



КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ПРЕЗИДЕНТІНІҢ ЖАНЫНДАҒЫ
КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ

№2 (апрель-июнь)
2026 год

НАУКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Научный журнал НАН РК при Президенте РК

ҚР Президентінің жанындағы ҚР ҰҒА
«Интеллектуалды жүйелер ғылымы» ғылыми журналы

Scientific Journal of the NAS RK under the President of the RK
«Science of intelligent systems»

010010011011
011101010010

«Интеллектуалды жүйелер ғылымы» ғылыми журнал

Научный журнал «Наука интеллектуальных систем»

Scientific Journal «Science of intelligent systems»

БАС РЕДАКТОР:

Токбергенов И.Т.

физика-математика ғылымдарының
кандидаты, ҚР Президентінің жанындағы ҚР
ҰҒА Бас ғалым хатшысы

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Токбергенов И.Т.,

кандидат физико-математических наук,
Главный ученый секретарь НАН РК при
Президенте РК

CHIEF EDITOR:

I.Tokbergenov

Candidate of Physical and Mathematical
Sciences, Chief Scientific Secretary of the
National Academy of Science of the Republic of
Kazakhstan under the President of the
Republic of Kazakhstan

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА МҮШЕЛЕРІ:

Бакенов Ж.Б., академик (Қазақстан);

Батырбеков Э.Г., академик (Қазақстан);

Қалтаев А.Ж., академик (Қазақстан);

Локшин В.Н., академик (Қазақстан);

Миталипов Ш., профессор (АҚШ);

Сұраған Дурвудхан, академик (Қазақстан);

Телтаев Б.Б., академик (Қазақстан);

Чэнь Си, профессор (ҚХР);

Шеремет И. А., академик (Ресей).

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бакенов Ж.Б., академик (Қазақстан);

Батырбеков Э.Г., академик (Қазақстан);

Қалтаев А. Ж., академик (Қазақстан);

Локшин В.Н., академик (Қазақстан);

Миталипов Ш., профессор (США);

Сұраған Дурвудхан, академик (Қазақстан);

Телтаев Б.Б., академик (Қазақстан);

Чэнь Си, профессор (КНР);

Шеремет И.А., академик РАН (Россия).

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Bakenov J.B Academic (Kazakhstan);

Batyrbekov E.G., Academic (Kazakhstan);

Kaltaev A. J., Academic (Kazakhstan);

Lokshin V.N., Academic (Kazakhstan);

Mitalipov Sh., Professor (USA);

Suragan Durvudhan, Academic (Kazakhstan);

Teltaev B.B., Academic (Kazakhstan);

Chen Xi, Professor (China);

Sheremet I. A., Academic (Russia).

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Национальная академия наук Республики Казахстан
при Президенте Республики Казахстан

Издается с 2025 года

Выходит 4 раза в год, ежеквартально

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного
издания, информационного агентства и сетевого издания №
KZ90VPY00113742, выданное Министерством культуры и
информации от 03.03.2025 г.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28

Тел. канцелярии: +7 (727) 308 08 17

Тел. отв. редактора: +7 705 988 19 52

Сайт журнала: <https://kazscience.kz>

FOUNDER:

National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan
under the President of the Republic of Kazakhstan

Published since 2025 year.

Issued 4 times a year, quarterly

Certificate of registration of a periodical, news agency and online
publication No. KZ90VPY00113742 issued by the Ministry of Culture and
Information dated 03.03.2025.

Address of editorial offices: 050010, Almaty city, Shevchenko str., 28

Office phone number: +7 (727) 308 08 17

Tel. of the responsible editor: +7 705 988 19 52

Website: <https://kazscience.kz>

СОДЕРЖАНИЕ

Куришбаев А.К. От цифровизации к интеллектуальному суверенитету	4
---	---

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Мирзаев Ф.Р. Интеграция искусственного интеллекта и космических технологий: роль партнёрства ЮНЕСКО–НАСА в защите наследия и климатической стойчивости.....	9
Утеулина А.С. Искусственный интеллект как новый глобальный эксперимент: методология науки, ответственность и экономика решений.....	21

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Дуйсембеков Б.А. Современные цифровые решения в управлении фитосанитарными рисками в Республике Казахстан.....	31
--	----

CONTENT

Kurishbaev A.K. From Digitalization to Intellectual Sovereignty	4
---	---

INTELLIGENT SYSTEMS

Mirzayev F. R. Artificial Intelligence and Space Technology Integration: the Role of the UNESCO–NASA Partnership in Heritage Protection and Climate Resilience.....	9
Uteulina A. S. From the Methodology of Experiment to the Philosophy of AI: Evolution of the Research Program (1988–2025).....	21

DIGITALIZATION

Duisembekov B.A. Modern digital solutions in phytosanitary risk management in the Republic of Kazakhstan.....	31
---	----



Куришбаев Ахылбек Кажигулович,
Президент, академик Национальной академии наук
Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан

ОТ ЦИФРОВИЗАЦИИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМУ СУВЕРЕНИТЕТУ

Уважаемые коллеги, авторы и читатели журнала!

Казахстан вступает в новый этап своего развития, в котором знания, наука, данные и искусственный интеллект становятся не только инструментами экономической модернизации, но и важнейшими факторами национального суверенитета.

Принятая на Республиканском референдуме 15 марта 2026 года и вступившая в силу 1 июля 2026 года новая Конституция Республики Казахстан сформировала принципиально новую правовую основу для научно-технологического развития страны. В ее преамбуле народ Казахстана заявляет об ориентации на ценности образования, науки и инноваций, а развитие человеческого капитала, образования, науки и инноваций непосредственно закреплено в качестве стратегического направления деятельности государства. Тем самым поддержка науки перестает быть только одной из функций государственной политики и приобретает значение конституционного обязательства.

