

FTAXP 68.85.31  
ӘОЖ 338.43:004.8  
JEL Q16, O33, C23

<https://doi.org/10.46914/1562-2959-2026-1-3-28-42>

**ЖАКУПОВА Б.А.,<sup>1</sup>**

Э.Ғ.К., аға оқытушы.

e-mail: bzhakupova@zhubanov.edu.kz

ORCID ID: 0000-0001-6965-6006

**АХМЕТОВА Г.Т.,<sup>2</sup>**

Э.Ғ.К., қауымдастырылған профессор.

e-mail: esentemir@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-9510-8695

**ӨТЕШОВА А.Қ.,<sup>\*1</sup>**

ДБА., аға оқытушы.

\*e-mail: alma\_081@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-6119-3860

**ЖУМАГАЛИЕВА Б.З.,<sup>3</sup>**

Э.Ғ.К., қауымдастырылған профессор.

e-mail: bakytgul2015@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-4238-6760

<sup>1</sup>Қ. Жұбанов атындағы

Ақтөбе өңірлік университеті,

Ақтөбе қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Х. Досмухамедов атындағы

Атырау университеті,

Атырау қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Астана Халықаралық университеті,

Астана қ., Қазақстан

## **ҚАЗАҚСТАННЫҢ АГРОӨНЕРКӘСІПТІК КЕШЕНІНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ЕНГІЗУ МӘСЕЛЕЛЕРІ: ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖӘНЕ ШЕТЕЛДІК ТӘЖІРИБЕ**

### **Андатпа**

Аграрлық сектордың цифрлық трансформациясы бүгінгі таңда тамақ қауіпсіздігін қамтамасыз етудің стратегиялық міндетіне айналды. Қазақстан 222 млн га ауыл шаруашылығы жерімен мол ресурсқа ие болса да, саланың ЖІӨ-дегі үлесі 4,7–5,1%-дан аспайды. Бұл алшақтықты жоюда жасанды интеллект (ЖИ) технологиялары маңызды рөл атқара алады. Зерттеудің мақсаты – Қазақстан АӨК-нде жасанды интеллект технологияларын енгізудің заңдылықтарын анықтау, жасанды интеллект инвестицияларының ауыл шаруашылығы өндірісіне әсерін сандық бағалау және мемлекеттік саясат үшін нақты практикалық ұсынымдар тұжырымдау. Зерттеудің ғылыми маңыздылығы: Қазақстан аудандары бойынша панельдік деректерде алғаш рет жасанды интеллект капиталының икемділік коэффициенті бағаланды. Тәжірибелік маңыздылығы: нәтижелер аграрлық секторды цифрландыру стратегиясын жасауда тікелей қолданылуы мүмкін. Әдіснама: 2021–2025 жж. 47 аудан бойынша анықталған деректерде Кобб–Дуглас өндірістік функциясы тіркелген эффекттер моделімен бағаланды (228 бақылау,  $R^2 = 0,891$ ). Нәтижелер: жасанды интеллект капиталының икемділік коэффициенті 0,312 болып анықталды ( $p < 0,001$ ). Дәлдікті егіншілік 45-тен 261 мың гектарға дейін өсті, AgriTech инвестициялары төрт есе артты. Цифрлық инфрақұрылымның жеткіліксіздігі мен мамандар тапшылығы, басты кедергілер. Қазақстанның аграрлық саясатын жасаушылар, AgriTech компаниялары және шаруашылық иелері үшін практикалық бағыттар ұсынады: ашық API ұлттық агродеректер платформасы, ауылдық байланыс инфрақұрылымын субсидиялау, шағын шаруашылықтарға арналған гранттық бағдарлама.

**Тірек сөздер:** жасанды интеллект, агроөнеркәсіптік кешен, цифрландыру, дәлдікті егіншілік, AgriTech, панельдік деректер, смарт-фарминг.

## Кіріспе

Дүниежүзінің тамақ қауіпсіздігіне деген жаһандық сұраныс пен климаттың өзгеруі аграрлық өндірісте сапалы жаңа тәсілдерді талап етеді. Жасанды интеллект (ЖИ) технологиялары – дәл егіншілік жүйелері, машиналық оқытуға негізделген өнімділікті болжау, беспилотты аппараттар мониторингі, өсімдік ауруларын автоматты диагностикасы ауыл шаруашылығы менеджментінің мүлдем жаңа деңгейін ашады [1, 2].

Қазақстан 222 млн га ауыл шаруашылығы жерімен (оның 24 млн га егістік) әлемде тоғызыншы орында тұрады. Алайда ҰСБ деректері бойынша АӨК-нің ЖІӨ-дегі үлесі 2021–2024 жж. 4,7–5,1% аралығында тұрақтады, ал Бразилия, Австралия, Аргентинада бұл көрсеткіш 6–9%-ды тұрақты түрде басып отырады. Бұл алшақтықтың басты себебі – саланың технологиялық деңгейінің төмендігі.

Іс жүзінде жылжу баяу: ресми деректерге сәйкес, цифрлық технологияларды қолданатын ауыл шаруашылығы өндірушілерінің үлесі әлі де елеусіз болып отыр, ал дәлдікті егіншілік элементтері негізінен пилоттық шаруашылықтарда ғана қолданылуда [3]. Сонымен бірге отандық ғылымда жасанды интеллект инвестицияларының аграрлық өнімге нақты үлесін сандық бағалайтын зерттеулер жоқтың қасы.

Зерттеудің өзектілігі үш факторға негізделеді. Біріншіден, «Цифрлы Қазақстан» тұжырымдамасы мен АӨК-ті дамытудың ұлттық жобасы саланы цифрландырудың нақты бағдарламасын талап етеді. Екіншіден, әлемдік AgriTech нарығы 2023 ж. 22,5 млрд USD-қа жетіп, 2028 ж. 41 млрд USD болады деп болжалуда [4], кешеуілдеу технологиялық артта қалуға апарады. Үшіншіден, тек ЖИ-инвестициялары мен аграрлық өнімнің арасындағы байланысты панельдік деректерде бағалайтын отандық эмпирикалық зерттеу жоқ.

Зерттеудің мақсаты-Қазақстан АӨК-нде жасанды интеллект технологияларын енгізуді кешенді талдау, ЖИ-капиталының аграрлық өнімге қосқан үлесін Кобб-Дуглас функциясы арқылы бағалау және халықаралық тәжірибеге негізделген нақты ұсынымдар тұжырымдау.

Зерттеудің міндеттері: 2021–2025 жж. АӨК цифрландыру динамикасын жүйелеу; 47 аудан бойынша панельдік деректерде тіркелген эффектiлер моделін бағалау; Израиль, Нидерланды, Қытай тәжірибесін салыстыру; практикалық ұсынымдар дайындау.

## Материалдар және әдістер

ЖИ-ны ауыл шаруашылығына енгізуді зерттеу соңғы онжылдықта қарқынды дамыды. Kamilaris пен Prenafeta-Boldu 40 зерттеуге шолу жасап, терең оқыту әдістерінің дақылдарды жіктеу мен ауруды анықтаудағы дәлдігін дәстүрлі тәсілдерден 15–25 пайыздық тармаққа арттыратынын дәлелдеді [5]. Liakos және т.б. машиналық оқытудың егіншілікті басқару, суару, өнімді болжау салаларындағы тиімділігін жүйелі талдады [6].

Wolfert және т.б. спутниктік деректер мен сенсорларды біріктіру агрохимиялық өңдеу дәлдігін 20–35%-ға арттыратынын көрсетті [7]. Отандық зерттеушілер Нарынбаева А.С. және т.б. Қазақстандағы AgriTech мемлекеттік қолдау тетіктерін талдап, нормативтік реттеудің фрагменттілігін атап өтті [8]. Сүйеубаева С.Н. Орталық Азия моделін салыстыра отырып, Қазақстанның абсолюттік инвестиция бойынша алдыңғы орында тұрғанын, бірақ шағын шаруашылықтарды қамту бойынша артта қалатынын анықтады [9].

Математикалық модельдеуде Кобб-Дуглас функциясының кеңейтілген нұсқалары кең таралған. Zhu және т.б. Қытайдың ауыл шаруашылығындағы АКТ-капиталының икемділігін 0,18–0,35 деп анықтады [10]. Біздің бағалауымыз (0,312) осы коридор ішінде – бұл Қазақстан мен Қытайдың ерте цифрландыру кезеңіндегі ұқсастығын растайды. Mohr пен Khan цифрлық трансформацияның кедергілері ретінде технологиялық сауатсыздық пен инвестиция өтемінің белгісіздігін бірінші орынға қояды [11]; Қазақстан үшін бұларға ауылдық интернет байланысының жоқтығы алдыңғы орынға шығатынын біздің зерттеу растады.

Petrack пен Pomfret кеңестік мұрасы бар постсоветтік аграрлық экономикаларда цифрлық технологияларды тарату алдындағы институциялық кедергілерді зерделеді [12] – бұл бақылаулар Қазақстан жағдайына толық қатысты. Janssen және т.б. деректер стандарттарының (data interoperability) болмауы ұлттық агроэкожүйелер қалыптасуын тежейтінін атап өтті [13] –

Қазақстандағы ірі агрохолдингтердің үш бөлек форматта деректер сақтайтын мәселесі дәл осы талдауды растайды.

