

## ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК 633.16:631.67

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-240-258

### Продуктивность ярового ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания в засушливых условиях Астраханской области

Айгуль Алдунгаровна Айтпаева<sup>1</sup>, Наталья Владимировна Тютюма<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук,  
Соленое Займище, Российская Федерация

<sup>1</sup>arman.bisaliev2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3898-5813>

<sup>2</sup>tutumanv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628>

**Аннотация.** Цель: определить влияние режима орошения и уровня минерального питания на фенологию, биометрические и фотосинтетические показатели, урожайность ярового ячменя сорта Камышинский 23 в засушливых условиях в Астраханском Заволжье. **Материалы и методы.** Полевой двухфакторный опыт реализовывался в период с 2018 по 2020 г. в Харабалинском районе. Фактор А (дифференцированный режим орошения) предусматривал три варианта: поддержание предполивной влажности почвы не ниже 60-70-60 % наименьшей влагоемкости соответственно в периоды посева – кущения, кущения – колошения, налива зерна – восковой спелости, не ниже 65-75-65 %, не ниже 70-80-70 %. Фактор Б – уровень минерального питания, включал варианты: фоновое внесение,  $N_{30}P_{45}K_{40} + N_{20}$ ,  $N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$ ,  $N_{50}P_{65}K_{60} + N_{40}$ . Данные обработаны методами дисперсионного и корреляционного анализа, интерполяцией Лагранжа. **Результаты.** Исследования показали, что продолжительность межфазных периодов сокращается при улучшении условий влагообеспеченности в сочетании с минеральным питанием, но только до определенного предела. Оптимальный режим орошения (70-80-70 % наименьшей влагоемкости) в сочетании с дозой  $N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$  обеспечил получение максимальной урожайности 4,7 т/га, индекса листовой поверхности LAI 3,7 кв. м/кв. м и чистой продуктивности фотосинтеза 7,0 г/(кв. м · сут). Дальнейший рост уровня минерального питания приводил к снижению продуктивности. Выявлена прямая положительная связь между влажностью почвы и оптимальной дозой удобрений (синергизм факторов). Теоретический максимум урожайности по интерполяции Лагранжа составил 4,76 т/га, однако экономический анализ показал нецелесообразность его достижения из-за низкого прироста дохода. **Выводы.** Для условий Астраханского Заволжья яровой ячмень рекомендуется возделывать при режиме орошения 70-80-70 % наименьшей влагоемкости и внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$ .

**Ключевые слова:** яровой ячмень, орошение, минеральное питание, урожайность, фотосинтез, Астраханская область

**Источник финансирования:** работа выполнена в рамках инициативных исследований (хоздоговорная тема) в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук».

**Для цитирования:** Айтпаева А. А., Тютюма Н. В. Продуктивность ярового ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания в засушливых условиях Астраханской области // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 240–258. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-240-258>.

GENERAL AGRICULTURE, CROP SCIENCE

Original article

**Spring barley productivity depending on irrigation regime and mineral nutrition levels under arid conditions of Astrakhan region**

**Aigul A. Aitpayeva<sup>1</sup>, Natalia V. Tyutyuma<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Solenoye Zaymishche, Russian Federation

<sup>1</sup>arman.bisaliyev2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3898-5813>

<sup>2</sup>tutumany@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6582-2628>

**Abstract. Purpose:** to determine the impact of the irrigation regime and the level of mineral nutrition on the phenology, biometric and photosynthetic indicators, and yield of Kamyshinsky 23 spring barley variety under arid conditions in the Astrakhan Trans-Volga region. **Materials and methods.** A two-factor field experiment was carried out from 2018 to 2020 in Kharabalinsky district. Factor A (differentiated irrigation regime) included three options: maintaining pre-irrigation soil moisture at least 60-70-60 % of the lowest moisture capacity during the periods of sowing – tillering, tillering – ear-formation, grain filling – wax ripeness, at least 65-75-65 %, at least 70-80-70 %, respectively. Factor B – mineral nutrition level, included the following options: background application, N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>40</sub> + N<sub>20</sub>, N<sub>40</sub>P<sub>55</sub>K<sub>50</sub> + N<sub>30</sub>, N<sub>50</sub>P<sub>65</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>40</sub>. The data were processed using the methods of variance and correlation analysis, Lagrange interpolation. **Results.** The studies have shown that the duration of interphase periods decreases with improving moisture supply conditions in combination with mineral nutrition, but only up to a certain limit. The optimal irrigation regime (70-80-70 % of the lowest moisture capacity) in combination with the N<sub>40</sub>P<sub>55</sub>K<sub>50</sub> + N<sub>30</sub> dose ensured the maximum yield of 4.7 t/ha, leaf area index LAI of 3.7 sq. m/sq. m and net photosynthetic productivity of 7.0 g/(sq. m · day). A further increase in the level of mineral nutrition led to a decrease in productivity. A direct positive relationship was found between soil moisture and the optimal fertilizer application rate (factor synergism). The theoretical maximum yield, based on Lagrange interpolation, was 4.76 t/ha; however, an economic analysis showed that achieving this yield was impractical due to the low income increase. **Conclusions.** For the conditions of the Astrakhan Trans-Volga region, spring barley is recommended to be grown with an irrigation regime of 70-80-70 % of the lowest moisture capacity and the application of mineral fertilizers at a rate of N<sub>40</sub>P<sub>55</sub>K<sub>50</sub> + N<sub>30</sub>.