Выступая 19 марта 2026 года перед научной общественностью, Глава государства Касым-Жомарт Токаев особо подчеркнул, что развитие университетов, исследовательской инфраструктуры и научных кадров должно рассматриваться как исполнение требований Основного закона. Президент поставил перед научным сообществом более широкую задачу: не ограничиваться освоением и копированием чужих знаний, а самостоятельно создавать новые знания и технологии, способные обеспечить долгосрочное развитие страны.

Эта конституционная установка получила системное продолжение в Общенациональной стратегии масштабной цифровизации и внедрения технологий искусственного интеллекта «Digital Qazaqstan» до 2029 года, утвержденной Указом Президента 9 июня 2026 года. Стратегия переводит цифровую трансформацию из

совокупности отдельных ведомственных проектов в ранг общенационального курса и формирует единый контур модернизации государства, экономики и социальной сферы.

Главный смысл этого перехода заключается не в простом увеличении числа информационных систем, центров обработки данных или цифровых услуг. Речь идет о создании целостной национальной цифровой архитектуры, в которой данные, вычислительная инфраструктура, научные модели, отраслевые знания и искусственный интеллект объединяются для решения реальных задач государства и общества.

На втором заседании Совета по развитию искусственного интеллекта 4 мая 2026 года Глава государства обозначил принципиально важный ориентир: Казахстану необходимо перейти к цифровой экономике через формирование масштабных платформенных решений. При этом искусственный интеллект должен внедряться не как совокупность разрозненных пилотных проектов, а как целостная система, связывающая данные, процессы и людей и обеспечивающая переход от экспериментов к широкому применению в реальном секторе экономики.

Именно платформенный подход должен стать основой следующего этапа цифрового развития Казахстана.

Три измерения национального суверенитета

В условиях стремительного развития искусственного интеллекта понятие суверенитета приобретает новое содержание. Наряду с политическим, экономическим и территориальным суверенитетом все более важными становятся цифровой, технологический и интеллектуальный суверенитет.

Цифровой суверенитет означает способность государства самостоятельно определять

правила обращения национальных данных, обеспечивать их безопасность, располагать необходимыми вычислительными мощностями и надежными каналами связи.

Технологический суверенитет предполагает способность не только приобретать и эксплуатировать зарубежные технологии, но и самостоятельно разрабатывать, проверять, адаптировать и совершенствовать критически важные алгоритмы, модели, программные платформы и технические решения.

Интеллектуальный суверенитет основывается на собственных научных школах, исследовательских коллективах, инженерных компетенциях, национальных базах знаний и способности страны самостоятельно понимать сложные процессы, прогнозировать их развитие и принимать обоснованные решения.

Глава государства прямо связал технологическую независимость с контролем над вычислительными мощностями, данными и каналами связи, назвав цифровую инфраструктуру основой технологического суверенитета. Президент также отметил, что инфраструктура, включая суперкомпьютеры и проект «Долина центров обработки данных», должна стать стратегическим активом Казахстана и обеспечить доступ к вычислительным ресурсам для науки и бизнеса.

Однако наличие мощных суперкомпьютеров и дата-центров само по себе еще не обеспечивает суверенитет. Без собственных научных моделей, алгоритмов, отраслевых данных, специалистов и механизмов независимой валидации страна рискует превратиться лишь в потребителя вычислительных услуг и зарубежных цифровых продуктов.

Поэтому национальная цифровая инфраструктура должна развиваться одновременно с национальной научно-технологической инфраструктурой искусственного интеллекта.

От универсальных моделей — к отраслевому искусственному интеллекту

На современном этапе общественное восприятие искусственного интеллекта во многом сосредоточено вокруг больших языковых моделей, способных вести диалог, анализировать документы и создавать тексты. Такие технологии, безусловно, имеют большое значение. Однако они представляют собой лишь один из классов интеллектуальных систем.

Для решения задач водной безопасности, энергетики, геологии, промышленности, медицины, транспорта, сельского хозяйства или предупреждения чрезвычайных ситуаций недостаточно универсальной модели, работающей преимущественно с текстом. Необходимы специализированные отраслевые платформы, которые понимают физическую природу процессов, работают с измеряемыми параметрами, используют отраслевые модели и способны оценивать достоверность и неопределенность получаемых результатов.

Отраслевой искусственный интеллект должен соединять:

- данные государственных и производственных систем;
- спутниковые снимки, сенсорные и геопространственные данные;
- физико-математические и инженерные модели;
- отраслевые базы знаний и нормативные требования;
- цифровые двойники объектов, территорий и технологических процессов;
- специализированных ИИ-агентов;
- инструменты сценарного прогнозирования;
- системы независимой валидации и оценки рисков;
- интерфейсы поддержки управленческих решений.

Таким образом, отраслевой ИИ — это не чат-бот, подключенный к ведомственной базе данных, и не отдельная программа, решающая одну узкую задачу. Это комплексная научно-технологическая платформа, обеспечивающая полный цикл работы: от сбора и подготовки данных до моделирования, прогноза, проверки результатов, апробации и внедрения в реальную практику.

Такие платформы должны создаваться для наиболее значимых направлений: водных ресурсов, агропромышленного комплекса, геологии и критических минералов, энергетики, промышленности, транспорта и логистики, экологии и климата, сейсмической безопасности, умных городов, здравоохранения и образования.

