСТ 26213-2021), $P_2O_5$ — 181-205 мг/кг почвы, $K_2O$ — 13-150 мг/кг почвы (ГОСТ Р 54650-2011), $pH_{сол.}$ пахотного слоя почвы — 5,1-5,3. Посев проводили в оптимальные агротехнические сроки для ранних зерновых культур Центральных районов Нечерноземной зоны РФ. Предшественники в ранние годы были озимые зерновые, зернобобовые и однолетние кормовые культуры. Норма высева семян яровой пшеницы и ячменя составляла 660 и 550 шт. всхожих семян на 1 м$^2$, глубина посева варьировала от 3 до 7 см. Посевная площадь делянок — 120-150 м$^2$, учетная –75-110 м$^2$. Фенологические наблюдения и учеты выполняли в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

Погодные условия весеннего периода (начало июня) в годы проведения опытов были контрастно выраженными: гидротермический коэффициент (ГТК) варьировал от 0,48 до 1,59, соответственно в 2018 и 2020 гг., во все другие годы ГТК не превышал 0,81-0,93, осадки выпадали не равномерно, отмечались резкие перепады температуры. Нестабильный водный и температурный режимы сопровождались формированием у проростков семян гидротермического стресса (патент RU 2857873C2 от 11.03.2026). Результаты лабораторных опытов и морфометрические параметры проростков семян статистически обрабатывали с применением критерия Стьюдента, различия считали статистически значимыми при P≤0,05, а также Методики полевого опыта (1985).

**Результаты исследований.** В соответствии с теоретическими представлениями о механизме стресса, растительные организмы на все виды повреждающих абиотических и биотических стресс-факторов отвечают нарушением гормонального баланса с увеличением выделения этилена, оказывающего угнетающее воздействие на растения, ускоряя их физиологическое старение.

Полученный результат исследований подтверждает ингибирующую функцию этилена, который идентифицирован в ЛФАМ, выделяемых травмированными семенами яровой пшеницы и плесневыми грибами, как потенциального компонента зерновой массы (табл. 1).

С увеличением продолжительности экспонирования интактных (целостных) семян этиленом и ЛФАМ травмированных семян и плесневых грибов в них прогрессивно нарастало сильно выраженное угнетение процессов роста проростков, снижение энергии прорастания и лабораторной всхожести, что свидетельствует о механизме ингибирующего гормонального воздействия этилена.

Таблица 1. **Ответная реакция интактных семян яровой пшеницы на экспонирование этиленом и ЛФАМ стрессированных семян и плесневых грибов**
Table 1. **Response of intact spring wheat seeds to exposure of stressed seeds and mold fungi with ethylene and LFAM**

| Варианты опыта / Этилен, мг/м³ | Длительность экспонирования, мес. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | 9 | | 1 | | 9 | |
| | энергия прорастания, % | лабораторная всхожесть, % | энергия прорастания, % | лабораторная всхожесть, % | длина, см | | | |
| | | | | | росток | первичный | росток | первичный |
| Этилен, 0,01-0,03 | 85,7±2,4* | 95,1±1,6 | 70,3±4,2* | 89,6±2,3* | 19,1±1,7* | 28,7±2,1 | 13,1±1,9 | 16,3±1,8* |
| ЛФАМ травмированных семян, 0,007-0,009 | 87,6±2,3* | 95,3±0,7 | 79,4±3,1* | 92,5±1,2* | 23,1±1,5* | 30,5±1,9 | 18,9±2,2* | 23,5±1,6* |
| ЛФАМ плесневых грибов, 0,05-0,1 | 71,4±5,6* | 92,6±3,5* | 19,1±3,9* | 54,3±3,9* | 17,4±2,5* | 19,6±2,8* | 8,5±3,3* | 9,7±2,9* |

*Статистически значимые различия между вариантами при P≤0,05.

Наиболее резкое подавление исследуемых показателей у интактных семян отмечалось при экспонировании ЛФАМ плесневых грибов, где все показатели снижались почти в 2 раза, что объясняется самым высоким уровнем содержания этилена в ЛФАМ.

