



Теоретическое обоснование адаптации возделывания сельскохозяйственных культур к аридизации климата

И.С. Полетаев✉, А.В. Летучий, В.И. Губов, А.В. Хадыкин

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова»;
г. Саратов, Российская федерация
✉poletaevilja@mail.ru*

Аннотация. Введение. В работе представлен комплексный обзор современных подходов и технологий адаптации растениеводства к развивающемуся процессу аридизации климата. Проведён детальный анализ ключевых факторов: дефицит водных ресурсов, повышение температуры воздуха, увеличение проявления экстремальных погодных явлений и деградация почв. На основе анализа научных разработок Российских учёных описаны агротехнологические, селекционно-генетические, мелиоративные и агроэкологические методы повышения устойчивости и продуктивности агроценозов в засушливых условиях. **Цель исследования.** Провести комплексный анализ современных исследований и разработок российских учёных в области технологий адаптации растениеводства к условиям нарастающей аридизации климата, а также оценить перспективы их масштабирования. **Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являются системы адаптации сельскохозяйственного производства к аридизации климата. Методы: систематический поиск литературы, анализ, синтез. **Результаты и обсуждение.** Изучение технологий, применяемых в различных регионах нашей страны, показало, что успешная адаптация ведения сельского хозяйства возможна только при комплексном переходе к адаптивно-ландшафтному, ресурсосберегающему земледелию, интегрирующему в себе почвозащитные технологии как основы для влагонакопления, борьбы с эрозией и сохранения почвенного плодородия, применение современных районированных засухо- и жароустойчивых сортов и гибридов, созданных с использованием современных методов селекции, модернизации мелиорации почв перехода на технологии капельного орошения, а также цифровые системы управления поливом, модернизацию систем защитного лесоразведения и внедрение технологий точного земледелия для управления неоднородностью полей и экономии ресурсов. **Заключение.** Только применение комплексного, научно обоснованного и адаптивного подхода, базирующегося на мощном заделе отечественной аграрной науки, позволит не только смягчить последствия аридизации климата, но и превратить вызов в возможность для развития устойчивого и конкурентоспособного сельского хозяйства России, гарантируя её продовольственную безопасность в XXI веке.

Ключевые слова: аридизация климата, адаптация растениеводства, засухоустойчивость, нулевая обработка почвы, минимальная обработка, точное земледелие, мелиорация, сельское хозяйство, агротехнологии, сельское хозяйство, климат, погодные условия

Для цитирования: Полетаев И.С., Летучий А.В., Губов В.И., Хадыкин А.В.

Теоретическое обоснование адаптации возделывания сельскохозяйственных культур к аридизации климата. *Новые технологии / New technologies.* 2025; 21(4): 194-205. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-194-205>

Theoretical justification for adapting crop cultivation to climate aridization

I.S. Poletaev✉, A.V. Letuchii, V.I. Gubov, A.V. Khadykin

*N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov; the Russian Federation,
✉poletaevilja@mail.ru*

Abstract. Introduction. The article presents a comprehensive review of modern approaches and technologies for adapting crop production to the evolving process of climate aridization. A detailed analysis of key factors has been provided: water shortages, rising air temperatures, increased occurrence of extreme weather events, and soil degradation. Based on the analysis of scientific research by Russian scientists, agrotechnological, selection-genetic, melioration, and agroecological methods for increasing the resilience and productivity of agrocenoses in arid conditions are described. **The goal of the research** was to conduct a comprehensive analysis of current research and developments by Russian scientists in the field of crop production adaptation technologies to increasingly arid climate conditions and to assess the prospects for scaling them up. **The objects and methods of the research.** The object of the research was systems for adapting agricultural production to climate aridization. **The methods** used are systematic literature search, analysis, and synthesis. **The results and discussion.** A study of technologies used in various regions of our country has shown that successful adaptation of agriculture is possible with a comprehensive transition to adaptive-landscape, resource-saving agriculture, integrating soil-conserving technologies as the basis for moisture accumulation, erosion control, and soil fertility preservation, the use of modern regionalized drought- and heat-resistant varieties and hybrids created using modern breeding methods, modernization of soil reclamation, the transition to drip irrigation technologies, as well as digital irrigation management systems, the modernization of protective afforestation systems, and the introduction of precision farming technologies to manage field heterogeneity and conserve resources. **Conclusion.** Only the application of a comprehensive, scientifically based, and adaptive approach, based on the strong foundation of domestic agricultural science, will not only mitigate the effects of climate aridization but also transform this challenge into an opportunity for the development of sustainable and competitive agriculture in Russia, guaranteeing its food security in the 21st century.

