

**БАЛЫҚ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ЦИФРЛЫҚ ЭКОЖҮЙЕНІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ:
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕР**

Назарова Ж.К., ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, zhaniya86@mail.ru

Қызылорда ашық университеті, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы

Аңдатпа. Балық шаруашылығы – азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ететін және ауыл шаруашылығының экономикалық әлеуетін арттыратын маңызды салалардың бірі. Соңғы жылдары әлемде цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы аквамәдениет өндірісін жаңа деңгейге көтеріп, өндірістік процестерді автоматтандыруға, табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға және басқарушылық шешімдердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік беруде. Бұл мақалада Қазақстандағы балық шаруашылығында цифрлық экожүйені қалыптастырудың қазіргі жағдайы, оның негізгі элементтері және инновациялық технологияларды енгізудің бағыттары қарастырылды. Цифрлық экожүйенің құрамына заттар интернеті (IoT), жасанды интеллект, бұлттық есептеулер, үлкен деректер (Big Data), геоақпараттық жүйелер, қашықтықтан мониторинг және цифрлық платформалар енгізілді. Сонымен қатар Қызылорда облысының су айдындары жағдайында цифрлық технологияларды пайдаланудың перспективалары талданды. Зерттеу нәтижелері цифрлық шешімдерді енгізу өндірістік шығындарды төмендетуге, су сапасын үздіксіз бақылауға, балықтың өсуін дәл болжауға және саланың тұрақты дамуын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретінін көрсетті.

Кілт сөздер: балық шаруашылығы, аквамәдениет, цифрлық экожүйе, жасанды интеллект, IoT, Big Data, автоматтандыру, цифрлық мониторинг.

Аннотация. Рыбное хозяйство является одной из важных отраслей, обеспечивающих продовольственную безопасность и повышающих экономический потенциал сельского хозяйства. В последние годы стремительное развитие цифровых технологий в мире выводит производство аквакультуры на новый уровень, позволяя автоматизировать производственные процессы, эффективно использовать природные ресурсы и повышать точность управленческих решений. В данной статье рассмотрено современное состояние формирования цифровой экосистемы в рыбном хозяйстве Казахстана, ее основные элементы и направления внедрения инновационных технологий. В состав цифровой экосистемы включены Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект, облачные вычисления, большие данные (Big Data), геоинформационные системы, дистанционный мониторинг и цифровые платформы. Кроме того, проанализированы перспективы использования цифровых технологий в условиях водоемов Кызылординской области. Результаты исследования показали, что внедрение цифровых решений позволяет снизить производственные затраты, обеспечить непрерывный контроль качества воды, более точно прогнозировать рост рыбы и способствовать устойчивому развитию отрасли.

Ключевые слова: рыбное хозяйство, аквакультура, цифровая экосистема, искусственный интеллект, IoT, Big Data, автоматизация, цифровой мониторинг.

Кіріспе. Қазіргі кезеңде әлемдік азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуде аквамәдениет пен балық шаруашылығының маңызы артып келеді. Климаттың өзгеруі, табиғи су ресурстарының азаюы, халық санының өсуі және жоғары сапалы ақуыз өнімдеріне сұраныстың артуы бұл саланы ғылыми-техникалық жаңғыртуды талап етеді. Осыған байланысты цифрлық технологияларды енгізу балық шаруашылығын дамытудың негізгі факторларының біріне айналып отыр.

