

Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 2, тел.: 87478049455, e-mail: dinarazhamalova25@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2281-4817>.

Зинченко Алена Валериевна* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ауыл шаруашылығы дақылдарын іріктеу зертханасының меңгерушісі, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Заречное ауылы, Юбилейный көш, 12. тел.: 87011205601, e-mail: zinchenko.av@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5681-7368>.

Тыныспаева Бахыткуль Исенжоловна – ауыл шаруашылығы дақылдарын іріктеу зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Заречное ауылы, Юбилейный көш, 12. тел.: 87011205601, e-mail: tynyspaeva@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9021-4085>.

Ерғазина Динара Сардарбековна – техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Заречное ауылы, Юбилейный көш, 12. тел.: 87017849053, e-mail: tomi_10@mail.ru; <https://orcid.org/00000003-0555-5649>.

Жамалова Динара Булатовна – PhD докторы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, агрономия кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 2 корпус, тел.: 87478049455, e-mail: dinarazhamalova25@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2281-4817>.

Zinchenko Alyona Valeriyevna* – Master of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Crop Breeding, Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay region, 111108, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87011205601, e-mail: zinchenko.av@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5681-7368>.

Tynyspayeva Bakhytgul Issenzholovna – Senior Researcher, Laboratory of Crop Breeding, Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay region, 111108, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87011205601, e-mail: tynyspaeva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-9021-4085.

Yergazina Dinara Sardarbekovna – Researcher, Master of Technical Sciences, Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay region, 111108, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87017849053, e-mail: tomi_10@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-0555-5649>.

Zhamalova Dinara Bulatovna – Candidate of Agricultural Sciences, PhD, Assistant Professor, Department of agronomy, Akhmet Baytursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., bld. 2, tel.: 87478049455, e-mail: dinarazhamalova25@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2281-4817>.

МРНТИ 68.35.29

УДК 631(571.150)

<https://doi.org/10.52269/SEPT2631140>

АНАЛИЗ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В РАМКАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ

Макаев К.А.* – докторант 3 курса направления D131 – Растениеводство, образовательная программа 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Татаринцев В.Л. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института), ФГАОУВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Российская Федерация.

В данном научном исследовании представлены результаты многолетнего анализа гидротермических условий, оказывающих влияние на урожайность ярового ячменя в производственных посевах ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция». В работе использованы данные за многолетний период, характеризующие температурный режим, количество атмосферных осадков, суммы активных температур и запасы продуктивной влаги в почве за период 2001-2022 годов по сортам культуры. Установлено, что на продуктивность ячменя в значительной степени влияют гидротермические условия в период фаз развития растений. Особое значение имеют влагообеспеченность посевов, температурный режим в период вегетации и накопление влаги в осенне-зимний период. Среди изученных сортов наиболее стабильной продуктивностью характеризовался сорт «Кедр», тогда как сорт «Целинный 2005» отличался большей вариабельностью урожайности в зависимости от складывающихся условий среды. Полученные результаты могут быть

использованы при совершенствовании технологий возделывания ярового ячменя, оценке экологической устойчивости сортов и выборе сортов, адаптированных к условиям степной зоны Северного Казахстана. Имеющиеся данные также позволяют учитывать влияние погодных условий при планировании агротехнических мероприятий и оценке потенциальной урожайности культуры.

Ключевые слова: гидротермические условия, производственные посевы, урожайность, яровой ячмень, температурный режим, атмосферные осадки, запасы продуктивной влаги, экологическая устойчивость сортов.

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ТӘЖІРІБЕ СТАНЦИЯСЫНЫҢ ӨНДІРІСТІК ЕГІСТІКТЕРІНДЕ ЖАЗДЫҚ АРПА ӨСІРУДІҢ ГИДРОТЕРМИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫН БАҒАЛАУ

Макаев Қ.А.* – D131 – Өсімдік шаруашылығы бағытының, 8D08102 – Органикалық егіншілік білім беру бағдарламасының 3-курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Татаринцев В.Л. – Ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, топырақтану және топырақ экологиясы кафедрасының профессоры, Биология, экология, топырақтану, ауыл және орман шаруашылығы институты (Биологиялық институт), «Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, Томск қ., Ресей Федерациясы.