**Keywords:** spring barley, irrigation, mineral nutrition, yield, photosynthesis, Astrakhan region

**Funding:** the work was carried out as part of independent (contract-based) research project at the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

**For citation:** Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V. Spring barley productivity depending on irrigation regime and mineral nutrition levels under arid conditions of Astrakhan region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):240–258. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-240-258>.

**Введение.** В настоящее время в засушливых регионах юга России наблюдаются деграционные процессы, связанные с проявлением эрозии,

отрицательным балансом гумуса, преобладанием монокультуры картофеля [1–3]. Одним из путей выхода из кризисного состояния является переход к научно обоснованным севооборотам с обязательным включением в них зерновых культур.

Яровой ячмень для Астраханского Заволжья – это стратегическая культура, которую используют как для получения зерна, так и в качестве сидератов.

Технологиям возделывания ячменя, в т. ч. и с применением элементов биологического земледелия, оптимизацией режима орошения и минерального питания, в разных почвенно-климатических условиях посвящены труды отечественных и зарубежных ученых [4–6].

На юге России в севооборотах яровой ячмень часто располагают после многолетних бобовых трав (люцерны). После ярового ячменя, как правило, следуют картофель или овощные культуры. Возделывание ярового ячменя выступает в качестве агротехнического средства, сдерживающего распространение проволочника, периодически отмечаемого на посевах люцерны.

В последние годы все чаще встает вопрос о технологиях возделывания ячменя, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям, с элементами биологизации земледелия, оптимизированных применительно к режимам орошения и минеральному питанию [7–10].

Система минеральных удобрений при возделывании ячменя в адаптивно-ландшафтном земледелии должна учитывать фактическое содержание элементов минерального питания в почве и их вынос с планируемым урожаем [11].

Вместе с тем использование ярового ячменя в качестве сидератов положительно влияет на баланс органического вещества в почве благодаря запашке пожнивных и корневых остатков.

Цель исследований – определить влияние режима орошения и уровня

минерального питания на фенологию, биометрические и фотосинтетические показатели, урожайность ярового ячменя сорта Камышинский 23 в засушливых условиях в Астраханском Заволжье.

**Материалы и методы.** Задачи исследований предусматривали изучение совместного влияния орошения и минерального питания на биологические, морфологические характеристики, фотосинтетические показатели и урожайность ярового ячменя сорта Камышинский 23 в Харабалинском районе Астраханской области.

Опыт проводили в 2018–2020 гг. на серо-бурых почвах. Содержание гумуса в пахотном слое 1,0 %, подвижного фосфора (по Мачигину) – 18–22 мг/кг, обменного калия – 280–320 мг/кг, рН водной вытяжки – 7,5–7,8.

Климат района резко континентальный, засушливый. Сумма активных температур ( $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) за вегетационный период составляет 3200–3400  $^{\circ}\text{C}$ , количество осадков за период апрель – сентябрь – 120–150 мм.

Предшественник – люцерна 3-го года пользования. Объект исследований – яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Камышинский 23.

Опыт закладывали методом расщепленных делянок. Повторность опыта четырехкратная, учетная площадь одной делянки 100 м<sup>2</sup>. Под каждым вариантом опыта было занято 400 м<sup>2</sup>.

Вариант «фоновое внесение» (контроль) представлял собой посев ярового ячменя с минимальным внесением минеральных удобрений. Фосфорно-калийные удобрения вносили осенью под вспашку, азотные – весной перед посевом под культивацию. Азотные подкормки проводили в фазы кущения и выхода в трубку.

С целью защиты посевов от сорной растительности проводили опрыскивание гербицидом Секатор Турбо (0,15 л/га) в фазе кущения – выхода в трубку. Инсектицидные и фунгицидные обработки не проводили ввиду отсутствия экономического порога вредоносности.

Агротехника культуры была общепринятой для данной зоны и вклю-

чала в себя осеннюю вспашку (МТЗ-1221 + ППО-4-35) на глубину до 0,25 м; весной: боронование (МТЗ-82 + сцепка С11 + БЗСС-1) на глубину до 0,15 м, культивацию (МТЗ-82 + КПС-5,0) на глубину 0,06 м, посев (МТЗ-82 + СПУ-6) на глубину до 0,05 м, прикатывание (МТЗ-82 + ЗКВГ-1,4); вегетационные поливы дождевальными машинами «Фрегат-М» и уборку прямым комбайнированием комбайном СК-5 «Нива-Эффект».

На контрольном варианте (фактор А, режим 60-70-60 % наименьшей влагоемкости (НВ)) поддерживалась влажность в слое 0,0–0,4 м: в периоды посева – всходов, всходов – кущения не ниже 60 % НВ; в периоды кущения – выхода в трубку и выхода в трубку – колошения (критические периоды) не ниже 70 % НВ; в период налива зерна – молочной спелости не ниже 60 % НВ с последующим снижением до 50–60 % НВ в период восковой спелости. На опытных вариантах нижний порог влажности был увеличен на 5 % (режим 65-75-65 % НВ) и на 10 % (режим 70-80-70 % НВ) относительно контроля с сохранением той же периодизации фаз развития. Схема опыта представлена в таблице 1.