Keywords: climate aridization, crop production adaptation, drought tolerance, no-tillage, minimum tillage, precision farming, land reclamation, agriculture, agricultural technologies, agriculture, climate, weather conditions

For citation: Poletaev I.S., Letuchiy A.V., Gubov V.I., Khadykin A.V. Theoretical justification for adapting crop cultivation to climate aridization. *Novye tehnologii / New technologies*. 2025; 21(4): 194-205. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-4-194-205>

Введение. Аридизация климата – это комплекс процессов, приводящих к уменьшению степени увлажнения территорий, который вызывает сокращение биологической продуктивности экосистем, характеризующийся устойчивым ростом среднегодовых температур, уменьшением количества осадков и характера их выпадения, учащением проявлений экстремальных погодных явлений. Для сельского хозяйства России, особенно в регионах, традиционно относимых к зонам рискованного земледелия, к которым относится и Приволжский

федеральный округ, данный процесс представляет собой важную проблему, угрожающую стабильности агропромышленного комплекса [12, с. 84], [20, с. 154].

Согласно прогнозам Росгидромета и научных учреждений РАН, к середине XXI века площадь засушливых территорий в России может увеличиться на 25-30%. В группу высокого риска попадают основные сельскохозяйственные территории: Поволжье, Предкавказье, Южный Урал и юг Западной Сибири. Аридизация климата выражается в увеличении испаряемости на 15-20%, сниже-

нии продуктивной влагообеспеченности почв на 20-30% и учащении лет с проявлением засух до 2-3 раз в десятилетие. Подобные изменения ставят перед аграрной наукой, образованием и практикой важную задачу по фундаментальной перестройке систем земледелия с адаптацией их к меняющимся условиям [22, с. 8].

Цель исследования. Провести комплексный анализ современных исследований и разработок российских учёных в области технологий адаптации растениеводства к условиям нарастающей аридизации климата, а также оценить перспективы их масштабирования.

Объекты и методы. Для обеспечения полноты, воспроизводимости и достоверности результатов данного исследования был применен систематический подход к поиску, отбору и анализу релевантных научных публикаций. Методологическая структура исследования включала в себя поиск релевантных публикаций в электронной базе данных eLibrary с использованием комбинации ключевых слов и тематических дескрипторов: аридизация, растениеводство, мелиорация. Период поиска охватывал публикации за 2010-2024 гг. Дополнительно был применен метод "снежного кома" через анализ библиографических ссылок в отобранных публикациях.

Анализ включал данные из рецензируемых научных журналов, диссертационных исследований и монографий. Географический фокус исследования охватывал Саратовскую область, другие регионы Поволжья, а также территории со схожими почвенно-климатическими условиями.

Результаты и обсуждение. Воздействие аридизации на агроценозы является многофакторным и синергетическим, что приводит к комплексному стрессу для растений и почвенной биоты и, как следствие, ухудшению агрофизических свойств почвы.

Основным и наиболее значимым лимитирующим фактором становится дефицит доступной влаги в корнеобитаемом слое

почвы. Как подробно описывают исследователи из ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ и ФГБОУ ВО Вавиловский университет, даже кратковременный недостаток влаги в критические фенологические фазы приводит к необратимому снижению продуктивности. На клеточном уровне нарушается тургор, закрываются устьица, что резко сокращает интенсивность фотосинтеза и транспирации. Происходит перераспределение ассимилятов от генеративных органов к корневой системе, что в конечном итоге приводит к снижению урожайности и качества получаемой [27, с. 39], [28, с. 73].

Повышение среднесуточных и максимальных дневных температур воздуха усиливает негативное воздействие засухи. По данным учёных из РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, при температуре выше +30°C у большинства зерновых культур наблюдается стерильность пыльцы, нарушение процессов оплодотворения и формирования зерновки. Сочетание отсутствия осадков с высокими температурами воздуха является наиболее критическим фактором, который способен привести к потерям урожая на 50-70% даже у относительно устойчивых культур [7, с. 68], [13, с. 63].

Аридные территории в результате угнетения растительности в большей степени подвергаются процессам деградации земель. Угнетение растительного покрова, разрушение почвенной структуры и увеличение скорости ветра приводят к резкому усилению проявлений водной и ветровой эрозии. Исследования, проведенные в ВНИИЗХ и ВНИАЛМИ, показывают, что в Поволжье и на Дону ежегодные потери почвы на склоновых землях без противоэрозионных мероприятий могут достигать 15-20 т/га [15, с. 160], [4, с. 25].

В свою очередь ускоренная минерализация органического вещества при высоких температурах и недостатке влаги приводит к быстрому истощению гумуса. По данным Почвенного института им. В.В. Докучаева, в южных черноземах за послед-

ние 20-30 лет потери гумуса составили 15-20%, что напрямую коррелирует с падением водоудерживающей способности почв на 25-30%. В условиях усиленного испарения с поверхности и подъема минерализованных грунтовых вод происходит вынос солей в верхние горизонты почвы, что особенно актуально для орошаемых территорий Нижнего Поволжья и Ставрополья [23, с. 299].

При разработке стратегии адаптации технологий большое внимание уделяется агротехнологическим методам, направленным в первую очередь на накопление и сбережение почвенной влаги, что выражается в изменении коэффициента водопотребления культур.