Бұл ғылыми зерттеуде «Солтүстік Қазақстан ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС-нің өндірістік егістіктеріндегі жаздық арпаның өнімділігіне әсер ететін гидротермиялық жағдайларды көпжылдық талдау нәтижелері ұсынылған. Зерттеуде 2001–2022 жылдар кезеңіндегі дақыл сорттары бойынша температуралық режимді, атмосфералық жауын-шашын мөлшерін, белсенді температуралар жиынтығын және топырақтағы өнімді ылғал қорын сипаттайтын көпжылдық деректер пайдаланылды. Арпаның өнімділігіне өсімдіктердің өсу және даму фазалары кезеңіндегі гидротермиялық жағдайлардың едәуір әсер ететіні анықталды. Егістіктердің ылғалмен қамтамасыз етілуіне, вегетация кезеңіндегі температуралық режимге және күзгі-қысқы кезеңде ылғалдың жиналуына ерекше мән беріледі. Зерттелген сорттардың ішінде «Кедр» сорты ең тұрақты өнімділікпен сипатталды, ал «Целинный 2005» сорты қалыптасқан орта жағдайларына байланысты өнімділіктің неғұрлым жоғары өзгергіштігімен ерекшеленді. Алынған нәтижелер жаздық арпаны өсіру технологияларын жетілдіруде, сорттардың экологиялық тұрақтылығын бағалауда және Солтүстік Қазақстанның дала аймағы жағдайларына бейімделген сорттарды таңдауда пайдаланылуы мүмкін. Қолда бар деректер агротехникалық іс-шараларды жоспарлау және дақылдың әлеуетті өнімділігін бағалау кезінде ауа райы жағдайларының әсерін ескеруге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: гидротермалдық жағдайлар, өндірістік егістіктер, өнімділік, жаздық арпа, температуралық режим, атмосфералық жауын-шашын, топырақтың өнімді ылғал қоры, сорттардың экологиялық тұрақтылығы.

ASSESSMENT OF HYDROTHERMAL CONDITIONS FOR SPRING BARLEY CULTIVATION IN PRODUCTION CROPS OF THE NORTH KAZAKHSTAN EXPERIMENTAL STATION

Makayev K.A.* – 3-rd-year PhD student, D131 – Plant Production, “8D08102 – Organic Farming” educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Tatarintsev V.L. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of soil science and soil ecology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry (Biological Institute), Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research Tomsk State University” (NRTSU), Tomsk, Russian Federation.

This scientific study presents the results of a long-term analysis of hydrothermal conditions affecting the yield of spring barley in production crops of the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station LLP. The study uses long-term data characterizing the temperature regime, atmospheric precipitation, sums of active temperatures, and productive soil moisture reserves for the period 2001–2022 across crop varieties. It was established that barley productivity is significantly influenced by hydrothermal conditions during the growth and development phases of plants. Particular importance is attached to crop water availability, the temperature regime during the growing season, and moisture accumulation during the autumn–winter period. Among the varieties studied, the «Kedr» variety demonstrated the most stable productivity, whereas the «Tselinny 2005» variety was characterized by greater yield variability depending on the prevailing environmental conditions. The results obtained can be used to improve spring barley cultivation technologies, assess the ecological stability of varieties, and select varieties adapted to the conditions of the steppe zone of Northern Kazakhstan. The available data also enabled to factor in the influence of weather conditions when planning agrotechnical measures and assessing the potential yield of the crop.

Keywords: *hydrothermal conditions, production crops, yield, spring barley, temperature regime, atmospheric precipitation, productive soil moisture reserves, ecological stability of varieties.*

Введение. В современных условиях рост продуктивности и устойчивости земледелия [1, с.1-3] в настоящее время базируется на научных разработках, которые не всегда учитывают всю совокупность природных и агротехнических факторов и условий земледелия [2, с.4-6]. В условиях Северного Казахстана яровой ячмень является одной из ведущих зерновых культур, используемой, как для продовольственных, так и для кормовых целей. Он отличается высокой пластичностью к условиям среды, однако урожайность культуры сильно зависит от гидротермического режима. Проблема адаптации ячменя к климатическим изменениям и выявление оптимальных условий возделывания остаются актуальными задачами аграрной науки. Наиболее положительных социально-эколого-экономических результатов можно достигнуть при применении системного подхода, который позволит в полной мере учитывать биологические особенности растений, почвенно-климатические, агротехнические и организационно-экономические факторы [3, с.7-9], которые оказывают влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, использование земель и воспроизводство их плодородия [4, с.10]. Вместе с тем, в сельском хозяйстве активно внедряются современные технологии: беспилотные летательные аппараты, специализированное программное обеспечение, а также модели на основе искусственного интеллекта. Эти инновации позволяют комплексно оценивать агроландшафты, включая температурный и влагообеспеченный режим, что делает исследования гидротермических условий выращивания ярового ячменя особенно значимыми для разработки адаптивных технологий в степной зоне Северного Казахстана.