Результаты данного опыта являются теоретической основой формирования антистрессовой защиты и управления хозяйственно ценными свойствами семян зерновых культур.

Материалы исследований доказывают, что контейнерное хранение семян, изолируя зерновую массу от воздухообмена, формирует гипоксию в межзерновой воздушной среде, минимизируя содержание этилена до следовых концентраций — 0,0003-0,0005 мкг/м$^3$ и активизирует прорастание семян и рост проростков (рис.).

Контейнерное хранение семян продолжительностью 1-3 мес. сопровождалось слабовыраженной тенденцией увеличения исследуемых показателей роста у проростков к контролю — напольному хранению. С увеличением продолжительности хранения до 9-12 мес. происходило увеличение скорости прорастания семян и длинны ростка по сравнению с контролем у яровой пшеницы на 29,2 и 20,6%; у ячменя — на 15,3 и 14,7%. Изменение параметров проростка по длине и числу корешков было менее выраженным, и особенно у ячменя, где превышение к контролю составляло 3,6 и 2,7% соответственно. Нарастания различий в параметрах проростов с увеличение продолжительности напольного хранения объясняется повышением активности дыхания и увеличением содержания этилена в межзерновой воздушной среде до 0,014-0,019 мг/м$^3$, то есть почти на два порядка выше по сравнению с контейнерным хранением. Следовательно, преимущество контейнерного хранения по сравнению с напольным обусловлено блокированием развития стрессовых реакций. Меньшие различия в изменении морфометрических показателей у проростков семян ячменя по отношению к яровой пшеницы связаны с анатомо-морфологическими особенностями строения пленчатых зерновок в отличие от голозерных.

В воздушно-сухих семенах растений протекает слабое дыхание и сопряженный с ним медленный обмен веществ, интенсивность развития которых модифицирует кислород атмосферы, как биологический окислитель, и продолжительность времени хранения.

Стрессоустойчивость и уровень стресса, как показатели, характеризующие физиологическое состояние семян растений, тесно взаимосвязаны. Но если стрессоустойчивость обусловлена, главным образом, наследственными признаками и сбалансированностью метаболических процессов, то уровень стресса — соотношением фитогормонов ингибирующей (абсцизовая кислота, этилен) и стимулирующей природы (гиббериллин, ауксин, цитокинин), которые, в свою очередь, зависят от широкого спектра факторов окружающей среды. Даже в состоянии вынужденного покоя в воздушно-сухих семенах растений протекает медленный обмен веществ, который модифицирует атмосферный кислород, как биологический окислитель, и продолжительность времени хранения. Результатами исследований на стрессированных семенах выявлена динамика энергии прорастания — как показателя активности метаболических и гормональных процессов на этапе прорастания семян и всхожести — формирования морфометрических показателей у всхожих семян.

Результатами исследований на травмированных — стрессированных семенах выявлено отрицательное последействие механических повреждений, отчетливо нарастающее у семян яровой пшеницы и ячменя с увеличением продолжительности напольного хранения до 9-12 мес. (табл. 2).

Так, у семян яровой пшеницы с повышенным уровнем стресса и низкой устойчивостью энергия прорастания и всхожесть изменилась, соответственно, с 75,3 и 92,8% до 66,5 и 87,4%, тогда как у семян с низким уровнем стресса и повышенной стрессоустойчивостью — только с 86,7 и 95,2% до 82,5 и 94,1%, то есть данные показатели уменьшились, соответственно, в первом случае на 8,8 и 5,4%, во втором — на 4,2 и 1,1%.

Контейнерно-стрессозащитный режим хранения, в отличие от напольного, сопровождался слабой тенденцией повышения энергии прорастания на 1,1-2,8%, всхожесть варьировала в диапазоне естественных колебаний биологических систем. Сходная зависимость изменения посевных качеств отмечалась у семян ячменя. Напольное хранение семян ячменя с повышенным уровнем стресса и низкой стрессоустойчивостью вызывало снижение энергии прорастания и всхожести на 6,4 и 1,6%, у семян с низким уровнем стресса и повышенной стрессоустойчивостью данные показатели уменьшились на 3,8 и 0,9%.