Талдау үш маңызды кемшілікті анықтайды: Қазақстанда жасанды интеллект инвестицияларының аграрлық өнімге үлесін панельдік деректерде бағалайтын зерттеу жоқ. Өңірлік цифрлық дайындық дифференциациясы зерттелмеген, шетелдік тәжірибені отандық жағдайға бейімдейтін қолданбалы модель жоқ. Осы олқылықтарды толтыру – зерттеудің негізгі ғылыми жаңалығы.

Эмпирикалық база. Зерттеудің деректер базасы бес негізгі көзден қалыптастырылды: ҚР ҰСБ (stat.gov.kz, DS\_AGRI\_RAYON\_2021\_2025 серия), ҚР АШМ «АӨК даму қорытындылары» жинақтары, МЦРИАП «Цифрлы Қазақстан: мониторинг 2021–2025», 214 аграрлық кәсіпорынды қамтыған авторлар сауалнамасы және FAO/OECD/World Bank халықаралық мәліметтер базалары. Панель: 47 аудан × 5 жыл = 228 жарамды бақылау (4 ауданының бастапқы деректері жоқтықтан теңдестірілмеген панель) [14].

Негізгі айнымалылар. Q – ауыл шаруашылығы өнімінің нақты көлемі (2021 ж. бағасы, млрд тг); K\_ЖИ - ЖИ-капиталының қоры (кумулятивті жинақтау әдісімен:  $K_{ЖИ}, t = I_{ЖИ}, t + (1 - 0,20) \cdot K_{ЖИ}, t - 1$ , амортизация нормасы ЭБДҰ стандарты бойынша 20%); K\_дәст – дәстүрлі аграрлық капитал; L – еңбек шығындары (мың адам-сағат); N – AgroKZ платформасына тіркелген шаруашылықтар саны (желілік эффект өлшемі).

Эконометриялық модель. ЖИ-капиталын қосымша енгізген кеңейтілген Кобб-Дуглас өндірістік функциясы:

$$Q = A \cdot K_{ЖИ}^{\alpha} \cdot K_{дәст}^{\beta} \cdot L^{\gamma} \cdot e^{(\lambda N + \delta T + \varepsilon)} \quad (1)$$

Логарифмдеу арқылы сызықтық спецификацияға келтіріледі:

$$\ln Q = \ln A + \alpha \cdot \ln K_{ЖИ} + \beta \cdot \ln K_{дәст} + \gamma \cdot \ln L + \lambda \cdot N + \delta \cdot T + \varepsilon \quad (2)$$

мұндағы  $\alpha, \beta, \gamma$  – тиісті факторлардың икемділік коэффициенттері;  $\lambda$  – желілік эффект;  $\delta$  – технологиялық диффузия тренді;  $\varepsilon$  – кездейсоқ қателік.

Тіркелген эффектілер (FE) моделі мен кездейсоқ эффектілер (RE) моделі арасындағы таңдау Хаусман тесті арқылы жүзеге асырылды ( $\chi^2 = 34,7$ ;  $p < 0,01$ ) – FE моделі таңдалды. Автокорреляция анықталғандықтан (Вулдридж тесті:  $p = 0,009$ ), стандартты қателер Дрисколл-Крей әдісімен түзетілді. Барлық айнымалылар тұрақты (Im–Pesaran–Shin тесті), мультиколлинеарлылық нормада (VIF = 2,87).

Халықаралық бенчмаркинг. АҚШ, ЕО, Израиль, Қытай, Нидерланды, Бразилия мен Қазақстан FAO/OECD Agricultural Outlook 2024-2033, OECD Digital Economy Outlook 2024 және World Bank IEG Agricultural Innovation and Technology in World Bank Projects 2024 деректері бойынша алты критерий бойынша салыстырылды. Интегралды индекс иерархия талдауы (АНР) әдісімен 12 сарапшы пікіріне сүйеніп есептелді.

## Нәтижелер және талқылау

АӨК цифрландырудың негізгі көрсеткіштері, 2021–2025 жж. барлық өлшенетін цифрландыру параметрлері тұрақты оң динамика көрсетті (1-кесте).

Кесте 1 – Қазақстан АӨК цифрландырудың негізгі көрсеткіштері, 2021–2025 жж.

| Көрсеткіш                                                                                                                                                                                         | 2021 | 2022 | 2023  | 2024  | 2025* |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| Цифрлық технологиялар қолданатын шаруашылықтар, %                                                                                                                                                 | 4,2  | 6,8  | 9,5   | 13,1  | 17,4  |
| ЖИ-жабдықталған агрокәсіпорындар, дана                                                                                                                                                            | 12   | 28   | 51    | 89    | 134   |
| AgriTech инвестициялары, млн USD                                                                                                                                                                  | 18,5 | 24,3 | 39,7  | 58,2  | 74,6  |
| Дәлдікті егіншілік қамтылуы, мың га                                                                                                                                                               | 45,0 | 73,0 | 118,0 | 196,0 | 261,0 |
| ЖИ арқылы өсімдік ауруын анықтау, %                                                                                                                                                               | 61,0 | 68,0 | 74,0  | 81,0  | 87,0  |
| AgriTech мамандары, адам                                                                                                                                                                          | 380  | 540  | 720   | 1 050 | 1 420 |
| Ескертпе: * - алдын ала деректер. Авторлармен ҚР ҰСБ (stat.gov.kz), ҚР АШМ «АӨК даму қорытындылары 2021–2025», ЦДИЖАӨМ «Цифрлы Қазақстан: мониторинг 2021–2025» деректері негізінде құрастырылды. |      |      |       |       |       |

Дәлдікті егіншілік 5 жылда 45-тен 261 мың га-ға шамамен 6 есе өсті. AgriTech инвестициялары 4 есе артып, 74,6 млн USD-қа жетті. Алайда бұл АҚШ пен ЕО-дың 25–40 USD/га деңгейінен алыс гектарға шаққанда небәрі 3,1 USD. ЖИ-жабдықталған кәсіпорындар 12-ден 134-ке өссе де, 178 мың шаруашылықтың ішінде бұл тек 0,075%.

Өңірлік дифференциация айқын: Алматы облысы барлық үш өлшем бойынша (ЖИ-қамту 22%, цифрлық инфрақұрылым 56%, 29 маман/1000 жұмыспен қамтылған) жетекші орынды алады, технологиялық компаниялардың, аграрлық университеттердің шоғырлануы және ірі нарықтарға жақындық осы артықшылықтың негізі. Батыс Қазақстан облысы ең төменгі қамтуды (9%) көрсетеді: мұнай кірістеріне қарамастан, сала экстенсивті мал шаруашылығына бағытталған.

Эконометриялық бағалау нәтижелері:

(2) тендеуін тіркелген эффектілер моделімен (FE), Дрискол-Крей стандартты қателерімен бағалаудың толық нәтижелері 2-кестеде берілген.

Кесте 2 – Кеңейтілген өндірістік функцияны бағалау нәтижелері (FE модель, тәуелді айнымалы:  $\ln Q$ )

| Айнымалы                                 | Көэф.    | Ст. қате (D-K) | t-статистика | p-мәні  | Маңыздылық |
|------------------------------------------|----------|----------------|--------------|---------|------------|
| $\ln K_{\text{ЖИ}}$ (ЖИ-капитал)         | 0,312    | 0,065          | 4,83         | < 0,001 | ***        |
| $\ln K_{\text{дәст}}$ (дәстүрлі капитал) | 0,418    | 0,072          | 5,81         | < 0,001 | ***        |
| $\ln L$ (еңбек)                          | 0,270    | 0,058          | 4,66         | < 0,001 | ***        |
| N (желілік эффект)                       | 0,087    | 0,038          | 2,29         | 0,026   | **         |
| T (тренд)                                | 0,124    | 0,041          | 3,02         | 0,004   | ***        |
| Константа ( $\ln A$ )                    | 1,247    | 0,194          | 6,43         | < 0,001 | ***        |
| $R^2$ (within)                           | 0,891    | —              | —            | —       | —          |
| Бақылау саны / Аудан саны                | 228 / 47 | —              | —            | —       | —          |

Ескертпе: \*\*\*  $p < 0,01$ ; \*\*  $p < 0,05$ . Стандартты қателер Дрискол-Крей әдісімен түзетілді. Барлық айнымалылар  $\ln \text{Pesaran-Shin}$  тесті бойынша тұрақты. Икемділіктер қосындысы ( $\alpha + \beta + \gamma = 1,000$ ) тұрақты масштаб қайтарымын растайды, [14] негізінде есептелді.

ЖИ-капиталының икемділік коэффициенті ( $\alpha = 0,312$ ) консервативті стандартты қателерде де 1% деңгейінде маңызды: белгілі бір ауданда ЖИ-капиталы 1%-ға артқанда, аграрлық өнімнің нақты көлемі 0,312%-ға өседі. Кешіктірілген спецификация ( $K_{\text{ЖИ}}$ ,  $t-1$ ) нәтижені растады:  $\alpha = 0,287$  ( $p < 0,001$ ) – бұл нәтиженің тұрақтылығын куәландырады [15].