Применение системной методологии при изучении реакции растений на факторы, её определяющие, может аргументировать решения по минимизации условий продуцирования сельскохозяйственных растений в рамках рационального использования природно-экономических ресурсов. В этой связи цель настоящей научной работы заключена в оценке гидротермических условий (2001-2022 годы) землепользования Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции (СХОС) в Республике Казахстан, где в производственных посевах выращивается яровой ячмень.

Цель исследования. Оценка влияний гидротермических условий на формирование урожайности районированных сортов ярового ячменя в производственных посевах Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции за период 2001–2022 гг. и определение наиболее оптимальных и приемлемых технологий, методов выращивания ячменя, и устойчивых сортов с учетом гидротермических ресурсов степной зоны Северного Казахстана.

Задачи исследования: изучение особенностей гидротермических условий вегетационного периода, оценка влияния температуры, осадков и запасов продуктивной влаги на урожайность, сравнение продуктивности районированных сортов, проведение корреляционного и регрессионного анализов зависимости урожайности от гидротермических факторов, формулировка практических рекомендаций.

Материалы и методы исследований. Настоящее исследование проводилось в условиях Северо-Казахстанской области, где использовались полевые опыты с целью изучения влияния гидротермических условий на выращивание ярового ячменя. Были выбраны следующие варианты агроприемов: сроки посева – первая декада июня, всходы – вторая декада июня, цветение – третья декада июля. Гидротермические условия оценивались по среднесуточной температуре воздуха, сумме активных температур выше 10°C, количеству атмосферных осадков и запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы. При мониторинге были применены статистические методы, которые в себя включают два вида анализа – корреляционный и регрессионный.

В методологию включены опыты полевых работ, сведения по учёту урожайности и качественные показатели, анализ информации с данными статистических методов.

В качестве материала для исследования был выбран яровой ячмень (сорта Астана 2000, Сабир, Дружный, Кедр, Целинный 2005), который возделывался в рамках производственных посевов СХОС. В данной организации производство семенного материала различных репродукций, является основным видом деятельности. Обработка результатов проводилась методами описательной статистики, корреляционного и регрессионного анализов с целью оценки связи между гидротермическими показателями и урожайностью. Полученные зависимости использовались для сравнительной оценки устойчивости сортов.

Результаты и обсуждение. На протяжении исследуемого периода проводилось ускоренное размножение пяти районированных сортов ячменя (2001-2022 гг.). С 2001 по 2002 год (возможно, он выращивался и ранее) размножался сорт «Кедр», с 2005 по 2015 год – сорт «Астана 2000», с 2010 по 2021 год – сорт «Целинный 2005». Короткое время (2018-2019 год) на размножение поступил сорт «Дружный», а в 2019 году началось размножение сорта «Сабир». Все сорта являются яровыми и отнесены к двухрядной форме. Срок вегетационного периода размножаемых сортов составляет 95-100 суток. Требования к условиям произрастания приведены в таблице 1.

При исследовании установлено, что семена ячменя начинают прорастать при температуре 3-4°C, однако оптимальной температурой следует считать 19-20°C.

В свою очередь, резкие колебания суточных температур в почве благоприятно действуют в период посева на прорастание семян, которое начинается на вторые-четвертые сутки после посева.