Соңғы жылдары «Ақылды аквамәдениет» (Smart Aquaculture) тұжырымдамасы кеңінен дамып келеді. Оның негізін су сапасын үздіксіз бақылайтын IoT датчиктері, машиналық оқыту алгоритмдері, компьютерлік көру жүйелері, ұшқышсыз ұшу аппараттары, бұлттық платформалар және цифрлық егіз (Digital Twin) технологиялары құрайды. Бұл технологиялар өндірістік көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде бақылауға, жем шығынын оңтайландыруға, аурулардың алдын алуға және басқарушылық шешімдердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қазақстанда балық шаруашылығы агроөнеркәсіптік кешеннің стратегиялық бағыттарының бірі ретінде қарастырылуда. Мемлекет аквамәдениетті дамыту, су айдындарының өнімділігін арттыру және экспорттық әлеуетті күшейту мақсатында цифрландыруды басым бағыттардың бірі ретінде айқындап отыр. Әсіресе, Қызылорда облысында орналасқан көл жүйелері мен су қоймаларында цифрлық мониторинг пен интеллектуалды басқару жүйелерін енгізу өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Цифрлық экожүйе тек технологиялардың жиынтығы ғана емес, ол өндірістік процестерді, деректерді, бағдарламалық қамтамасыз етуді, мемлекеттік басқаруды, ғылыми зерттеулерді және бизнес құрылымдарын біріктіретін кешенді ақпараттық орта болып табылады. Осындай экожүйені қалыптастыру Қазақстандағы балық шаруашылығының бәсекеге қабілеттілігін арттырудың маңызды алғышарты саналады.

Әдебиеттерге шолу (2021-2026 жж.). 2021-2026 жылдар аралығында жүргізілген ғылыми зерттеулер цифрлық аквамәдениеттің әлемдік деңгейде қарқынды дамып келе жатқанын көрсетеді. Негізгі зерттеу бағыттары ретінде жасанды интеллект, машиналық оқыту, цифрлық егіздер, IoT платформалары, компьютерлік көру жүйелері және автоматтандырылған шешім қабылдау жүйелері қарастырылады.

2021 жылы жарияланған шолуда бұлттық есептеулер, IoT және жасанды интеллекттің біріктірілуі тұрақты аквамәдениетті дамытудың негізгі технологиялық платформасы ретінде ұсынылған. Авторлар бұл шешімдер су сапасын бақылауды, өндірістік ресурстарды оңтайландыруды және қоршаған ортаға түсетін антропогендік әсерді азайтатынын дәлелдейді.

2025 жылы жарияланған жүйелі әдеби шолу 2020–2024 жылдардағы 57 ғылыми еңбекті талдап, аквамәдениетте ең жиі қолданылатын технологиялардың қатарында компьютерлік көру, терең оқыту, машиналық оқыту және болжау модельдері бар екенін көрсетті. Сонымен қатар зерттеуде деректердің жеткіліксіздігі, жоғары инвестициялық шығындар және цифрлық инфрақұрылымның әлсіздігі негізгі кедергілер ретінде аталған.

Соңғы зерттеулерде цифрлық егіздер (Digital Twin) технологиясы ерекше назар аударуда. Бұл тәсіл нақты өндірістік нысанның виртуалды моделін құрып, қоректендіру режимін, су сапасын және балықтың өсу қарқынын алдын ала модельдеуге мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер басқарушылық шешімдердің дәлдігін арттырып, өндірістік тәуекелдерді азайтады.

Сонымен қатар халықаралық ғылыми әдебиеттерде цифрлық экожүйенің тиімді жұмыс істеуі үшін IoT датчиктері, үлкен деректерді талдау, бұлттық платформалар және жасанды интеллекттің біртұтас ақпараттық ортада біріктірілуі қажеттігі көрсетілген. Мұндай интеграция өндірістік процестерді автоматтандырумен қатар, экологиялық қауіпсіздікті күшейтіп, саланың орнықты дамуына ықпал етеді.

Бұл әдебиеттер Қазақстан жағдайында балық шаруашылығын цифрландырудың ғылыми негізін қалыптастырады және ұлттық ерекшеліктерді ескере отырып цифрлық экожүйені дамытуға бағытталған жаңа зерттеулердің қажеттілігін көрсетеді.

Цифрлық экожүйе – өзара байланысқан аппараттық құралдар, бағдарламалық қамтамасыз ету, ақпараттық жүйелер және интеллектуалды талдау құралдарының бірыңғай цифрлық ортада жұмыс істеуін қамтамасыз ететін кешенді басқару жүйесі. Балық шаруашылығында мұндай экожүйе өндірістік процестерді автоматтандыруға, нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізуге және басқарушылық шешімдердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [6, 7].