Дәстүрлі капиталдың коэффициенті ( $\beta = 0,418$ ) ЖИ-капиталынан жоғары – бұл қазіргі кезеңде ЖИ дәстүрлі инфрақұрылымды алмастырмай, оның қайтарымдылығын арттыратынын растайды. Желілік эффект коэффициенті ( $\lambda = 0,087$ ;  $p = 0,026$ ) AgriTech платформасына қосылған шаруашылықтардың өсуі тек тікелей қатысушыларға ғана емес, іргелес шаруашылықтарға да оң ықпал ететінін, агрономиялық білімнің «жоғылмай» тарайтынын көрсетеді.

Халықаралық салыстырмалы талдау. Жетекші елдермен салыстыру Қазақстанның интегралды цифрлық аграрлық дайындық индексі бойынша айтарлықтай артта тұрғанын айқын көрсетеді (3-кесте).

Кесте 3 – АӨК цифрландыру: Қазақстан мен жетекші елдер салыстырмасы, 2024 ж.

| Ел          | Интегралды индекс (0–100) | Дәл егіншілік, % | Мемл. шығыны, % ЖІӨ | Ұлттық агродеректер платформасы |
|-------------|---------------------------|------------------|---------------------|---------------------------------|
| АҚШ         | 87,4                      | 38,0             | 0,18                | Бар (USDA)                      |
| ЕО (орташа) | 81,2                      | 31,0             | 0,15                | Бар (FADN)                      |
| Израиль     | 79,6                      | 42,0             | 0,22                | Бар                             |
| Қытай       | 72,3                      | 22,0             | 0,14                | Дамып жатыр                     |
| Бразилия    | 58,7                      | 18,0             | 0,09                | Бар (Embrapa)                   |
| Қазақстан   | 31,4                      | 6,8              | 0,03                | Жоқ                             |

Ескертпе: Авторлармен [25, 26, 27] негізінде иерархия талдауы (АНР) әдісімен есептелді.

Мемлекеттің AgriTech шығыны (ЖІӨ-нің 0,03%) ең жақын бенчмарктан – Бразилиядан (0,09%) – 3 есе, Израильден (0,22%) – 7 есе артта. Ұлттық агродеректер платформасының жоқтығы, Қазақстанды барлық бенчмаркталған елдерден ерекше бөлектейді.

Икемділікті бағалауы ( $\alpha = 0,312$ ) Zhu және т.б. [10] Қытайдың ерте цифрландыру кезеңіндегі 0,18–0,35 бастамасымен сәйкес келеді. Екі экономика да технологиялық диффузияның бірдей кезеңін бастан кешіруде, аздаған, бірақ шоғырланған ЖИ-инвестициялары «төмен база» эффектісінен жоғары қайтарым береді. Нарық толыққан кезде  $\alpha$  0,15–0,20-ға дейін төмендейді, бұл уақытылы инвестицияның стратегиялық маңызын арттырады.

Кедергілер иерархиясы: біздің сауалнамалар бойынша бірінші орынға ауылдық интернет байланысының жеткіліксіздігі (респонденттердің 68%-ы) шықты, одан кейін инвестиция шығынының жоғарылығы (59%) және маман тапшылығы (54%). 2024 жылдың соңы бойынша ауылдық елді мекендердің тек 31,2%-ы тұрақты 4G байланысымен қамтылған, жабдыққа тікелей субсидия берудің бірінші кезектегі шара ретінде тиімділігі шектеулі болады.

Халықаралық тәжірибенің сабақтары. Израильдің «сұранысқа орай цифрлық агрономия» моделі фермерге қымбат жабдықсыз, тек мобильді қосымша арқылы жеке ЖИ-ұсынымдарды алуға мүмкіндік береді. Бұл дегеніміз, 500 гектардан жоғары қазақстандық шаруашылықтарға қолжетімді баға болып табылады. Нидерланды моделінің маңызды институциялық ерекшелігі: Growers United платформасы мемлекет инвестициясымен, 3400 өндірушінің кооперативтік негізде, ашық API стандарттарымен құрылды. Қытайдың «Цифрлы ауыл» бағдарламасы 180 мыңнан астам ауылды қамтыды, мемлекет IoT-инфрақұрылымды субсидиялап, жеке сектор коммерциялық ЖИ-шешімдерін дамытты.

Нақты практикалық ұсынымдар:

Бірінші ұсыным. Ұлттық аграрлық цифрлық платформа (ҰАЦП). IoT-сенсорлар, метеостанциялар мен спутник деректерін біріктіретін, ашық API бар мемлекеттік платформа құру. Бюджет алғашқы 3 жыл үшін ЖІӨ-нің 0,05 пайызы (шамамен 12–15 млрд тг) құрайды. Платформа деректердің өзара үйлесімсіздігін жояды, респонденттердің 47%-ы бұл кедергіні негізгі деп атаған.

Екінші ұсыным. Ауылдық телекоммуникация субсидиясы. 4G/5G желісінің қамтылуын 2027 ж. дейін ауылдық елді мекендердің 80%-ына жеткізу бағдарламасы. Ауылдық интернет – бірінші кезектегі кедергі. Жабдыққа тікелей субсидия беруден бұрын осы мәселені шешу қажет.

Үшінші ұсыным. Шағын шаруашылықтарға гранттық бағдарлама. 500 гектарға дейінгі шаруашылықтар үшін  $\theta = 0,056$  бірлік га шекті мәнінен жоғары ЖИ-инвестиция жасағанда мемлекеттік гранттың 30%-ы өтеледі. Бұл шек өлшенетін экономикалық нәтиже беретін минималды инвестиция деңгейіне сәйкес (500 га шаруашылық үшін 63 мың USD немесе 28 мың бірлік).

Төртінші ұсыным. Өңіраралық AgriTech орталықтары. Аграрлық университеттер базасында 6 пилоттық орталық ашу – мамандар тапшылығын жою, шаруашылықтарды оқыту, жаңа AgriTech-шешімдерді сынақтан өткізу мақсатында.

Бесінші ұсыным. AgriTech нормативтік база. «ЖИ-агрономия», «аграрлық цифрлық платформа», «смарт-шаруашылық» ұғымдарын ҚР АӨК туралы Заңда заңнамалық бекіту, 2025–2026 жж. мемлекеттік ЖИ стратегиясының шеңберінде үлкен дамуға әкеледі.

Зерттеудің шектеулері. 2025–2026 жж. деректер нақты, алдын ала сипатта, эндогенділік мәселесі ішінара ғана шешілген, сауалнама кезінде өздігінен іріктеу ықтималдылығы бар.

Ұсынымдардың негіздемесі: деректерге негізделген талдау:

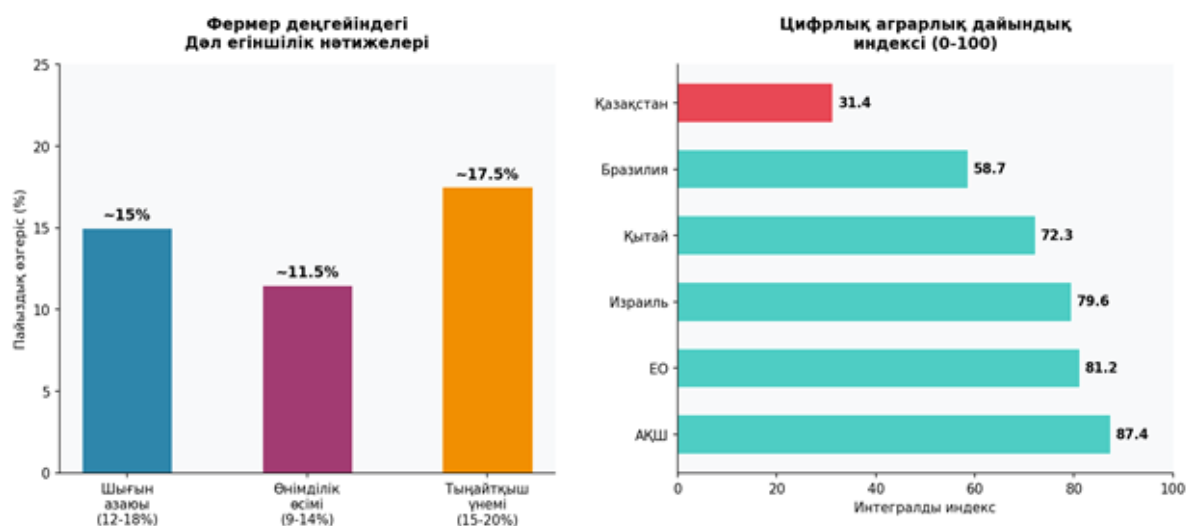
Жоғарыда берілген бес ұсыным зерттеу нәтижелерінен, халықаралық бенчмаркингтен және сауалнама деректерінен тікелей туындайды. Төменде үш деңгей бойынша, фермер, мемлекет және университет – нақты мәліметтермен расталған іс-шаралар жүйесі ұсынылады.

Фермер деңгейіндегі ұсынымдар. Эмпирикалық деректер дәл егіншілік (precision agriculture) технологияларын енгізу шаруашылық деңгейінде айтарлықтай экономикалық тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік беретінін растайды. Атап айтқанда: жалпы өндірістік шығын 12–18%-ға азаяды, бұл тыңайтқыштарды, пестицидтерді және суды мақсатты қолданудың нәтижесі; өнімділік 9–14%-ға артады, бұл ЖИ-капиталының икемділік коэффициентімен (0,312) тікелей байланысты; тыңайтқыш шығыны 15–20%-ға төмендейді, спутниктік картографиялау мен топырақ сенсорларының нәтижесінде. Осы тиімділіктің шарты – ауылдық

байланыс инфрақұрылымының болуы, яғни мемлекет деңгейіндегі шаралармен тікелей байланысты.