Важным направлением в регулировании водного режима территорий и интенсивности проявления эрозии является почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие. Отказ от отвальной вспашки в пользу безотвальных, минимальных и нулевых технологий требует научного обоснования и грамотного применения в зависимости от территории ведения сельского хозяйства и почвенно-климатических условий.

В засушливых районах с преобладанием осадков в осенне-зимний период и засушливым летом хорошо показывают себя обработки почвы с использованием безотвальных орудий и глубоких рыхлителей. По данным ряда ученых, в метровом слое почвы на варианте со вспашкой влаги накапливается больше, чем на варианте с минимальной обработкой почвы, на 54,0 мм, или на 36,7 % [5, с. 23].

В исследованиях Денисова Е.П. и др. показано, что за пятилетний период формирование весенних запасов верхнего полуметрового слоя в одинаковой мере зависело от обработки почвы. В сухие годы обработка почвы в большей мере влияла на запасы влаги. Во влажные годы это различие сглаживалось. Запасы влаги в почве в слое 0-0,5 м после вспашки составляли 77,0 мм. На варианте с минимальной обработ-

кой почвы количество влаги в первом полуметровом слое было 69,5 мм [6, с. 13].

Применение минимальной обработки почвы с использованием культиваторов-плоскорезов или чизельных орудий является компромиссным решением для хозяйств, располагающихся в зоне достаточного увлажнения с гидротермическим коэффициентом более единицы, но ещё не готовых технически перейти на нулевые технологии. Исследования Самарского НИИСХ, Калининградского НИИСХ и ФГБНУ «ФАНЦ Юго-востока» показали, что мелкая обработка (12-14 см) в сочетании с мульчированием стерней способствует накоплению влаги и повышению урожайности яровой пшеницы на 15-20% в засушливые годы по сравнению со вспашкой [10, с. 165].

Многочисленные долгосрочные эксперименты, проведенные в Ставропольском ГАУ и Красноярском НИИСХ, однозначно доказывают эффективность технологии прямого посева. По данным ученых за 10 лет применения No-Till запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы к севу яровых культур стабильно на 35-40% выше, чем на отвальном фоне. Инфильтрационная способность почвы увеличивается в 2,5-3 раза, что практически полностью исключает сток талых вод и водную эрозию. Присутствие постоянного слоя мульчи из растительных остатков (не менее 30-40% покрытия поверхности) резко снижает испарение и подавляет сорняки.

При долгосрочном использовании технологии прямого посева отмечается увеличение водопрочности почвы, при возделывании озимой пшеницы до 70,5 % соответственно против 66,9 % в варианте с традиционной технологией. К полной спелости водопрочность почвы во всех вариантах снижается при сохранении преимуществ прямого посева над традиционной технологией. При посеве озимой пшеницы без обработки почвы в фазе весеннего кущения в метровом слое почвы продуктивной влаги содержалось на 21 мм или на 14,7 %

больше, чем по традиционной технологии. Такая прибавка влаги существенна и математически доказуема. Эта закономерность наблюдается во все годы исследований. При этом урожайность озимой пшеницы при прямом посеве составляла 4,36 т/га соответственно, в то время как при традиционной технологии по чистому пару – 3,68 т/га [25, с. 33], [3, с. 15].

В условиях аридизации необходим пересмотр структуры посевных площадей. В работах ученых дается обоснование необходимости увеличения доли засухоустойчивых культур: нута (до 15-20% в структуре), сорго (зернового, сахарного, веничного), проса, чечевицы, рыжика. Эти культуры не только дают стабильную урожайность в засушливые годы, но и улучшают физическое состояние почвы. Также необходимо менять подход к чистым парам: несмотря на то, что чистый пар наиболее эффективно накапливает влагу, в аридных условиях он неприемлем из-за усиления эрозии и минерализации гумуса. Альтернативу представляет сидеральный пар. По данным ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», озимые тритикале и рожь, донник и эспарцет песчаный максимально обогащали почву органическим веществом – 5,52-5,88 т/га. Донник и эспарцет накопили в биомассе соответственно 156 и 142 кг/га азота, рожь – 37 фосфора, озимая злаково-бобовая смесь (тритикале, рожь, вика) – 148 кг/га калия. Исследования, проведенные в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», показали, что в паровом поле отмечаются наибольшие потери плодородия земли из-за эрозионных процессов, особенно когда оно отводится под посев яровой пшеницы. Почвозащитный и сидеральный пары в определенной степени компенсируют этот недостаток. За период содержания чистого пара в слое 0-150 см накапливается 430 кг/га азота, а при применении минеральных удобрений в дозе N 40 P 80 это содержание увеличива-

ется до 689 кг/га. Пар, занятый донником или горчицей белой, накапливает до 150-200 мм продуктивной влаги, одновременно обогащая почву органическим азотом и улучшая её структуру, обеспечивая прибавку урожая последующей озимой пшеницы на 3-5 ц/га [26, с. 22], [21, с. 68].

