

# Исследование влияния температурных режимов хранения на показатели сохранности и технологические показатели пшеницы

**Гурьева Ксения Борисовна**

*ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва  
Адрес: 111033, город Москва, Волочаевская ул., дом 40, корп. 1  
E-mail: guriewa.ksen@yandex.ru*

**Белецкий Сергей Леонидович**

*ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва  
Адрес: 111033, город Москва, Волочаевская ул., дом 40, корп. 1  
E-mail: grain-miller@yandex.ru*

**Хаба Наталья Андреевна**

*ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва  
Адрес: 111033, город Москва, Волочаевская ул., дом 40, корп. 1  
E-mail: arenbru@gmail.com*

**Шилкова Ольга Станиславовна**

*ФГБУ Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва  
Адрес: 111033, город Москва, Волочаевская ул., дом 40, корп. 1  
E-mail: shilkova.olya@yandex.ru*

При хранении на элеваторах и складах зерно подвергается воздействию температур, связанных с сезонными колебаниями. Температурный режим влияет на старение зерна за счет изменений углеводного и белково-липидного комплексов, процессов дыхания, влагосорбционных изменений, а также развития вредителей. В статье приведены результаты изменения качества зерна мягкой пшеницы при разных температурах хранения. Показано, что интенсивность изменения отдельных показателей качества пшеницы зависит от температурных условий хранения: при температурах 30 и 40°C отмечены наиболее существенные изменения показателей качества: снижение массовой доли клейковины, снижение стекловидности, увеличение числа падения и увеличение кислотного числа жира. Регрессионный анализ полученных данных позволил установить зависимость показателей качества от температуры хранения. Наиболее благоприятным температурным режимом определена температура 10°C, при которой качество пшеницы по нормируемым показателям характеризуется значениями на уровне исходного зерна. Выполненные эксперименты актуальны для обоснования оптимальных режимов в практике длительного хранения зерна, а также для составления прогнозных значений по срокам его хранения.

**Ключевые слова:** пшеница, хранение, температура, качество, клейковина, влажность, стекловидность, число падения, кислотное число жира, линия тренда

## Обоснование для проведения исследований

Зерно является стратегическим сырьем для мукомольной и хлебопекарной промышленности и

одним из ключевых факторов продовольственной безопасности России. Сохранение зерна – задача государственной важности.

Биохимические основы длительного хранения зерна разработаны еще в прошлом столетии (Козьмина, 1976, с. 280-303; Трисвятский, 1991, с.

415; Sauer, 1992; Pixton, Hill, 1967, с. 152-157). При хранении непрерывно происходят биохимические процессы, которые влияют на качество зерна. Зерно – живой организм и в период хранения «дышит», в результате этого процесса выделяется углекислый газ и вода. Реакция окисления происходит с выделением теплоты, возможно выделение влаги, повышение относительной влажности воздуха в межзерновом пространстве, накопление тепла и соответственно повышение температуры свыше 35°C в зоне очага самосогревания. Процесс самосогревания зерна, на начальной стадии его развития, достаточно длителен и характеризуется низкой скоростью увеличения температуры зерновой массы. Более поздние работы (Малеева, Брикота, Ксенз, 2012, с. 29-40; Орловцева, Игнатенко, Клейменова, 2016, с. 36-39; Yahya, 2001, с. 41-47) показали, что направление и интенсивность биохимических процессов, протекающих в хранящемся зерне, зависят от многих факторов, в числе которых важнейшими признаны его влажность и температура окружающей среды. По исследованиям (Pang, Wang, Lu, Yu, 2008, с. 1707-1712; Мачихина, 2011, с. 13-36) установлено, что зерно пшеницы, хорошо созревшее, высушенное до влажности ниже критической с использованием мягких режимов сушки и охлажденные до 10°C партии выдерживало хранение в течение многих лет без существенных изменений органолептических характеристик и мукомольно-хлебопекарных качеств. Температурный режим влияет на интенсивность старения зерна за счет изменений углеводного и белково-липидного комплекса, процессов дыхания, влагосорбционных изменений, а также развития вредителей. В период хранения необходимо сохранить технологическое качество зерна до его использования, что возможно только при условии оптимальных режимов, при которых физиологическая активность зерновой массы будет сведена к минимуму, и которые обеспечивают минимальные уровни жизнедеятельности всех компонентов зерновой массы.

Научные исследования, проведенные в ФГБУ НИИПХ Росрезерва, показали, что наилучший эффект дает хранение сухого очищенного зерна в охлажденном состоянии (Гурьева, Иванова, Белецкий, 2013, с. 175-190; Белецкий, Гурьева, Иванова, 2017, с. 69-78).

Температура – важный параметр, влияющий на дыхательные процессы зерновой массы в период хранения, вызывающие биологические потери зерна. Эксперименты (Гурьева, Иванова, 2016, с. 307-309; Dimitrov, 2014, р. 19-23) показали, что

потери сухих веществ зерна за счет дыхания при хранении пшеницы с одинаковой влажностью (12,7%) зависели от температуры хранения и от способа хранения (склад или силос). При неизменной влажности интенсивность дыхания зерна была тем выше, чем выше температура. Наибольшие потери массы происходили при температуре 25±2°C (за 3 месяца – 0,032-0,038%), наименьшие при 10±2°C (0,004-0,006%). Хранение в складе способствует более интенсивному дыханию и соответственно более высоким потерям (в 1,2-2,3 раза), чем в силосе элеватора.

Исследованиями Сибирского филиала ВНИИЗ (Скрябин, 2006, с. 38-40) показано, что при хранении на элеваторах и складах зерно подвергается воздействию температур, связанных с сезонными колебаниями. Резко-континентальный климат Сибири оказывает существенное влияние на технологические свойства зерна пшеницы. Степень этого влияния зависит от влажности зерна и температуры окружающей среды. Определено, что чем выше влажность зерна и ниже температура сезона года, тем значительно изменяются показатели качества зерна. Так, при низкой отрицательной температуре наблюдалось уменьшение содержания белкового азота и увеличение небелкового. Данные исследований показали, что длительное воздействие низких отрицательных температур на зерно обусловило повышение активности протеолитических ферментов. Количество и качество клейковины пшеницы изменялось в зависимости от влажности зерна и температуры окружающей среды. При математической обработке экспериментальных данных подтверждено снижение количества клейковины под воздействием отрицательной температуры. Последующие работы (Скрябин, 2008, с. 545-559) подтвердили влияние резко-континентального климата на хлебопекарные свойства муки, вырабатываемой на мельницах Сибири. Данные балансов показали, что качество клейковины и ее реологические свойства подвержены сезонным изменениям. В зимний период повысилась гидратационная способность клейковины и упругие свойства, в весенний – упругие свойства уменьшились и увеличилась способность к растяжению. Изменения в клейковинном комплексе под воздействием климатических условий окружающей среды оказали влияние на объемный выход хлеба и его качество. Максимальный объем хлеба был получен из потов муки зимнего баланса, а в весенний период после длительного и глубокого промораживания зерна, объемный выход хлеба резко уменьшился и ухудшилось его качество, отмечена бугристая поверхность, липкий

мякиш, неравномерная пористость. Воздействие повышенных температур при хранении зерна преобладает в южной зоне России (Ветелкин, Марков, Саулкин, 2003, с. 88-89).

