

ЯЧМЕНЬ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА: АДАПТАЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ И СЕЛЕКЦИОННЫЕ ВЫЗОВЫ

**Кутыраев Александр Андреевич¹, Фадькин Геннадий Николаевич²,
Полищук Светлана Дмитриевна³, Чурилова Вероника Вячеславовна⁴**

^{1,2,3,4} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университета имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

¹kutyraev@bk.ru

Аннотация. Обзор систематизирует данные о влиянии изменений климата на урожайность ячменя, раскрывает физиолого-биохимические и морфогенетические адаптационные механизмы, а также характеризует современные селекционные концепции и высокоточные агротехнологии. Особое внимание уделено классической и геномной селекции, CRISPR-редактированию, клеточным биотехнологиям и ресурсосберегающим практикам создания высокоадаптивных сортов, стабильных при возрастающих климатических рисках.

Проблема и цель. Интенсивные климатические изменения формируют серьезные вызовы для устойчивого агропроизводства, подрывая функциональную стабильность глобальных продовольственных цепочек. Особо акцентируется роль ячменя. Задача настоящего исследования — раскрыть физиолого-биохимические адаптационные реакции ячменя к варьирующим климатическим режимам и проанализировать новейшие селекционные, геномные и прецизионно-агротехнологические подходы, усиливающие его стрессоустойчивость при долгосрочных изменениях погодных условий.

Методология. В исследовании проведён комплексный анализ актуальных научных данных, характеризующих физиологические, биохимические и морфологические реакции ячменя на абиотические стрессоры, обусловленные глобальными климатическими сдвигами. Рассмотрены современные селекционные стратегии, направленные на создание сортов с повышенной устойчивостью к экстремальным условиям, а также агротехнические практики, способствующие адаптации культуры к новым экологическим реалиям.

Результаты. Проведённое исследование установило, что ячмень располагает комплексом физиолого-морфологических свойств, позволяющих частично устранять ущерб от экстремальных температурно-водных ограничений. К зафиксированным адаптивным ответам относятся модификации

архитектуры листовой пластины, усиленное развитие корневой системы и тонкая регуляция фотосинтетического аппарата. Современные селекционные стратегии, включающие использование генетического разнообразия и биотехнологических методов, демонстрируют перспективы создания сортов с повышенной устойчивостью к климатическим стрессам. Внедрение адаптивных агротехнических приёмов, таких как оптимизация сроков посева и применение мульчирования, дополнительно способствует улучшению продуктивности культуры.

Заключение. Интегральный подход, соединяющий знание молекулярно-генетических механизмов стрессовой адаптации с современными геномными селекционными и ресурсоэффективными агротехнологиями, остается приоритетным направлением увеличения восприимчивости культуры к абиотическим вызовам. Последующие исследования необходимы для формулировки действенных стратегий, поддерживающих стабильные урожаи зерна в условиях продолжающихся климатических сдвигов во всех агроэкосистемах мира.

Ключевые слова: ячмень, изменение климата, абиотические стрессы, засухоустойчивость, жароустойчивость, селекция, геномная селекция, агротехника, адаптация.

Original article

BARLEY IN A CHANGING CLIMATE: ADAPTATION STRATEGIES AND BREEDING CHALLENGES

Kutyraev Alexander Andreevich¹, Fadkin Gennady Nikolaevich², Polischuk Svetlana Dmitrievna³, Churilova Veronika Vyacheslavovna⁴

^{1,2,3,4} *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan*

¹ *kutyraev@bk.ru*

Abstract. *This review systematizes data on the impact of climate change on barley yields, reveals physiological, biochemical, and morphogenetic adaptation mechanisms, and characterizes modern breeding concepts and precision agricultural technologies. Particular attention is paid to classical and genomic selection, CRISPR editing, cellular biotechnology, and resource-saving practices for developing highly adaptive varieties that are stable in the face of increasing climate risks.*

Problem and purpose.