В условиях дефицита влаги роль органики как влагоудерживающего компонента критически важна. Исследования Центрально-Чернозёмного НИИ земледелия показывают, что внесение органических удобрений в норме 20-40 т/га под основную обработку повышает влагоудерживающую способность почвы на 15-20%.

Новым подходом к решению экологических проблем является цифровизация, которая позволяет управлять неоднородностью полей и экономить ресурсы. Специалисты РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева разрабатывают системы на основе отечественных датчиков и спутниковых снимков, позволяющие в реальном времени отслеживать влажность почвы и прогнозировать водный стресс. Это позволяет оптимизировать сроки полива и экономить до 20-30% водных ресурсов. Технологии дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений на основе электронных карт урожайности и агрохимического обследования, как показали исследования, снижают материалоемкость производства на 15-25% без потери урожайности, что особенно важно в условиях стресса [2, с. 133], [29].

Создание и внедрение засухо- и жароустойчивых сортов – стратегическое направление долгосрочной адаптации. Ученые из ФНЦ «ВИР им. Н.И. Вавилова» проводят масштабную работу по скринингу мировой коллекции растений-доноров ценных признаков. Выявлены перспективные образцы диких родичей культурных растений (эгилопсы, пыреи) и местных сортов из центров аридизации (Эфиопия, Средняя Азия), обладающие уникальными механизмами устойчивости: глубокой корневой системой, опу-

шенностью листьев, способностью к быстрой репарации ДНК после теплового шока [8, с. 117], [18, с. 43].

В Национальном центре зерна имени П.П. Лукьяненко (Краснодарский край) и ФНЦ «Немчиновка» (Московская область) с помощью методов маркер-вспомогательной селекции (MAS) и геномной селекции созданы новые генотипы озимой и яровой пшеницы. Эти сорта (например, «Гром», «Аскет», «Ермак») сочетают высокую продуктивность с комплексной устойчивостью к засухе, жаре и основным болезням. Они показывают стабильную урожайность в условиях Краснодарского края, Ставрополя и Поволжья даже в экстремально засушливые годы [14, с. 320], [1, с. 80].

В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов требуется кардинальная модернизация мелиоративного комплекса. Сотрудники ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (Волгоград) и Кубанского ГАУ доказали его высокую эффективность. Данный метод позволяет подавать воду непосредственно в корневую зону, минимизируя потери на испарение и инфильтрацию. Расход воды снижается на 40-50% по сравнению с дождеванием, а урожайность овощных и плодовых культур увеличивается на 25-80% и улучшается их качество [17, с. 56], [9, с. 41].

Наивысшую эффективность демонстрирует не отдельный приём, их интеграция в целостную систему адаптивного агроландшафтного земледелия. Системы полезащитных лесных полос являются каркасом, стабилизирующим микроклимат. По данным многолетних исследований ВНИАЛМИ, правильно спроектированные лесные полосы ажурной и продуваемой конструкции позволяют снизить скорость ветра на 30-40% на защищенной территории, уменьшить испаряемость с поверхности почвы на 20-30%, увеличить запасы влаги в снеге на 15-20% по

сравнению с открытой степью за счёт его равномерного распределения, снизить эрозию почвы в 2-3 раза.

В условиях современной аридизации программы по закладке новых и реконструкции старых лесополос с использованием засухоустойчивых пород акации и дуба приобретают новое стратегическое значение [16, с. 22].

Заключение. Аридизация климата – это масштабный и длительный процесс, игнорирование которого грозит природной катастрофой для сельского хозяйства. Для успешного нивелирования негативных процессов необходимо применение технологий, включающих в себя системные и скоординированные приёмы, применяемые на всех уровнях.

Успешная адаптация ведения сельского хозяйства возможна только при комплексном переходе к адаптивно-ландшафтному, ресурсосберегающему земледелию, интегрирующему в себе почвозащитные технологии как основы для влагонакопления, борьбы с эрозией и сохранения почвенного плодородия, применение современных районированных засухо- и жароустойчивых сортов и гибридов, созданных с использованием современных методов селекции, модернизации мелиорации почв, перехода на технологии капельного орошения, а также цифровые системы управления поливом, модернизацию систем защитного лесоразведения и внедрение технологий точного земледелия для управления неоднородностью полей и экономии ресурсов.