Представляют интерес выполненные за последние годы исследования по влиянию условий хранения (параметров температуры и относительной влажности окружающей среды) на качество зерна мягкой пшеницы, выращенного в Казахстане (Шаймерденова, 2017, с. 37-42). Автором предложен комплексный показатель, характеризующий технологическое достоинство (ТД) зерна и включающий такие показатели качества как число падения, натура, количество и качество клейковины, выход муки, массовая доля крахмала. В работе показано, что хранение в течение 12 месяцев при температуре 10°C и относительной влажности 60% зерна пшеницы с массовой долей клейковины 22,5% и качеством клейковины 85 ед. ИДК способствовало увеличению массовой доли клейковины на 1,3% и улучшению качества клейковины со второй группы слабой до 1 группы (с 85 до 70 ед. ИДК). При хранении зерна мягкой пшеницы при температуре 20°C при относительной влажности 50% произошло укрепление клейковины с 75-78 до 68-70 ед. ИДК. Наблюдалось незначительное снижение массовой доли клейковины с 28,4 до 27,9%. Существенные изменения показателей ТД наблюдались при хранении зерна мягкой пшеницы при температуре 30°C и относительной влажности 70%, сопровождавшиеся снижением массовой доли клейковины в среднем на 1,6%. В результате определено, что при температуре 10°C и относительной влажности от 50 до 70% происходят наименьшие изменения ТД зерна мягкой пшеницы, и после хранения технологический потенциал зерна характеризуется значениями на уровне исходного.

Для подтверждения этих данных необходимо проведение опытов по изучению влияния сезонных колебаний температурных параметров на качественное состояние зерна, выращенного в Российской Федерации во время хранения. Такие опыты являются актуальными для обоснования оптимальных режимов в практике длительного хранения зерна, а также для составления прогнозных значений по срокам его хранения.

В рамках научного эксперимента нами были созданы условия хранения зерна, моделирующие сезонные колебания, в том числе учтено воздействие на зерно повышенных и критических отрицательных температур. При использовании метода ускоренного старения продукции специ-

ально создается ситуация, при которой период ухудшения качества и значение кинетического фактора химической реакции значительно ускоряется во времени, а быстротечность реакции становится достаточно высокой (Стеле, 2008, с. 379-400). При этом продукт проходит свой «жизненный цикл порчи» за сравнительно короткий период времени. Методы ускоренного старения позволяют получить предварительные данные о возможном сроке хранения пищевых продуктов, которые в большинстве случаев совпадают с результатами, получаемыми при длительных сроках хранения в стандартных условиях. «Ускоренное старение» предполагает использование температур в диапазоне 37-50°C. Такое повышение температуры значительно сокращает срок испытаний. Прогнозирование срока годности методом ускоренного тестирования при повышенных температурах применено для зерна (Верхотуров, 2008, с. 44), гречневой крупы (Сумелиди, Гурьева, Белецкий, Сидоренко, 2015, с. 58-61), консервов (Сидоренко, Гурьева, Штерман, Зверев, 2013, ч. 1, с. 27-32; Сидоренко, Гурьева, Штерман, Зверев, 2013, ч. II, с. 30-33). Хранение зерна пшеницы при повышенных температурах позволит ускорить процесс «старения» в результате активации ферментов и быстрее выявлять нежелательные биохимические изменения.

По результатам анализа литературных источников по применению методов ускоренного старения составлена программа исследовательских испытаний по влиянию температурных режимов на зерно пшеницы, которая включала:

- температурные режимы хранения зерна;
- обоснование показателей качества, отражающих биохимические изменения зерна, происходящие в период длительного хранения в максимальной степени, которые могут служить индикаторами «сохранности» зерна в процессе ускоренного и реального хранения;
- методы испытаний показателей качества согласно нормативной документации;
- расчет необходимого количества образцов, закладываемых в каждый температурный режим;
- периодичность испытаний объектов исследования для каждого температурного режима хранения;
- требования по оформлению и обработке полученных экспериментальных данных.

**Цель проведения исследовательских испытаний:** изучить влияние сезонных колебаний температур и установить динамику показателей сохранности

и технологических показателей пшеницы под действием повышенных температур хранения.

### Материалы и программа исследования

В качестве объекта исследований была взята мягкая пшеница 3 класса, урожая 2016 г., соответствующая стандарту по нормируемым показателям. По показателям безопасности зерно соответствовало требованиям ТР ТС 015/2011. Закладка на хранение была проведена в мае 2017 года, т.е. зерно прошло стадию послеуборочного дозревания.

Порядок испытаний предполагал:

- исследование исходного качества испытуемых образцов;
- закладку расчетного количества образцов (для каждого варианта) на хранение в термоприборы при выбранных температурах;
- периодическое проведение отбора проб и их исследования в соответствии с программой испытаний.

Исследуемые образцы хранились в тканевых мешочках в холодильных камерах и в термоприборах с разными температурными режимами: минус  $25\pm 1^\circ\text{C}$  (морозильная камера),  $+10\pm 1^\circ\text{C}$  (холодильная камера),  $+30\pm 1^\circ\text{C}$  (климатическая камера),  $+40\pm 1^\circ\text{C}$  (термошкаф). Диапазон температур задан с учетом максимальных отрицательных и положительных сезонных колебаний на элеваторах при длительном хранении, а также учитывает максимально допустимые отрицательные и положительные температуры, при которых может наблюдаться частичная денатурация белка. Температурно-влажностный режим в термоприборах контролировали при помощи термогигрометров. Эксперимент по хранению зерна при разной температуре продолжался до 20 месяцев.

### Обоснование контролируемых показателей

Для разработки программы испытаний был проведен анализ влияния физико-химических показателей на состояние зерна пшеницы при хранении. В процессе длительного хранения происходят изменения в белково-клейковинном, углеводно-амилазном и липидном комплексах. Поэтому были выбраны показатели сохранности и технологические показатели пшеницы, характеризующие происходящие в период хранения изменения.

**Влажность** зерна не являлась приоритетом в проведенном эксперименте, в камерах хранения обеспечивали поддержание относительной влажности воздуха, сохраняющей влажность зерна в пределах 11-13%.

**Клейковина** – это комплекс белковых веществ, который способен набухать в воде и создавать вязкую и эластичную массу, определяющую хлебопекарные свойства пшеницы. Зерно пшеницы особенно ценится за количество и качество клейковинного комплекса в своем биохимическом составе. Клейковина, отмытая из пшеничного теста, представляет собой сильно гидратированный гель, состоящий в основном из белковых веществ, но содержащий, кроме этого, углеводы, липиды и минеральные вещества. По вопросам изменению количества и качества клейковины в процессе хранения в литературе нет однозначного ответа. Так, по результатам ряда работ (Смирнова, 2007, с. 19; Петренко, 2014, с. 43-46) массовая доля клейковины в течение хранения до 12 месяцев имела тенденцию к увеличению. Качество клейковины улучшалось в пределах одной группы, а в некоторых случаях переходило из одной группы качества в другую в зависимости от сорта и предшественника. По исследованиям (Олейник, Давидюк, 2018) при хранении пшеницы двух сортов до 8 месяцев в ней уменьшалось количество клейковины, улучшалось ее качество, через 24 месяца у обоих сортов намечена тенденция к снижению количества и упругости клейковины. При этом были отмечены сортовые отличия в изменении качества клейковины при хранении зерна. Аналогичные данные по снижению количества клейковины за 12 месяцев хранения при температуре  $18-20^\circ\text{C}$  получены во ВНИИ-зерна (Мелешкина, 2011, с. 151-154). В работах (Ленточкин, Долгов, 2011, с. 12-13) количество клейковины при хранении в течение года практически не менялось, а по качеству клейковина укреплялась сохраняя вторую группу или переходя в первую группу. При исследовании влияния температурных режимов на качество пшеницы (Данильчук, 1990, с. 32-34) показано, что количество клейковины через 12 месяцев хранения при температурах  $10$  и  $20^\circ\text{C}$  существенно не изменилось, а при температуре  $35^\circ\text{C}$  – уменьшилось. Качество клейковины было в пределах одной группы, причем по отдельным сортам пшеницы происходило укрепление клейковины, по другим – расслабление. По данным (Скрябин, 2008, с. 545-559) при длительном воздействии отрицательных температур (от минус  $20^\circ\text{C}$  до минус  $30^\circ\text{C}$ ) наблюдали снижение количества сырой и сухой клейковины. Таким образом, в связи с противоре-

чивостью имеющихся данных, в настоящей работе было уделено внимание исследованию динамики количества и качества сырой клейковины при разных температурных воздействиях.