Таблица 1 – Оптимальные гидротермические условия произрастания ячменя ярового по фенологическим фазам

Месяц	Декада	Фенофаза	Оптимум		Влагообеспеченность*, мм		
			t°C	$\sum t>10^{\circ}\text{C}$	Opt.	Opt.Зпв	Opt. $\sum$ ос
Июнь	1	Посев	16-18	160-180	70	20	50
	2	Всходы 3-й лист	19-20	380-400			
	3	Кущение					
Июль	1	Выход в трубку	19-20	590-620	180	40	140
	2	Колошение					
	3	Цветение					
Август	1	Налив: молочная, восковая, полная спелость	15-22	600	100	10	90
	2						
	3						
Сентябрь	1	Уборка	>15	300	–	–	–
	2						
За вегетационный период			>16	1500	350	70	280

* Примечание: Opt. – оптимальная влагообеспеченность; Opt.Зпв – оптимальный запас продуктивной влаги в метровом слое почвы; Opt. Σ ос – оптимальная сумма атмосферных осадков

При этом всходы устойчивы к заморозкам до -8-9°C, однако более уязвимы к засухам, которые наблюдаются на отмеченной территории во второй-третьей декадах мая. В этой связи сроки посева сдвигаются на первую декаду июня, в тот период, при которой средняя температура воздуха составляет 16-18°C, а атмосферные осадки превышают 10 мм. В данный период средние атмосферные осадки составляют 50-55 мм, количество которых в эти фазы соответствует оптимальной норме 7 раз за 10 лет. При этом 3 года из 10 отмечается их дефицит, который возмещается за счёт почвенной влаги. К концу фазы кушения средняя температура воздуха повышается до 19°C, интервал колебания – от 15,7 до 22,8°C, что является оптимальной для развития растений.

По истечению 3-4 недель после периода всходов стартует фаза выхода в трубку.

В период произрастания растения ячменя от начала роста стебля до налива зерна необходимо не менее 180 мм влаги, что составляет до 55% от общей потребности влаги, при этом 78% приходится на атмосферные осадки и около 22% – на запасы из почвы.

К началу налива зерна происходит расход практически всего запаса влаги доступного в метровом слое – 40 мм. Среднее количество осадков, которое выпадает в данный период является важным для растений ячменя (период формирования урожая) и составляет не более 75 мм, с колебаниями по годам от 23 до 136 мм.

В тоже время, даже максимальное количество осадков, которые выпадают в июле, недостаточны для растений. В исследуемой территории дефицит влаги типичен 9 раз за 10 лет и только один год из десяти количество осадков на 4-9 мм выше оптимальной нормы. Уровень недостатка влаги по годам изменяется от 30 до 100 мм и более.

В первой и второй декадах августа в период фазы налива, молочной и восковой спелости необходимо до 100 мм влаги. Небольшая доля влаги (до 10 мм) растения получают из почвы, а большая её часть (90 мм) поступает с атмосферными осадками.

Вместе с тем, среднее количество атмосферных осадков в августе, составляют менее 45 мм при интервале колебания по исследуемому лагу от 10 до 148 мм. Исходя из динамики количества осадков по годам, выпадающих в августе, можно сделать вывод, что только один раз в 10 лет количество осадков соответствует оптимальной норме (90 мм). Средняя температура воздуха в августе от первой декады к третьей уменьшается с 19,1 до 17,5°C, и остается оптимальной для созревания зерна. Фаза полной спелости зерна подходит к завершению к началу сентября.

Среднепогодная урожайность ячменя составила 22,4 ц/га при изменении по годам от 13,3 (2016 год) до 33,3 ц/га (2011 год). Сорта «Астана 2000», «Сабир» и «Дружный» отличались самой высокой урожайностью зерна, которая колебалась в очень узком (25,2-25,7 ц/га) интервале. Сорт «Кедр» в среднем давал 21,7 ц/га. Самой низкой средней урожайностью (19,6 ц/га) отмечается сорт «Целинный 2005». Размах варьирования урожайности ячменя сорта «Целинный 2005» составил 24,3 ц/га, сорта «Астана 2000» – 20,0 ц/га, сорта «Дружный» – 17,5 ц/га, сорта «Сабир» – 16,1 ц/га и, наконец, сорта «Кедр» – 15,0 ц/га.

Результаты. Средняя многолетняя температура воздуха в июле по декадам изменилась от 19,6 до 20,6°C с колебаниями по годам от 15,6 до 22,2°C, находясь в оптимальном интервале. Средняя многолетняя $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ за июль возрастает до 618°C, что на 59°C больше, чем в июне. Разница между минимальными и максимальными значениями среднегодовой $\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ в июле составила 204°C.