Заттар интернеті (Internet of Things – IoT) технологиясы су қоймаларында орнатылған интеллектуалды датчиктер арқылы судың температурасы, рН көрсеткіші, еріген оттегі, тұздылық, лайлылық және аммиак концентрациясы сияқты негізгі гидрохимиялық параметрлерді үздіксіз бақылауға мүмкіндік береді. Алынған мәліметтер бұлттық серверлерге жіберіліп, мобильді қосымшалар немесе веб-платформалар арқылы пайдаланушыға ұсынылады [8, 9].

Жасанды интеллект технологиялары өндірістік деректерді өңдеп, балықтың өсу қарқынын болжауға, аурулардың ерте кезеңдегі белгілерін анықтауға, азық мөлшерін оңтайландыруға және өндірістік тәуекелдерді бағалауға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта терең оқыту (Deep Learning) және компьютерлік көру алгоритмдері әлемнің көптеген аквафермаларында кеңінен қолданылып келеді [10].

Big Data технологиялары өндірістен түсетін үлкен көлемдегі мәліметтерді жинақтап, талдауға мүмкіндік береді. Жиналған деректер негізінде өндірістің тиімділігі бағаланып, қоректендіру режимі, су сапасы және өнімділік көрсеткіштері бойынша болжамдық модельдер құрылады [9].

Қазақстандағы инновациялық тәжірибелер және халықаралық салыстырмалы талдау. Қазақстанда аквамәдениетті цифрландыру бағытындағы жұмыстар мемлекеттік деңгейде қолдау табуда. Қазіргі уақытта республикада 600-ге жуық балық өсіру шаруашылығы жұмыс істейді және олардың өндірістік әлеуетін арттыру мақсатында цифрлық басқару элементтерін енгізу жоспарланған [1, 3].

Норвегия, Қытай, АҚШ және Жапония сияқты мемлекеттерде цифрлық аквамәдениет толыққанды өндірістік жүйеге айналған. Бұл елдерде Digital Twin, IoT, жасанды интеллект, роботтандырылған азықтандыру және спутниктік мониторинг жүйелері кеңінен пайдаланылады. Мұндай технологиялар өндірістік шығындарды азайтып, жемнің тиімді пайдаланылуын қамтамасыз етеді және экологиялық тәуекелдерді төмендетеді [4–10].

Қазақстанда бұл технологиялар енді ғана енгізіле бастағанымен, цифрлық мониторинг, геоақпараттық жүйелер және автоматтандырылған есеп жүргізу бағытында алғашқы нәтижелер байқалуда. Болашақта халықаралық тәжірибені бейімдеу арқылы отандық аквамәдениеттің тиімділігін едәуір арттыруға болады [3, 6].

1-кесте – Балық шаруашылығында жасанды интеллектті қолдану бағыттары

№	Бағыты	Қолданылатын мәліметтер	Жасанды интеллекттің қызметі	Нәтижесі
1	Ауруларды ерте анықтау	Жүзу ерекшелігі, дене түсі, жарақаттары, қозғалысы	Компьютерлік көру арқылы балықтың сыртқы белгілері мен қозғалысын бақылайды және ауру белгілерін анықтайды	Ауруларды ерте кезеңде анықтау және уақытында шара қолдану
2	Балық қорын болжау	Ауа райы, климат, су температурасы, тарихи деректер, нарықтағы сұраныс	Әртүрлі деректерді талдап, балық қорының өзгеруін болжайды	Балық қорын тиімді басқару және өндірісті жоспарлау
Ескерту - кестеде келтірілген мәліметтер әдебиеттерге негізделген [4, 7].				