Только такой комплексный, научно обоснованный и адаптивный подход, базирующийся на мощном заделе отечественной аграрной науки, позволит не только смягчить последствия аридизации климата, но и превратить вызов в возможность для развития устойчивого и конкурентоспособного сельского хозяйства России, гарантируя её продовольственную безопасность в XXI веке.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптивный потенциал фотосинтеза и продукционного процесса у местных форм и сортов гречихи (*Fagopyrum esculentum* Moench) разных периодов селекции / А. В. Амелин [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 1. С. 79-88. DOI 10.15389/agrobiology.2016.1.79rus.
2. Астахов В.С., Иванчиков Г.О. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 133-136.
3. Эффективность применения технологии прямого посева при возделывании полевых культур в засушливой зоне Центрального Предкавказья / И.А. Вольтерс [и др.] // Земледелие. 2020. № 3. С. 14-18. DOI 10.24411/0044-3913-2020-10303.
4. Губарев Д.И., Левицкая Н.Г., Деревягин С.С. Влияние изменений климата на деградацию почв в аридных зонах Поволжья // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28, № 1 (90). С. 20-27. DOI 10.24412/1993-3916-2022-1-20-27.
5. Денисов Е.П., Солодовников А.П., Биктеев Р.К. Эффективность энергосберегающих обработок почвы при возделывании яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2011. № 3 (20). С. 21-25.
6. Агрофизические процессы формирования запасов продуктивной влаги в почве / Е.П. Денисов [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2014. № 8. С. 10-15.
7. Дзарматов С.И., Боров И.А. Неустойчивая влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в Республике Ингушетия // Известия Дагестанского ГАУ. 2021. № 2 (10). С. 67-69.
8. Направления и результаты селекции тритикале в ФГБНУ «Краснодарский НИИСХ им. П.П. Лукьяненко» / В.Я. Ковтуненко [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 66. С. 115-120. DOI 10.21515/1999-1703-66-115-120.
9. Койнова А.Н. Мелиорация как путь к успеху сельского хозяйства // АгроФорум. 2019. № 6. С. 41-43.
10. Корчагин В.А., Горянин О.И. Почвозащитные и влагосберегающие технологии возделывания яровых зерновых культур в черноземной степи Среднего Заволжья // Проблемы аридизации Юго-Востока Европейской части России: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Краснокутской селекционно-опытной станции (Саратов, 29-30 июня 2009 г.). Саратов: НИИСХ Юго-Восток, 2009. С. 154-159.
11. Кретинин В.М. Плодородие лесомелиорированных почв в опытной сети ВНИАЛМИ во второй половине XX века. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 122 с.
12. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования. 2020. № 3 (180). С. 82-92.
13. Лебедев В.Е., Амакова Т.В. Роль влажности почвы в развитии сельскохозяйственных культур // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 04-05 марта 2021 г.). Т. I. Молодежный: Иркутский ГАУ им. А.А. Ежовского, 2021. С. 59-65.
14. Леонова И.Н. Молекулярные маркеры: использование в селекции зерновых культур для идентификации, интрогрессии и пирамидирования генов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17, № 2. С. 314-325.
15. Мамбетуллаева С.М., Отенова Ф.Т. Проблемы деградации почв аридных территорий региона Южного Приаралья // Роль вузовской науки в развитии агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции (Нижний Новгород, 13-15 окт. 2021 г.). Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2021. С. 158-162.
16. Манаенков А.С. Вклад ВНИАЛМИ в развитие лесной науки и решение лесохозяйственных проблем страны // Лесное хозяйство. 2006. № 6. С. 21-22.

17. Проектирование и расчёт систем дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур: методическое пособие / В.В. Мелихов [и др.]. Волгоград: Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, 2017. 184 с.
18. Новикова Л.Ю., Зуев Е.В. Модельный подход к оптимизации сортимента яровой пшеницы в условиях возрастания частоты засух // V Вавиловская международная конференция: к 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова: тезисы докладов (Санкт-Петербург, 21-25 нояб. 2022 г.). СПб.: Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 2022. С. 43-44.
19. Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: материалы докладов участников X научно-практической конференции (Анапа, 03-07 сент. 2018 г.) / под ред. В.Г. Сычева. Анапа: Плодородие, 2018. 244 с. DOI 10.25680/VNIIA.2019.80.42.100.
20. Поварницына А.В., Савин М. И. Влияние изменения климата на мировое сельское хозяйство // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 84-1. С. 152-157. DOI 10.18411/trnio-04-2022-39.
21. Приходько А.В., Черкашина А.В. Эффективность использования сидеральных культур в зернопаровом полевом севообороте // Плодородие. 2024. № 4 (139). С. 68-71. DOI 10.25680/S19948603.2024.139.15.
22. Прокопьев Е.А., Рослякова Н.А. Оценка влияния изменения климата на экономику Севера (обзор литературы) // Управление экономическими системами. 2017. № 10 (104). С. 8.
23. Деградация черноземных почв в агроландшафтах степного Поволжья / В.В. Пронько [и др.] // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография: в 5-ти т. Т. 2. / под ред. В.Г. Сычева, Л. Мюллера. М.: Всероссийский НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 298-302. DOI 10.25680/2223.2018.91.60.161.
24. Пындак В.И., Борисенко И.Б., Новиков А.Е. Совершенствование системы основной обработки почвы в засушливых условиях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 2 (30). С. 199-204.
25. Влияние приемов основной обработки почвы в севообороте на динамику влажности и агрофизические свойства чернозема выщелоченного / В.Н. Романов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 5. С. 32-34. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10508.
26. Сохранение плодородия и защита почвы от эрозии в степной зоне Южного Урала / В.Ю. Скороходов [и др.] // Плодородие. 2021. № 6 (123). С. 22-25. DOI 10.25680/S19948603.2021.123.06. EDN KOXYJB.
27. Соловьев А.Н., Шихова Т.Г. Фенологические реакции биоты востока Русской равнины на погодные аномалии // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2021. Т. 32, № 1/2. С. 37-55. DOI 10.21513/0207-2564-2021-1-2-37-55.
28. Солодовников А.П., Денисов К.Е., Нейфельд В.В. Агрофизические свойства, влажность почвы и погодные условия как факторы, определяющие урожайность зерна нута в Заволжье // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2024. Т. 16, № 3. С. 70-77. DOI 10.36508/RSATU.2024.40.15.010.
29. Технологии точного орошения разрабатывают эксперты Тимирязевки по заданию Минсельхоза РФ [Электронный ресурс]. URL: https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/tehnologii-tochnogo-oroshenija-razrabatyvayut-yeksperty-timirjazevki-po-zadaniyu-minselhoza-rf.html?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Дата обращения: 19.09.2025).
30. Хаджиди А.Е., Чижевская Н.А. Развитие мелиоративного комплекса в Краснодарском крае на рисовых оросительных системах // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ (Ульяновск, 23 июня 2023 г.). Ульяновск: Ульяновский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2023. С. 120-125.