Methodology. *Intense climate change poses serious challenges to sustainable agricultural production, undermining the functional stability of global food chains. Particular emphasis is placed on the role of barley, an ancient grain crop exhibiting increased susceptibility to extreme abiotic stressors. The objective of this study is to*

elucidate the physiological and biochemical adaptive responses of barley to varying climate conditions and to analyze the latest breeding, genomic, and precision agronomic approaches that enhance its stress tolerance under long-term changes in weather conditions.

Results. *The study found that barley possesses a complex of physiological and morphological properties that partially offset the damage caused by extreme temperature and water conditions. The adaptive responses documented include modifications to leafblade architecture, enhanced root development, and fine-tuning of the photosynthetic apparatus. Modern breeding strategies, including the use of genetic diversity and biotechnological methods, demonstrate potential for developing varieties with increased resistance to climatic stress. The introduction of adaptive agricultural practices, such as optimized sowing timing and mulching, further enhances crop productivity.*

Conclusion. *An integrated approach, combining knowledge of the molecular and genetic mechanisms of stress adaptation with modern genomic breeding and resource-efficient agricultural technologies, remains a priority for increasing the crop's resilience to abiotic challenges. Further research is needed to formulate effective strategies for maintaining stable grain yields amid ongoing climate shifts across all agroecosystems worldwide*

Key words: *barley, climate change, abiotic stress, drought tolerance, heat tolerance, selection, genomic selection, agricultural technology, adaptation.*

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) занимает ведущую позицию в мировой агропромышленной системе. Его значение выходит за рамки продовольственной безопасности: культура важна для кормопроизводства в животноводстве и служит базовым сырьем при синтезе ферментированного солода, необходимого пивоваренным комплексам. Благодаря высокому белково-крахмальному балансу ячмень остаётся важным элементом рациона и стратегическим экономическим ресурсом государств [1].

Зона возделывания ячменя охватывает широкий спектр климатов — от субарктических континентальных регионов до засушливых полупустынь. Такой диапазон подтверждает высокую генотипическую стрессоустойчивость культуры и её агроэкологическую пластичность, обеспечивающие адаптацию растения к разным абиотическим факторам [5]. Тем не менее, при текущих тенденциях антропогенного климатического сдвига задача стабилизации урожайной продуктивности ячменя приобретает особую исследовательско-агротехнологическую значимость. Колебания температурных графиков, перестройка режима осадков и учащение экстремальных метеорологических событий способны существенно снижать продуктивность культуры.

Материал и методы исследований

Чтобы обеспечить стабильный урожай ячменя, необходим комплексный агроменеджмент, охватывающий несколько взаимодополняющих и

взаимосвязанных управленческих и технологических направлений. Прежде всего, требуется углублённое исследование физиологии стрессоустойчивости культуры, полноценно раскрывающее её клеточные, сигнальные и биохимические адаптивные основы. Дополнительно молекулярная селекция и интродукция высокопластичных генотипов с использованием геномики и маркерного ассистирования способны усилить адаптивность сорта к климатическим колебаниям и патогенам.

Кроме того, совершенствование агротехнологий служит ключевым элементом общей концепции наращивания урожайности. Реализация ресурсосберегающих техник точного земледелия [2], включая сенсоры для диагностики фитосанитарного состояния и влажности почвы, а также локально-капельное орошение, позволяет рационально расходовать ограниченные водные ресурсы агроландшафта. Сбалансированное минеральное питание культур остаётся критическим фактором их здоровья, метаболической активности и стабильной продуктивности.

При выборе метода исследования для научной работы мы учитывали следующие факторы: цель исследования; тип исследования; доступные ресурсы; этические аспекты. Учитывая вышесказанное, мы использовали смешанный метод, который подразумевает совокупность двух и более методов исследования, в частности экспертный метод и метод обобщения результатов.

Результаты исследований и их обсуждение

Настоящий обзор посвящён систематизации и углублённой интерпретации актуальных сведений о воздействии климатических изменений на ячмень, раскрытию его адаптивных физиолого-генетических механизмов и прогрессивных селекционно-агротехнических стратегий, повышающих комплексную стрессоустойчивость культуры перед глобальными климатическими вызовами и рисками.