Проведенный корреляционный анализ показал, что наиболее существенное влияние на формирование урожайности оказали количество атмосферных осадков и обеспеченность продуктивной влагой в период выхода растений в трубку – колошения. Температурный режим также оказывал влияние на продуктивность, однако его воздействие было менее выраженным по сравнению с влагообеспеченностью. Регрессионный анализ подтвердил наличие устойчивой зависимости урожайности от совокупности гидротермических факторов, что свидетельствует о возможности их использования при прогнозировании урожайности и выборе наиболее адаптированных сортов.

Закключение. Согласно результатам исследования установлено, что на урожайность ярового ячменя в условиях Северного Казахстана, в основной мере, влияют гидротермические условия в период органогенеза. Оптимальные условия по влаге и температуре формируются крайне редко, что требует адаптации технологий возделывания, различия между сортами обусловлены не только их генетическими особенностями, но и неодинаковой реакцией на влагообеспеченность в критические фазы развития растений. Наиболее стабильные показатели отмечены у сорта «Кедр», который характеризовался меньшей изменчивостью урожайности по годам. Сорт «Целинный 2005», напротив, оказался более чувствительным к дефициту влаги, что особенно проявлялось в годы с недостаточным количеством осадков в июле. Гидротермические условия повлияли на колебания урожайности сортов, а также репродукцию семян, используемых при посеве.

Полученные результаты согласуются с опубликованными исследованиями по степной зоне Казахстана и сопредельных регионов, где влагообеспеченность рассматривается как один из ключевых факторов формирования урожая ярового ячменя.

Вклад авторов: Макаев К.А. – определение тематики, концепции и методологии исследования, выработка задач, постановка и проведение полевых опытов, анализ полученных данных и выполнение основной части текста статьи. Татаринцев В.Л. – методологическое сопровождение написания статьи, консультационные услуги по определению качественных показателей семян и совместный анализ результатов эксперимента.

Информация о финансировании: Исследование в рамках выполнения статьи проводилось за счет собственных средств автора, дополнительных источников финансирования не привлекалось.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Саммит по устойчивому развитию. Преобразование нашего мира в интересах людей и планеты. (25-27 сентября 2015 года).** [Текст]: электронный // Организация Объединенных Наций [Официальный сайт]. URL: http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/wp-content/uploads/sites/5/2015/08/Overview_Sustainable_Development_Summit.pdf (дата обращения: 25.03.2026 г.).
2. **Bombelli A., Chiriaco M.V., Perugini L., Castaldi S., Valentini R., Di Paola A. Climate change, sustainable agriculture and food systems: The world after the Paris agreement. Achieving the Sustainable Development Goals Through Sustainable Food Systems.** [Текст]: Springer International Publishing. 2019. С. 25-34 DOI: 10.1007/978-3-030-23969-5_2. (date accessed: 25.03.2026 г.).
3. **Татаринцев В.Л. Организация устойчивого сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае с применением ландшафтного анализа / В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев, А.В. Мацюра, А.А. Бондарович. – [Текст]: электронный // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. – № 3. – С. 339-349. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-339-348 (дата обращения: 25.03.2026).**
4. **Якубышина Л.И. Влияние предшественников на урожайность и качество ярового ячменя в условиях Челябинской области / Л.И. Якубышина, Ю.П. Прядун. – [Текст] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. – № 6 (86). – С. 49-54.**
5. **Зинченко В.Е. Влияние элементов технологии на продуктивность ярового ячменя в условиях обыкновенных черноземов / В.Е. Зинченко, А.В. Гринько, В.А. Кулыгин. – [Текст] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. – № 5 (67). – С. 48-51.**
6. **Чекмарев В.В. Влияние погодных условий на урожайность ярового ячменя / В.В. Чекмарев, О.В. Постовая. – [Текст] // Зерновое хозяйство России. 2013. – № 4. – С. 1-7.**
7. **Ещенко Е.Г. Варьирование урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием различных факторов / Е.Г. Ещенко, С.И. Ещенко, В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 9 (167). – С. 46-52.**
8. **Татаринцев Л.М. Повышение эффективности сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае / Л.М. Татаринцев, В.Л. Татаринцев, А.А. Бунин, О.А. Латышева, О.Э. Мерзляков. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5 (151). – С. 35-43.**
9. **Татаринцев Л.М. Экологические аспекты сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае / Л.М. Татаринцев, В.Л. Татаринцев, Т.В. Власова. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 49-52.**
10. **Мягкий П.А. Моделирование сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае / П.А. Мягкий, Д.А. Репенёв, В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (161). – С. 26-32.**