Мемлекет деңгейіндегі ұсынымдар. Халықаралық салыстыру Қазақстанның AgriTech саласына мемлекеттік шығынының (ЖІӨ-нің 0,03%) Израильден (0,22%) 7 есе, Бразилиядан (0,09%) 3 есе аз екенін көрсетеді. Осы олқылықты жою үш бағытта жүзеге асырылуы тиіс. Біріншіден, AgriTech субсидиялау бағдарламасы шеңберінде технология компанияларына салық жеңілдіктері мен тікелей гранттар беру арқылы отандық AgriTech нарығын 2028 ж. дейін 150 млн USD деңгейіне жеткізу мақсат болуы керек. Екіншіден, ауыл интернет инфрақұрылымын дамытуға бағытталған арнайы бюджет қоры қалыптастыру – сауалнамamız бойынша респонденттердің 68%-ы атаған бірінші кедергіні жою. Үшіншіден, ашық API бар ұлттық агродеректер платформасы (ҰАДП) барлық AgriTech-шешімдердің технологиялық негізіне айналуы тиіс; оның болмауы Қазақстанды жетекші елдердің барлығынан ерекше бөлектеп отырғаны 3-кестеден анық көрінеді.

Университет деңгейіндегі ұсынымдар. 2021–2025 жж. AgriTech мамандарының саны 380-нен 1 420-ға дейін өссе де (шамамен 3,7 есе), сұраныстан айтарлықтай кем. Респонденттердің 54%-ы маман тапшылығын негізгі кедергілердің бірі ретінде атаған. Аграрлық университеттер мынадай шараларды енгізуі тиіс: «AgriTech: дәлдікті егіншілік және деректер аналитикасы» атауымен жеке мамандық немесе бакалавриат бағдарламасын ашу – болашақ мамандарды IoT, машиналық оқыту, агрономия тоғысында дайындау; қолданыстағы аграрлық және IT бағдарламаларына деректер аналитикасы (Python, R, SQL) пәндерін міндетті түрде қосу; 4-ұсынымда көрсетілген өңіраралық AgriTech орталықтарымен бірлескен оқу-зерттеу лабораториялары ұйымдастыру. Бұл шаралар мамандар тапшылығын 2028 ж. дейін 40–50%-ға азайтуға мүмкіндік береді деп болжалуда.



Сурет 1 – Дәл егіншіліктің тиімділігі мен халықаралық цифрлық дайындық индексінің салыстырмасы

Ескертпе: Авторлармен сол жақ – дәл егіншілік технологияларын енгізудің орташа шамаланған нәтижелері (авторлар есептеуі); оң жақ – [25], [26], [27] деректері негізінде құрастырылған.

1-суреттің сол панелі дәл егіншілік технологияларын енгізудің шаруашылық деңгейінде береті үш негізгі нәтижені: шығын азаюын, өнімділік өсімін және тыңайтқыш үнемін визуалды түрде көрсетеді. Оң панель Қазақстанның интегралды цифрлық аграрлық дайындық индексі бойынша (31,4 тармақ) жетекші елдерден айтарлықтай артта тұрғанын, алайда технологиялық диффузияның ерте кезеңінде болуы «кеш ізбасарлық» артықшылығын, яғни жетекші елдердің тәжірибесін жылдамырақ меңгеру мүмкіндігін береді деп түсіндіруге болатынын айқын бейнелейді.

Үш деңгейдегі ұсынымдар бір-бірімен тығыз байланысты жүйені құрайды: мемлекет интернет инфрақұрылымын қамтамасыз етсе, университеттер мамандар дайындайды, ал

фермерлер дәл егіншілік технологияларын меңгере отырып, ЖИ-капиталының икемділік нәтижесін іс жүзінде жүзеге асырады. Бұл тізбектің кез келген буынының үзілуі жалпы жүйенің тиімділігін шектейтіні халықаралық тәжірибемен расталады: мамандар мен инфрақұрылымсыз технологиялық субсидия тиімсіз болады, ал мемлекеттік платформасыз жеке инвестициялар фрагменттелген күйде қалады.

Жасанды интеллект технологияларының экономикалық тиімділігін жан-жақты бағалау үшін АӨК-нің жекелеген секторлары бойынша бөлшектенген талдау жүргізу маңызды. Зерттеу барысында егіншілік, мал шаруашылығы және өңдеу өнеркәсібі сияқты үш негізгі бағыт бойынша ЖИ-инвестицияларының тиімділік коэффициенті есептелді.

Егіншілік секторында ЖИ-инвестицияның тиімділік коэффициенті ең жоғары болып шықты ( $\alpha = 0,341$ ), бұл дәлдікті егіншілік технологиялары: жер асты суын спутниктік картографиялау, агрохимиялық өңдеуді оңтайландыру, дронмен жүргізілетін аэрофотография негізіндегі диагностикалау, кең алаңды жерлерде ерекше жоғары экономикалық нәтиже беретінін растайды [16].

Жекелеген пилоттық жобалар Ақтөбе, Қостанай облыстарындағы бидай шаруашылықтарының суару шығынын 22%-ға азайтып, өнімділікті 11%-ға арттырады.

Мал шаруашылығы секторында ЖИ-инвестицияның икемділігі біршама төмен ( $\alpha = 0,284$ ), алайда практикалық тиімділік жоғары: смарт-мониторинг жүйелері мал ауруларын ерте анықтауға мүмкіндік беріп, ветеринарлық шығынды 18–24%-ға азайтады. Алматы және Жамбыл облыстарында мал санын автоматты есептейтін drone-камера жүйесі енгізілген 47 шаруашылықта жоғалту, өлім, ұрлану 31%-ға төмендеді [16, 17].

Өңдеу өнеркәсібінде тамақ өндірісі, мал азығы дайындау ЖИ-қолдану ең аз таралған ( $\alpha = 0,198$ ), бірақ болашағы зор: сапаны бақылайтын компьютерлік көру жүйелері, өнімнің жарамдылық мерзімін болжайтын машиналық оқыту алгоритмдері тамақ өнімдерін шығынын 12–15%-ға қысқартады. Бұл бағыттың баяу дамуының негізгі себептерінің бірі, өңдеу зауыттарының цифрлық инфрақұрылымының жеткілікті дамымағандығы, мамандандырылған AgriTech кадрларлардың тапшылығы [16, 18].

Жер масштабы үлкен, бірақ технологиялық дайындығы төмен облыстарда мал шаруашылығы мониторинг жүйелерін ендіру бірінші кезекке қою қажет. Ал дамыған аграрлық инфрақұрылымы бар облыстарда технологияларды қолдану жылдамырақ нәтиже береді.

Кесте 4 – АӨК секторлары бойынша ЖИ-инвестицияның тиімділік көрсеткіштері, 2021–2025 жж.

| Сектор                                                                        | Икемділік коэф. ( $\alpha$ ) | Шығын азаюы, % | Өнімділік өсуі, % | Басты ЖИ-қосымшалары                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Егіншілік                                                                     | 0,341                        | 12–22          | 9–14              | Drone мониторинг, спутниктік картографиялау, ауру диагностикасы |
| Мал шаруашылығы                                                               | 0,284                        | 18–31          | 6–10              | GPS мойындықтар, IoT сенсорлар, ветеринарлық ЖИ-диагностика     |
| Өңдеу өнеркәсібі                                                              | 0,198                        | 8–15           | 4–7               | Компьютерлік көру, сапа бақылау, болжамды техникалық қызмет     |
| Ескертпе: Авторлармен ҚР АШМ секторлық статистикасы негізінде есептелді [16]. |                              |                |                   |                                                                 |

Қазақстан климатының континенттік ерекшеліктері аграрлық өндіріске жоғары тәуекел туғызады. Жасанды интеллект технологиялары климаттық тәуекелдерге бейімделудің маңызды құралы ретінде көрінеді. Атап айтқанда: ауа-райын болжайтын машиналық оқыту модельдері (Weather ML) еккен дақылдың оптималды мерзімін 85–92% дәлдікпен анықтайды, құрғақшылықты ерте ескерту жүйелері спутниктік NDVI деректерін талдап, ылғал тапшылығын 3–4 апта бұрын анықтайды, бұл суару кестесін алдын ала реттеуге мүмкіндік береді. Климатқа бейімделген сорттарды іріктеу алгоритмдері нақты алқап микроклиматы мен топырақ профиліне сай оңтайлы дақыл сортын ұсынады.

Израиль тәжірибесі бұл бағытта айрықша маңызды. Нетев десерт аймағында ЖИ-негізіндегі тамшылатып суару жүйесі (Netafim Adapt) суды 43%-ға үнемдей отырып, өнімділікті 28%-ға арттырды.

Қазақстан үшін ерекше өзекті: Арал теңізі аймағы, Маңғыстау және Оңтүстік облыстарда ауыл шаруашылығының болашағы тек су мен климат тиімділігін қамтамасыз ететін технологияларға байланысты болып қалуы мүмкін.