1. Климатические сдвиги комплексно воздействуют на агробиоценозы ячменя, вызывая термостресс, засуху и фотопериодические дисбалансы, затрагивающие каждую фазу онтогенеза и обуславливающие существенное падение общей продуктивности и деградацию технологического качества зерна.

Ключевые агроклиматические факторы риска для культуры ячменя включают:

1.1. Засуху и водный стресс: Засушливые периоды представляют собой один из наиболее пагубных абиотических факторов, ограничивающих урожайность ячменя. Дефицит почвенной влаги в критические фенологические этапы кущения, выхода в трубку и наливания зерна нарушает фотосинтез, сокращает количество зерен в колосе и массу 1000 зерен.

1.2. Температурные стрессы:

Жаровый стресс: возросший тепловой режим, именно во время цветения и налива зерна, провоцирует пыльцевую стерильность, преждевременное старение, укорочение наливного интервала и, соответственно, угнетение продуктивности.

Ячмень уязвим к тепловому стрессу свыше 30 °С в критических фазах.

Холодовой стресс и заморозки: хотя ячмень физиологически характеризуется высокой морозоустойчивостью (особенно озимые генотипы), экстремальные радиационные заморозки в фенофазу интенсивного вегетативного развития способны вызвать серьёзный абиотический ущерб вплоть до гибели посевов. Климатические сдвиги провоцируют хаотичную температурную изменчивость, делая риск критическим даже для адаптивных агроценозов и повышая вероятность физиологического стресса семян всходов.

1.3. Рост парциального давления CO_2 : повышенная концентрация углекислого газа усиливает фотосинтетическую активность и сухую массу ячменя при адекватной влагообеспеченности и минеральном питании.

1.4. Модификацию режима осадков и динамику болезней / вредителей: Сдвиги географии, частоты и интенсивности осадков трансформируют ареалы патогенов-вредителей. Тёплый увлажнённый микроклимат стимулирует эпифитотии грибков (мучнистая роса, бурая ржавчина), тогда как гидродефицит ускоряет энтомоценозы вредителей (тля). Необходима непрерывная адаптация фитосанитарных технологий.

2. Физиолого-молекулярные механизмы адаптации ячменя к абиотическим-стрессам

Ячмень обладает комплексной системой стресс-адаптивных механизмов, обеспечивающих приспособление к изменчивым абиотическим и биотическим факторам среды. Эти реакции подразделяются на физиологические, биохимические и морфологические.

2.1. Физиолого-нейрогуморальные и биохимические механизмы:

Регуляция водного баланса: при засухе ячмень снижает транспирационный поток, сокращая апертуру устьиц, а развитая глубокая корневая система с высокой гидравлической проводимостью позволяет извлекать влагу из нижних горизонтов почвы.

Антиоксидантная система: стрессовые условия приводят к образованию активных форм кислорода (АФК), которые повреждают клетки. Ячмень активирует свою антиоксидантную систему, включающую ферменты (супероксиддисмутазу, каталазу, пероксидазу) и неферментативные компоненты (аскорбат, глутатион, токоферолы), для нейтрализации АФК.

2.2. Морфологические приспособления:

Строение корневой системы: сорта, устойчивые к засухе, часто характеризуются более глубокой и разветвленной корневой системой, что увеличивает объем почвы, доступной для поглощения воды и питательных веществ.

Опушение листьев и восковой налет: наличие воскового налета на поверхности листьев (кутикулы) и опушение уменьшают транспирацию и отражают избыточное солнечное излучение, снижая температуру листовой поверхности и потери воды.

Раннее созревание (фенологическая пластичность): сорта с более коротким вегетационным периодом могут «ускользнуть» от поздних засух или периодов

аномальной жары, завершая свой жизненный цикл до наступления наиболее неблагоприятных условий.

Уменьшение площади листовой поверхности: в условиях сильного водного стресса растения могут уменьшать размер листьев или их количество для сокращения испаряющей поверхности.

3. Селекционно-геномные вызовы и стратегии инженерии устойчивых сортов ячменя

Селекционная деятельность — фундаментальный метод формирования генотипов ячменя, устойчивых к стресс-факторам глобальной климатической трансформации. Актуальные программы селекции также задействуют комплексно классические и передовые молекулярно-геномные, маркер-ассистированные подходы.