**Число падения** называют показателем активности  $\alpha$ -амилазы, которая характеризует хлебопекарные свойства зерна пшеницы и пшеничной муки. Активность амилолитических ферментов возрастает при прорастании зерна, если оно хранится в плохих условиях или происходит послеуборочное дозревание, при этом показатель ЧП снижается. Чем ниже число падения, тем выше активность фермента  $\alpha$ -амилазы. Ферменты амилазы входят в активное состояние только при соединении с водой. При низкой величине числа падения (менее 150 с по ГОСТ на пшеницу) фермент  $\alpha$ -амилаза оказывает сильное воздействие на крахмал, расщепляя его до сахаров. Хлебопекарные свойства муки из такого зерна резко ухудшаются: выпеченный хлеб из такой муки получается сухой, меньшего размера и быстрее портится. В стандарте на пшеницу не прописаны верхние пределы ЧП, но слишком высокие показатели ЧП негативно сказываются на качестве выработанной из зерна муки пшеничной (Мелешкина, 2008, с. 258-268). По мере повышения показателя «число падения» происходит понижение активности  $\alpha$ -амилазы, вызывающее в свою очередь понижение атакующести крахмала  $\beta$ -амилазой, что отражается на уменьшении газо- и сахаробразующей способности муки. При значениях числа падения более 300-350 с происходит снижение активности  $\alpha$ -амилазы и  $\beta$ -амилазы до критических значений, хлеб выпекается с низкой объемной массой и пониженного качества. Распространенная причина высокого числа падения – это процесс сушки пшеницы при высокой температуре. Данные по изменению числа падения при хранении практически отсутствуют, поэтому, учитывая его значение для хлебопекарных свойств пшеницы, он был включен в число испытываемых показателей.

**Стекловидность** характеризует структурно-механические свойства эндосперма и сопротивляемость зерна разрушающим усилиям при помоле зерна в муку. Стекловидность пшеницы, являясь внешним признаком качества зерна, отражает структуру внутренних тканей зерна. Стекловидное зерно вымалывается легче, чем мучнистое, и дает больший выход крупок. Для мучнистого эндосперма характерна слабая связь крахмальных зерен с белком, в стекловидном эндосперме эта связь очень прочная. Имеются сведения, что стекловидные зерна

содержат больше белка, чем мучнистые (Зверев, Панкратьева, Политуха, Игорянова, 2017, с. 33-34), поэтому показатель «стекловидность» может косвенно характеризовать количество белка и может иметь связь с количеством клейковины.

Процессы гидролитического распада, развивающиеся в зерне при хранении, приводят к увеличению содержания кислых фосфатов, органических и свободных кислот, что повышает кислотность хранящегося продукта. Гидролитические процессы в липидах при хранении зерновых продуктов и процесс прогоркания характеризует показатель **«кислотное число жира»** (Приезжева, Сорочинский, Мелешкина, 2015, с. 88-91). В международной практике, а также в ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия» показатель свежести введен для пшеничной муки, он выражается значением кислотного числа жира. Поскольку зерно является сырьем для мукомольного производства, то динамику показателя «кислотное число жира» целесообразно было изучить при разных температурах хранения зерна.

Таким образом, наиболее информативные и лабильные при хранении зерна пшеницы показатели – это влажность, кислотное число жира, количество и качество сырой клейковины, количество сухой клейковины, число падения, стекловидность. Из них при разработке комплексной оценки товарного зерна (Гурьева, Соболева, Иванова, Белецкий, 2012, с. 231-236) к показателям сохранности отнесены влажность и кислотное число жира, остальные показатели отнесены к технологическим.

#### Методы испытаний

Физико-химические показатели, характеризующие качество зерна пшеницы определяли по нормативной документации: массовая доля влаги – по ГОСТ 13586.5 «Зерно. Метод определения влажности», количество и качество сырой клейковины – по ГОСТ Р 54478 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице», состояние углеводно-амилазного комплекса – на приборе ПЧП-5 по ГОСТ 27676 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения». Для определения стекловидности применяли диафаноскоп «Янтарь» по ГОСТ 10987 «Зерно. Методы определения стекловидности», кислотное число жира по ГОСТ 31700 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения кислотного числа жира». С целью уменьшения погрешности исследовательских

испытаний соблюдали метрологические характеристики проводимых испытаний зерна.

## Результаты и их обсуждение

Оценка динамики изменений показателей качества зерна проводилась путем составления и анализа таблиц полученных экспериментальных данных, построения графиков по динамике изменения отдельных показателей, статистической обработки экспериментальных данных: расчет коэффициентов корреляции между показателями, между показателями и сроками хранения, выведение уравнений регрессии.

**Клейковина.** Исходное количество сырой клейковины в пшенице в начале хранения составило 27,2%, что соответствовало стандарту для пшеницы 3 класса (не менее 23%). При оценке полученных экспериментальных данных на этапах хранения были отмечены колебания количества клейковины как в сторону понижения, так и повышения, что может быть связано с ошибкой, заложенной в методике отмывания клейковины (допустимая ошибка  $\pm 2\%$ ). Однако после статистической обработки и проведенных расчетов выявлена тенденция к понижению количества сырой клейковины при всех режимах хранения. Экспериментальные данные и линии тренда динамики количества сырой клейковины в пшенице

при хранении при разной температуре показаны на Рисунке 1.

Для определения зависимостей построены линии тренда, показывающие аппроксимацию изменения количества клейковины по линейной функции  $Y = ax + b$  с расчетом  $R^2$  (величина достоверности аппроксимации). Считается, что при величине  $R^2 = 0,85$  и выше, сглаживание экспериментальных данных можно считать достоверным, а если показатель  $R^2$  ниже 0,85, то нет. В случае изменения динамики клейковины при температурах минус 25°C, 10 и 30°C  $R^2$  находится в пределах от 0,61 до 0,84, что приближено к достоверным данным. При повышенной температуре 40°C тенденция к снижению количества клейковины выражена наиболее четко и достоверно ( $R^2 = 0,868$ ).