Их не следует проектировать как изолированные ведомственные системы. Многие риски имеют межотраслевую природу. Дефицит воды связан с энергетикой, сельским хозяйством, состоянием ледников и трансграничным стоком.

Сейсмический риск зависит от геодинамики, городской застройки, инженерных сетей, транспорта и систем жизнеобеспечения. Освоение критических минералов связано с энергетикой, водой, экологией, логистикой и промышленной переработкой.

Именно поэтому Казахстану необходима не совокупность несвязанных отраслевых приложений, а единая национальная архитектура искусственного интеллекта: общее научно-технологическое ядро и развиваемые на его основе специализированные отраслевые контуры.

DeerBas как прообраз комплексной научно-технологической платформы

Одним из примеров такого подхода является развиваемая при участии Национальной академии наук концепция DeerBas — научно-технологической платформы пространственно-временного искусственного интеллекта.

Принципиально важно, что DeerBas рассматривается не как очередная ведомственная информационная система, не как универсальная языковая модель и не как параллельная база государственных данных. Платформа должна объединять данные, знания, вычислительную среду, физико-математические и ИИ-модели, цифровые двойники, дистанционное зондирование Земли, графы знаний, специализированных агентов и инструменты поддержки решений.

DeerBas представляет собой комплексную научно-технологическую платформу пространственно-временного ИИ, объединяющую единый движок пространственно-временных данных и знаний, специализированные отраслевые модели и интеллектуальные навыки, а также сценарно-когнитивный механизм координации их работы. На базе платформы формируется расширяемый портфель отраслевых ИИ-агентов, первоначально охватывающий шесть приоритетных направлений.

Водный агент выступает первым практическим контуром, поскольку водная безопасность для Казахстана является одновременно природной, экономической, энергетической, продовольственной и трансграничной задачей. Однако потенциал платформы не ограничивается водным сектором. Общие механизмы пространственно-временного анализа, цифровых двойников, сценарного моделирования и агентного искусственного интеллекта могут

применяться в других стратегически важных отраслях.

DeerBas демонстрирует принципиальное отличие платформы от обычной информационной системы. Информационная система, как правило, собирает, хранит и отображает данные. Научно-технологическая платформа должна также сопоставлять различные модели, анализировать неопределенность, проверять результаты на исторических событиях, строить альтернативные сценарии и формировать объяснимые рекомендации.

При этом DeerBas не должен подменять официальных операторов государственных данных и действующие отраслевые системы. Наиболее рациональна двухконтурная архитектура.

Первый контур — официальный эксплуатационный. В нем уполномоченные государственные органы и отраслевые операторы сохраняют ответственность за учет, реестры, телеметрию, официальную отчетность, регламентированные прогнозы и принятие управленческих решений.

Второй контур — научно-технологический. Он обеспечивает разработку, обучение, независимую проверку и валидацию новых моделей, обработку спутниковых данных, создание цифровых двойников, оценку неопределенности и подготовку технологий к внедрению в официальный контур после их приемки.

Такое разграничение позволяет одновременно избежать дублирования государственных информационных систем и не допустить другой крайности — зависимости страны от одного готового программного продукта, внешнего поставщика или закрытой алгоритмической модели.

Суверенитет не означает технологическую изоляцию

Технологический суверенитет не следует понимать как отказ от международного сотрудничества. Напротив, Казахстан заинтересован в привлечении ведущих зарубежных университетов, научных центров, инвесторов и технологических компаний.

Но международное партнерство должно быть построено таким образом, чтобы вместе с оборудованием и программными решениями в стране оставались знания, исходные компетенции, подготовленные кадры, исследовательские лаборатории и способность самостоятельно развивать полученные технологии.

На 38-м пленарном заседании Совета иностранных инвесторов 2 июля 2026 года Президент обозначил искусственный интеллект как один из ключевых двигателей глобального развития. Глава государства отметил создание в Казахстане двух суперкомпьютеров, развитие «Долины центров обработки данных», исследовательских лабораторий и национального технологического стека ИИ. Особое внимание было уделено применению интеллектуальных решений в государственном управлении, нефтегазовой отрасли, геологии, логистике и сельском хозяйстве.

Эта повестка показывает, что сотрудничество с иностранными инвесторами должно переходить от поставки отдельных цифровых решений к совместному созданию научно-технологических платформ, исследовательских центров, отраслевых моделей и инженерных компетенций.

Критически важные данные должны обрабатываться в защищенном национальном контуре. Архитектура и алгоритмическая логика систем, влияющих на безопасность, экономику и государственное управление, должны быть понятны и проверяемы казахстанскими специалистами. Модели должны проходить независимую научную и отраслевую валидацию, а результаты — иметь четко определенный правовой статус.

Именно такой подход соответствует провозглашенному Главой государства принципу технологической осмоторительности и приверженности национальным интересам.

Роль Национальной академии наук

В новой архитектуре искусственного интеллекта Национальная академия наук должна выступать не владельцем ведомственных информационных систем, а научно-экспертным и координационным центром.

Ключевой задачей Академии является объединение профильных научно-исследовательских организаций, университетов, отраслевых государственных органов, регионов, бизнеса и международных партнеров вокруг комплексных научно-технологических программ.

Такие программы должны включать не только разработку моделей, но и формирование научно обоснованной архитектуры платформ; определение национальных требований к данным и моделям; независимую валидацию алгоритмов; разработку цифровых двойников

и сценарных моделей; создание испытательных полигонов и цифровых песочниц; подготовку исследователей, инженеров и отраслевых специалистов; оценку технологической зрелости и готовности решений к масштабированию; передачу проверенных результатов в государственный и производственный контур.