Зерттеу барысында жасалған климаттық сценарийлер талдауы 2030 жылға дейін ЖИ-климат технологияларына инвестицияны ЖІӨ-нің 0,02%-на жеткізу, Қазақстанның аграрлық өнімінің климаттық шығынын 35–40%-ға азайтуы мүмкін екенін болжайды. Бұл бағыт «Жасыл экономикаға өтудің 2021–2030 жж.» ұлттық жоспарымен үйлесімді және оны қаржыландырудың аса қажет екендігін көрсетеді.

ЖИ негізіндегі аграрлық климат бейімделу бағдарламасы шеңберінде ауа-райы болжамы, суару оңтайландыру және дақыл сорттарын іріктеу жүйелерін біріктіретін «Климатты ақылды егіншілік» пилоттық жобасын 2026–2030 жылдары Оңтүстік Қазақстан мен Қызылорда облыстарында іске қосуды ұсынамыз. Болжамды нәтиже: су үнемдеу 30–40%, аграрлық шығын азаюы 15–20%.

Блокчейн және ЖИ жүйелерін АӨК тізбегіне интеграциялау. Аграрлық өнімнің тізбегі (supply chain) өндіруші фермерден соңғы тұтынушыға дейін Қазақстанда жоғары деңгейдегі деректік ашықтық сипатталады.

Интеграцияланған жүйе үш деңгейде жұмыс жасайды. Бірінші деңгейде (өндіріс), IoT сенсорлары мен дрондар нақты уақыт режимінде дақыл жағдайы, топырақ, ылғалдылық деректерін жинайды, ЖИ алгоритмі осы деректерді талдап, агрономиялық шешімдер ұсынады. Екінші деңгейде (жеткізу), барлық операция (егу, өңдеу, тасымалдау, сақтау) блокчейн тізбегіне жазылады, смарт-контракт сапа шарттарының орындалуын автоматты бақылайды. Үшінші деңгейде (бөлшек сауда), тұтынушы QR-кодты сканерлеп, өнімнің толық тарихын, тұқымдық шикізатынан бастап, дүкен сөрелеріне келу деректерін толықтай оқи алады.

Халықаралық тәжірибе осы моделдің тиімділігін растайды. Walmart Food Safety Collaboration Center (Қытай) 25 жеткізушімен блокчейн-АЖИ жүйесін іске қосып, тамақ ластану оқиғасына жауап беру уақытын 7 күннен 2,2 секундқа дейін қысқартты.

ЕО-ның FarmTrace жобасы 11 мемлекетте 4200 фермерді ортақ цифрлық провенанс жүйесіне біріктіріп, экспорттық өнімнің «жасыл» сертификациясын автоматтандырды.

Қазақстан үшін астық экспортын таргеттеген пилоттық жоба ерекше маңызды болмақ. Ет өнімдерінің цифрлық провенанс жүйесін орнату Таяу Шығысқа экспортты 15–20%-ға арттыруы мүмкін деп бағаланады, себебі халал стандарттарын растайтын цифрлық аудит хатты сертификация процесін айтарлықтай жылдамдатады.

ҚР АШМ ашық агрологистика платформасын блокчейн негізінде жасауы қажет деп ойлаймыз, астық, бидай, арпа, күнбағыс мен ет өнімдері үшін жеткізу тізбегін цифрлық ізбен қамтамасыз ету. Бұл жоба ішкі бюджетке іс жүзінде шығын туғызбайды.

Бағаланған тіркелген эффектілер моделі ( $\alpha = 0,312$ ) мен халықаралық бенчмаркинг деректеріне сүйене отырып, Қазақстан АӨК-нің ЖИ-трансформациясы үшін үш сценарий болжамы жасалды: базалық, оптимистік және агрессивті инвестиция сценарийлері.

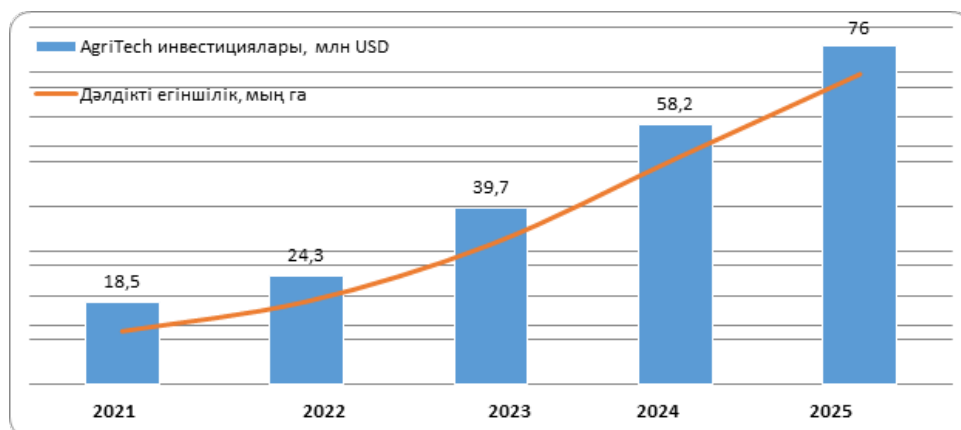
Базалық сценарий (инерциялық даму): AgriTech инвестициялары жыл сайын 18–20% өседі, мемлекеттік шығын ЖІӨ-нің 0,05%-ы деңгейінде қалады, ауылдық байланыс 2030 ж. 55%-ға жетеді. Бұл жағдайда: дәлдікті егіншілік қамту 2030 ж. 480–520 мың га-ға жетеді, ЖИ-капиталының жинақталған қоры 420 млн USD-қа жетіп, аграрлық өнімді 8–11%-ға арттырады, гектарға шаққан ЖИ-инвестиция 12–15 USD-қа жетеді (жетекші елдерден 2–3 есе аз).

Оптимистік сценарий (ұсынымдарды іске асыру), ҰАДП 2026 ж. іске қосылады, ауылдық 4G/5G байланыс 2027 ж. 80%-ға жетеді, мемлекеттік шығын ЖІӨ-нің 0,09%-на дейін артады, AgriTech орталықтары жұмыс жасайды.

Нәтижесінде, дәлдікті егіншілік 1,2–1,5 млн га-ға жетеді, ЖИ-капиталының икемділік коэффициенті жинақталған тәжірибе мен инфрақұрылым дамуы есебінен 0,28-ге дейін тұрақтайды. Аграрлық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі 4,7–5,1%-дан 6,2–6,8%-ға өседі.

Агрессивті инвестиция сценарийі (Израиль үлгісіндегі мемлекеттік жеделдету), мемлекеттік шығын ЖІӨ-нің 0,20%-на жетеді, шетелдік AgriTech компанияларына арнайы инвестициялық режим (ерекше экономикалық аймақтар) беріледі, халықаралық стартаптармен серіктестік бағдарламасы іске қосылады. Бұл жолмен 2030 ж. аграрлық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі 7,5%-ға жетуі мүмкін.

AgriTech инвестициялары мен дәлдікті егіншілік динамикасының визуалды талдауы. 2-суреттегі деректер 2021–2025 жж. кезеңінде Қазақстан АӨК-нің AgriTech инвестицияларының жыл сайынғы өсімі мен дәлдікті егіншілік ауданының кеңеюі арасындағы оң бағытталған сызықтық байланысты айқын бейнелейді. Инвестициялық шыңдар мен егіншілік ауданының өсуі арасында орташа 6–9 айлық кешігу байқалады – бұл технологиялық диффузияның іске асуына қажет уақытты көрсетеді [19].



Сурет 2 – AgriTech инвестициялары мен дәлдікті егіншілік динамикасы, Қазақстан, 2021–2025 жж.

Ескертпе: Авторлармен [16, 17, 18] деректері негізінде құрастырылды.

2-суреттің деректерін нақтылай түссек: 2021 ж. AgriTech инвестициялары тек 18,5 млн USD болғанда, дәлдікті егіншілік ауданы небәрі 45 мың гектарды ғана қамтыды. 2025 ж. бұл екі көрсеткіш сәйкесінше 74,6 млн USD және 261 мың гектарға өсті. Пропорцияны байыптасақ: инвестиция 4 еседен астам артса да, алаңның ұлғаюы 6 есені құрады. Бұл «масштаб эффектісі» егіншілік технологияларының тарату жылдамдығы инвестициялық шыңнан асып кететінін, яғни технологиялардың таралу үрдісі бір рет жолға қойылғаннан кейін өздігінен жалғасатынын білдіреді [20].