При контейнерном хранении не выявлено существенных изменений посевных качеств с увеличением продолжительности до 9-12 мес. Следовательно, ключевую роль в пролонгации посевных качеств травмированных семян двух видов зерновых культур обеспечивали условия гипоксии контейнерного хранения.

Напольное хранение партий семян яровой пшеницы и ячменя, содержащих поврежденные зерновки, по показателю лабораторной всхожести 87,4 и 90,9%, в соответствии с ГОСТ Р 52325-2005, не могут быть использованы для посевных целей, а только для производства товарной продукции, тогда как эти же семена, относящиеся к категории физиологически низкого качества, при контейнерном хранении 9-12 мес. имели лабораторную всхожесть на уровне 93,5-94,0%, что являлось основанием для их применения в семенных посевах.

Применение двух режимов послеуборочного хранения семян выявило существенные хозяйственно-биологические преимущества антистрессового контейнерного хранения по сравнению с напольным по показателю полевой всхожести (табл. 3).

При напольном хранении во все годы опытов, которые характеризовались резко контрастными по погодным условиям, полевая всхожесть у семян яровой пшеницы с повышенным уровнем стресса и низкой стрессоустойчивостью была ниже, чем при контейнерном на 10,7%. Максимальный показатель полевой всхожести — 87,2% у яровой пшеницы обеспечивало контейнерное хранение семян с низким уровнем стресса и повышенной стрессоустойчивостью. В отдельные годы эти различия достигали 15,1% (2018 г.) и 16,5% (2023) г. В среднем хранение двух категорий семян разного физиологического состояния в контейнерах способствовало повышению полевой всхожести до 84,7% или на 9,4% больше, чем при напольном. Самая низкая всхожесть 71,4% отмечалась при напольном хранении семян с повышенным уровнем стресса.

Сходная зависимость установлена у семян ячменя. В среднем за годы исследований максимальная полевая схожесть 85,7% была у семян с низким уровнем стресса и повышенной стрессоустойчивостью, хранившихся в контейнере, с превышением к напольному на 3,6%. Самая низкая полевая всхожесть — 77,5% при напольном хранении была у семян физиологически низкого качества, тогда как контейнерный режим сопровождался увеличением всхожести данных семян до 82,3%. Условия контейнерного хранения семян ячменя по сравнению с напольным в среднем за годы проведения опытов способствовали повышению полевой всхожести от 79,8 до 84,0%

**Выводы.** Базовой основой антистрессовой концепции семян и растений является неизвестное раннее, а в современной парадигме свойство воздушно сухих семян, находящихся в состоянии стресса, индуцировать физиологические модификации у интактных семян, в диапазоне от стимуляции до угнетения, в зависимости от условий и продолжительный их экспонирования

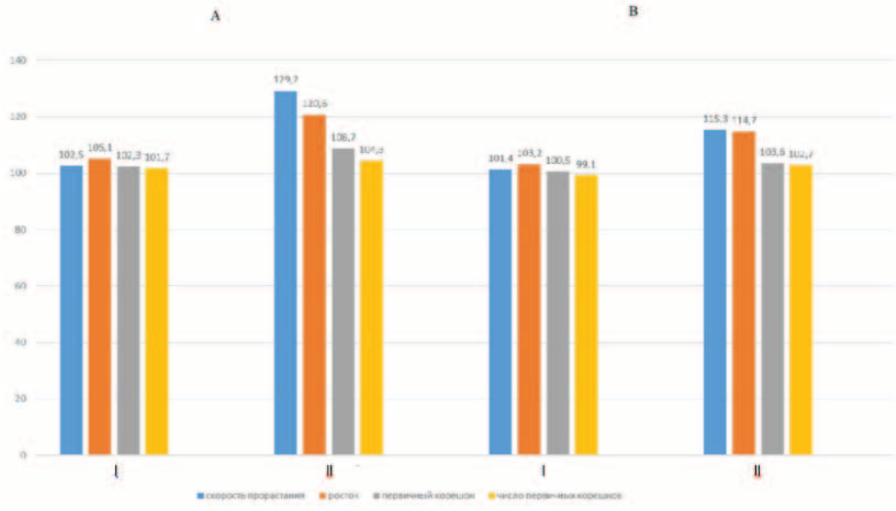



Рисунок. **Сравнительная оценка эффективности контейнерного хранения по сравнению с напольным стрессированных семян яровой пшеницы (А) и ячменя (В) на морфометрические параметры трех суточных проростков, %. Напольное хранение — контроль. Продолжительность хранения: I — 1-3 мес.; II — 9-12 мес.**