Максимальное снижение количества клейковины было зафиксировано с 27,2 до 23,7% за 7 месяцев хранения при температуре 40°C. Причиной снижения количества клейковины может быть гидролиз и частичная денатурация белков. Потери клейковины и изменение ее качества в процессе хранения можно также объяснить гидролизом жира и постепенным накоплением свободных жирных кислот. При взаимодействии белков с продуктами гидролиза и окисления жира происходит процесс образования липопротеинов, препятствующих отмыванию клейковины. Расчетные данные показали, что интенсивность снижения клейковины зависела от температуры:

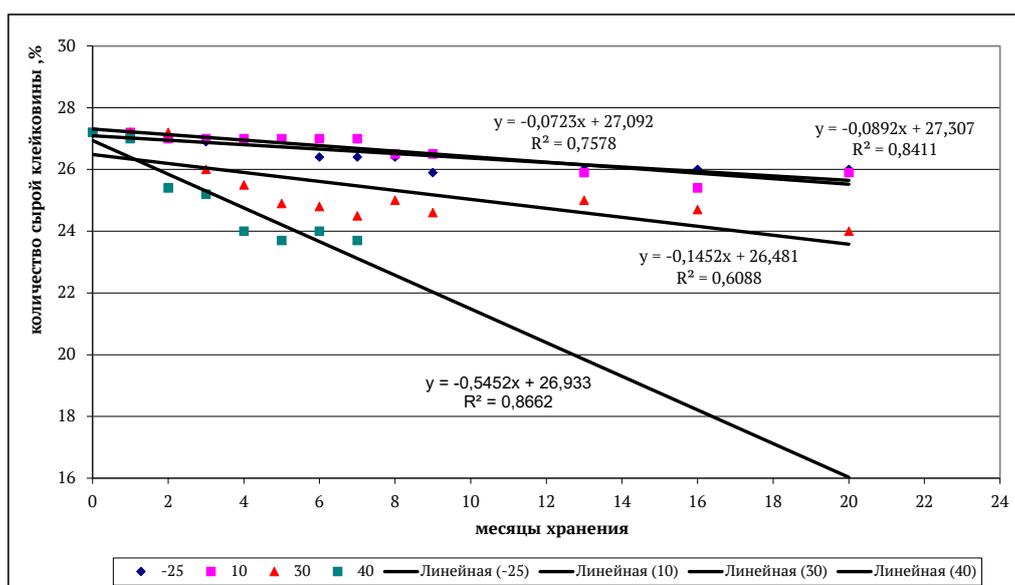


Рисунок 1. Зависимость показателя «количества сырой клейковины» от времени хранения пшеницы при разной температуре.

с наибольшей скоростью отмечено снижение при температуре 40°C (0,48% в месяц), скорость снижения при температуре 30°C составила 0,15% в месяц. Интенсивность снижения клейковины при 10°C и минус 25°C практически одинаковая: при температуре 10°C – 0,09% в месяц, при температуре минус 25°C – 0,07% в месяц.

Статистическая обработка показала, что между динамикой количества клейковины и длительностью хранения получена отрицательная корреляция со средней степенью связи: коэффициенты корреляции равны для температуры 40°C – 0,849, для температуры 30°C – 0,786, для температуры 10°C – 0,917, для температуры минус 25°C – 0,871.

**Качество клейковины** Динамика качества сырой клейковины при хранении пшеницы представлена в Таблице 1.

Таблица 1  
Динамика качества сырой клейковины (ед. ИДК) при хранении пшеницы

Длительность хранения	Температура хранения, °C			
	-25	10	30	40
исходное	65	65	65	65
3 месяца	63	64	67	61
6 месяцев	57	63	69	45
9 месяцев	72	72	72	54
12 месяцев	76	70	61	-
16 месяцев	84	68	62	-
20 месяцев	83	78	80	-
24 месяца	82	72	70	-

Качество клейковины также подвержено изменениям, особенно при отрицательной (минус 25°C) и при повышенных температурах (30 и 40°C). При температуре 40°C наблюдалось постепенное понижение показателя прибора ИДК с 65 до 45 единиц. Снижение показаний ИДК свидетельствует об укреплении клейковины пшеницы при хранении в условиях повышенной температуры. Крепкая клейковина обладает невысокой эластичностью, она с трудом растягивается, а при растяжении легко разрывается. Углекислый газ, выделяемый в тесте дрожжами, не может в достаточной степени растянуть такую клейковину и создать развитую пористость, в результате хлеб получается пониженного объема с весьма грубой пористостью и крошливым мякишем. Поэтому наблюдаемая тенденция по укреплению клейковины при 40°C носит отрицательный характер.

При остальных температурных режимах (минус 25°C, 10°C, 30°C) на первом этапе (до 6-7 месяцев хранения) показатели качества клейковины пшеницы по прибору ИДК были довольно стабильны (60-69 ед. ИДК), а при последующем хранении наблюдалось некоторое увеличение (до 72-84 ед. ИДК), что однако, удовлетворяет требованиям для пшеницы 3 класса (18-102 ед. прибора ИДК).

**Стекловидность.** По показателю «стекловидность» испытываемая пшеница была отнесена к группе со средней стекловидностью 40...60. Экспериментальные данные показали, что при температурах 10°C и минус 25°C стекловидность изменялась в минимальной степени и составляла за весь период хранения 42-40%. При повышенных температурах 30 и 40°C отмечена тенденция к понижению стекловидности, и после 24 месяцев хранения при этих температурах стекловидность снизилась до 27-30%. Очевидно, высокие температуры неблагоприятно воздействуют на структуру зерна. Для температуры 40°C установлена также корреляционная связь стекловидности с количеством клейковины (коэф. корреляции 0,68).

Анализ линий тренда, показывающих аппроксимацию изменения стекловидности по уравнению линейной регрессии  $Y = ax + b$  и величин достоверности аппроксимации показал, что по динамике стекловидности при всех температурных режимах  $R^2$  находится в пределах от 0,48 до 0,68, что не может быть признано достоверным (Рисунок 2).

Показатель «стекловидность пшеницы» не может быть применен в дальнейших расчетах по прогнозированию сроков хранения зерна. Тем не менее, по результатам эксперимента получено, что повышенные температуры 30 и 40°C оказывают отрицательное влияние на белково-клейковинный комплекс пшеницы, снижая хлебопекарные достоинства зерна. Хранение партий товарного зерна при повышенной температуре до 30°C может быть допустимо только кратковременно, а при 40°C недопустимо.

**Число падения.** Исходное значение «числа падения» составило 222 с, что соответствовало требованиям стандарта (не менее 150 с), а в период хранения при контролируемых температурах отмечено повышение числа падения (Рисунок 3).

Анализ полученных данных показал, что у образцов пшеницы, хранившихся при температурах 10 и 30°C изменения по увеличению этого

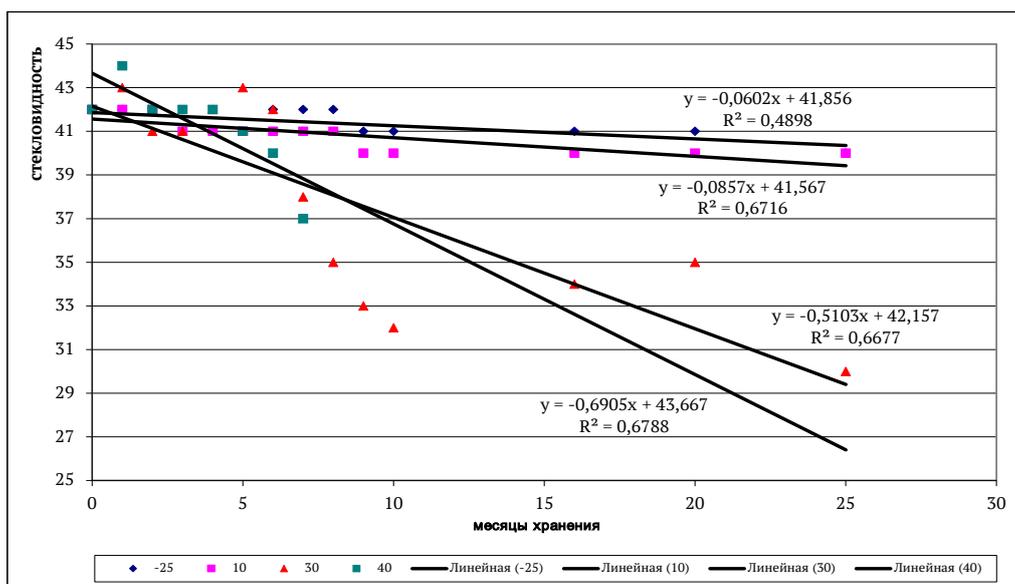


Рисунок 2. Зависимость показателя «стекловидность» от времени хранения пшеницы при разной температуре.