31. Astashenkov A.Y., Karpova E.A., Cheryomushkina V.A. Diversity patterns of life forms and phenolic profiles of endemic nepeta plants along an aridity gradient of a high-mountain zone in central asia // *Taiwania*. 2021. Vol. 66, No. 4. P. 541-556. DOI 10.6165/tai.2021.66.541. EDN HMLLSI.
32. Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Iljinskaya I.N. Land Degradation Dynamics in Rostov Oblas, // *Arid Ecosystems*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 93-97. DOI 10.1134/S207909612002002X.
33. Nedealcov M., Donica A., Grigoras N. The impact of climate aridization on oak stands in the Republic of Moldova (case study) // *Present Environment and Sustainable Development*. 2020. Vol. 14, No. 1. DOI 10.15551/pesd2020141017.
34. Roman Ye.G., O.Ye. Markautsan Influence of climate aridization and changes in the Black Sea level on the features of tailed amphibians (amphibia, caudata) distribution in the Oleshky sands // *Морський екологічний журнал*. 2020. No. 2. P. 72-73. DOI 10.47143/1684-1557/2020.2.09.
35. Breeding and seed production of RSC Aurora corn in conditions of aridization and climate change / D. Volkov [et al.] // *AgroEcoInfo*. 2023. No. 1 (55). P. 12. DOI 10.51419/202131112.
36. Change of Land Use in Altai Krai: Problems and Prospects for the Achievement of Land Degradation Neutrality / D.V. Zolotov [et al.] // *Arid Ecosystems*. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 106-113. DOI 10.1134/S2079096120020134.

REFERENCES

1. Adaptive potential of photosynthesis and production process in local forms and varieties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) from different breeding periods / A. V. Amelin [et al.] // *Agricultural Biology*. 2016. Vol. 51, Issue 1. P. 79-88. DOI 10.15389/agrobiology.2016.1.79rus. [In Russ.]
2. Astakhov, V. S., Ivanchikov, G. O. Problems of applying precision farming systems with differentiated application of solid mineral fertilizers and ways to solve them // *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022. Issue 1. P. 133-136. [In Russ.]
3. Efficiency of direct seeding technology in cultivating field crops in the arid zone of the Central Ciscaucasia / I.A. Volters [et al.] // *Agriculture*. 2020. Issue 3. P. 14-18. DOI 10.24411/0044-3913-2020-10303. [In Russ.]
4. Gubarev, D.I., Levitskaya, N.G., Derevyagin, S.S. The effect of climate change on soil degradation in arid zones of the Volga Region // *Arid Ecosystems*. 2022. Vol. 28, Issue 1 (90). P. 20-27. DOI 10.24412/1993-3916-2022-1-20-27. [In Russ.]
5. Denisov, E.P., Solodovnikov, A.P., Bikteev, R.K. Efficiency of energy-saving tillage methods in spring wheat cultivation // *Niva Povolzhya*. 2011. Issue 3 (20). P. 21-25. [In Russ.]
6. Agrophysical processes of formation of productive moisture reserves in the soil / E.P. Deniso [et al.] // *Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*. 2014. Issue 8. P. 10-15. [In Russ.]
7. Dzarmotov, S.I., Borov, I.A. Unstable moisture supply of agricultural crops in the Republic of Ingushetia // *Bulletin of the Dagestan State Agrarian University*. 2021. Issue 2 (10). P. 67-69. [In Russ.]
8. Directions and results of triticale breeding at Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P.P. Lukyanenko / V.Ya. Kovtunenkov [et al.] // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2017. Issue 66. P. 115-120. DOI 10.21515/1999-1703-66-115-120. [In Russ.]
9. Koynova, A.N. Land reclamation as a path to agricultural success // *AgroForum*. 2019. Issue 6. P. 41-43. [In Russ.]
10. Korchagin, V.A., Goryanin, O.I. Soil-protecting and moisture-saving technologies for cultivating spring grain crops in the chernozem steppe of the Middle Trans-Volga region // *Problems of aridization of the South-East of the European part of Russia: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Krasnokutsk selection and experimental station (Saratov, June 29-30, 2009)*. Saratov: Research Institute of Agriculture South-East, 2009. P. 154-159. [In Russ.]
11. Kretinin, V.M. Fertility of forest-reclaimed soils in the experimental network of VNIALMI in the second half of the 20th century. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2017. 122 p. [In Russ.]
12. Ksenofontov, M.Yu., Polzikov, D.A. On the impact of climate change on the development of agriculture in Russia in the long term // *Problems of Forecasting*. 2020. Issue 3 (180). P. 82-92. [In Russ.]