3.1. Традиционная селекция: традиционные методы селекции, основанные на скрещивании и последующем отборе лучших форм, остаются основой для создания новых сортов.

Скрининг генофонда: идентификация источников устойчивости к засухе, жаре, засолению и другим стрессам среди обширных коллекций диких видов ячменя (*Hordeum spontaneum*) и местных сортов. Эти генетические ресурсы являются бесценными донорами адаптивных признаков.

Гибридизация и отбор: скрещивание перспективных линий и сортов с целью комбинирования желаемых признаков (высокая урожайность, устойчивость к стрессам, хорошее качество зерна). Последующий отбор растений в стрессовых условиях позволяет выделить наиболее адаптированные генотипы.

Использование диких сортов: интрогрессия генов от диких видов ячменя, обладающих высокой стрессоустойчивостью, является эффективным подходом для расширения генетической базы культурного ячменя и повышения его адаптивного потенциала.

3.2. Молекулярная селекция и биотехнология: прогресс геномики, трансгенеза и CRISPR-технологий радикально ускоряет точный маркерно-генетический селекционный цикл отбора.

Маркер-ассистированная селекция (MAS): применение высокополиморфных молекулярных маркеров, например SNP, сцепленных с аллелями стрессоустойчивых генов (QTL – количественные локусы), обеспечивает генотипическую идентификацию растений на ранних фазах онтогенеза, исключая фенотипическую проверку в стресс-тестах. Это критически уменьшает сроки и затраты селекционного цикла, и ресурсные издержки на эксперименты.

Геномная селекция (GS) основана на использовании полного массива SNP-данных для прогнозирования фенотипической экспрессии растений и отбора оптимальных родительских генотипов. Методика повышает точность оценки GEBV, особенно для количественных, полигенно контролируемых признаков, например устойчивости к абиотическим стрессам.

CRISPR/Cas9 и геномная инженерия: технологии редактирования генома, такие как CRISPR/Cas9, позволяют вносить точечные изменения в ДНК растений, улучшая их устойчивость к стрессам или повышая продуктивность.

Трансгенные культуры, содержащие гены стрессоустойчивости из иных таксонов, тоже рассматриваются перспективно, хотя вызывают дискуссии.

Феномика высокого разрешения: Роботизированные платформы фенотипирования оперативно и прецизионно регистрируют комплексы физиологических, биохимических, морфологических параметров растений при стрессорных факторах, позволяя масштабно сканировать коллекции и локализовать аллели, обеспечивающие оптимальную адаптивную пластичность для дальнейшего отбора и селекции

3.3. Разработка генотипов с интегральным приспособлением: учитывая мультифакторность климатических стрессоров, ключевая задача – вывести культуры, устойчивые к засухе, тепловому воздействию, солонцеватости и основным патогенам.

Это достигается путем комбинирования многоуровневых механизмов резистентности в рамках единого генотипа посредством гибридизации и молекулярно-генетических технологий.

4. Агротехнологические стратегии адаптивного возделывания ячменя. Наряду с селекцией, весомый вклад в устойчивость ячменя обеспечивают инновационные ресурсосберегающие агроприемы. Они ориентированы на регуляцию агрофона и уменьшение стресс-индуцированного ущерба, связанного с биотическими и абиотическими факторами.

4.1. Регулирование сроков посева и посевных норм: сроки сева: при глобальном потеплении корректируются оптимальные сроки сева. Например, более раннее размещение озимого ячменя обеспечивает полноценный ризогенез до первых холодов, а ярового – прохождение чувствительных фенологических стадий до пиков летнего термостресса и водного дефицита. Однако необходимо прогнозировать вероятность поздних весенних заморозков.

Нормы высева: регулирование посевной плотности растений агрономически важно.

При гидрологическом стрессе уменьшение плотности стояния растений снижает внутривидовую конкуренцию за почвенную влагу, тогда как при оптимальном водно-питательном режиме повышенная густота посева обеспечивает эффективную утилизацию ресурсов и формирование максимальной урожайности.