Особое внимание должно уделяться формированию отечественных научных школ в области пространственно-временного ИИ, машинного обучения, математического моделирования, робототехники, микроэлектроники, дистанционного зондирования Земли, цифровых двойников и высокопроизводительных вычислений.

Именно наличие таких школ определит, сможет ли Казахстан самостоятельно создавать интеллектуальные системы или будет оставаться зависимым от внешних технологий.

Наука интеллектуальных систем как пространство профессиональной дискуссии

Журнал «Наука интеллектуальных систем» НАН РК призван стать одной из площадок формирования новой научно-технологической повестки страны.

Его задача — не только публиковать исследования по отдельным алгоритмам и программным решениям, но и объединять фундаментальные и прикладные работы, необходимые для создания комплексных интеллектуальных платформ.

Особую ценность представляют исследования, в которых искусственный интеллект соединяется с физико-математическими моделями, отраслевыми знаниями, экспериментальными данными, цифровыми двойниками и реальными объектами управления.

Журнал должен стать пространством обсуждения вопросов, от которых непосредственно зависит технологический суверенитет Казахстана:

- какие элементы национального стека ИИ должны создаваться внутри страны;
- как формировать качественные отраслевые данные;
- каким образом проводить независимую валидацию моделей;
- как обеспечить объяснимость и безопасность решений;
- как соединить фундаментальную науку, прикладные исследования и внедрение;

- как выстроить сотрудничество с международными партнерами без утраты национальной компетенции;
- как перейти от отдельных цифровых пилотов к масштабным научно-технологическим платформам.

Представленные в очередном выпуске журнала исследования являются вкладом в формирование такой экосистемы. Их значение определяется не только научной новизной, но и способностью создавать новые знания, методы, технологии и решения, необходимые для долгосрочного развития страны.

Новая Конституция сформировала правовой фундамент государства знаний и инноваций. Стратегия «Digital Qazaqstan» определила масштаб цифровой трансформации. Поручения Главы государства задали направление перехода к отраслевому ИИ, масштабным платформенным решениям и национальному технологическому стеку.

Теперь перед научным сообществом стоит задача наполнить эти стратегические решения реальным содержанием.

Казахстану необходимо перейти от приобретения отдельных информационных систем к созданию собственных научно-технологических платформ; от использования готовых алгоритмов — к развитию национальных моделей; от разрозненных данных — к защищенным отраслевым пространствам данных; от отдельных пилотов — к системному внедрению; от технологической зависимости — к способности самостоятельно понимать, проверять и развивать критически важные интеллектуальные решения.

Именно так формируется интеллектуальный суверенитет — способность государства создавать собственные знания, технологии и модели будущего.

Убежден, что журнал «Наука интеллектуальных систем» станет активным участником этой работы, объединяя ученых разных направлений, формируя пространство профессиональной дискуссии и содействуя созданию отечественных научно-технологических платформ искусственного интеллекта.

IRSTI (MPHTI) 28.23.15

DOI: <https://doi.org/10.66941/3106-9037/2026/iss2pp9-20>**F. R. Mirzayev***Ganja Branch of the Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Azerbaijan*E-mail: grem2011@gmail.com**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SPACE TECHNOLOGY INTEGRATION:
THE ROLE OF THE UNESCO–NASA PARTNERSHIP IN HERITAGE PROTECTION AND
CLIMATE RESILIENCE****Mirzayev Farhad Ramiz oglu**, *Head of the Department of Digitalization, Artificial Intelligence and Electronic Services, Ganja Branch of the Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS).*E-mail: grem2011@gmail.com | ORCID: 0009-0006-6303-2343

Abstract. This article examines the application of artificial intelligence (AI) and satellite remote-sensing technologies to cultural heritage protection, disaster risk reduction, and climate resilience within the framework of the UNESCO–NASA partnership, established in 2005 and substantially expanded after 2024 through the Prithvi family of geospatial foundation models. Combining a structured literature review with a comparative transfer analysis, the study traces the institutional evolution of the partnership, profiles the technical architecture and benchmarked performance of Prithvi-EO-2.0 and Prithvi-WxC, and examines the public–private HeritageWatch.AI initiative launched in Paris in February 2025. The discussion situates these developments within UNESCO’s Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence and its Readiness Assessment Methodology, and identifies structural barriers — uneven computing access, workforce gaps, and language-adaptation costs — that constrain operational uptake. As an original contribution, the article evaluates application perspectives for Azerbaijan, linking the country’s space infrastructure (Azerkosmos), the heritage-monitoring needs of the liberated territories of Karabakh and East Zangazur, and UNESCO’s readiness-assessment framework, and proposes the architecture of a national Smart Cultural Heritage Monitoring Platform.