Өңірде цифрлық экожүйені қалыптастыру мақсатында IoT негізіндегі су сапасын бақылау жүйелерін енгізу, дрондарды пайдалану арқылы көлдердің жағдайын бақылау, жасанды интеллект көмегімен балықтың өсуін болжау және бірыңғай цифрлық басқару платформасын құру маңызды бағыттардың бірі болып саналады. Мұндай технологиялар өндірістік шығындарды азайтып, табиғи су ресурстарын тиімді пайдалануға және экспорттық әлеуетті арттыруға мүмкіндік береді [3, 5, 6].

2-кесте - Экономикалық тиімділік есебі

№	Көрсеткіш	Дәстүрлі әдіс	AI негізіндегі жүйе
1	Жем шығыны	100%	82%
2	Электр энергиясы	100%	87%
3	Өлім-жітім	12%	5%
4	Өнім көлемі	100%	118%
5	Пайда	100%	128%
Ескерту - кестеде келтірілген көрсеткіштер автордың есептік мысалы негізінде ұсынылған.			

Экономикалық нәтиже (мысал):

- Инвестиция көлемі – 25 млн теңге.
- Жылдық қосымша табыс – 10,5 млн теңге.
- Пайдалану шығындарының қысқаруы – 3,8 млн теңге.
- Жалпы жылдық экономикалық әсер – 14,3 млн теңге.
- Өтелу мерзімі – 1,7-2,0 жыл.
- ROI $\approx$ 57%.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Қазақстандағы балық шаруашылығын тұрақты дамыту үшін дәстүрлі өндірістік тәсілдермен қатар цифрлық технологияларды кешенді енгізу қажеттілігі артып отыр. Қазіргі кезеңде әлемдік аквамәдениет саласында цифрлық экожүйелерді қалыптастыру өндіріс тиімділігін арттырудың, табиғи ресурстарды ұтымды пайдаланудың және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі құралдарының біріне айналууда.

Қазақстанның балық шаруашылығы табиғи су айдындарының кең көлемімен, экспорттық әлеуетімен және мемлекеттік қолдау бағдарламаларымен ерекшеленеді. Алайда саланың бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін су ресурстарын басқару, өндірістік процестерді бақылау, балықтың өсуін болжау және азықтандыру жүйелерін оңтайландыру бағыттарында заманауи цифрлық шешімдерді пайдалану қажет.

Зерттеу барысында анықталғандай, цифрлық экожүйенің негізгі элементтері – заттар интернеті (IoT), жасанды интеллект (AI), Big Data, геоақпараттық жүйелер (GIS), спутниктік мониторинг, дрондар және бұлттық платформалар – балық шаруашылығын басқарудың сапасын жаңа деңгейге көтеруге мүмкіндік береді. Бұл технологиялар су сапасының параметрлерін нақты уақытта бақылауға, аурулардың алдын алуға, жем шығынын азайтуға және өндірістік көрсеткіштерді болжауға жағдай жасайды.

Қызылорда облысының мысалында жүргізілген талдау өңірдің цифрлық технологияларды енгізуге жоғары әлеуеті бар екенін көрсетті. Сырдария өзені, Кіші Арал теңізі және көптеген табиғи көлдер орналасқан аймақ үшін цифрлық мониторинг жүйелері су ресурстарын тиімді пайдалануға, балық қорын сақтауға және тауарлық балық өндірісін арттыруға мүмкіндік береді.

Экономикалық есептеулер көрсеткендей, жасанды интеллект пен автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу жем шығынын төмендетіп, өндіріс көлемін арттыруға және шаруашылықтардың табыстылығын көтеруге мүмкіндік береді. Цифрлық технологияларға салынған инвестициялар орта мерзімді кезеңде өзін ақтап, балық шаруашылықтарының экономикалық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Сонымен қатар Қазақстандағы цифрландыру процесінің негізгі мәселелері ретінде жоғары технологиялық жабдықтардың қымбаттығы, ауылдық аумақтардағы интернет инфрақұрылымының жеткіліксіздігі, цифрлық сауаттылық деңгейінің төмендігі және салалық деректер базасының толық қалыптаспауы анықталды.