**Таблица 1 – Схема опыта**

В кг д. в./га

**Table 1 – Experimental design**

In kg a. i./ha

Фактор А (режим орошения, % НВ)	Фактор Б (доза минеральных удобрений)
60-70-60 % НВ (контроль)	Фоновое внесение N <sub>20</sub> P <sub>35</sub> K <sub>30</sub> (контроль)
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub> + N <sub>20</sub>
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub> + N <sub>30</sub>
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>40</sub>
65-75-65 % НВ	Фоновое внесение N <sub>20</sub> P <sub>35</sub> K <sub>30</sub> (контроль)
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub> + N <sub>20</sub>
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub> + N <sub>30</sub>
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>40</sub>
70-80-70 % НВ	Фоновое внесение N <sub>20</sub> P <sub>35</sub> K <sub>30</sub> (контроль)
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub> + N <sub>20</sub>
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub> + N <sub>30</sub>
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>40</sub>

Для определения влажности почвы использовали термостатно-весовой метод (ГОСТ 28268-89); фенологические наблюдения проводили по методике Госсорткомиссии; индекс листовой поверхности (LAI) определяли методом высечек; чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) рассчитывали по методике А. А. Ничипоровича; урожайность учитывали методом сплошной уборки с приведением к стандартной влажности (14 %); статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа (Б. А. Доспехов, 1985).

**Результаты и их обсуждение.** Продолжительность фаз развития ячменя в Харабалинском районе Астраханской области зависела от режима орошения и уровня минерального питания.

Отмечалась тенденция сокращения периода перехода от одной фазы к другой, вызванная улучшением условий влагообеспеченности. Вместе с тем была выявлена зависимость в форме оптимума. Увеличение доз удобрений сначала вызывало ускорение прохождения фенофаз, но после достижения порогового значения любое дальнейшее увеличение дозы минеральных удобрений приводило к удлинению сроков (таблица 2).

Исследования показали, что оросительная норма по вариантам опыта изменялась от 2100 м<sup>3</sup>/га при режиме орошения 60-70-60 % НВ до 2520 м<sup>3</sup>/га при режиме орошения 70-80-70 % НВ (таблица 3).

Режим орошения поддерживался проведением от пяти до семи вегетационных поливов. В критические фазы развития ячменя: кущение – выход в трубку и выход в трубку – колошение, нижний порог влажности почвы увеличивался в связи с возрастанием потребности растений во влаге (таблица 4).

Поливная норма устанавливалась дифференцированно в зависимости от варианта по фактору А (режим орошения), она изменялась от 350–500 м<sup>3</sup>/га на варианте 60-70-60 % НВ до 300–430 м<sup>3</sup>/га на варианте 70-80-70 % НВ, занимая промежуточное значение 335–450 м<sup>3</sup>/га на варианте 65-75-65 % НВ.

В сут

In days

**Таблица 2 – Продолжительность фаз развития ярового ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания, среднее за 2018–2020 гг.**

**Table 2 – Duration of spring barley development phases depending on irrigation regime and mineral nutrition level, average for 2018–2020**

Фактор А (орошение)	Фактор Б (удобрение)		Всходы	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Цветение	Молочная спелость	Восковая спелость	Полная спелость
	Основное удобрение	Подкормка								
60-70-60 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		14 ± 1	12 ± 2	16 ± 1	20 ± 1	10 ± 2	12 ± 2	12 ± 2	7 ± 2
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	12 ± 2	10 ± 2	15 ± 1	19 ± 1	9 ± 2	11 ± 2	10 ± 2	6 ± 2
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	11 ± 2	10 ± 1	14 ± 2	18 ± 2	8 ± 1	10 ± 1	10 ± 1	5 ± 1
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	12 ± 1	11 ± 1	14 ± 1	18 ± 1	8 ± 2	10 ± 2	11 ± 2	5 ± 2
65-75-65 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		12 ± 2	10 ± 2	15 ± 2	19 ± 1	9 ± 2	11 ± 2	11 ± 2	6 ± 2
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	10 ± 2	9 ± 2	14 ± 2	17 ± 2	8 ± 2	10 ± 2	10 ± 2	5 ± 2
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	10 ± 2	9 ± 2	14 ± 1	17 ± 1	8 ± 1	10 ± 1	9 ± 1	4 ± 1
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	11 ± 1	10 ± 1	14 ± 2	17 ± 2	8 ± 1	11 ± 1	9 ± 2	5 ± 1
70-80-70 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		11 ± 2	9 ± 2	14 ± 2	18 ± 2	8 ± 2	10 ± 2	10 ± 2	5 ± 2
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	10 ± 2	12 ± 2	14 ± 2	16 ± 2	7 ± 2	9 ± 1	9 ± 2	4 ± 2
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	10 ± 1	12 ± 1	13 ± 1	16 ± 1	6 ± 1	9 ± 1	9 ± 1	4 ± 1
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	10 ± 2	13 ± 1	14 ± 1	17 ± 2	6 ± 1	10 ± 1	10 ± 1	5 ± 1

**Таблица 3 – Режим орошения ярового ячменя**  
**Table 3 – Irrigation regime for spring barley**

Фактор А (орошение)	Фактор Б (удобрение)		Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га
	Основное удобрение	Подкормка	
1) 60-70-60 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		2100
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	
2) 65-75-65 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		2310
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	
3) 70-80-70 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		2520
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	

**Таблица 4 – Детализация сроков поливов и поливных норм при орошении ярового ячменя**

**Table 4 – Detailed irrigation timing and irrigation rates for spring barley irrigation**

Межфазный период	Тип полива	60-70-60 % НВ		65-75-65 % НВ		70-80-70 % НВ	
		Порядковый номер полива	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Порядковый номер полива	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га, для режима орошения	Порядковый номер полива	Поливная норма, м <sup>3</sup> /га, для режима орошения
Посев – всходы, всходы – кущение	Вегетационный	1	500	1	450	1	430
Кущение – выход в трубку	Вегетационный	2, 3	350	2, 3	335	2, 3	300
Выход в трубку – колошение – цветение	Вегетационный	4	400	4, 5	370	4, 5	320
Налив зерна – молочная спелость	Вегетационный	5	500	6	450	6,7	425
Итого	–	–	2100	–	2310	–	2520