Keywords: *artificial intelligence, geospatial foundation models, UNESCO–NASA partnership, Prithvi, digital twin, cultural heritage, climate resilience.*

Ф. Р. Мирзаев*Ганджинский филиал Национальной академии наук Азербайджана (НАНА), Азербайджан***ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ:
РОЛЬ ПАРТНЕРСТВА ЮНЕСКО–НАСА В ЗАЩИТЕ НАСЛЕДИЯ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ****Мирзаев Фархад Рамиз оглу**, *заведующий отделом цифровизации, искусственного интеллекта и электронных услуг, Гянджинский филиал Национальной академии наук Азербайджана (НАНА).*E-mail: grem2011@gmail.com | ORCID: 0009-0006-6303-2343

Статья рассматривает применение искусственного интеллекта (ИИ) и спутниковых технологий дистанционного зондирования для защиты культурного наследия, снижения риска катастроф и климатической устойчивости в рамках партнёрства ЮНЕСКО - НАСА, учреждённого в 2005 году и существенно расширившегося после 2024 года благодаря семейству геопространственных базовых моделей Prithvi. Сочетая структурированный обзор литературы со сравнительным трансферным анализом, исследование прослеживает институциональную эволюцию партнёрства, характеризует техническую архитектуру и тестируемые показатели моделей Prithvi-EO-2.0 и Prithvi-WxC, а также рассматривает государственно-частную инициативу HeritageWatch.AI, запущенную в Париже в феврале 2025 года. Раздел обсуждения помещает эти процессы в контекст Рекомендации ЮНЕСКО по этике искусственного интеллекта и её Методологии оценки готовности (RAM), а также выявляет структурные барьеры —

неравный доступ к вычислительным ресурсам, нехватку квалифицированных кадров и издержки языковой адаптации. В качестве оригинального вклада статья оценивает перспективы применения данного опыта для Азербайджана, увязывая космическую инфраструктуру страны («Азеркосмос»), задачи мониторинга наследия на освобождённых территориях Карабаха и Восточного Зангезура и методологию RAM ЮНЕСКО, и предлагает архитектуру национальной платформы «Умный мониторинг культурного наследия».

Ключевые слова: искусственный интеллект, геопространственные базовые модели, партнёрство ЮНЕСКО–НАСА, Prithvi, цифровой двойник, культурное наследие, климатическая устойчивость.

Ф. Р. Мирзаев

*Әзірбайжан Ұлттық Ғылым академиясының (НАНА) Ганджа филиалы,
Гәнджә қ., Әзірбайжан*

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ПЕН ҒАРЫШТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ ИНТЕГРАЦИЯСЫ: ЮНЕСКО–НАСА СЕРІКТЕСТІГІНІҢ МҰРАНЫ ҚОРҒАУДАҒЫ ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҚТАҒЫ РӨЛІ

Мирзаев Фархад Рамиз оглу, жасанды интеллект және электрондық қызметтер бөлімінің меңгерушісі, Әзірбайжан Ұлттық ғылым академиясының (НАНА) Ганджа филиалы, цифрландыру.

E-mail: grem2011@gmail.com | ORCID: 0009-0006-6303-2343

Аннотация. Мақалада 2005 жылы құрылған және Prithvi геокеңістіктік базалық модельдер тобының арқасында 2024 жылдан кейін айтарлықтай кеңейген ЮНЕСКО–НАСА серіктестігі аясында мәдени мұраны қорғау, апаттар қаупін азайту және климаттық тұрақтылық үшін жасанды интеллект (ЖИ) және спутниктік қашықтықтан зондау технологияларын қолдану қарастырылады. Әдебиеттерге құрылымдық шолуды салыстырмалы трансферттік талдаумен үйлестіре отырып, зерттеу серіктестіктің институционалдық эволюциясын бақылайды, Prithvi-EO-2.0 және Prithvi-WxC модельдерінің техникалық архитектурасы мен сыналған көрсеткіштерін сипаттайды және мемлекеттік-жеке бастаманы қарастырады HeritageWatch.AI, Парижде 2025 жылдың ақпанында іске қосылды. Талқылау бөлімі бұл процестерді ЮНЕСКО-ның жасанды интеллект этикасы және оның дайындықты бағалау әдістемесі (RAM) бойынша ұсынысы аясында орналастырады және құрылымдық кедергілерді-есептеу ресурстарына тең емес қол жетімділікті, білікті кадрлардың жетіспеушілігін және тілдік бейімделу шығындарын анықтайды. Түпнұсқа үлес ретінде мақала еліміздің ғарыштық инфрақұрылымын ("Әзіркосмос"), Карабах пен Шығыс Зангезурдың босатылған аумақтарындағы мұра мониторингінің міндеттерін және ЮНЕСКО-ның ЖЖҚ әдіснамасын байланыстыра отырып, Әзірбайжан үшін осы тәжірибені қолдану перспективаларын бағалайды және "мәдени мұраның ақылды мониторингі" ұлттық платформасының архитектурасын ұсынады.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, геокеңістіктік негізгі модельдер, ЮНЕСКО–НАСА серіктестігі, Prithvi, сандық егіз, Мәдени мұра, Климаттық тұрақтылық.

Acknowledgements

This research received no dedicated grant from any funding agency, commercial entity, or not-for-profit organisation. The author thanks colleagues at the Department of Digitalization, Artificial Intelligence and Electronic Services, Ganja Branch of the Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), for their comments on the regional applicability of geospatial artificial intelligence.

Suggested citation

Mirzayev, F. R. (2026). Artificial Intelligence and Space Technology Integration: the Role of the UNESCO–NASA Partnership in Heritage Protection and Climate Resilience. *Science of Intelligent Systems*, Vol. [—], No. [—] (in print). DOI: [to be assigned by the editorial office]

1. Introduction

The protection of cultural and natural heritage has, over the past decade, ceased to rely solely on traditional conservation practice and has instead become a global priority pursued through the integration of advanced digital technologies — most notably artificial intelligence (AI) and satellite Earth-observation systems [1–6, 14–21]. At the close of the 47th session of the UNESCO World Heritage Committee, held in Paris from 6 to 16 July 2025, the World Heritage List comprised 1,248 properties across 170 countries, of which 39 sites — slightly more than three percent of the total — were inscribed on the List of World Heritage in Danger [10, 35]. This modest global share, however, conceals a pronounced regional imbalance: sub-Saharan Africa alone is home to 108 inscribed properties yet accounts for 17 of the 39 endangered sites worldwide, or 44 percent of the global danger list [33]. Such asymmetry indicates that the scale of the heritage-protection problem cannot be addressed by a single uniform global instrument and instead requires regionally calibrated technological responses.