REFERENCES:

1. **Sammit po ustojchivomu razvitiyu. Preobrazovanie nashego mira v interesah lyudej i planety'** [Summit on sustainable development. Transforming our world for people and the planet]. 2015, United Nations Organization, available at: http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/wp-content/uploads/sites/5/2015/08/Overview_Sustainable_Development_Summit.pdf (accessed 25 March 2026). (In Russian)
2. **Bombelli A., Chiriaco M.V., Perugini L., et al. Climate change, sustainable agriculture and food systems: The world after the Paris agreement. Achieving the sustainable development goals through sustainable food systems.** Springer International Publishing, 2019, pp. 25-34. DOI: 10.1007/978-3-030-23969-5_2 (accessed 25 March 2026)
3. **Tatarincev V.L. Organizaciya ustojchivogo sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae s primeneniem landshaftnogo analiza** [The organization of sustainable agricultural land use in the Altai Territory using landscape analysis]. *Ustojchivoe razvitie gorny'h territorij*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 339-349. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-339-348 (accessed 25 March 2025). (In Russian)
4. **Yakubyshina L.I. Vliyanie predshestvennikov na urozhajnost' i kachestvo yarovogo yachmenya v usloviyah Chelyabinskoy oblasti** [The influence of predecessors on the yield and quality of spring barley in the Chelyabinsk region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, no. 6 (86), pp. 49-54. (In Russian)
5. **Zinchenko V.E. Vliyanie e'lementov tehnologii na produktivnost' yarovogo yachmenya v usloviyah oby'knovenny'h chernozemov** [The influence of technological elements on the productivity of spring barley under conditions of ordinary chernozems]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 5 (67), pp. 48-51. (In Russian)
6. **Chekmarev V.V. Vliyanie pogodny'h uslovij na urozhajnost' yarovogo yachmenya** [The impact of weather conditions on the yield of spring barley]. *Zernovoe hozyajstvo Rossii*, 2013, no. 4, pp. 1-7. (In Russian)
7. **Eshhenko E.G. Var'irovanie urozhajnosti sel'skohozyajstvenny'h kul'tur pod vozdeystviem razlichny'h faktorov** [Variation in crop yields under the influence of various factors]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 9 (167), pp. 46-52. (In Russian)
8. **Tatarincev L.M. Povy'shenie e'ffektivnosti sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae** [Improving the efficiency of agricultural land use in the Altai Territory]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 5 (151), pp. 35-43. (In Russian)
9. **Tatarincev L.M. E'kologicheskie aspekty' sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae** [Environmental aspects of agricultural land use in the Altai Territory]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, no. 1 (63), pp. 49-52. (In Russian)
10. **Myagkij P.A. Modelirovanie sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae** [Modeling agricultural land use in the Altai Territory]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 3 (161), pp. 26-32. (In Russian)

Дата поступления: 20 мая 2026 г. **Принято:** 23 июня 2026 г.

Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Макаев Кайрат Амиржанович* – докторант 3 курса направления D131 – Растениеводство, образовательная программа 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Руководитель ТОО «SMART inc.», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Туркестан, д. 32. кв. 52, тел.: 8701736 2631, e-mail: ktmakaev@mail.ru.

Татаринцев Владимир Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института), ФГАОУВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Российская Федерация, 634050 г. Томск, пр-т Ленина, 36, тел.: 89039956719.

Макаев Кайрат Амиржанович* – D131 – Әсімдік шаруашылығы бағыты, 8D08102 – Органикалық егіншілік білім беру бағдарламасының 3-курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, SMART inc. ЖШС басшысы, Қазақстан Республикасы 010000, Астана қ., 32 Түркістан көш., 52 үйі, тел.: 87017362631, e-mail: ktmakaev@mail.ru.