Figure. **Comparative assessment of the effectiveness of container storage compared with outdoor of stressed spring wheat (A) and barley (B) seeds on the morphometric parameters of three daily seedlings, %. Outdoor storage — control. Storage duration: I — 1-3 months; II — 9-12 months**

Таблица 2. **Влияние условий и продолжительности хранения семян яровой пшеницы и ячменя с разным уровнем стресса и стрессоустойчивости на посевные качеств (средние показатели по сортам зерновых культур за 2018-2024 г.), %**
Table 2. **The effect of conditions and duration of storage of spring wheat and barley seeds with different levels of stress and stress resistance on crop quality (average values for grain varieties for 2018-2024), %**

| Варианты опыта | | Продолжительность хранения, мес. | | | | | | Среднее по | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Фактор А (условие хранения) | Фактор В (семена) | 1-3 | | 6 | | 9-12 | | семенам | | условиям хранения | |
| | | энергия прорастания | лабораторная всхожесть | энергия прорастания | лабораторная всхожесть | энергия прорастания | лабораторная всхожесть | энергия | всхожесть | энергия | всхожесть |
| **Пшеница** | | | | | | | | | | | |
| Напольное | Низкий уровень стресса и повышенная стрессоустойчивость | 86,7±2,4** | 94,2±1,7 | 85,2±2,1** | 94,0±1,5 | 2,5±2,6*** | 93,1±1,8** | 84,8 | 94,7 | 78,1 | 92,4 |
| | Повышенный уровень стресса и низкая стрессоустойчивость | 75,3±2,7** | 93,8±1,9 | 72,1±2,6*** | 91,0±1,8 | 66,5±3,6*** | 88,4±2,4*** | 71,3 | 91,0 | | |
| Контейнерное стрессозащитное | Низкий уровень стресса и повышенная стрессоустойчивость | 87,4±1,9** | 95,7±1,8 | 88,4±2,4** | 95,6±1,2 | 90,2±1,9*** | 95,8±1,1** | 89,2 | 96,2 | 84,0 | 94,6 |
| | Повышенный уровень стресса и низкая стрессоустойчивость | 78,1±2,3** | 93,3±1,7 | 80,6±2,5*** | 93,7±1,4 | 79,2±3,2*** | 93,5±11,3*** | 79,3 | 93,5 | | |
| **Ячмень** | | | | | | | | | | | |
| Напольное | Низкий уровень стресса и повышенная стрессоустойчивость | 88,4±1,9** | 94,7±0,9 | 87,1±1,8** | 94,0±0,8 | 84,6±1,9** | 93,8±1,2 | 86,7 | 94,2 | 83,9 | 92,3 |
| | Повышенный уровень стресса и низкая стрессоустойчивость | 83,5±2,2** | 92,5±1,7 | 82,6±2,3** | 91,8±1,8 | 77,1±2,5*** | 90,9±1,7* | 81,1 | 91,7 | | |
| Контейнерное стрессозащитное | Низкий уровень стресса и повышенная стрессоустойчивость | 89,5±2,1 | 94,6±1,1 | 88,3±1,9 | 95,4±0,8 | 89,6±1,7 | 95,1±0,9 | 89,1 | 95,0 | 87,4 | 94,8 |
| | Повышенный уровень стресса и низкая стрессоустойчивость | 85,8±2,2 | 94,7±1,3 | 85,0±2,3 | 94,3±1,4 | 86,1±1,8* | 94,5±1,2* | 85,6 | 94,5 | | |

*Статистически значимые различия по фактору А между вариантами при P≤0,05;
**Статистически значимые различия по фактору В между вариантами при P≤0,05.