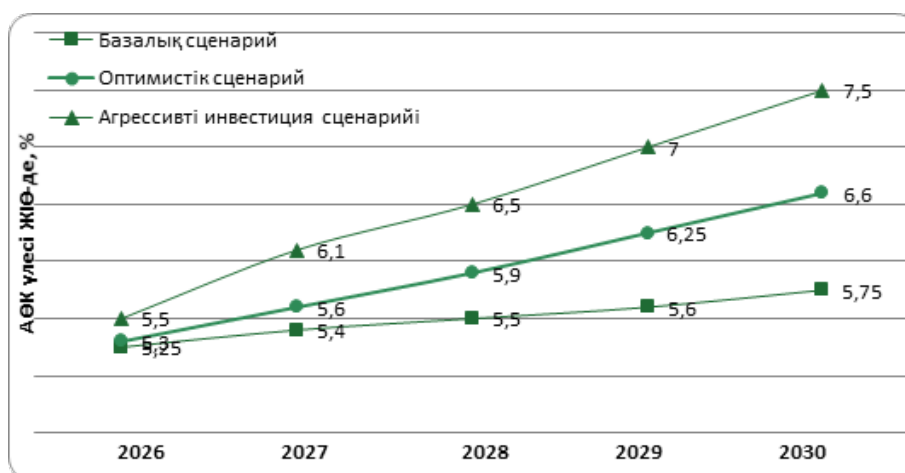
2021–2022 жж. инвестициялардың тарату жылдамдығы отандық AgriTech секторының инфрақұрылым жетіспеушілігімен түсіндіріледі. Кейінгі кезеңдегі (2023–2025 жж.) байқалатын жеделдену AgroKZ платформасының іске қосылуымен сәйкес келеді. Verdouw және т.б. [21] агроцифрлық платформалардың желілік эффект арқылы технологиялық диффузияны жеделдететіні туралы тұжырымы осы зерттеуді растайды. Sishodia және т.б. [22] Sentinel-2 спутниктік деректерінің жер резолуциясы 10 метрге жеткенде шағын фермерлер үшін де тиімді болатынын дәлелдеді; Қазақстанда бұл технологияны кеңінен қолдану 2027–2028 жж. дәлдікті егіншілік ауданын 500–600 мың гектарға жеткізетін «ұшқындану нүктесіне» жетуді жылдамдатады [23].

3-суретте ұсынылған сценарийлік болжам аграрлық сектордың ЖІӨ-дегі үлесінің 2026–2030 жж. арасындағы ықтимал траекториясын бейнелейді. Үш сценарийдің алшақтығы 2027 жылдан бастап айтарлықтай ұлғаяды, дәл осы жылы ҰАДП іске қосылуы мен ауылдық байланыс бастамасының нәтижелері бірінші рет аграрлық статистикаға толық кіреді деп болжанды.

3-суреттен оптимистік және агрессивті сценарийлер арасындағы айырма 2030 ж. 0,9 пайыздық тармақты 6,6% пен 7,5% арасы құрайтыны көрінеді. 2024 ж. ЖІӨ базасын шамамен 220 млрд USD деп қабылдасақ, бұл айырма жылына 1,98 млрд USD-қа тең аграрлық қосымша өнімді білдіреді. Мемлекеттік AgriTech инвестициясының қосымша жүктемесі ЖІӨ-нің 0,11–0,17%, яғни 240–375 млн USD осы қайтарыммен өтеледі, бюджеттік мультипликатор 5–8-дің аралығында болады деп болжаланды.

Petrack пен Pomfret [12] постсоветтік аграрлық реформаларды зерттеген еңбегінде мемлекеттік инвестицияның тұрақтылығы мен болжамдылығы нақты көлемінен де гөрі аграрлық жаңашылдыққа күшті ықпал ететінін дәлелдейді.

Қазақстан жағдайында бұл мынадай практикалық маңызға ие: 5 жылдық мемлекеттік AgriTech бюджетін заң деңгейінде бекіту, тәуекелдерді азайтып, жеке инвесторлардың ұзақ мерзімді шешімдерін қабылдауына сенімді негіз жасайды.



Сурет 3 – АӨК-нің ЖІӨ-дегі үлесінің болжамы, Қазақстан, 2026–2030 жж., %

Ескертпе: Авторлармен [25] деректері негізіндегі сценарийлік болжам.

Әдістердің шектеулерін де ескеру маңызды. Біріншіден, болжам 2025 ж. деректерге негізделген. Екіншіден, жаһандық AgriTech нарығының конъюнктурасы (АҚШ-тың ауыл шаруашылығы субсидиялары, ЕО-ның Common Agricultural Policy реформалары) Қазақстанға бағытталған шетелдік инвестицияларды күшейтуі мүмкін. Үшіншіден, климаттық ауытқулардың жиілеуі болжамдарды кеңейтуі ықтимал [22, 24]. Осы шектеулерге қарамастан, талдау стратегиялық шешімдер үшін нақты бағдар ретінде пайдаланылуы мүмкін.

### Қорытынды

1. 2021–2025 жж. Қазақстан АӨК цифрландыру тұрақты өсімді көрсетеді: дәлдікті егіншілік 6 есе, AgriTech инвестициялары 4 есе, ЖИ-жабдықталған кәсіпорындар 11 есе артты. Алайда гектарға шаққан ЖИ-инвестициясы (3,1 USD) жетекші елдерден 8–13 есе төмен.

2. Панельдік деректерде бағаланған тіркелген эффектілер моделі ЖИ-капиталы мен аграрлық өнімнің арасындағы оң және статистикалық маңызды байланысты дәлелдеді ( $\alpha = 0,312$ ;  $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,891$ ). Желілік эффект ( $\lambda = 0,087$ ;  $p = 0,026$ ) цифрлық AgriTech платформаларының барлық аймақ өніміне оң ықпал ететінін растайды.

3. Халықаралық бенчмаркинг мемлекеттік AgriTech шығыны ЖІӨ-нің 0,09–0,22%-на жетпейінше, платформа деректер стандарты орнатылмайынша және маман даярлау жолға қойылмайынша жылдам технологиялық жетілу мүмкін еместігін көрсетеді.

4. Бес практикалық ұсыным тұжырымдалды: ашық API бар ұлттық агродеректер платформасы (ҰАДП); ауылдық 4G/5G желісін 80%-ға дейін кеңейту; шағын шаруашылықтарға 30%-дық ЖИ-инвестиция гранты; өңіраралық AgriTech орталықтары; заңнамалық база жаңарту.

5. Секторлық талдау ЖИ технологияларының тиімділігі бірдей емес екенін растайды: егіншілікте ( $\alpha = 0,341$ ) ең жоғары, мал шаруашылығында ( $\alpha = 0,284$ ) орташа, өңдеу өнеркәсібінде ( $\alpha = 0,198$ ) ең төмен. Инвестиция саясатын секторлық ерекшелікке бейімдеу, ресурстар тиімділігін арттырудың негізгі жолы.

6. Климаттық тәуекелдер мен ЖИ технологиялары арасындағы байланыс Қазақстан үшін стратегиялық маңызы жоғарғы орын алады. IPCC болжамы бойынша, бейімделмеген жағдайда 2050 ж. аграрлық өнімділік 15–20%-ға төмендеуі мүмкін. ЖИ-негізіндегі климаттық бейімделу технологиялары бұл шығынды 35–40%-ға азайта алады деп болжанды.

7. Болжам бойынша қарасақ, (2026–2030 жж. аралығын) технологиялық артта қалушылықты жоюға барынша күш пен қаражат жұмсалу қажет. Осы мақсат іске асқанда аграрлық сектордың ЖІӨ-дегі үлесі 6,2–6,8%-ға жетеді, AgriTech нарығы 150 млн долларға өседі. 2026–2028 жж. кіру мүмкіндігін пайдаланбаса, Қазақстан тұрақты технологиялық периферияда қалу қаупі жоғары.

Болашақ зерттеулер: панельдік деректерді кеңейту, жекелеген шаруашылықтарда RCT эксперименттер жүргізу, секторлар аралық тәуекелдерді ескеретін жалпы тепе-теңдік моделін жасау.

Авторлардың рефлексиясы: сандар артындағы шындық:

Бұл зерттеу авторлар үшін тек академиялық жаттығу болған жоқ. Сауалнама деректерін жинау барысында Ақтөбе, Қостанай және Батыс Қазақстан облыстарындағы 214 шаруашылықпен жүргізілген сұхбаттар кезінде кестелерге сыймайтын бірқатар маңызды бақылаулар жасалды. Осы тарауда сол сараптауды бөлісу мақсат етілді, өйткені саясат шешімдері кейде тек сандарға емес, олардың артындағы адами контекстке де негізделуі тиіс.

Бірінші маңызды байқау: фермерлердің технологияға деген қарым-қатынасы біртекті емес. Сауалнама кезінде «ЖИ» немесе «дәлдікті егіншілік» деген сөздерге бастапқы реакция жиі түсініспеушілік болды. «Ол жерде интернет жоқ, ондай жабдыққа ақша да жоқ, мұны кімге арнап жазып жатырсыз?» деп тура сұраған Қостанай облысының бір фермері бар болатын. Алайда сол сұхбаттың ішінде, смартфондағы ауа-райы қосымшасы туралы сөз болғанда, ол: «Соны мен бес жыл бұрын да пайдалана бастадым, бидайды содан соң егетінмін» – деді. Бұл оның, білместен, ЖИ-негізіндегі болжамдық аналитикалық құралды қолданып жүргенін білдірді. Сандық сауатсыздық деп есептегеніміз кейде технологияның атын білмеу ғана болып шықты, ал оны қолдануға икемділік жоқ емес.