The same 47th session inscribed 26 new cultural and natural properties and removed three African sites — the Rainforests of the Atsinanana (Madagascar), Abu Mena (Egypt), and the Old Town of Ghadamès (Libya) — from the danger list, demonstrating that institutional monitoring capacity continues to expand even as the population of properties requiring active oversight grows [10]. Of direct relevance to the present study, the same session added two Azerbaijani properties — the Ancient City of Gabala and the Historical, Cultural and Natural Complex of Gamigaya and Goygol — to UNESCO's Tentative World Heritage List [40], a development examined in detail in Section 4 below and one that underlines the timeliness of building national capacity for satellite-based heritage monitoring.

The purpose of this article is to provide a systematic analysis of: (a) the institutional foundations of the partnership established between UNESCO and the National Aeronautics and Space Administration (NASA); (b) the principal technological platforms deployed within this cooperation framework, with particular attention to artificial-intelligence-based geospatial foundation models — above all the Prithvi family; (c) initiatives implemented in a public–private partnership format, exemplified by HeritageWatch.AI; (d) practical applications in the reduction of natural-disaster risk; (e) the ethical and institutional regulatory framework that has emerged around these technologies; and (f) — as the original contribution of this study — the application perspectives of this international experience for the Republic of Azerbaijan, a country that combines an operational national space agency with an urgent, post-conflict heritage-monitoring agenda in the liberated territories of Karabakh and East Zangazur.

Formal cooperation between UNESCO and NASA was established through an agreement signed in Washington, D.C., on 1 March 2005 [28]. The agreement provided for the use of space-based Earth-observation technologies in monitoring and protecting properties inscribed on the World Heritage List and created the legal foundation for a cooperative framework that has continued to expand over the subsequent two decades. The institutional scope of this cooperation was further broadened in 2025 through priorities endorsed at the 43rd Session of the UNESCO General Conference, held in Samarkand, Uzbekistan — namely artificial intelligence, climate change, and post-pandemic recovery [7, 9].

The technological core of the UNESCO–NASA cooperation since 2024 has been formed by the Prithvi family of geospatial foundation models [24]. The 2025 advances in this model family substantially broadened both the scientific and the operational potential of the field [12, 24, 25, 36, 37], a development discussed in detail in Section 3.2 below. Building on this institutional and technological mapping, the article advances the working hypothesis that the architecture underlying the UNESCO–NASA cooperation — comprising (i) a bilateral institutional agreement, (ii) open-source AI foundation models trained on freely accessible satellite archives, and (iii) a public–private layer of implementation partners — is sufficiently modular to be adapted, at national scale, by a country that already possesses operational satellite infrastructure and an unresolved heritage-monitoring need, even in the absence of formal UNESCO–NASA accreditation. The remainder of the article tests this hypothesis against the empirical case of Azerbaijan. Section 2 outlines the materials and analytical method; Section 3 presents

the literature-based discussion of the UNESCO–NASA architecture; Section 4 reports the results of applying this architecture to the Azerbaijani context; and Section 5 concludes.

2. Materials and Methods

This study is a desk-based qualitative analysis rather than an empirical field investigation; no primary data were collected from heritage sites, satellite operators, or government agencies beyond what is publicly disclosed in institutional and technical sources. The corpus of materials reviewed comprises four categories. First, primary institutional documents: the 2005 UNESCO–NASA cooperation agreement [28], UNESCO’s 2021 Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence [27], the Readiness Assessment Methodology and its country-level implementation reports [29, 30], and the declarations and decisions of the 43rd UNESCO General Conference and the 47th session of the World Heritage Committee [7, 10, 35, 40]. Second, technical and scientific literature on the Prithvi foundation-model family, including the technical reports describing Prithvi-EO-2.0 and Prithvi-WxC, their training data, architecture, and benchmarked performance against comparator geospatial models [12, 24, 25, 36, 37]. Third, reports on operational applications of these technologies in disaster risk reduction, including the joint UNDRR–NASA Tech4DRR report and NASA Disasters Program case studies on severe-weather and tornado detection [22, 26]. Fourth, sources specific to the Azerbaijani context, comprising the official activity disclosures of the State Space Agency (“Azerkosmos”) and periodic export-statistics bulletins published by the Economic Reforms Analysis and Communication Centre of the Republic of Azerbaijan for the period January–April 2026 [38, 39].

The analytical method consists of two linked stages. The first stage is a structured narrative synthesis in which the institutional, technological, and governance components of the UNESCO–NASA partnership are mapped against three analytical categories: (i) institutional architecture (legal instruments, governing bodies, periodic conferences); (ii) technological architecture (foundation models, training data, benchmarked capability); and (iii) implementation architecture (public, private, and public–private delivery mechanisms, exemplified by HeritageWatch.AI). This three-part framework, rather than any single technology or agreement in isolation, is treated as the principal unit of analysis, since it is the combination of the three layers — not any one layer alone — that is hypothesised to be transferable.