Таблица 3. **Полевая всхожесть семян яровой пшеницы и ячменя в зависимости от их уровня стресса, стрессоустойчивости и условий послеуборочного хранения, %**
Table 3. **Field germination of spring wheat and barley seeds, depending on their stress level, stress resistance and post-harvest storage conditions, %**

| Варианты опыта | | Годы | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Фактор А (условие хранения) | Фактор В (семена) | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | Среднее по семенам | Среднее по условиям хранения |
| **Яровая пшеница** | | | | | | | | | | |
| Напольное | Низкий уровень стресса, повышенная стрессоустойчивость | 68,9 | 76,4 | 89,7 | 80,5 | 84,6 | 71,8 | 83,6 | 79,3 | 75,3 |
| | Повышенный уровень стресса, низкая стрессоустойчивость | 59,4 | 71,5 | 81,8 | 71,2 | 75,7 | 63,3 | 77,1 | 71,4 | |
| Контейнерное стрессозащитное | Низкий уровень стресса, повышенная стрессоустойчивость | 79,3 | 83,8 | 94,4 | 88,8 | 91,5 | 82,7 | 90,3 | 87,2 | 84,7 |
| | Повышенный уровень стресса, низкая стрессоустойчивость | 74,5 | 80,2 | 89,6 | 81,4 | 84,1 | 79,8 | 85,4 | 82,1 | |
| **Ячмень** | | | | | | | | | | |
| Напольное | Низкий уровень стресса, повышенная стрессоустойчивость | 73,3 | 79,8 | 91,9 | 81,3 | 85,6 | 77,7 | 85,5 | 82,1 | 79,8 |
| | Повышенный уровень стресса, низкая стрессоустойчивость | 67,4 | 75,2 | 85,7 | 77,2 | 82,1 | 72,1 | 82,6 | 77,5 | |
| Контейнерное стрессозащитное | Низкий уровень стресса, повышенная стрессоустойчивость | 74,8 | 81,9 | 92,5 | 91,9 | 90,6 | 80,8 | 87,3 | 85,7 | 84,0 |
| | Повышенный уровень стресса, низкая стрессоустойчивость | 73,1 | 79,0 | 89,4 | 86,9 | 84,7 | 78,5 | 84,7 | 82,3 | |
| $НСР_{0,05}$ по фактору А | | 4,2 | 4,5 | 5,0 | 4,3 | 3,3 | 2,7 | 3,5 | 3,4 | |
| $НСР_{0,05}$ по фактору В | | 3,9 | 4,2 | 5,1 | 3,5 | 3,6 | 4,1 | 3,7 | 3,6 | |
| $НСР_{0,05}$ по фактору АВ | | 5,3 | 5,6 | 6,2 | 4,9 | 4,1 | 4,4 | 4,2 | 4,0 | |

стрессированными — травмированными семенами, выделяющими ЛФАМ, в составе которых идентифицирован стрессовый этилен.

Блокировать развитие стрессовых реакций непосредственно у травмированных и поврежденных семян обеспечивали условия гипоксии, подавляющие интенсивность выделения этилена, так как его образование имеет кислородно-зависимый характер. Кроме того, дефицит кислорода при контейнерном хранении зерновой массы, предположительно, сопровождается снижением уровня активных форм кислорода (АФК) в жизненно важных структурах зерновки.

Опасность механических травм и повреждений отчетливо нарастало в последействии, с увеличением продолжительности хранения зерновой массы, и сопровождалось прогрессирующим развитием детериорации — ускорением физиологического старения, подавлением активности прорастания семян и роста проростков, снижением посевных качеств.

Совокупность новых ранее неизвестных знаний о способности стрессированных семян, посредством гормонального воздействия, участвовать в дистанционной коммуникации, а также дифференциации семян на категории физиологического качества, убеждает в практической целесообразности решать масштабную проблему травмирования семян растений, не только инженерно-конструктивными разработками, а кардинально на основе фундаментальных агробиологических знаний. Купирование постстрессовых реакций у семян при послеуборочном хранении посредством гипоксии пролонгирует их высокие посевные качества.