Татаринцев Владимир Леонидович – Ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, топырақтану және топырақ экологиясы кафедрасының профессоры, Биология, экология, топырақтану, ауыл және орман шаруашылығы институты (Биологиялық институт) «Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, Ресей Федерациясы 634050, Томск қ., Ленин даңғ, 36, ұялы тел.: 89039956719.

Makayev Kairat Amirzhanovich* – 3-rd-year PhD student, D131 – Plant Production, “8D08102 – Organic Farming” educational program, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Head of SMART inc. LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 32 Turkestan Str., apt. 52, tel.: 87017362631, e-mail: kmakaev@mail.ru.

Tatarintsev Vladimir Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of soil science and soil ecology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry (Biological Institute), Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research Tomsk State University” (NRTSU), Russian Federation, 634050, Tomsk, 36 Lenin ave, tel.: 89039956719.

МРНТИ 68.85.85: 68.31.21

УДК 631.67

<https://doi.org/10.52269/SEPT2631146>

КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР СИСТЕМ ОРОШЕНИЯ: ДАТЧИКИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ, ИОТ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Молдахметов С.С.* – PhD, Researcher (исследователь) кафедры энергетики и радиоэлектроники, «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», г. Петропавловск, Республика Казахстан.

Абдуалиев Е.О. – докторант 2 курса ОП 8D07103 – Электроэнергетика, «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», г. Петропавловск, Республика Казахстан.

В статье представлен комплексный обзор «умных» систем орошения, включающий анализ основных типов датчиков влажности почвы, атмосферных и растительно-ориентированных сенсоров, а также методов их калибровки и интеграции в полевые измерительные сети. Значительное внимание уделено развитию IoT-технологиям связи, LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi, ZigBee и BLE, а также их роли в построении масштабируемых и энергоэффективных сетевых архитектур для сельскохозяйственных условий. Рассмотрены основные современные технологии в измерении влажности почвы. Также в статье рассматриваются классы вычислительных платформ и контроллеров, применяемых для автоматизации полива. Произведен анализ основных подходов к принятию решений: модели водного баланса и испаряемости (ET_0 , Kc), пороговые логические алгоритмы, системы поддержки принятия решений, основанные на правилах, а также современные методы прогнозирования, использующие машинное обучение, нейронные сети и гибридные модели. Особое внимание уделено сопоставлению преимуществ и ограничений различных классов технологий, а также их влиянию на эффективность использования воды, снижение эксплуатационных затрат и повышение устойчивости агропроизводства в условиях климатической изменчивости. Обзор подчеркивает, что наибольший потенциал имеют гибридные IoT системы, объединяющие данные сенсоров, физические модели и алгоритмы искусственного интеллекта. Полученные результаты формируют целостное представление о технологической базе современных систем точного орошения и определяют перспективные направления дальнейших исследований и практических внедрений.

Ключевые слова: орошение, датчики влажности почвы, IoT, LoRaWAN, водный баланс, точное земледелие.

СУАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ КЕШЕНДІ ШОЛУ: ТОПЫРАҚ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫНЫҢ ДАТЧИКТЕРІ, ИОТ БАЙЛАНЫСЫ ЖӘНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ

Молдахметов С.С.* – PhD, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасының зерттеушісі, «М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», Петропавл қ., Қазақстан Республикасы.

Абдуалиев Е.О. – «8D07103 – Электр энергетикасы» білім беру бағдарламасының 2-курс докторанты, «М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», Петропавл қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада «ақылды» суару жүйелеріне кешенді шолу ұсынылады, онда топырақ ылғалдылығының негізгі датчиктері, атмосфералық және өсімдікке бағытталған сенсорлар түрлері, сондай-ақ оларды калибрлеу және далалық өлшеу желілеріне біріктіру әдістері талданады. Арнайы назар IoT байланыс технологияларының, LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi, ZigBee және BLE, ауылшаруашылық жағдайларына арналған ауқымды өрі энергия тиімді желілік архитектураларды құрудағы рөліне аударылады. Сонымен бірге топырақ ылғалдылығын өлшеудің заманауи технологиялары қарастырылады. Мақалада суаруды автоматтандыруға қолданылатын есептеу платформалары мен контроллерлердің негізгі сыныптары да сипатталады. Шешім қабылдау тәсілдерінің негізгі түрлері талданады: су балансы мен булануды есептеу модельдері (ET_0 , Kc), шекті логикалық алгоритмдер, ереже-