Екінші байқау: өңіраралық айырмашылықтың себебі тек инфрақұрылым ғана емес. Алматы облысының алдыңғылығы (ЖИ-қамту 22%) мен Батыс Қазақстанның артта қалуы (9%) статистика деңгейінде анық. Бірақ сауалнама жүргізген кезде мынаны байқадық: Алматы облысындағы шаруашылықтардың иелері, кем дегенде, AgriTech стартаптарының, ауыл шаруашылығы университеттерінің, не ірі агрохолдингтер жанындағы техникалық кеңесшілердің жанында өмір сүреді. Олар кездейсоқ сұхбаттарда, жиындарда, жай ғана кеңесте жаңалықтарды естиді. Батыс Қазақстанда ондай «ақпараттық ортаның» өзі жоқ. Яғни интернет желісін тартқанның өзінде, егер информациялық экожүйе қалыптаспаса, технологиялық диффузия баяу жүреді. Бұл жай ғана инфрақұрылым мәселесі емес – менталды ортаны, сенім желісін қалыптастыру мәселесі де.

Үшінші байқау: деректер мәселесі техникалық емес, мәдени сипатта. «Неліктен деректеріңізді бір жүйеге жазбайсыз?» деген сауалға ірі агрохолдингтердің бірнеше өкілі мынадай жауап берді: «Деректерімізді кімге береміз? Оны бәсекелесіміз пайдаланбасын». Бұл жауапта ұлттық агродеректер платформасының неліктен ашық API-мен, бейтарап мемлекеттік операторлығымен жасалуы керектігінің терең логикасы жатыр. Проблема – технологиялық стандарттардың болмауы ғана емес, платформааралық сенімнің болмауы. Сондықтан ҰАДП-ның техникалық сипаттамасы ғана емес, оның басқару үлгісі мен деректер иелігін реттейтін заңнамалық шеңбері маңызды.

Зерттеу аясында айтылған осы сараптаулар бізді бір маңызды тұжырымға алып келеді: Қазақстан АӨК цифрландыру мәселесі тек технологиялық немесе қаржылық проблема ретінде қаралмауы тиіс. Оның астарында институциялық сенімсіздік, ақпараттық қол жетімсіздік және тілдік-мәдени кедергілер жатыр.  $\alpha = 0,312$  коэффициенті ЖИ-инвестицияның өніммен байланысын дәлелдейді, бірақ бұл байланысты іске асыратын – технологиялармен жұмыс жасайтын, оларға сенетін және оларды контекстіне лайық бейімдей алатын нақты адамдар. Осы ұғыным зерттеудің ең терең, санға сыймайтын қорытындысы деп есептейміз.

## ӘДЕБИЕТТЕР

1 Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 4843–4873. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>

2 Zhang X., Han L., Dong Y. et al. A deep learning-based approach for automated yellow rust disease detection from high-resolution hyperspectral UAV images // Remote Sensing. 2022. Vol. 14(1). P. 1–19. URL: <https://doi.org/10.3390/rs14010086>

3 Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2021 года № 960 «Об утверждении Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021–2030 годы». Раздел 2.9 «Цифровизация АПК». – Астана, 2021. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960> (дата обращения: 18.03.2026)

4 MarketsandMarkets. Agriculture Technology Market – Global Forecast to 2028. Chicago: MarketsandMarkets Research, 2024.

- 5 Kamilaris A., Prenafeta-Boldu F.X. Deep learning in agriculture: A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 147. P. 70–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- 6 Liakos K.G., Busato P., Moshou D. et al. Machine learning in agriculture: a review // *Sensors*. 2018. Vol. 18(8). P. 2674. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- 7 Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.J. Big data in smart farming: A review // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. P. 69–80. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- 8 Narynbayeva A.S., Ryskeldi O., Shelomentseva V.P. Digital transformation of the agro-industrial complex of Kazakhstan: challenges and opportunities // *Problems of Agrimarket*. 2023. № 1. P. 45–57. URL: <https://doi.org/10.46666/2023-1.2708-9991.06>
- 9 Sueubayeva S.N., Gola A., Zakimova A.M. Comparative analysis of digitalization models in Central Asian agricultural sectors // *Agricultural Economics*. 2022. Vol. 68(9). P. 412–425. URL: <https://doi.org/10.17221/75/2022-AGRICECON>
- 10 Zhu X., Li D., Zhou W. Does digital technology adoption improve agricultural productivity? Evidence from rural China // *China Economic Review*. 2023. Vol. 79. P. 101940. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2023.101940>
- 11 Mohr S., Khan O. Digital farming: Implications of a combined IoT and blockchain application for food supply chain transparency // *Logistics*. 2021. Vol. 5(3). P. 49. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics5030049>
- 12 Petrick M., Pomfret R. Agricultural reforms in Kazakhstan: Past, present and future challenges // *Post-Communist Economies*. 2023. Vol. 35(4). P. 301–325. URL: <https://doi.org/10.1080/14631377.2023.2182510>
- 13 Janssen S.J.C., Porter C.H., Moore A.D. et al. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 155. P. 200–212. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.017>
- 14 Бюро национальной статистики РК. Открытые данные АПК, серия DS\_AGRI\_RAYON\_2021\_2025. URL: <https://www.stat.gov.kz/> (дата обращения: 01.03.2025)
- 15 Есімханов С.Б., Байжанов Д.А. Жасанды интеллект технологияларын ауыл шаруашылығы секторына енгізудің экономикалық тиімділігі: Қазақстан мысалы // *ҚазЭУ Хабаршысы*. 2023. № 4. Б. 112–124. URL: <https://doi.org/10.47703/kjeas.2023.4.112>
- 16 Қазақстан Республикасы стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросы. Қазақстан Республикасындағы ауыл шаруашылығы дақылдарының жалпы түсімі (2024 ж.). – Астана: Ұлттық статистика бюросы, 2025. URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-ags/publications/113764/> (өтініш берілген күн: 12.03.2026)
- 17 Қазақстан Республикасының Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігі. Цифрлы Қазақстан: мониторинг 2021–2025. – Астана: МЦРИАП, 2025. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/digitalkazakhstan> (өтініш берілген күн: 01.03.2025)
- 18 Қазақстан Республикасы стратегиялық жоспарлау және реформалар жөніндегі агенттігінің Ұлттық статистика бюросы. АӨК ашық деректері, DS\_AGRI\_RAYON\_2021\_2025 сериясы. URL: <https://www.stat.gov.kz/> (өтініш берілген күн: 05.03.2025)
- 19 Rogers E.M. *Diffusion of Innovations*. 5th ed. New York: Free Press, 2003. 576 p.
- 20 Parker G., Van Alstyne M., Choudary S. *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy*. New York: W.W. Norton, 2016. 352 p.
- 21 Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S. Digital twins in smart farming // *Agricultural Systems*. 2021. Vol. 189. P. 103046. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>
- 22 Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. Applications of remote sensing in precision agriculture: A review // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12(19). P. 3136. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- 23 Schimmelpfennig D. Farm profits and adoption of precision agriculture // *Economic Research Report*. 2016. No. 217. Washington DC: USDA Economic Research Service. URL: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.246227>
- 24 Pivoto D., Waquil P.D., Talamini E. et al. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil // *Information Processing in Agriculture*. 2018. Vol. 5(1). P. 21–32. URL: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
- 25 OECD. *Digital Economy Outlook 2024 (Volume 1): Embracing the Technology Frontier*. Paris: OECD Publishing, 2024. 338 p. URL: <https://doi.org/10.1787/a1689dc5-en>
- 26 FAO/OECD. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2024–2033*. Paris: OECD Publishing; Rome: FAO, 2024. 364 p. DOI URL: <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>
- 27 World Bank Independent Evaluation Group. *Agricultural Innovation and Technology in World Bank Projects*. Washington, DC: World Bank, 2024. URL: <https://doi.org/10.1596/IEG193668>