Расчетная глубина промачивания почвы при однократном поливе, определенная на основе поливных норм и водно-физических свойств серо-бурых почв (плотность сложения 1,30–1,35 т/м<sup>3</sup>, наименьшая влагоемкость 24–26 % от массы сухой почвы), составила: при режиме 60-70-60 % НВ –

0,35–0,40 м; при режиме 65-75-65 % НВ – 0,30–0,40 м; при режиме 70-80-70 % НВ – 0,28–0,38 м. Меньшая глубина промачивания при более высоком пороге влажности объясняется более частыми поливами и меньшей поливной нормой.

Суммарное водопотребление на посевах ячменя в среднем за рассматриваемый период колебалось от 2941 м<sup>3</sup>/га (режим орошения 60-70-60 % НВ) до 3468 м<sup>3</sup>/га (режим орошения 70-80-70 % НВ). С возрастанием значений суммарного водопотребления наблюдалось снижение коэффициента водопотребления (таблица 5).

Улучшение условий влагообеспеченности положительно влияло на увеличение биометрических показателей ячменя, но только до определенного момента, после которого наблюдался обратный эффект, приводящий к их снижению (таблица 6).

Настоящее исследование позволило установить статистически значимую зависимость продуктивности ячменя и основных фотосинтетических параметров от водного и минерального режимов. Повышение влагообеспеченности почвы оказывало последовательное положительное влияние на все изучаемые показатели.

Значения индекса листовой поверхности (LAI) закономерно возрастали с повышением уровня орошения. Максимальный LAI (3,7 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>) был достигнут при сочетании режима орошения 70-80-70 % НВ и умеренно интенсивного питания (N<sub>40</sub>P<sub>55</sub>K<sub>50</sub> + N<sub>30</sub>). Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), характеризующая эффективность работы листового аппарата, также положительно реагировала на улучшение водоснабжения. Ее увеличение от 5,8 до 7,0 г/(м<sup>2</sup> · сут) (рост на 21 %) в указанном выше варианте говорит не только о количественном увеличении листовой массы, но и о качественном улучшении ее физиологического состояния. Оптимальным водным режимом для достижения максимальной фотосинтетической активности и урожайности ячменя является поддержание влажности почвы не ниже 70-80-70 % НВ.

**Таблица 5 – Суммарное водопотребление на посевах ярового ячменя сорта Камышинский 23, среднее за 2018–2020 гг.**

**Table 5 – Total water consumption in Kamyshinsky 23 spring barley variety, average for 2018–2020**

Фактор А (орошение)	Фактор Б (удобрение)		Изменение запасов влаги в корнеобитаемом слое поч- вы за вегетационный период (посев – уборка), м <sup>3</sup> /га	Осадки, м <sup>3</sup> /га	Ороситель- ная норма, м <sup>3</sup> /га	Суммарное водопотреб- ление, м <sup>3</sup> /га	Коэффициент водопотреб- ления, м <sup>3</sup> /т
	Основное удобрение	Подкормка					
1) 60-70-60 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		303	538	2100	2941	1225
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	351	538	2100	2989	1068
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	384	538	2100	3022	817
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	368	538	2100	3006	884
2) 65-75-65 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		325	538	2310	3173	1175
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	368	538	2310	3216	1005
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	396	538	2310	3244	772
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	384	538	2310	3232	829
3) 70-80-70 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		340	538	2520	3398	1133
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	381	538	2520	3439	955
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	410	538	2520	3468	738
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	392	538	2520	3450	784

**Таблица 6 – Биометрические показатели ярового ячменя сорта Камышинский 23 в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания, среднее за 2018–2020 гг.**

**Table 6 – Biometric indicators of Kamyshinsky 23 spring barley variety, depending on irrigation regime and mineral nutrition level, average for 2018–2020**

Фактор А (орошение)	Фактор Б (удобрение)		Высота растения, м	Длина колоса, м	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
	Основное удобрение	Подкормка				
1) 60-70-60 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		0,63	0,040	10,0	38,0
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	0,65	0,050	12,0	40,0
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	0,67	0,060	14,0	43,0
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	0,66	0,050	13,0	42,0
2) 65-75-65 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		0,65	0,050	12,0	40,0
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	0,67	0,060	14,0	42,0
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	0,69	0,060	15,0	46,0
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	0,68	0,060	14,0	44,0
3) 70-80-70 % НВ	Фоновое внесение (контроль)		0,67	0,070	14,0	42,0
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	0,69	0,080	15,0	45,0
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	0,70	0,090	16,0	48,0
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	0,69	0,080	15,0	46,0
НСП <sub>05</sub> А			0,01	0,003	0,7	1,3
НСП <sub>05</sub> В			0,01	0,003	0,7	1,3
НСП <sub>05</sub> АВ			0,02	0,005	1,1	1,9

Система минерального питания оказала решающее влияние на эффективность использования влаги растениями.

Замена фонового внесения научно обоснованными дозами NPK и подкормками азотом приводила к резкому скачку всех показателей. Это подтверждает тезис о синергизме водного и минерального факторов [12].

На всех вариантах орошения прослеживалась оптимальная доза удобрений –  $N_{40}P_{55}K_{50}$  с подкормкой  $N_{30}$ , при которой наблюдались максимальные значения урожайности, LAI и ЧПФ (таблица 7).