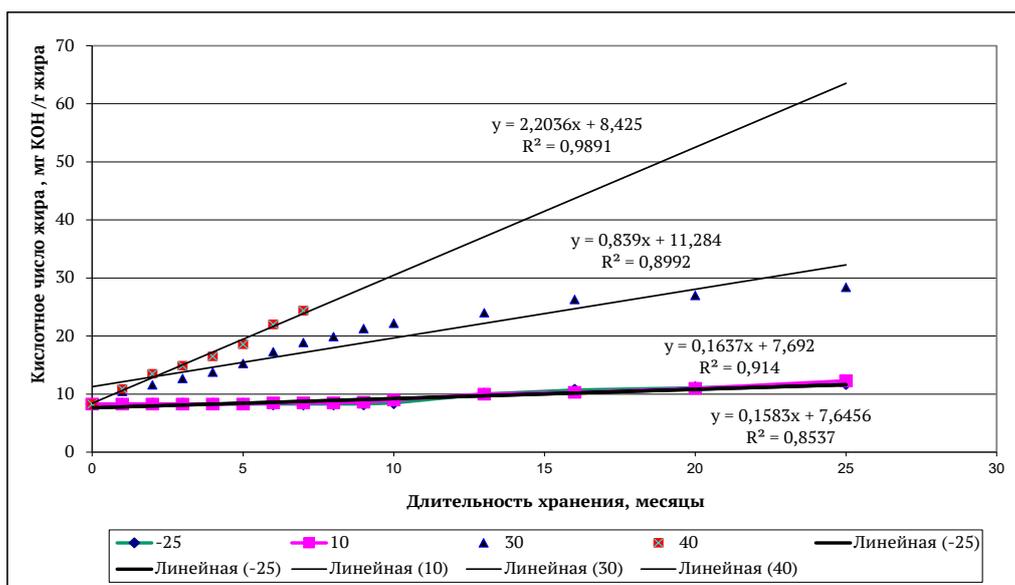


Рисунок 3. Зависимость показателя «число падения» от времени хранения пшеницы при разной температуре.

показателя были незначительные (расчетная интенсивность нарастания ЧП при 30°C – 2,4 с в месяц, при 10°C – 1,3 с в месяц). При повышении температуры до 40°C процесс интенсифицируется, и уже за 6 месяцев хранения число падения достигло величины 396 с (расчетная интенсивность нарастания числа падения составила при 40°C в среднем 21,7 с в месяц). Результаты аппроксимации экспериментальных данных с помощью линейной функции  $Y = ax + b$  показали, что только

при температуре хранения 40°C получены достоверные результаты ( $R^2 = 0,869$ ), при температурах 10 и 30°C  $R^2$  ниже 0,85, что свидетельствует о недостоверности зависимости.

При статистической обработке получена положительная корреляция между динамикой числа падения и длительностью хранения, подтверждающая установленную тенденцию по увеличению числа падения при хранении пшеницы. Коэффици-

коэффициенты корреляции равны: для температуры 40°C – 0,932, для температуры 30°C – 0,676, для температуры 10°C – 0,809, для температуры минус 25°C в динамике отмечены колебания, и корреляция отсутствует.

Полученные величины «числа падения» после цикла хранения при всех режимах соответствовали требованиям стандарта для пшеницы 3 класса – не менее 150 с. Однако, увеличение при повышенной температуре хранения 40°C показателя «число падения» более 350 с является неблагоприятным фактором для качества пшеницы как сырья для получения пшеничной муки. Пониженная активность ферментов при высоком значении числа падения повлияет на объемный выход готового хлеба, на вкус хлеб получится пресным, бледным и с невыраженным ароматом.

**Кислотное число жира.** Результаты исследования показали, что на интенсивность нарастания кислотного числа жира большое влияние оказывает температура. Это наглядно иллюстрируется на Рисунке 4. Получено, что у образцов пшеницы, хранившихся при температурах минус 25°C и 10°C, показатель «кислотное число жира» изменяется с низкой интенсивностью, а при повышении температуры до 30-40°C интенсивность увеличения кислотного числа жира намного выше.

Результаты аппроксимации экспериментальных данных с помощью линейной функции  $Y = ax + b$  показали, что при всех испытанных температурных режимах хранения получены достоверные результаты ( $R^2$  от 0,854 до 0,989).

Между динамикой кислотного числа жира и длительностью хранения получена положительная корреляция: коэффициенты корреляции равны для температуры 40°C – 0,994, для температуры 30°C – 0,997, для температуры 10°C – 0,874.

Полученные экспериментальные данные подтвердили, что липидная фракция является наиболее неустойчивой при хранении зерна. В результате протекания гидролитических и окислительных процессов накапливаются свободные жирные кислоты, и появляются продукты окисления липидов.

Нарастание кислотного числа жира зафиксировано и при длительном хранении зерна в элеваторных комплексах (Гурьева, Иванова, Когтева, 2015, с. 75-83). Рассматривая динамику кислотного числа жира пшеницы при хранении можно сказать, что на протяжении 4-х лет хранения для исследованных образцов пшеницы этот показатель оставался в пределах, характерных для здорового зерна. Это можно объяснить благоприятными условиями, складывающимися в период хранения пшеницы на элеваторах (Белецкий, Гурьева, Иванова, 2017, с. 69-78).

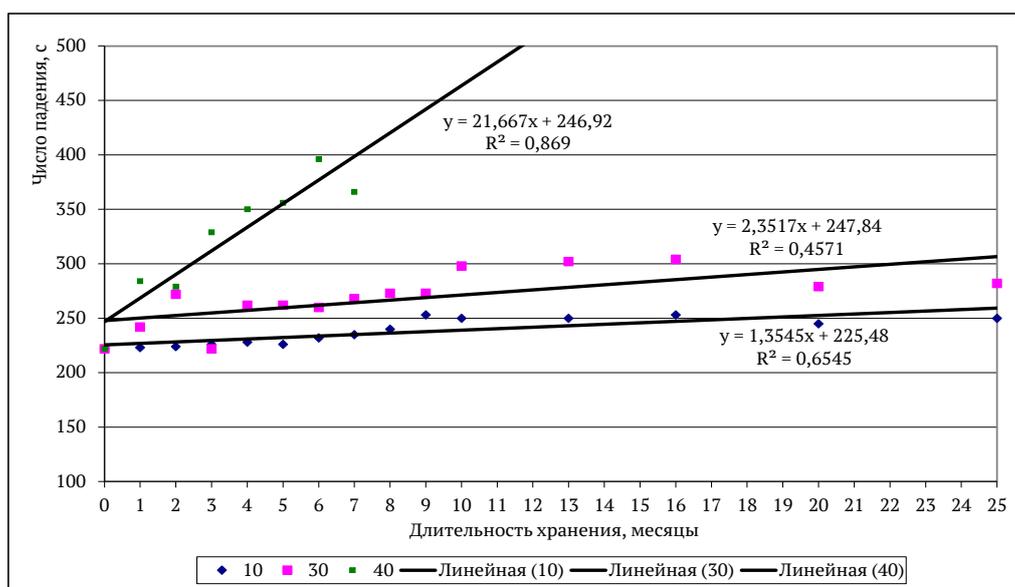


Рисунок 4. Экспериментальная и расчетная динамика кислотного числа жира пшеницы при разных температурах.оказателя «количества сырой клейковины» от времени хранения пшеницы при разной температуре.