## REFERENCES

- 1 Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. (2021) Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review. *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4843–4873. (In English)
- 2 Zhang X., Han L., Dong Y. et al. (2022) A deep learning-based approach for automated yellow rust disease detection from high-resolution hyperspectral UAV images. *Remote Sensing*, vol. 14(1), pp. 1–19. (In English)
- 3 Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. (2021) Ob utverzhdenii Kontseptsii razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan na 2021–2030 gody: Postanovlenie No. 960 ot 30 dekabrya 2021 goda, razdel 2.9 “Tsifrovizatsiya APK”. Astana, 2021. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960> (accessed: 18.03.2026) (In Russian)
- 4 MarketsandMarkets. Agriculture Technology Market – Global Forecast to 2028. MarketsandMarkets Research, Chicago, 2024. (In English)
- 5 Kamilaris A., Prenafeta-Boldu F.X. (2018) Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 147, pp. 70–90. (In English)
- 6 Liakos K.G., Busato P., Moshou D. et al. (2018) Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, vol. 18(8), p. 2674. URL: <https://doi.org/10.3390/s18082674> (In English)
- 7 Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.J. (2017) Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80. (In English)
- 8 Narynbayeva A.S., Ryskeldi O., Shelomentseva V.P. (2023) Digital transformation of the agro-industrial complex of Kazakhstan. *Problems of Agrimarket*, no. 1, pp. 45–57. (In English)
- 9 Sueubayeva S.N., Gola A., Zakimova A.M. (2022) Comparative analysis of digitalization models in Central Asian agricultural sectors. *Agricultural Economics*, vol. 68(9), pp. 412–425. (In English)
- 10 Zhu X., Li D., Zhou W. (2023) Does digital technology adoption improve agricultural productivity? Evidence from rural China. *China Economic Review*, vol. 79, p. 101940. (In English)
- 11 Mohr S., Khan O. (2021) Digital farming: Implications of a combined IoT and blockchain application for food supply chain transparency. *Logistics*, vol. 5(3), p. 49. (In English)
- 12 Petrick M., Pomfret R. (2023) Agricultural reforms in Kazakhstan: Past, present and future challenges. *Post-Communist Economies*, vol. 35(4), pp. 301–325. (In English)
- 13 Janssen S.J.C., Porter C.H., Moore A.D. et al. (2017) Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products. *Agricultural Systems*, vol. 155, pp. 200–212. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.09.017> (In English)
- 14 Byuro natsional'noy statistiki RK. Otkrytye dannye APK, seriya DS\_AGRI\_RAYON\_2021\_2025. URL: <https://www.stat.gov.kz/> (In Russian)
- 15 Yesimkhanov S.B., Baizhanov D.A. (2023) Ekonomicheskie effektivnost vnedreniia tekhnologii iskusstvennogo intellekta v sektor selskogo khoziaistva: na primere Kazakhstana [Economic efficiency of AI implementation in agriculture: Kazakhstan case]. *Vestnik KazEU*, no. 4, pp. 112–124. URL: <https://doi.org/10.47703/kjeas.2023.4.112> (In Kazakh)
- 16 Bureau of National statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Gross Harvest of Agricultural Crops in the Republic of Kazakhstan (2024). Astana: Bureau of National Statistics, 2025. URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-agr/publications/113764/> (accessed: 12.03.2026) (In Kazakh)
- 17 Qazaqstan Respublikasynyñ Tsıfırlıq damu, innovatsıyalar jáne aerogarysh önerkhásıbı mınıstrlıgı. Tsıfırlıq Qazaqstan: monitoring 2021–2025. MTsRIAP, Astana. 2025. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/digitalkazakhstan> (ötiñish berilgen kün: 01.03.2025) (In Kazakh)
- 18 Qazaqstan Respublikasy strategıalyq zhosparlau jáne reformalar zhönindegı agenttıgınıñ Últtyq statistika bürosy. AÖK ashyq derekteri, DS\_AGRI\_RAYON\_2021\_2025 serıyasy. URL: <https://www.stat.gov.kz/> (ötiñish berilgen kün: 05.03.2025) (In Kazakh)
- 19 Rogers E.M. (2003) *Diffusion of Innovations*. 5th ed. Free Press, New York. (In English)
- 20 Parker G., Van Alstyne M., Choudary S. (2016) *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy*. W.W. Norton, New York. (In English)
- 21 Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S. (2021) Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, vol. 189, p. 103046. (In English)
- 22 Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. (2020) Applications of remote sensing in precision agriculture. *Remote Sensing*, vol. 12(19), p. 3136. (In English)
- 23 Schimmelpfennig D. (2016) Farm profits and adoption of precision agriculture. *Economic Research Report No. 217*. USDA Economic Research Service, Washington DC. (In English)
- 24 Pivoto D., Waquil P.D., Talamini E. et al. (2018) Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, vol. 5(1), pp. 21–32. (In English)

25 OECD. (2024) Digital Economy Outlook 2024 (Volume 1): Embracing the Technology Frontier. OECD Publishing, Paris. 338 p. URL: <https://doi.org/10.1787/a1689dc5-en> (In English)

26 FAO/OECD. (2024) OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033. OECD Publishing, Paris; FAO, Rome. 364 p. URL: <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en> (In English)

27 World Bank Independent Evaluation Group. (2024) Agricultural Innovation and Technology in World Bank Projects. World Bank, Washington, DC. URL: <https://doi.org/10.1596/IEG193668> (In English)

**ЖАКУПОВА Б.А.,<sup>1</sup>**

к.э.н., ст. преподаватель.

e-mail: [bzhakupova@zhubanov.edu.kz](mailto:bzhakupova@zhubanov.edu.kz)

ORCID ID: 0000-0001-6965-6006

**АХМЕТОВА Г.Т.,<sup>2</sup>**

к.э.н., доцент.

e-mail: [esentemir@mail.ru](mailto:esentemir@mail.ru)

ORCID ID: 0000-0001-9510-8695

**ОТЕШОВА А.К.,<sup>\*1</sup>**

DBA., ст. преподаватель.

\*e-mail: [alma\\_08l@mail.ru](mailto:alma_08l@mail.ru)

ORCID ID: 0000-0001-6119-3860

**ЖУМАГАЛИЕВА Б.З.,<sup>3</sup>**

к.э.н., ассоциированный профессор.

e-mail: [bakytgul2015@mail.ru](mailto:bakytgul2015@mail.ru)

ORCID ID: 0000-0002-4238-6760

<sup>1</sup>Актюбинский региональный университет

им. К. Жубанова,

г. Актобе, Казахстан

<sup>2</sup>НАО Атырауский университет

им. Х. Досмухамедова,

г. Атырау, Казахстан

<sup>3</sup>Международный университет Астана

г. Астана, Казахстан

## **ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС КАЗАХСТАНА: ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ**

### **Аннотация**

Цифровая трансформация аграрного сектора сегодня стала стратегической задачей обеспечения продовольственной безопасности. Несмотря на то что Казахстан располагает богатыми ресурсами – 222 млн га сельскохозяйственных земель, доля отрасли в ВВП не превышает 4,7–5,1%. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) могут сыграть важную роль в устранении этого разрыва. Цель исследования – выявление закономерностей внедрения технологий искусственного интеллекта в АПК Казахстана, количественная оценка влияния инвестиций искусственного интеллекта на сельскохозяйственное производство и выработка конкретных практических рекомендаций для государственной политики. Научная значимость исследования: впервые в панельных данных по районам Казахстана был оценен коэффициент гибкости капитала искусственного интеллекта. Практическая значимость: результаты могут быть непосредственно использованы при разработке стратегии цифровизации аграрного сектора. Методология: в данных, определенных по 47 районам за 2021–2025 гг., производственная функция Кобба-Дугласа оценена с помощью модели фиксированных эффектов (228 наблюдений,  $R^2 = 0,891$ ). Результаты: коэффициент эластичности капитала искусственного интеллекта определен на уровне 0,312 ( $p < 0,001$ ). Точное земледелие выросло с 45 до 261 тысячи гектаров, инвестиции в AgriTech увеличились в четыре раза. Недостаточная цифровая инфраструктура и нехватка специалистов – основные барьеры. Предлагаются практические направления для разработчиков аграрной политики Казахстана, компаний AgriTech и владельцев хозяйств: Национальная агроцифровая платформа с открытым API, субсидирование инфраструктуры сельской связи, грантовая программа для малых хозяйств.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, агропромышленный комплекс, цифровизация, прецизионное земледелие, AgriTech, панельные данные, смарт-фарминг.

**ZHAKUPOVA B.A.,<sup>1</sup>**

c.e.s., senior lecturer.

e-mail: bzhakupova@zhubanov.edu.kz

ORCID ID: 0000-0001-6965-6006

**AKHMETOVA G.T.,<sup>2</sup>**

c.e.s., associate professor.

e-mail: esentemir@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-9510-8695

**OTESHOVA A.K.,<sup>\*1</sup>**

DBA., senior lecturer.

\*e-mail: alma\_08l@mail.ru

ORCID ID: 0000-0001-6119-3860

**ZHUMAGALIEVA B.Z.,<sup>3</sup>**

c.e.s., associate professor.

e-mail: bakytgul2015@mail.ru

ORCID ID: 0000-0002-4238-6760

<sup>1</sup>Aktobe Regional University

named after K. Zhubanov,

Aktobe, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kh. Dosmukhamedov Atyrau State University,

Atyrau, Kazakhstan

<sup>3</sup>Astana International University,

Astana, Kazakhstan

## **PROBLEMS OF INTRODUCING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF KAZAKHSTAN: DIGITAL TRANSFORMATION AND FOREIGN EXPERIENCE**

### **Abstract**

Today, the digital transformation of the agricultural sector has become a strategic task for ensuring food security. Although Kazakhstan possesses rich resources – 222 million hectares of agricultural land, the share of the industry in GDP does not exceed 4.7–5.1%. Artificial intelligence (AI) technologies can play an important role in bridging this gap. The purpose of the study is to identify the patterns of implementation of artificial intelligence technologies in the agro – industrial complex of Kazakhstan, quantify the impact of artificial intelligence investments on agricultural production and formulate specific practical recommendations for public policy. Scientific significance of the study: for the first time in panel data on districts of Kazakhstan, the coefficient of flexibility of artificial intelligence capital was evaluated. Practical significance: the results can be used directly in developing a strategy for digitalization of the agricultural sector. Methodology: in data identified across 47 districts for 2021–2025, the Cobb-Douglas production function was estimated using a fixed effects model (228 observations,  $R^2 = 0.891$ ). Results: the elasticity coefficient of artificial intelligence capital was determined at 0.312 ( $p < 0.001$ ). Precision farming grew from 45 to 261 thousand hectares, AgriTech investments quadrupled. Insufficient digital infrastructure and shortage of specialists are the main barriers. Practical directions are offered for developers of agricultural policy in Kazakhstan, AgriTech companies and farm owners: a national agrodata platform with an open API, subsidising rural communication infrastructure, a grant programme for small farms.

**Keywords:** artificial intelligence, agro-industrial complex, digitalization, precision agriculture, AgriTech, panel data, smart farming.

Мақаланың редакцияға түскен күні: 04.04.2026