**Таблица 7 – Фотосинтетические показатели ярового ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания (среднее за 2018–2020 гг.)**

**Table 7 – Photosynthetic performance of spring barley depending on irrigation regime and mineral nutrition level (average for 2018–2020)**

Фактор А (орошение)	Фактор Б (удобрение)	Урожайность, т/га	Индекс листовой поверхности (LAI, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> )	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/(м <sup>2</sup> · сут)
1) 60-70-60 % НВ	Фоновое внесение	2,4	2,2 ± 0,1	4,0 ± 0,5
	$N_{30}P_{45}K_{40} + N_{20}$	2,8	2,5 ± 0,2	4,5 ± 0,7
	$N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$	3,7	3,1 ± 0,1	5,8 ± 0,7
	$N_{50}P_{65}K_{60} + N_{40}$	3,4	2,9 ± 0,1	5,3 ± 0,6
2) 65-75-65 % НВ	Фоновое внесение	2,7	2,4 ± 0,1	4,3 ± 0,6
	$N_{30}P_{45}K_{40} + N_{20}$	3,2	2,7 ± 0,2	5,0 ± 0,8
	$N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$	4,2	3,4 ± 0,2	6,3 ± 0,7
	$N_{50}P_{65}K_{60} + N_{40}$	3,9	3,2 ± 0,1	6,0 ± 0,6
3) 70-80-70 % НВ	Фоновое внесение	3,0	2,6 ± 0,1	4,8 ± 0,6
	$N_{30}P_{45}K_{40} + N_{20}$	3,6	2,9 ± 0,2	5,5 ± 0,7
	$N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$	4,7	3,7 ± 0,2	7,0 ± 0,8
	$N_{50}P_{65}K_{60} + N_{40}$	4,4	3,5 ± 0,2	6,6 ± 0,7

Дальнейшее увеличение доз до  $N_{50}P_{65}K_{60} + N_{40}$  приводило к достоверному снижению продуктивности по сравнению с оптимальным вариантом. Например, при режиме орошения 70-80-70 % НВ урожайность падала с 4,7 до 4,4 т/га, ЧПФ – с 7,0 до 6,6 г/(м<sup>2</sup> · сут), индекс листовой поверхности – с 3,7 до 3,5 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Это может быть объяснено нарушением баланса

питательных элементов, избыточным вегетативным ростом в ущерб репродуктивному развитию, возможным осмотическим стрессом или негативным влиянием на микробиоту ризосферы.

Урожайность ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания представлена в таблице 8.

**Таблица 8 – Урожайность ячменя в зависимости от режима орошения и уровня минерального питания, среднее за 2018–2020 гг.**

В т/га

**Table 8 – Barley yield depending on irrigation regime and mineral nutrition level, average for 2018–2020**

In t/ha

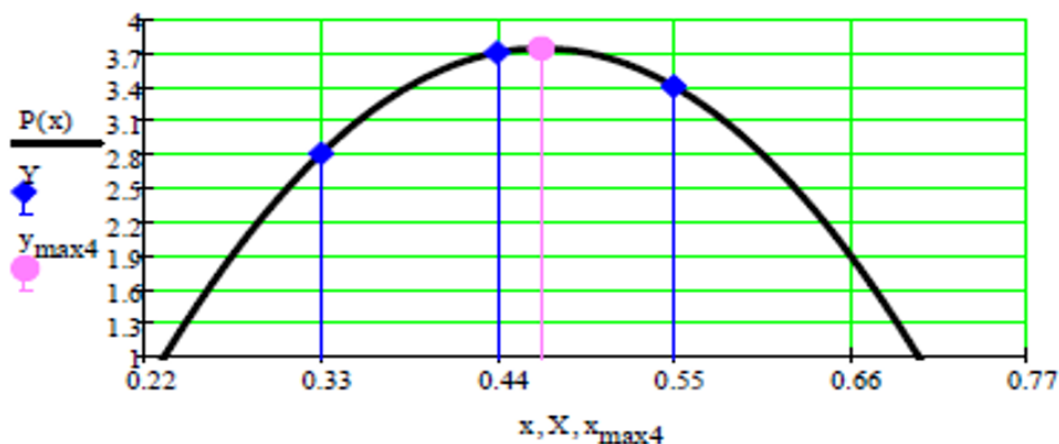
Фактор А (орошение)	Фактор Б (удобрение)		Урожайность
	Основное удобрение	Подкормка	
1) 60-70-60 % НВ	Фоновое внесение		2,4
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	2,8
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	3,7
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	3,4
2) 65-75-65 % НВ	Фоновое внесение		2,7
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	3,2
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	4,2
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	3,9
3) 70-80-70 % НВ	Фоновое внесение		3,0
	N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>20</sub>	3,6
	N <sub>40</sub> P <sub>55</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>30</sub>	4,7
	N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>60</sub>	N <sub>40</sub>	4,4
НСП <sub>05</sub> А			0,2
НСП <sub>05</sub> В			0,2
НСП <sub>05</sub> АВ			0,3

Установлена корреляционная зависимость урожайности ярового ячменя, возделываемого при орошении (вариант орошения 60-70-60 % НВ), от дозы внесения минеральных удобрений, выраженная уравнением нелинейной параболы  $P1(x) = -7,1 + 46,4x - 49,6x^2$ .

Интерполяция урожайности ячменя в зависимости от минерального питания методом Лагранжа продемонстрирована на рисунке 1.