4.2. Системы обработки почвы: системы минимальной и нулевой обработки грунта (No-till, Strip-till) поддерживают влагозапас почвы, сохраняют мульчирующий слой растительных остатков, подавляют капиллярное испарение и усиливают инфильтрационный водопоглощающий режим осадков, повышая эффективность.

Они одновременно улучшают агрономическую структуру почвы, повышают запас гумуса и активность ризосферной микробиоты, усиливая абиотическую стрессоустойчивость культурных растений к неблагоприятным факторам.

Контурная обработка: на склонах контурная агротехническая обработка облегчает инфильтрацию и накопление влаги, минимизируя эрозию грунта, что критично при неравномерных осадках.

4.3. Регулирование водного режима: Рациональное орошение: В аридных зонах внедрение ресурсосберегающих методов увлажнения, например, капельного либо внутрипочвенного, позволяет подавать влагу, уменьшая фильтрационные утраты. Сбор-накопление влаги: формирование резервуаров, прудов и внедрение систем дождевой воды создают дополнительный запас влаги во время засух и гидрологического дефицита почвенной влажности культур.

Влагосберегающие мероприятия: мульчирование, снегозадержание, агролесомелиорация лесополосами — важнейшие агротехприёмы, эффективно оптимизирующие аккумуляцию и долговременное удержание почвенной влаги.

4.4. Комплексное управление питанием: дифференцированное внесение удобрений: Рациональное соотношение макроэлементов N, P, K и микроэлементов повышает физиологическое состояние культур и их стрессоустойчивость. Так, калий критичен для осмотической регуляции, баланса воды и термоустойчивости. Использование органических удобрений и биопрепаратов [3, 4]: добавление компоста, перегноя активизирует гумусообразование, катионообмен и микробиоту, и улучшает структуру почвы, ее водоудерживающую емкость, аэрацию, активность ризосферы растений.

Биопрепараты с ризосферными микроорганизмами (азотфиксирующими, фосфатмобилизующими, антагонистами фитопатогенов) также активируют фиторазвитие, усиливают поглощение макроэлементов, микронутриентов и повышают абиотическую, биотическую стрессоустойчивость культур к болезням.

4.5. Севооборот [2] и рациональное размещение культур: правильный севооборот: включение в севооборот культур-предшественников, улучшающих структуру почвы, обогащающих ее органическим веществом (например, бобовых), способствует накоплению влаги и питательных веществ, снижает распространение болезней и вредителей.

Смешанные посевы: совместное выращивание ячменя с другими культурами (например, бобовыми) может улучшить использование ресурсов, снизить риски от вредителей и болезней, а также повысить общую стабильность агроэкосистемы.

Изменение климата представляет собой беспрецедентный вызов для мирового сельского хозяйства и, в частности, для культуры ячменя. Повышение температур, изменение режима осадков и увеличение частоты экстремальных погодных явлений требуют от аграриев и ученых разработки и внедрения комплексных адаптационных стратегий.

Заключение

Комплексное понимание физиолого-биохимических и морфо-анатомических механизмов толерантности ячменя к абиотическим стрессорам служит фундаментом эффективного селекционного процесса. Современные прорывы в молекулярной биологии, геномике, транскриптомике, протеомике и метаболомике, объединённые с маркерной и геномной селекцией, методами CRISPR/Cas и генетической трансформации, предоставляют селекционерам инструменты для ускоренного вывода высокоадаптивных генотипов. Эти стратегии позволяют одновременно повышать продуктивность, усиливать осмотическую регуляцию, антиоксидантную защиту и стабилизировать качество зерна.

Наряду с генетической селекцией, агротехнические фитотехнологические приёмы [2] играют равноценную роль.

Корректировка оптимальных сроков сева, применение водосберегающих почвообрабатывающих технологий, рациональное регулирование гидротермического и трофического режимов, комплекс биопрепаратов и продуманные ротации культур уменьшают стрессогенность среды, укрепляя резистентность агроэкосистем к климатическим и биотическим воздействиям. Будущие исследования должны быть сосредоточены на интеграции различных подходов: от фундаментального изучения генетических основ устойчивости до практического внедрения новых сортов и агротехнологий.