Адаптация данной концепции позволит зернопроизводящим предприятиям, за счет улучшения качеств посевного материала, снизить норму высева, общий расход семенного материала, средств защиты, повысить полевую всхожесть и устойчивость растений на ранних этапах развития, когда они наиболее уязвимы к повреждающим воздействиям, создать лучшие стартовые условия для повышения продуктивности посевов.

**Список источников**

1. Пыхтин И.Г., Гостев А.В., Пыхтин А.И. Совершенствование систем земледелия и агротехнологий в современных условиях ведения сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 79-80.
2. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Изменение климата и особенности селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и адаптивность к нему // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 1. С. 20-25.
3. Завалин А.А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия // Земледелие. 2024. № 2. С. 25-29.
4. Новахатин В.В. Научное обоснование первичного и элитного семеноводства зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 40-47.
5. Нуруллин Э.Г., Файзуллин Р.А. Экспериментальное исследование травмирования семян в сельскохозяйственных машинах // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. № 17 (2). С. 99-105.
6. Троценко В.В., Забудский А.И. Лабораторная всхожесть микроповрежденных семян ячменя // Вестник КрасГАУ. 2018. № 5 (140). С. 70-76.
7. Ступин А.С., Левин В.И., Антипкина Л.А. Влияние пролонгированной стрессозащиты на устойчивость продукционного процесса зерновых культур // Аграрная наука. 2025. № 9. С. 90-98.
8. Шарафутдинов М.Х., Нижегородцева Л.С., Сафин Р.И. Приемы профилактики травмированности семян яровой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2017. № 2 (50). С. 69-72.
9. Ряднов А.И., Арылов Ю.Н. Повышение урожайности яровой пшеницы за счет использования семян с низким уровнем травмирования // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 45-52.
10. Скворцова Ю.Г., Калинина Н.В., Фирсова Т.И., Филенко Г.А. Влияние травмирования на посевные качества семян сортов озимой мягкой пшеницы при уборке и послеуборочной доработке // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 5. С. 56-62.
11. Кокина Л.П., Щенникова И.Н., Зайцева И.Ю. Травмирование как фактор снижения посевных качеств семян ячменя // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (175). С. 19-24.
12. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н., Бенова Е.В., Рухляда А.И. Результаты экспериментальных исследований обмолота колосьев в пневматическом молотильном устройстве // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 1. С. 111-132.
13. Levin, V.I., Antipkina, L.A., Stupin, A.S., Dudin, N. (2021). Modifying the effect of stressed spring wheat seeds on intact ones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Yekaterinburg, IOP Publishing Ltd, p. 012015.
14. Stupin, A.S., Levin, V.I., Antipkina, L.A. (2023). Response of stressed seeds of grain crops to changing conditions and duration of their storage. *II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023)*. Ufa. Russia, vol. 71. Les UlisCedex A, France: EDP SCIENCES, p. 1055.
15. Левин В.И., Ступин А.С. Механизм ингибирования интактных семян яровой пшеницы, индуцированный хранением с травмированными и поврежденными зерновками // Аграрная наука. 2025. № 4. С. 121-128.
16. Stegner, M., Wagner, J., Roach, T. (2022). Antioxidant depletion during seed storage under ambient conditions. *Seed Science Research*, vol. 32, no. 3, pp. 150-156.
17. Jian, F. (2022). Ageneral model to predict germination and safe storage time of crop seeds. *Journal of Stored Products Research*, vol. 99, p. 102041.
18. Cheyed, S.H. (2020). Effect of storage method and period on vitality and vigour of wheat seed. *Indian Journal of Ecology*, vol. 47, no. 4, pp. 27-31.
19. Кокиева Г.Е., Яковлева В.Д. Исследование концепции экосистемного подхода к процессам хранения зерна // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 5. С. 206-208.
20. Швачко Н.А., Хлесткина Е.К. Молекулярно-генетические основы устойчивости семян к окислительному стрессу при хранении // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 5. С. 451-458.
21. Землянская Е.В., Омельянчук Н.А., Ермаков А.А., Миронова В.В. Механизмы регуляции передачи этиленового сигнала у растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. № 20 (3). С. 386-395.
22. Левин В.И., Ступин А.С., Ушаков Р.Н., Антипкина Л.А. Эффекты последействия у интактных семян зерновых культур, индуцированные дистанционно стрессированными семенами // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 6 (402). С. 687-691.