Осыған байланысты Қазақстанның балық шаруашылығында цифрлық экожүйені қалыптастыру тек технологиялық жаңғырту емес, сонымен қатар экономикалық тиімділікті, экологиялық тұрақтылықты және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ететін стратегиялық бағыт ретінде қарастырылуы тиіс.

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, Қазақстандағы балық шаруашылығын цифрландыру бойынша келесі ұсыныстар беріледі:

1. Бірыңғай ұлттық цифрлық платформа құру. Қазақстандағы барлық балық шаруашылықтарын біріктіретін ақпараттық жүйе қалыптастыру қажет. Бұл платформада су айдындары туралы мәліметтер, өндіріс көлемі, балық қоры, су сапасы және экспорттық көрсеткіштер жинақталуы тиіс.

2. IoT негізіндегі мониторинг жүйелерін енгізу. Балық өсіру шаруашылықтарында су температурасы, оттегі деңгейі, рН көрсеткіші және басқа гидрохимиялық параметрлерді өлшейтін автоматты датчиктерді пайдалану ұсынылады.

3. Жасанды интеллект негізіндегі басқару жүйелерін дамыту. AI технологияларын:

- балықтың өсуін болжау;
- ауруларды ерте анықтау;
- жем мөлшерін автоматты есептеу;
- өндірістік тәуекелдерді бағалау бағыттарында қолдану қажет.

4. Цифрлық мамандар даярлау. Балық шаруашылығы мамандарына арналған:

- цифрлық технологиялар;
- деректерді талдау;
- жасанды интеллект;
- GIS жүйелері бойынша арнайы оқу бағдарламаларын енгізу қажет.

5. Мемлекеттік қолдау механизмдерін жетілдіру. Цифрлық жабдықтарды сатып алуға субсидия беру, инновациялық жобаларға жеңілдетілген қаржыландыру механизмдерін енгізу ұсынылады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу жасанды интеллект технологияларының Қазақстандағы балық шаруашылығын цифрландырудың негізгі драйверлерінің бірі екенін көрсетті. Жасанды интеллект су сапасын үздіксіз бақылауға, жем шығынын оңтайландыруға, ауруларды ерте анықтауға және өндірістік шешімдерді автоматтандыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұл технологиялар табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға, экологиялық қауіпсіздікті сақтауға және өнімнің халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

Қазақстанда цифрлық инфрақұрылымды дамыту, ғылыми-зерттеу жұмыстарын күшейту, жоғары білікті мамандар даярлау және халықаралық тәжірибені енгізу арқылы жасанды интеллектті кеңінен пайдалану саланың тұрақты дамуына негіз болады.

Әдебиеттер тізімі:

1. Kang, B., & Chen, X. (2023). Artificial intelligence-driven aquaculture management systems. *Aquaculture Reports*, 29, 101500.
2. Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі. (2024). Балық шаруашылығын дамыту жөніндегі ақпараттық материалдар – Астана, 2024.
3. Қазақстан Республикасы Экология және табиғи ресурстар министрлігі. (2024). Қазақстандағы балық ресурстарын сақтау және пайдалану туралы есеп. Астана.
4. Khan, S. et al. (2022). *Fish Disease Detection Using Image Based Machine Learning Technique in Aquaculture*. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(8), 5170-5182.
5. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі. (2024). Қазақстан Республикасының ауыл шаруашылығы статистикасы – Астана, 2024.
6. Қазақстан Республикасы Үкіметі. (2024). Аквामәдениетті дамыту жөніндегі шаралар туралы қаулы - Астана 2024.
7. Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2021). A review of digital agriculture transformation. *Agricultural Systems*, 193, 103206.
8. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. (2021). Big data in smart farming. *Agricultural Systems*, 196, 103347.
9. Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. (2022). The rise of artificial intelligence in agriculture and aquaculture. *Sensors*, 22(4), 1501.
10. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., et al. (2022). Digital transformation in agriculture. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2, 12-20.