## Заключение

Результаты моделирования воздействия неблагоприятных температурных режимов на показатели сохранности и технологические показатели зерна мягкой пшеницы показали, что интенсивность изменения всех испытанных показателей качества пшеницы зависит от температурных условий хранения: при повышении температуры хранения зерно мягкой пшеницы подвергается значительным изменениям. При температурах 30 и 40°C отмечены наиболее существенные изменения показателей качества: снижение массовой доли клейковины, снижение стекловидности, увеличение числа падения и увеличение кислотного числа жира. Регрессионный анализ полученных данных позволил установить зависимость этих показателей от условий хранения. Наиболее благоприятным температурным режимом определена температура 10°C, при которой качество пшеницы характеризуется значениями исследованных показателей на уровне исходного зерна.

Проведенные исследования имеют важное практическое значение в области длительного хранения зерна. Экспериментальные данные по ускоренному старению пшеницы в дальнейшем планируется применить для разработки методологии прогнозирования влияния неблагоприятных температур на устойчивость и сроки хранения зерна.

## Литература

- Белецкий С.Л., Гурьева К.Б., Иванова Е.В. Обеспечение сохранности зерна при длительном хранении в железобетонных элеваторах // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: международный сборник научных статей. Вып. 7. М.: Галлея-Принт, 2017. С. 69-78.
- Верхотуров В.В. Физиолого-биохимические процессы в зерновках ячменя и пшеницы при их хранении, прорастании и переработке: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук. М., 2008. 45 с.
- Ветелкин Г.В., Марков Ю.Ф., Саулькин В.И. Контроль качества зерна при хранении в условиях юга России // Материалы Второй международной конференции «Хранение зерна». М.: Пищепромиздат, 2003. С. 88-89.
- Гурьева К.Б., Иванова Е.В., Белецкий С.Л. Проблемы длительного хранения зерна злаковых культур // Сборник научных трудов МПА. Выпуск XI. М.: МПА, 2013. С. 175-190.
- Гурьева К.Б., Иванова Е.В. Исследование биологических потерь сухих веществ пшеницы за счет дыхания // Сборник материалов научно-практической конференции «Вопросы продовольственного обеспечения в XXI веке» (Товаровед 2016). М.: МГУПП, 2016. С. 307-309.
- Гурьева К.Б., Иванова Е.В., Когтева Е.Ф. Исследования в липидном комплексе пшеницы при длительном хранении // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. Вып. 3. М.: Галлея-Принт, 2015. С. 75-83.
- Гурьева К.Б., Соболева Е.В., Иванова Е.В., Белецкий С.Л. Комплексная оценка качества зерна пшеницы // Сборник научных трудов МПА. Выпуск X. М.: МПА, 2012. С. 231-236.
- Данильчук П.В., Овсянникова Л.К., Евдокимова Г.И., Влияние режимов хранения на технологические свойства зерна пшеницы // Известия Вузов Пищевая технология. 1990. № 6. С. 32-34.
- Зверев С.В., Панкратьева И.А., Политуха О.В., Игорянова Н.А. Стекловидность как показатель качества зерна пшеницы // Хранение и переработка зерна (Украина). 2017. № 11(219). С. 33-34.
- Козьмина Н.П. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Колос, 1976. С. 280-302.
- Ленточкин А.М., Долгов В.П. Влияние продолжительности хранения зерна яровой пшеницы Ирень на динамику его качества // Аграрный вестник Урала. 2011. № 5(84). С. 12-13.
- Мачихина Л.И. Научное обоснование развития перспективных технологий хранения зерна // Междунар. науч.-практ. конф. «О проблемах обеспечения в соврем. условиях количеств. и качеств. сохранности материал. ценностей, поставляемых и закладываемых в гос. резерв». М.: Госрезерв, 2011. Ч. 2. С. 16-36.
- Малева О.Л., Брикота Т.Б., Ксенз М.В. Изменение качества зерновой массы при хранении // Журнал КФРГТУ. 2012. № 7. С. 29-40.
- Мелешкина Е.П. Связь числа падения со свойствами углеводно-амилазного комплекса муки // Хлебопродукты. 2005. № 9. С. 28-31.
- Мелешкина Е.П. Актуальные проблемы в области сохранения потребительских свойств зерна при его хранении // Актуальные проблемы в области создания инновационных технологий хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. Материалы всероссийской научно-практической конференции. М.: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2011. С. 151-154.

- Олейник К.М., Давидюк Г.В. Влияние продолжительности хранения зерна озимой пшеницы на показатели качества // *Хранение и переработка зерна*. № 4(118). С. 45-48.
- Орловцева О.А., Игнатенко Н.А., Клейменова Н.Л. Изучение влияния внешних условий на процесс хранения зерна // *Вестник ВГУИТ*. 2016. № 4. С. 36-39.
- Приезжева Л.Г., Сорочинский В.Ф., Мелешкина Е.П. Кислотное число жира – показатель безопасного хранения и реализации зернопродуктов // *Пища, Экология, Качество: Труды XII Международной научно-практической конференции*. М.: ООО «Ареал», 2015. Т. 2. С. 88-91.
- Петренко В.В. Математические модели прогнозирования сохранности хлебопекарных свойств зерна пшеницы при его долгосрочном хранении // *Аграрная Россия*. 2014. № 1. С. 43-46.
- Сидоренко Ю.И., Гурьева К.Б., Штерман С.В., Зверев С.В. Прогнозирование сроков хранения продовольственных товаров на основе экспериментов, выполненных при повышенных температурах // *Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции*. 2013. № 3. С. 27-32; 2013. № 4. С. 30-32.
- Смирнова В.В. Влияние предшественников на урожайность сортов озимой пшеницы, технологические качества зерна и их изменение при хранении: автореферат канд. диссертации. Белгород, 2007. С. 19.
- Скрябин В.А. Изучение изменения технологических свойств зерна пшеницы в процессе хранения на мукомольных предприятиях Сибири в естественно-климатических условиях // *Хлебопродукты*. 2006. № 4. С. 38-40.
- Скрябин В.А. Влияние резко-континентального климата Сибири на технологические свойства зерна пшеницы при хранении // *Научные основы хранения и переработки зерна в современных условиях: монография в 80-летию ГНУ ВНИИЗ Россельхозакадемии*. М.: Россельхозакадемия, 2008. С. 545-559.
- Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов. Расчет и испытание. Спб.: Профессия, 2008. С. 379-400.
- Сумелиди Ю.О., Гурьева К.Б., Белецкий С.Л., Сидоренко Ю.И. Метод ускоренного тестирования срока годности гречневой крупы // *Хлебопродукты*. 2015. № 2. С. 58-61.
- Трисвятский Л.А. *Хранение зерна*. М.: Агропромиздат, 1991. 415 с.
- Шаймерденова Д.А. Влияние условий хранения на технологический потенциал зерна мягкой пшеницы Казахстана // *Новые технологии*. 2017. № 2. С. 37-42.
- Dimitrov N. Effect of the storage duration and moisture on the temperature pattern of respiration of soft wheat grain (*Triticum aestivum* L.) // *Аграрни науки*. 2014. Vol. 6. No. 16. P. 19-23.
- Pang L., Wang J., Lu X., Yu H. Discrimination of Storage Age for Wheat by E-Nose // *Transactions of the ASABE*. Vol. 51. No. 5. P. 1707-1712.
- Pixton S.W., Hill S.T. Long term storage of wheat – II. // *J. Sci. Fd. Agric*. 1967. Vol. 18. P. 152-157.
- Yahya S.A. Deterioration rates of wheat as measured by CO<sub>2</sub> production // *Agr. Mechan. in Asia Africa Latin America*. 2001. Vol. 32. No. 2. P. 41-47.
- Markov Yu.F., Buriak A.N., Eresko L.G. Equipment and scientific studies of experimental data on storage of wheat grain // *Пищевые системы*. 2019. Т. 2. № 4. С. 25-30.
- Sauer D.B. *Storage of cereal grain and their product*. St Paul, MN: American association of cereal chemists, 1992. 615 p.