Анализ данных рисунка 1 показал, что улучшение минерального питания способствует повышению урожайности ячменя до 3,7 т/га при внесении удобрений в дозе N<sub>40</sub>P<sub>55</sub>K<sub>50</sub> + N<sub>30</sub> (0,44 т/га в физическом весе). Максимальная урожайность достигнута при дозе N<sub>40</sub>P<sub>55</sub>K<sub>50</sub> + N<sub>30</sub>.

симальная теоретическая урожайность (3,74 т/га) достигается при дозе минеральных удобрений 0,47 т/га в физическом весе.



**Рисунок 1 – Теоретический и экспериментальный максимумы урожайности ячменя в зависимости от дозы минеральных удобрений (вариант орошения 60-70-60 % наименьшей влагоемкости)**

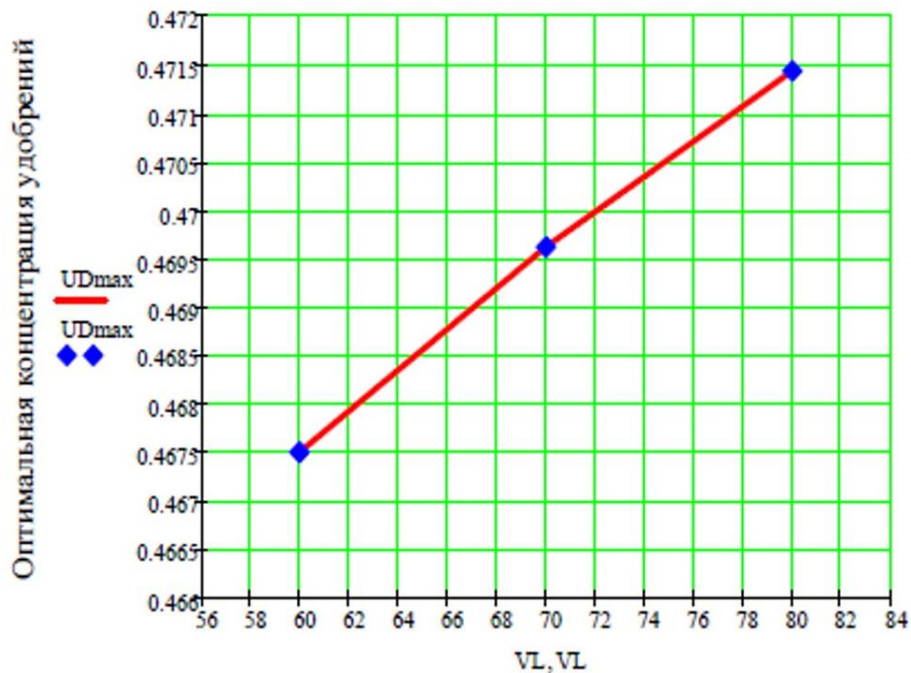
**Figure 1 – Theoretical and experimental maximum barley yields depending on the dose of mineral fertilizers (irrigation option 60-70-60% of the lowest moisture capacity)**

Вместе с тем дальнейшее увеличение дозы минеральных удобрений экономически нецелесообразно. Например, рост урожайности на 0,04 т/га требует дополнительных затрат на удобрения порядка 1085 руб., а доход от реализации этого прироста (при цене ячменя 16000 руб./т) составляет лишь 640 руб. Подобная тенденция наблюдается и при остальных режимах орошения ярового ячменя.

Полученные результаты обобщены в итоговых графиках, позволяющих выявить ключевые агрономические и экономические закономерности (рисунки 2, 3).

На рисунке 2 отражена связь между рассчитанным значением  $x_{opt}$  (минеральные удобрения) и соответствующим уровнем влажности. Наблюдается устойчивая положительная корреляция, близкая к линейной. С повышением влажности от 60-70-60 до 70-80-70 % НВ оптимальная доза удобрений в физическом весе увеличивается от 0,4675 до 0,4714 т/га. Выявленная тенденция свидетельствует о синергизме водного и питатель-

ного режимов: в условиях более высокой влажности растения способны эффективнее усваивать элементы минерального питания, что позволяет повышать дозу удобрений без риска осмотического стресса. Полученные данные указывают на необходимость корректировки удобрительных мероприятий с учетом прогнозируемой или фактической влагообеспеченности.



**Рисунок 2 – Зависимость оптимальной концентрации удобрений от влажности почвы**

**Figure 2 – Dependence of optimal fertilizer concentration on soil moisture**



**Рисунок 3 – Зависимость урожая ячменя от концентрации удобрений**

**Figure 3 – Dependence of barley yield on fertilizer concentration**

На рисунке 3 представлена связь между  $x_{\text{opt}}$  и  $y_{\text{max}}$  (урожайность). Точки (0,4675; 3,738), (0,4696; 4,247) и (0,4714; 4,757) формируют выраженную нелинейную (близкую к экспоненциальной) зависимость. Незначительное увеличение оптимальной дозы удобрений (на 0,8 % в диапазоне от 60-70-60 до 70-80-70 % НВ) сопровождается существенным приростом максимальной урожайности – на 27 %. Данный факт демонстрирует высокий потенциал отзывчивости культуры на точное регулирование питательного режима в благоприятных условиях увлажнения.

Важным элементом исследования является включение экономического анализа, позволяющего оценить целесообразность перехода от экспериментальной точки (средняя доза 0,44 т/га) к теоретическому оптимуму. Экономическая оправданность использования теоретически оптимальной дозы минеральных удобрений повышается в условиях лучшей влагообеспеченности. Решение о выборе стратегии должно приниматься на основе сравнения полученного отношения с нормативным уровнем рентабельности.