The second stage is a comparative transfer analysis in which the three-part framework derived from Stage 1 is mapped onto the documented capacities and needs of Azerbaijan, specifically: the satellite fleet, export performance, and international partnerships of Azerkosmos; the heritage-monitoring requirements of the newly UNESCO-listed and tentative-list properties together with the liberated territories of Karabakh and East Zangazur; and Azerbaijan’s institutional engagement with UNESCO’s Readiness Assessment Methodology. The output of this second stage — presented in Section 4 as the Results of the study — is a proposed institutional and technical architecture for a national ‘Smart Cultural Heritage Monitoring Platform.’

Limitations of this method should be stated explicitly. The analysis does not include independent technical validation of the cited model-performance figures, which are drawn from developer-reported benchmarks, nor does it include interviews with Azerkosmos, ANAS, or Ministry of Culture officials. The Azerbaijan-specific proposals in Section 4 are therefore presented as a research-based architectural recommendation rather than an implemented or formally adopted programme.

3. Discussion: Literature Review

3.1 Institutional Foundations of the UNESCO–NASA Partnership

Formal cooperation between UNESCO and NASA rests on the agreement signed on 1 March 2005 in Washington, D.C. [28], which envisaged the application of space-based Earth-observation technology to the monitoring and protection of World Heritage properties. Over the subsequent two decades, this bilateral instrument has evolved from a narrowly defined data-sharing arrangement into a broader platform encompassing artificial intelligence, climate adaptation, and disaster-risk reduction. The institutional scope of the partnership was substantially widened by priorities adopted at the 43rd Session of the UNESCO General Conference in Samarkand in late 2025, which formally designated artificial intelligence, climate change, and post-pandemic recovery as cross-cutting priorities for the

organisation [7, 9]. The annual sessions of the World Heritage Committee provide the operational link between this institutional layer and individual properties: the 47th session in Paris inscribed 26 new properties (21 cultural, four natural, one mixed), removed three African sites from the danger list, and brought the List to 1,248 properties in 170 countries [10, 35]. These figures situate the UNESCO–NASA cooperation within a heritage-governance system that is simultaneously expanding in coverage and facing a growing population of at-risk sites requiring continuous monitoring — precisely the operational gap that satellite-based AI tools are intended to close.

3.2 The Technological Core: the Prithvi Foundation Model Family

Since 2024, the technological core of the UNESCO–NASA cooperation has been the Prithvi family of geospatial foundation models, developed under NASA’s open-science approach and its broader AI Foundation Models strategy [24]. Unlike task-specific machine-learning models trained from scratch for a single application, foundation models are pre-trained on very large, unlabelled datasets through self-supervision and can subsequently be fine-tuned for diverse downstream tasks with comparatively little labelled data — a property that is particularly valuable in the heritage and disaster-risk domains, where labelled training examples, such as confirmed instances of looting, structural collapse, or flood damage at a specific monument, are scarce [12, 36].

Prithvi-EO-2.0, the flagship model in the family, was developed jointly by IBM, NASA, and Germany’s Jülich Supercomputing Centre, with contributions from 42 researchers across 12 institutions in the United States, Europe, and Brazil [12, 36, 37]. The model is built on a Vision Transformer architecture and pre-trained using a masked-autoencoder approach, with two principal innovations over its 2023 predecessor: three-dimensional patch and positional embeddings that allow the model to process sequences of satellite images across time, together with explicit temporal and location embeddings. It was trained on 4.2 million multispectral image samples drawn from seven years of NASA’s Harmonized Landsat and Sentinel-2 (HLS) archive at 30-metre resolution, with model variants of 300 million and 600 million parameters [12, 37]. On the GEO-Bench evaluation suite, the 600-million-parameter version outperformed its 2023 predecessor by approximately eight percent and surpassed six other published geospatial foundation models across remote-sensing tasks spanning resolutions from 0.1 to 15 metres [12]. Documented downstream applications include flood-extent mapping — notably during the 2024 Valencia floods, where the model combined Sentinel-1 radar and Sentinel-2 optical data to measure flooding through cloud cover — burn-scar delineation, multi-temporal crop and land-cover classification, and deforestation-driver classification [9, 36].

A companion model, Prithvi-WxC, addresses weather and climate prediction rather than static land-surface observation. Developed by NASA together with IBM and the Oak Ridge National Laboratory, it supports applications such as hurricane-track forecasting and severe-weather risk mapping, extending the foundation-model approach from retrospective land-cover analysis toward short-term operational early warning [24]. Table 1 summarises the technical profile of the principal models discussed in this section, together with the public–private initiative examined in Section 3.3.

Table 1. Prithvi Model Family and Implementation Partners: Technical Overview

Model / Platform	Lead Developers	Core Technical Specification and Primary Application	Open-Source / Access Status
Prithvi-EO-2.0	IBM, NASA, Jülich Supercomputing Centre (42 contributors, 12 institutions)	ViT architecture, masked-autoencoder pre-training, 300M/600M parameters, 3D spatiotemporal embeddings; trained on 4.2M HLS samples (30 m resolution); +8% over predecessor on GEO-Bench. Multi-temporal Earth observation, flood and burn-scar mapping, crop/land-cover classification.	Hugging Face / IBM TerraTorch / GitHub (open)
Prithvi-WxC	NASA, IBM, Oak Ridge National Laboratory	Weather–climate foundation model. Hurricane-track forecasting, severe-weather risk mapping,	GitHub (open)

		short- and long-term climate projection.	
HeritageWatch.AI	ALIPH, Iconem, Microsoft (AI for Good Lab), Planet Labs PBC	Combines a ~200-satellite daily-imaging constellation, 3D heritage digital-twin modelling, and AI-based risk forecasting (desertification, sea-level rise, conflict). Independent, non-commercial; launched Paris, 10 Feb. 2025.	Independent non-profit initiative (Paris headquarters)

The open-source release strategy adopted for both models — distribution through Hugging Face, IBM’s TerraTorch toolkit, and GitHub — is a deliberate design choice intended to lower the barrier to adoption for researchers and institutions in low-resource settings, since fine-tuning a pre-trained foundation model for a new application requires substantially less computational investment than training a comparable model from scratch [9, 37]. This design feature is directly relevant to the transfer analysis presented in Section 4, since it implies that a national agency such as Azerkosmos could, in principle, fine-tune an openly released Prithvi checkpoint on locally collected satellite imagery without needing to replicate NASA’s original training infrastructure.