# Investigation of the Influence of Storage Temperatures on the Storage Performance and Technological Indicators of Wheat

**Ksenia B. Guryeva**

*FSBI Research Institute for Storage Problems of the Federal Reserve  
40-1, Volochaevskaya str., Moscow, 111033, Russian Federation  
E-mail: guriewa.ksen@yandex.ru*

**Sergey L. Beletsky**

*FSBI Research Institute for Storage Problems of the Federal Reserve  
40-1, Volochaevskaya str., Moscow, 111033, Russian Federation  
E-mail: grain-miller@yandex.ru*

**Natalya A. Haba**

*FSBI Research Institute for Storage Problems of the Federal Reserve  
40-1, Volochaevskaya str., Moscow, 111033, Russian Federation  
E-mail: arenbru@gmail.com*

**Olga S. Shilkova**

*FSBI Research Institute for Storage Problems of the Federal Reserve  
40-1, Volochaevskaya str., Moscow, 111033, Russian Federation  
E-mail: shilkova.olya@yandex.ru*

When stored in elevators and warehouses, grain is exposed to seasonal temperatures. The temperature regime affects grain aging due to changes in carbohydrate and protein-lipid complexes, respiration processes, moisture absorption changes, as well as the development of pests. The article presents the results of changes in the quality of soft wheat grain at different storage temperatures. It is shown that the intensity of changes in individual indicators of wheat quality depends on the temperature storage conditions: at temperatures of 30 and 40°C, the most significant changes in quality indicators are noted: a decrease in the mass fraction of gluten, a decrease in glassiness, an increase in the falling number and an increase in the acid number of fat. Regression analysis of the data obtained allowed us to establish the dependence of quality indicators on storage temperature. The most favorable temperature regime was determined to be 10°C, at which the quality of wheat according to standardized indicators is characterized by values at the level of the original grain. The experiments performed are relevant for substantiating the optimal modes in the practice of long-term storage of grain, as well as for drawing up predicted values for its storage time.

**Keywords:** wheat, storage, temperature, quality, gluten, moisture, vitreous, drop number, acid number of fat, trend line

## References

- Beletskiy S.L., Guryeva K.B., Ivanova Ye.V. Obespecheniye sokhrannosti zerna pri dlitelnom khranении v zhelezobetonnykh elevatorakh [Ensuring the safety of grain during long-term storage in reinforced concrete elevators]. In *Innovatsionnyye tekhnologii proizvodstva i khraneniya materialnykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd: mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey [Innovative technologies of production and storage of material values for state needs: International collection of scientific articles]*. No. 7. Moscow: Galleya-Print, 2017, pp. 69-78.
- Verkhoturov V.V. Fiziologo-biokhimicheskiye protsessy v zernovkakh yachmenya i pshenitsy pri ikh khranении, prorastanii i pererabotke [Physiological and biochemical processes in

- barley and wheat grains during their storage, germination and processing. Abstract of Dr. Sci. (Biology) thesis]. Moscow, 2008. 45 p.
- Vetelkin G.V., Markov Yu.F., Saulkin V.I. Kontrol kachestva zerna pri khraneni v usloviyakh yuga Rossii [Grain quality control during storage in the South of Russia]. In *Materialy Vtoroy mezhdunarodnoy konferentsii "Khraneniye zerna"* [Materials of the Second International conference "Grain Storage"]. Moscow: Pischepromizdat, 2003, pp. 88-89.
- Guryeva K.B., Ivanova Ye.V., Beletskiy S.L. Problemy dlitel'nogo khraneniya zerna zlakovykh kultur [Problems of long-term storage of cereals]. In *Sbornik nauchnykh trudov MPA* [Collection of scientific papers of the MPA], no. XI. Moscow: MPA, 2013, pp. 175-190.
- Guryeva K.B., Ivanova Ye.V. Issledovaniye biologicheskikh poter sukhikh veshchestv pshenitsy za schet dykhaniya [Research of biological losses of wheat dry matter due to respiration]. In *Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferentsii «Voprosy prodovolstvennogo obespecheniya v KHKHI veke» (Tovaroved 2016)* [Collection of materials of the scientific and practical conference "Issues of food security in the XXI century" (Commodity Expert 2016)]. Moscow: MGUPP, 2016, pp. 307-309.
- Guryeva K.B., Ivanova Ye.V., Kogteva Ye.F. Issledovaniya v lipidnom komplekse pshenitsy pri dlitel'nom khraneni [Research in the lipid complex of wheat during long-term storage]. In *Innovatsionnyye tekhnologii proizvodstva i khraneniya materialnykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd* [Innovative technologies of production and storage of material values for state needs]. No. 3. Moscow: Galleya-Print, 2015, pp. 75-83.
- Guryeva K.B., Soboleva Ye.V., Ivanova Ye.V., Beletskiy S.L. Kompleksnaya otsenka kachestva zerna pshenitsy [Comprehensive assessment of the quality of wheat grain]. In *Sbornik nauchnykh trudov MPA* [Collection of scientific papers of the MPA]. No. X. Moscow: MPA, 2012, pp. 231-236.
- Danilchuk P.V., Ovsyannikova L.K., Yevdokimova G.I., Vliyaniye rezhimov khraneniya na tekhnologicheskkiye svoystva zerna pshenitsy [Influence of storage modes on technological properties of wheat grain]. *Izvestiya Vuzov Pishchevaya tekhnologiya* [University News Food technology], 1990, no. 6, pp. 32-34.
- Zverev S.V., Pankratyeva I.A., Politukha O.V., Igoryanova N.A. Steklovidnost kak pokazatel kachestva zerna pshenitsy [Vitreous as an indicator of wheat grain quality]. *Khraneniye i pererabotka zerna (Ukraina)* [Grain storage and processing (Ukraine)], 2017, no. 11(219), pp. 33-34.
- Kozmina N.P. Biokhimiya zerna i produktov yego pererabotki [Biochemistry of grain and its products]. Moscow: Kolos, 1976, pp. 280-302.
- Lentochkin A.M., Dolgov V.P. Vliyaniye prodolzhitelnosti khraneniya zerna yarovoy pshenitsy Iren na dinamiku yego kachestva [Influence of the duration of storage of Iren spring wheat grain on the dynamics of its quality]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2011, no. 5(84), pp. 12-13.
- Machikhina L.I. Nauchnoye obosnovaniye razvitiya perspektivnykh tekhnologiy khraneniya zerna [Scientific justification for the development of promising technologies for grain storage]. In *Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "O problemakh obespecheniya v sovrem. usloviyakh kolichestv. i kachestv. sokhrannosti material. tsennostey, postavlyayemykh i zakladyvayemykh v gos. rezerv"* [International. scientific-practical Conf. "On the problems of ensuring the quantitative and qualitative preservation of material values supplied and placed in the state reserve in modern conditions"]. Moscow: Gosrezerv, 2011. Ch. 2, pp. 16-36.
- Maleyeva O.L., Brikota T.B., Ksenz M.V. Izmeneniye kachestva zernovoy massy pri khraneni [The change in the quality of the grain mass during storage]. *Zhurnal KFRGTU* [KFRGTEU Journal], 2012, no. 7, pp. 29-40.
- Meleshkina Ye.P. Svyaz chisla padeniya so svoystvami uglevodno-amilaznogo kompleksa muki [The relationship of the number of drops with the properties of the carbohydrate-amylase complex of flour]. *Khleboprodukty* [Bread products], 2005, no. 9, pp. 28-31.
- Meleshkina Ye.P. Aktualnyye problemy v oblasti sokhraneniya potrebitelskikh svoystv zerna pri yego khraneni [Current problems in the field of preserving consumer properties of grain during its storage]. In *Aktualnyye problemy v oblasti sozdaniya innovatsionnykh tekhnologiy khraneniya selskokhozyaystvennogo syrya i pishchevykh produktov. Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems in the field of creating innovative technologies for storing agricultural raw materials and food products. Materials of the all-Russian scientific and practical conference]. Moscow: Russian Academy of agricultural sciences, 2011, pp. 151-154.
- Oleynik K.M., Davidyuk G.V. Vliyaniye prodolzhitelnosti khraneniya zerna ozimoy pshenitsy na pokazateli kachestva [Influence of winter wheat grain storage time on quality indicators]. *Khraneniye i pererabotka zerna* [Grain storage and processing], no. 4(118), pp. 45-48.