Применение метода квадратичной интерполяции Лагранжа к экспериментальным данным по трем грациям влажности почвы позволило определить дифференцированные оптимальные дозы удобрений. Итоговые графики демонстрируют две фундаментальные закономерности:

- синергизм факторов – между влажностью почвы и оптимальной дозой удобрений существует прямая положительная связь, что объясняется повышением доступности питательных элементов при оптимальном водном режиме;

- нелинейный характер отклика – зависимость «доза удобрений – урожайность» в области оптимума характеризуется высокой эластичностью: небольшое увеличение дозы сопровождается приростом продуктивности.

Включение экономического блока в анализ позволяет сделать вывод о том, что теоретический оптимум минерального питания не всегда тождествен экономическому. Полученные результаты могут служить основой

для разработки адаптированных к условиям увлажнения рекомендаций по применению удобрений.

**Выводы.** Исследования показали, что оптимальное сочетание водного и питательного режимов является ключевым фактором получения высоких урожаев ярового ячменя в аридных условиях в Астраханской области. Наибольшая продуктивность достигнута при режиме орошения 70-80-70 % НВ и внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{40}P_{55}K_{50} + N_{30}$ .

### Список источников

1. Безуглова О. С., Назаренко О. Г., Ильинская И. Н. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2(83). С. 10–15. EDN: KWOАНВ.
2. Геоинформационный анализ опустынивания Северо-Западного Прикаспия / К. Н. Кулик, В. И. Петров, В. Г. Юферев, Н. А. Ткаченко, С. С. Шинкаренко // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2(83). С. 16–24. EDN: TJYXNB.
3. Плескачев Ю. Н., Костин М. В. Деградация земель в Нижнем Поволжье // Полевые исследования. 2020. Вып. 7. С. 124–133. DOI: 10.22162/2500-4328-2020-7-124-133. EDN: ERNEZO.
4. Грязнов А. А. Ячмень голозерный: монография. Челябинск: ЮУрГАУ, 2019. 384 с. EDN: HVCLDT.
5. Панихина Л. В., Щенникова И. Н. Особенности морфологических реакций коллекционных образцов ярового ячменя на увеличение плотности посева // Российская сельскохозяйственная наука. 2025. № 3. С. 14–20. DOI: 10.7868/s3034582025030036. EDN: FDOYSB.
6. Optimizing irrigation and nitrogen fertilizer regimes to increase the yield and nitrogen utilization of Tibetan barley in Tibet / Sh. Wang, Ju. Peng, W. Dong, Z. Wei, S. Uz. Zafar, T. Jin, E. Liu // Agronomy. 2024. Vol. 14, № 8. P. 1775. DOI: 10.3390/agronomy14081775. EDN: PHKWTG.
7. Effect of irrigation scheduling, hydrogel application and foliar micronutrients on growth parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) / R. Yadav, S. Kumar, M. Z. Siddiqui, Ja. P. Bagri, M. Yadav, Suryabhan, P. Kumar, V. Dheer, K. K. Singh, Lakshman // Journal of Experimental Agriculture International. 2025. Vol. 47, № 11. P. 109–123. DOI: 10.9734/jeai/2025/v47i113854. EDN: BVUNER.
8. Al-Zayadneh W., Hayat F., Alyafei M. Impacts of municipal treated wastewater on growth performance and nutritional composition of barley (*Hordeum vulgare* L.) under arid regions conditions // Journal of Sustainable Agriculture and Environment. 2025. Vol. 4, № 4. DOI: 10.1002/sae2.70089. EDN: WFZJWW.
9. Неверов А. А., Верещагина А. С. Влияние регуляторов роста и погодных условий на минеральное питание и продуктивность ячменя // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2(66). С. 27–35. DOI: 10.18286/1816-4501-2024-2-27-35. EDN: FMEMRE.
10. The influence of the mixture of vermicompost and sulphur-perlite-containing waste on the yield and the quality of crops / M. O. Baikhamurova, G. A. Sainova, A. D. Akbasova, G. D. Anarbekova, M. A. Ozler // Journal of Water and Land Development. 2021. № 49(4–6). P. 213–218. DOI: 10.24425/jwld.2021.137114. EDN: ROIQHW.

11. Агрохимические средства в адаптивно-ландшафтном земледелии: монография / Л. М. Державин, В. Г. Сычев, А. С. Цыгуткин, В. Ф. Ладонин, И. А. Шильников, Н. И. Аканова, И. В. Колокольцева, Т. А. Яковлева, Н. В. Войтович, Б. А. Сушеница, В. Н. Капранов, Е. В. Курганов; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Рос. акад. с.-х. наук, Совет по агроландшафт. и адапт.-ландшафт. земледелию, Всерос. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. М.: ВНИИА, 2006. 222 с. EDN: QKXXWP.

12. Свечников А. К., Замятин С. А. Динамика продуктивной влаги в дерново-подзолистой почве при возделывании ярового ячменя // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 6. С. 1112–1123. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1112-1123. EDN: RVORSP.

## References

1. Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N., 2020. *Dinamika degradatsii zemel' v Rostovskoy oblasti* [Land degradation dynamics in Rostov region]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], vol. 26, no. 2(83), pp. 10-15, EDN: KWOAHB. (In Russian).

2. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferov V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S., 2020. *Geoinformatsionnyy analiz opustynivaniya Severo-Zapadnogo Prikaspiya* [Geoinformation analysis of desertification of the Northwestern Caspian region]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], vol. 26, no. 2(83), pp. 16-24, EDN: TJYXNB. (In Russian).