13. Lebedev, V.E., Amakova, T.V. The role of soil moisture in the development of agricultural crops // Scientific research of students in solving current problems of the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (Irkutsk, March 4-5, 2021). Vol. I. Youth: Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, 2021. P. 59-65. [In Russ.]
14. Leonova, I.N. Molecular markers: use in breeding grain crops for identification, introgression and pyramiding of genes // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2013. Vol. 17, Issue 2. P. 314-325. [In Russ.]
15. Mambetullaeva, S.M., Otenova, F.T. Problems of soil degradation in arid territories of the Southern Aral Sea region // The role of university science in the development of the agro-industrial complex: Proceedings of the International scientific and practical conference (Nizhny Novgorod, October 13-15, 2021). N. Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2021. P. 158-162. [In Russ.]
16. Manaenkov, A.S. Contribution of VNIILMI to the development of forest science and the solution of forestry problems of the country // Forestry. 2006. Issue 6. P. 21-22. [In Russ.]
17. Design and calculation of sprinkler and drip irrigation systems for agricultural crops: a methodological manual / V.V. Melikhov [et al.]. Volgograd: All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 2017. 184 p. [In Russ.]
18. Novikova, L. Yu., Zuev, E. V. Model approach to optimization of spring wheat assortment under conditions of increasing drought frequency // V Vavilov International Conference: dedicated to the 135th anniversary of N. I. Vavilov's birth: abstracts of reports (St. Petersburg, November 21-25, 2022). SPb.: All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, 2022. P. 43-44. [In Russ.]
19. Prospects for the use of innovative forms of fertilizers, plant protection products, and plant growth regulators in agricultural technologies of agricultural crops: materials of reports of participants of the X scientific and practical conference (Anapa, September 3-7, 2018) / ed. by V.G. Sycheva. Anapa: Plodorodie, 2018. 244 p. DOI 10.25680/VNIIA.2019.80.42.100. [In Russ.]
20. Povarnitsyna, A.V., Savin, M.I. The impact of climate change on world agriculture // Trends in Science and Education Development. 2022. Issue 84-1. P. 152-157. DOI 10.18411/trnio-04-2022-39. [In Russ.]
21. Prikhodko, A.V., Cherkashina, A.V. Efficiency of using green manure crops in grain-fallow field crop rotation // Plodorodie. 2024. No. 4 (139). P. 68-71. DOI 10.25680/S19948603.2024.139.15. [In Russ.]
22. Prokopiev, E.A., Roslyakova, N.A. Assessing the impact of climate change on the economics of the North (literature review) // Management of Economic Systems. 2017. Issue 10 (104). P. 8. [In Russ.]
23. Degradation of chernozem soils in agrolandscapes of the Volga steppe region / V.V. Pronko [et al.] // New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia: a monograph: in 5 volumes. Vol. 2. / edited by V.G. Sychev, L. Müller. Moscow: All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 2018. P. 298-302. DOI 10.25680/2223.2018.91.60.161. [In Russ.]
24. Pyndak, V.I., Borisenko, I.B., Novikov, A.E. Improving the primary tillage system in dry conditions // News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2013. Issue 2 (30). P. 199-204. [In Russ.]
25. The influence of primary tillage techniques in crop rotation on the moisture dynamics and agrophysical properties of leached chernozem / V.N. Romanov [et al.] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32, Issue 5. P. 32-34. DOI 10.24411/0235-2451-2018-10508. [In Russ.]
26. Preservation of fertility and protection of soil from erosion in the steppe zone of the Southern Urals / V.Yu. Skorokhodov [et al.] // Fertility. 2021. Issue 6 (123). P. 22-25. DOI 10.25680/S19948603.2021.123.06. EDN KOXYJB. [In Russ.]
27. Soloviev, A.N., Shikhova, T.G. Phenological responses of the biota of the eastern Russian Plain to weather anomalies // Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems. 2021. Vol. 32, Issue 1/2. P. 37-55. DOI 10.21513/0207-2564-2021-1-2-37-55. [In Russ.]
28. Solodovnikov, A.P., Denisov, K.E., Neifeld, V.V. Agrophysical properties, soil moisture, and weather conditions as factors determining chickpea grain yield in the Trans-Volga region // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2024. Vol. 16, Issue 3. P. 70-77. DOI 10.36508/RSATU.2024.40.15.010. [In Russ.]