- Orlovitseva O.A., Ignatenko N.A., Kleymenova N.L. Izucheniye vliyaniya vneshnikh usloviy na protsess khraneniya zerna [Study of the influence of external conditions on the grain storage process]. *Vestnik VGUIT [VSUIT Bulletin]*, 2016, no. 4, pp. 36-39.
- Priyetzheva L.G., Sorochinskiy V.F., Meleshkina Ye.P. Kislotnoye chislo zhira – pokazatel bezopasnogo khraneniya i realizatsii zernoproduktov [Acid number of fat – an indicator of safe storage and sale of grain products]. In *Pishcha, Ekologiya, Kachestvo: Trudy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Food, Ecology, Quality: Proceedings of the XII International scientific and practical conference]*. Moscow: OOO «Areal», 2015, vol. 2, pp. 88-91.
- Petrenko V.V. Matematicheskiye modeli prognozirovaniya sokhrannosti khlebopekarnykh svoystv zerna pshenitsy pri yego dolgosrochnom khraneni [Mathematical models for predicting the safety of baking properties of wheat grain in its long-term storage]. *Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]*, 2014, no. 1, pp. 43-46.
- Sidorenko Yu.I., Guryeva K.B., Shterman S.V., Zverev S.V. Prognozirovaniye srokov khraneniya prodovolstvennykh tovarov na osnove eksperimentov, vypolnennykh pri povyshennykh temperaturakh [Forecasting the shelf life of food products based on experiments performed at elevated temperatures]. *Khraneniye i pererabotka selsko-khozyaystvennoy produktsii [Storage and processing of agricultural products]*, 2013, no. 3, pp. 27-32; 2013, no. 4, pp. 30-32.
- Smirnova V.V. Vliyaniye predshestvennikov na urozhaynost sortov ozimoy pshenitsy, tekhnologicheskkiye kachestva zerna i ikh izmeneniye pri khraneni: avtoreferat kand. dissertatsii [Influence of precursors on the yield of winter wheat varieties, technological qualities of grain and their changes during storage. Abstract of Ph.D. thesis]. Belgorod, 2007, p. 19.
- Skryabin V.A. Izucheniye izmeneniya tekhnologicheskikh svoystv zerna pshenitsy v protsesse khraneniya na mukomolnykh predpriyatiyakh Sibiri v yestestvenno-klimaticheskikh usloviyakh [Study of changes in the technological properties of wheat grain during storage at flour mills in Siberia in natural and climatic conditions]. *Khleboprodukty [Bread products]*, 2006, no. 4, pp. 38-40.
- Skryabin V.A. Vliyaniye rezko-kontinentalnogo klimata Sibiri na tekhnologicheskkiye svoystva zerna pshenitsy pri khraneni [Influence of the sharply continental climate of Siberia on the technological properties of wheat grain during storage]. In *Nauchnyye osnovy khraneniya i pererabotki zerna v sovremennykh usloviyakh: monografiya v 80-letiyu GNU VNIIZ Rosselkhozakademii [Scientific bases of grain storage and processing in modern conditions: the monograph on the 80th anniversary of the Russian Agricultural Academy]*. Moscow: Rosselkhozakademiya, 2008, pp. 545-559.
- Stele R. Srok godnosti pishchevykh produktov. Raschet i ispytaniye [Shelf life of food products. Calculation and testing]. Saint-Petersburg: Professiya, 2008, pp. 379-400.
- Sumelidi Yu.O., Guryeva K.B., Beletskiy S.L., Sidorenko Yu.I. Metod uskorennoy testirovaniya sroka godnosti grechnevoy krupy [Method of accelerated testing of the shelf life of buckwheat]. *Khleboprodukty [Bread products]*, 2015, no. 2, pp. 58-61.
- Trisvyatskiy L.A. Khraneniye zerna [Grain storage]. Moscow: Agropromizdat, 1991. 415 p.
- Shaymerdenova D.A. Vliyaniye usloviy khraneniya na tekhnologicheskii potentsial zerna myagkoy pshenitsy Kazakhstana [Influence of storage conditions on the technological potential of soft wheat grain in Kazakhstan]. *Novyye tekhnologii [New technologies]*, 2017, no. 2, pp. 37-42.
- Dimitrov N. Effect of the storage duration and moisture on the temperature pattern of respiration of soft wheat grain (*Triticum aestivum* L.). *Agrarian science*, 2014, vol. 6, no. 16, pp. 19-23.
- Pang L., Wang J., Lu X., Yu H. Discrimination of Storage Age for Wheat by E-Nose. *Transactions of the ASABE*, vol. 51, no. 5, pp. 1707-1712.
- Pixton S.W., Hill S.T. Long term storage of wheat – II. *J. Sci. Fd. Agric.*, 1967, vol. 18, pp. 152-157.
- Yahya S.A. Deterioration rates of wheat as measured by CO<sub>2</sub> production. *Agr. Mechan. in Asia Africa Latin America*, 2001, vol. 32, no. 2, pp. 41-47.
- Markov Yu.F., Buriak A.N., Eresko L.G. Equipment and scientific studies of experimental data on storage of wheat grain. *Pischevye sistemy [Food systems]*, 2019, vol. 2, no. 4, pp. 25-30.
- Sauer D.B. Storage of cereal grain and their product. St Paul, MN: American association of cereal chemists, 1992. 615 p.