**References**

1. Pykhtin, I.G., Gostev, A.V., Pykhtin, A.I. (2014). Sovershenstvovanie sistem zemledeliya i agrotekhnologii v sovremennykh usloviyakh vedeniya sel'skogo khozyaistva [Improvement of farming systems and agrotechnologies in modern farming conditions]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], no. 4, pp. 79-80.
2. Grabovets, A.I., Fomenko, M.A. (2023). Izmenenie klimata i osobennosti selektsii ozimoi myagkoi pshenitsy na produktivnost' i adaptivnost' k nemu [Climate change and peculiarities of winter soft wheat breeding on productivity and adaptability to it]. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Vestnik of the Russian agricultural sciences], no. 1, pp. 20-25.
3. Zavalin, A.A. (2024). Problemy i puti resheniya tekhnologicheskogo razvitiya zemledeliya [Problems and solutions of technological development of agriculture]. *Zemledelie* [Agriculture], no. 2, pp. 25-29.
4. Novakhatin, V.V. (2018). Nauchnoe obosnovanie pervichnogo i ehlitnogo semenovodstva zernovykh kul'tur [Scientific substantiation of primary and elite seed production of grain crops]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 32, no. 9, pp. 40-47.
5. Nurullin, Eh.G., Faizullin, R.A. (2022). Ehksperimental'noe issledovanie travmirovaniya semyan v sel'skokhozyaistvennykh mashinakh [Experimental study of injury to seeds in agricultural machinery]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University], no. 17 (2), pp. 99-105.
6. Trotsenko, V.V., Zabudskii, A.I. (2018). Laboratornaya vskhozhest' mikropovrezhdennykh semyan yachmenya [Laboratory germination of micro-damaged barley seeds]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], no. 5 (140), pp. 70-76.
7. Stupin, A.S., Levin, V.I., Antipkina, L.A. (2025). Vliyanie prolongirovannoi stressozashchity na ustoichivost' produktsionnogo protsessa zernovykh kul'tur [The effect of prolonged stress protection on the stability of the production process of grain crops]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian science], no. 9, pp. 90-98.
8. Sharafutdinov, M.Kh., Nizhegorodtseva, L.S., Safin, R.I. (2017). Priemy profilaktiki travmirovannosti semyan yarovoi pshenitsy [Techniques for preventing injury to spring wheat seeds]. *Zernovoe khozyaistvo Rossii* [Grain economy of Russia], no. 2 (50), pp. 69-72.
9. Ryadnov, A.I., Arylov, Yu.N. (2022). Povyshenie urozhainosti yarovoi pshenitsy za schet ispol'zovaniya semyan s nizkim urovnem travmirovaniya [Increasing the yield of spring wheat through the use of seeds with a low injury rate]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education], no. 4 (68), pp. 45-52.
10. Skvortsova, Yu.G., Kalinina, N.V., Firsova, T.I., Filenko, G.A. (2023). Vliyanie travmirovaniya na posevnye kachestva semyan sortov ozimoi myagkoi pshenitsy pri uborke i posleuborochnoi dorabotke [The impact of injury on the sowing qualities of winter soft wheat seeds during harvesting and post-harvest refinement]. *Zernovoe khozyaistvo Rossii* [Grain economy of Russia], vol. 15, no. 5, pp. 56-62.
11. Kokina, L.P., Shchennikova, I.N., Zaitseva, I.Yu. (2019). Travmirovanie kak faktor snizheniya posevnykh kachestv semyan yachmenya [Injury as a factor in reducing the sowing qualities of barley seeds]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], no. 5 (175), pp. 19-24.
12. Pakhomov, V.I., Braginets, S.V., Bakhchevnikov, O.N., Benova, E.V., Rukhlyada, A.I. (2020). Rezul'taty ehksperimental'nykh issledovanii obmolota kolos'ev v pnevmaticheskom molotil'nom ustroistve [The results of experimental studies of threshing ears in a pneumatic threshing device]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy* [Engineering technologies and systems], vol. 30, no. 1, pp. 111-132.