Разработка сортов ячменя с комплексной устойчивостью к множественным стрессам, а также создание локализованных адаптационных пакетов для конкретных агроклиматических зон, являются ключевыми направлениями для обеспечения продовольственной безопасности в условиях продолжающегося изменения климата.

Только синергетический эффект от скоординированных усилий селекционеров, агрономов и климатологов позволит ячменю оставаться одной из основных культур мирового сельского хозяйства.

Библиографический список

1. Дубенок, Н.Н. Оценка агрохимического состояния почвы и урожайности многолетних трав в зависимости от удобрительных средств / Н.Н. Дубенок, Ю.А. Мажайский, О.А. Захарова // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2025. - №2(8). – С. 1-11. DOI:10.36508/journal.2025.45.48.002
2. Крючков, М. М. Севообороты – фактор сохранения плодородия почвы и повышения урожайности полевых культур / М. М. Крючков, О. В. Лукьянова // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации: Материалы 72-й международной научно-практической конференции, Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 31-36. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47072222>

3. Роль биологически активных препаратов в повышении продуктивности агрокультур / О. В. Лукьянова, Н. В. Вавилова, Д. В. Виноградов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2021. – № 1(49). – С. 30-39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46123220>
4. Перспективы применения биопрепаратов в сельскохозяйственной практике / О. В. Лукьянова, А. С. Ступин, О. А. Антошина, В. С. Конкина // Международный сельскохозяйственный журнал, 2022. – № 5(389). – С. 502-506. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49608336>
5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625216 Российская Федерация. «Метеорологические данные агроклиматических зон Рязанской области»: заявл. 31.10.2025; опубл. 17.11.2025 / О. В. Лукьянова, В. С. Конкина, Д. М. Юмаев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=84122038>

References

1. Dubenok, N.N. Ocenka agroximicheskogo sostoyaniya pochvy` i urozhajnosti mnogoletnix trav v zavisimosti ot udobritel`ny`x sredstv / N.N. Dubenok, Yu.A. Mazhajskij, O.A. Zaxarova // Setевой nauchny`j zhurnal RGATU, 2025. - №2(8). – S. 1-11. DOI:10.36508/journal.2025.45.48.002
2. Kryuchkov, M. M. Sevooboroty` – faktor soxraneniya plodorodiya pochvy` i povы`sheniya urozhajnosti polevy`x kul`tur / M. M. Kryuchkov, O. V. Luk`yanova // Perspektivny`e texnologii v sovremennom APK Rossii: tradicii i innovacii: Materialy` 72-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Tom Chast` II. – Ryazan`: Ryazanskij gosudarstvenny`j agrotexnologicheskij universitet im. P.A. Kosty`cheva, 2021. – S. 31-36. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47072222>
3. Rol` biologicheskij aktivny`x preparatov v povы`shenii produktivnosti agrokul`tur / O. V. Luk`yanova, N. V. Vavilova, D. V. Vinogradov [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotexnologicheskogo universiteta im. P.A. Kosty`cheva, 2021. – № 1(49). – S. 30-39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46123220>
4. Perspektivy` primeneniya biopreparatov v sel`skoxozyajstvennoj praktike / O. V. Luk`yanova, A. S. Stupin, O. A. Antoshina, V. S. Konkina // Mezhdunarodny`j sel`skoxozyajstvenny`j zhurnal, 2022. – № 5(389). – S. 502-506. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49608336>
5. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii bazy` danny`x № 2025625216 Rossijskaya Federaciya. «Meteorologicheskie danny`e agroklimaticheskix zon Ryazanskoj oblasti»: zayavl. 31.10.2025; opubl. 17.11.2025 / O. V. Luk`yanova, V. S. Konkina, D. M. Yumaev; zayavitel` Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Ryazanskij gosudarstvenny`j agrotexnologicheskij universitet imeni P.A. Kosty`cheva». URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=84122038>