3. Pleskachev Yu.N., Kostin M.V., 2020. *Degradatsiya zemel' v Nizhnem Povolzh'ye* [Land degradation in the Lower Volga region]. *Polevye issledovaniya* [Field Researches], iss. 7, pp. 124-133, DOI: 10.22162/2500-4328-2020-7-124-133, EDN: ERNEZO. (In Russian).

4. Gryaznov A.A., 2019. *Yachmen' golozernyy: monografiya* [Hull-less Barley: monograph]. Chelyabinsk, SUSU, 384 p., EDN: HVCLDT. (In Russian).

5. Panikhina L.V., Shchennikova I.N., 2025. *Osobennosti morfologicheskikh reaktsiy kollektсионnykh obraztsov yarovogo yachmenya na uvelichenie plotnosti poseva* [Features of morphological reactions of collection samples of spring barley to an increase in crop density]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Science], no. 3, pp. 14-20, DOI: 10.7868/s3034582025030036, EDN: FDOYSB. (In Russian).

6. Wang Sh., Peng Ju., Dong W., Wei Z., Zafar S.Uz., Jin T., Liu E., 2024. Optimizing irrigation and nitrogen fertilizer regimes to increase the yield and nitrogen utilization of Tibetan barley in Tibet. *Agronomy*, vol. 14, no. 8, p. 1775, DOI: 10.3390/agronomy14081775, EDN: PHKWTG.

7. Yadav R., Kumar S., Siddiqui M.Z., Bagri Ja.P., Yadav M., Suryabhan, Kumar P., Dheer V., Singh K.K., Lakshman, 2025. Effect of irrigation scheduling, hydrogel application and foliar micronutrients on growth parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, vol. 47, no. 11, pp. 109-123, DOI: 10.9734/jeai/2025/v47i113854, EDN: BVUNER.

8. Al-Zayadneh W., Hayat F., Alyafei M., 2025. Impacts of municipal treated wastewater on growth performance and nutritional composition of barley (*Hordeum vulgare* L.) under arid regions conditions. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, vol. 4, no. 4, DOI: 10.1002/sae2.70089, EDN: WFZJWW.

9. Neverov A.A., Vereshchagina A.S., 2024. *Vliyanie regulatorov rosta i pogodnykh usloviy na mineral'noe pitanie i produktivnost' yachmenya* [The influence of growth regulators and weather conditions on mineral nutrition and productivity of barley]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy], no. 2(66), pp. 27-35, DOI: 10.18286/1816-4501-2024-2-27-35, EDN: FMEMRE. (In Russian).

10. Baikhamurova M.O., Sainova G.A., Akbasova A.D., Anarbekova G.D., Ozler M.A., 2021. The influence of the mixture of vermicompost and sulphur-perlite-containing waste on

the yield and the quality of crops. Journal of Water and Land Development, no. 49(4-6), pp. 213-218, DOI: 10.24425/jwld.2021.137114, EDN: ROIQHW.

11. Derzhavin L.M., Sychev V.G., Tsygutkin A.S., Ladonin V.F., Shilnikov I.A., Akanova N.I., Kolokoltseva I.V., Yakovleva T.A., Voitovich N.V., Sushenitsa B.A., Kapranov V.N., Kurganov E.V., 2006. *Agrokhimicheskie sredstva v adaptivno-landshaftnom zemledelii: monografiya* [Agrochemical Products in Adaptive Landscape Agriculture: monograph]. Ministry of Agriculture of RF, Russian Academy of Agricultural Sciences, Council on Agrolandscape and Adaptive Landscape Agriculture, All-Russian Scientific Research Institute of Agro-Chemistry named after. D. N. Pryanishnikov, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after. K. A. Timiryazev. Moscow, VNIIA, 222 p., EDN: QKXXWP. (In Russian).

12. Svechnikov A.K., Zamyatin S.A., 2024. *Dinamika produktivnoy vlagi v dernovo-podzolistoy pochve pri vozdeleyvanii yarovogo yachmenya* [Productive moisture dynamics in sod-podzolic soil under spring barley cultivation]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agrarian Science of the Euro-North-East], vol. 25, no. 6, pp. 1112-1123, DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1112-1123, EDN: RVORSP. (In Russian).

---

### ***Информация об авторах***

**А. А. Айтпаева** – научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук (416251, Астраханская обл., м. о. Черноярский, с. Соленое Займище, кв-л Северный, д. 8), arman.bisaliev2012@yandex.ru, AuthorID: 256005, ORCID: 0000-0003-3898-5813;

**Н. В. Тютюма** – директор, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук (416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, кв-л Северный, д. 8), tutumanv@list.ru, AuthorID: 456521, ORCID: 0000-0001-6582-2628.

### ***Information about the authors***

**A. A. Aitpayeva** – Researcher, Candidate of Agricultural Sciences (PhD equivalent), Associate Professor, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoye Zaymishche village, Severny quarter, 8), arman.bisaliev2012@yandex.ru, AuthorID: 256005, ORCID: 0000-0003-3898-5813;

**N. V. Tyutyuma** – Director, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (416251, Astrakhan region, Chernoyarsky district, Solenoye Zaymishche village, Severny quarter, 8), tutumanv@list.ru, AuthorID: 456521, ORCID: 0000-0001-6582-2628.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.*

*All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 20.03.2026; одобрена после рецензирования 23.06.2026; принята к публикации 26.06.2026.*

*The article was submitted 20.03.2026; approved after reviewing 23.06.2026; accepted for publication 26.06.2026.*