13. Levin, V.I., Antipkina, L.A., Stupin, A.S., Dudin, N. (2021). Modifying the effect of stressed spring wheat seeds on intact ones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Yekaterinburg, IOP Publishing Ltd, p. 012015.
14. Stupin, A.S., Levin, V.I., Antipkina, L.A. (2023). Response of stressed seeds of grain crops to changing conditions and duration of their storage. *II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023)*. Ufa. Russia, vol. 71. Les UlisCedex A, France: EDP SCIENCES, p. 1055.
15. Levin, V.I., Stupin, A.S. (2025). Mekhanizm ingibirovaniya intaktnykh semyan yarovoi pshenitsy, indutsirovannyi khraneniem s travmirovannymi i povrezhdennymi zernovkami [Mechanism of inhibition of intact spring wheat seeds induced by storage with injured and damaged grains]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian science], no. 4, pp. 121-128.
16. Stegner, M., Wagner, J., Roach, T. (2022). Antioxidant depletion during seed storage under ambient conditions. *Seed Science Research*, vol. 32, no. 3, pp. 150-156.
17. Jian, F. (2022). Ageneral model to predict germination and safe storage time of crop seeds. *Journal of Stored Products Research*, vol. 99, p. 102041.
18. Cheyed, S.H. (2020). Effect of storage method and period on vitality and vigour of wheat seed. *Indian Journal of Ecology*, vol. 47, no. 4, pp. 27-31.
19. Kokieva, G.E., Yakovleva, V.D. (2023). Issledovanie kontseptsii ehkosistemnogo podkhoda k protsessam khraneniya zerna [A study of the concept of an ecosystem approach to grain storage processes]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and technical Volga region bulletin], no. 5, pp. 206-208.
20. Shvachko, N.A., Khlestkina, E.K. (2020). Molekulyarno-geneticheskie osnovy ustoichivosti semyan k okislitel'nomu stressu pri khranenii [Molecular and genetic basis of seed resistance to oxidative stress during storage]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov journal of genetics and breeding], vol. 24, no. 5, pp. 451-458.
21. Zemlyanskaya, E.V., Omel'yanchuk, N.A., Ermakov, A.A., Mironova, V.V. (2016). Mekhanizmy regulyatsii peredachi ehtilenovogo signala u rastenii [Mechanisms of regulation of ethylene signal transmission in plants]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov journal of genetics and breeding], no. 20 (3), pp. 386-395.
22. Levin, V.I., Stupin, A.S., Ushakov, R.N., Antipkina, L.A. (2024). Ehffekty posledeistviya u intaktnykh semyan zernovykh kul'tur, indutsirovannye distantsionno stressirovannymi semenami [Aftereffect effects in intact grain seeds induced by remotely stressed seeds]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 6 (402), pp. 687-691.

*Информация об авторах:*

**Левин Виктор Иванович,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры селекции, семеноводства и агрохимии,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9587-0556, Scopus ID: 57222725006, SPIN-код: 6626-5560, levin-49@bk.ru

**Ступин Александр Сергеевич,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры селекции, семеноводства и агрохимии,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0548-6313, Scopus ID: 57221955958, SPIN-код: 2893-0106, stupin32@yandex.ru

*Information about the authors:*

**Viktor I. Levin,** doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of breeding, seed production and agrochemistry,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-9587-0556, Scopus ID: 57222725006, SPIN-code: 6626-5560, levin-49@bk.ru

**Alexander S. Stupin,** candidate of agricultural sciences, associate professor, associate professor of the department of breeding, seed production and agrochemistry,
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0548-6313, Scopus ID: 57221955958, SPIN-code: 2893-0106, stupin32@yandex.ru

✉ **stupin32@yandex.ru**