29. Precision irrigation technologies are being developed by Timiryazevka experts on assignment from the Russian Ministry of Agriculture [Electronic resource]. URL: https://www.agroxxi.ru/selhoz-tehnika/novosti/tehnologii-tochnogo-orosheniya-razrabatyvayut-yeksperty-timirjazevki-po-zadaniyu-minselhoza-rf.html?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Accessed: 19.09.2025). [In Russ.]
30. Khadzhibi A.E., Chizhevskaya N.A. Development of the melioration complex in the Krasnodar Territory on rice irrigation systems // Agrarian science and education at the present stage of development: Proceedings of the XIII International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Ulyanovsk State Agrarian University (Ulyanovsk, June 23, 2023). Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after. P.A. Stolypina, 2023. P. 120-125.
31. Astashenkov A.Y., Karpova E.A., Cheryomushkina V.A. Diversity patterns of life forms and phenolic profiles of endemic nepeta plants along an aridity gradient of a high-mountain zone in central Asia // Taiwan. 2021. Vol. 66, No. 4. P. 541-556. DOI 10.6165/tai.2021.66.541. EDN HMLLSI.
32. Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Iljinskaya I.N. Land Degradation Dynamics in Rostov Regions, // Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 93-97. DOI 10.1134/S207909612002002X.
33. Nedelcov M., Donica A., Grigoras N. The impact of climate aridization on oak stands in the Republic of Moldova (case study) // Present Environment and Sustainable Development. 2020. Vol. 14, No. 1. DOI 10.15551/pesd2020141017.
34. Roman Ye.G., O.Ye. Markautsan Influence of climate aridization and changes in the Black Sea level on the features of tailed amphibians (amphibia, caudata) distribution in the Oleshky sands // Marine Ecological Journal. 2020. No. 2. P. 72-73. DOI 10.47143/1684-1557/2020.2.09.
35. Breeding and seed production of RSC Aurora corn in conditions of aridization and climate change / D. Volkov [et al.] // AgroEcoInfo. 2023. No. 1 (55). P. 12. DOI 10.51419/202131112.
36. Change of Land Use in Altai Krai: Problems and Prospects for the Achievement of Land Degradation Neutrality / D.V. Zolotov [et al.] // Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10, No. 2. P. 106-113. DOI 10.1134/S2079096120020134.

Информация об авторах / Information about the authors

Полетаев Илья Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»; 410012, Российская федерация, г.Саратов, пр-кт. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3306-1553>, e-mail: poletaevilja@mail.ru

Легучий Александр Владимирович, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, и.о. заведующего кафедрой «Земледелие, мелиорация и агрохимия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»; 410012, Российская федерация, г. Саратов, пр-кт. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4117-259X>

Губов Валерий Иванович, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»; 410012, Российская федерация, г. Саратов, пр-кт. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6288-0005>

Четвериков Фёдор Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»; 410012, Российская федерация, г. Саратов, пр-кт. им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8468-4394>

Ilya S. Poletaev, PhD (Agr.), Associate Professor, the Department of Agriculture, Land Reclamation, and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., Building 4, Bldg. 3, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3306-1553>. e-mail: poletaevilja@mail.ru

Alexandr V. Letychiy, PhD (Agr.), Associate Professor, Acting Head of the Department of Agriculture, Land Reclamation, and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., Building 4, Bldg. 3, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4117-259X>

Valery I. Gubov, PhD (Agr.), Associate Professor, the Department of Agriculture, Land Reclamation, and Agrochemistry, Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., Building 4, Bldg. 3, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6288-0005>

Fedor P. Chetverikov, Dr Sci. (Agr.), Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; 410012, the Russian Federation, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., Building 4, Bldg. 3, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8468-4394>

Заявленный вклад авторов

Полетаев Илья Сергеевич, Летучий Александр Владимирович – разработка методики исследования, валидация данных.

Губов Валерий Иванович – подбор литературных источников.

Четвериков Фёдор Петрович – оформление статьи по требованиям журнала.

Claimed contribution of the authors

Ilya S. Poletaev, Aleksandr V. Letuchiy – research methodology development, data validation.

Valery I. Gubov – literature review.

Fyodor P. Chetverikov – article formatting according to the Journal requirements.

Поступила в редакцию 13.10.2025

Поступила после рецензирования 24.11.2025

Принята к публикации 25.11.2025

Received 13.10.2025

Revised 24.11.2025

Accepted 25.11.2025