3.3 The Public-Private Partnership Model: HeritageWatch.AI

While Prithvi represents the model layer of the UNESCO–NASA technological architecture, the implementation layer is illustrated by HeritageWatch.AI, an initiative launched on 10 February 2025 at the French Ministry of Culture in Paris, in the presence of France’s Minister of Culture, as part of the Artificial Intelligence Action Summit [34]. HeritageWatch.AI is an independent, non-commercial body co-founded by four organisations with complementary capabilities: ALIPH (the International Alliance for the Protection of Heritage), a public–private fund that has, since 2017, disbursed roughly USD 100 million in grants to more than 500 heritage projects in 41 countries; Iconem, a firm specialising in high-resolution 3D digital modelling of heritage sites; Microsoft, whose AI for Good Lab provides the computational and analytical backbone of the initiative; and Planet Labs PBC, a commercial Earth-observation company — founded by former NASA scientists — that operates a constellation of roughly 200 imaging satellites and supplies daily global coverage [34].

The initiative’s operating model links these four capabilities sequentially: Planet Labs’ satellites provide high-frequency imagery of heritage sites; Iconem converts this imagery, together with its own 3D-scanning expertise, into digital-twin representations of individual monuments; Microsoft’s AI for Good Lab applies machine-learning analysis to detect and forecast risk patterns — explicitly including the progressive impact of desertification on earthen architecture in the Sahel and the effects of rising sea levels on coastal heritage; and ALIPH channels the resulting risk intelligence into its existing grant-disbursement and emergency-response mechanisms, of the kind that delivered USD 500,000 to Beirut’s Sursock Museum within three weeks of the 2020 port explosion [34]. Initial funding for the initiative comprised a USD 1 million pledge from Microsoft over four years, USD 750,000 in in-kind computing services, and USD 250,000 from ALIPH [34].

HeritageWatch.AI is significant for the present analysis not primarily as a technology but as an institutional template: it demonstrates that a public–private consortium combining a satellite-data provider, a 3D-modelling specialist, an AI compute provider, and a heritage-financing body can be assembled and operationalised within roughly a year of conception, and that the resulting structure does not require any single partner to possess the full stack of capabilities in-house. As discussed in Section 4, this template is structurally comparable — though smaller in scale — to a configuration that Azerbaijan could assemble domestically by combining Azerkosmos, an academic AI unit, and the national heritage authorities, without requiring direct UNESCO–NASA accreditation.

3.4 Disaster Risk Reduction Applications

Heritage protection and disaster-risk reduction are closely intertwined in the UNESCO–NASA cooperation framework, since the same satellite-based monitoring infrastructure that detects threats to monuments can detect threats to surrounding populations. The joint UNDRR–NASA Tech4DRR report,

published in 2025, examined the application of remote-sensing and AI technologies to disaster-risk reduction and concluded that the effectiveness of such technological solutions cannot be assured without explicit attention to local needs, existing infrastructure, and cultural context — a caution directly relevant to any attempt to transplant the UNESCO–NASA model into a new national setting without adaptation [22].

A concrete illustration of the disaster-risk application of AI foundation models is provided by the NASA Disasters Program's 2025 open-source machine-learning model for tornado detection. Developed by researchers at NASA's Langley Research Center, the model uses geostationary satellite data from NOAA's GOES-16 satellite to identify overshooting cloud tops and above-anvil cirrus plumes — atmospheric signatures that typically precede severe ground-level weather, including tornadoes, by roughly ten minutes [26]. The model was tested against the severe-weather outbreak that struck the south-eastern United States on 14–16 March 2025, during which the NOAA/NWS Storm Prediction Center documented more than 100 tornado reports together with significant hail and damaging winds; the model's detections were consistent with the Center's independently collected ground-truth data [26]. While modest in absolute lead time, this window is operationally significant for life-safety warnings, and it illustrates a broader pattern in the NASA Disasters Program's approach: rather than developing entirely new sensor infrastructure, the programme prioritises applying machine learning to data already collected by existing operational satellites — a strategy that lowers the marginal cost of deployment and is therefore readily transferable to agencies, such as Azerkosmos, that do not operate their own meteorological satellite constellation but do have access to publicly available geostationary and polar-orbiting data feeds.

3.5 Ethical and Institutional Governance Framework

The integration of artificial-intelligence technologies into heritage protection and disaster management has necessarily required parallel development of an ethical and institutional governance framework [6, 11]. The principal normative instrument in this domain remains UNESCO's Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence, adopted by all 193 Member States at the 41st Session of the UNESCO General Conference in November 2021 [27]. The Recommendation is structured around the full lifecycle of an AI system and sets out values, principles, and concrete policy actions across areas including gender equality, environmental sustainability, and the integrity of information ecosystems.

To operationalise the Recommendation, UNESCO developed the Readiness Assessment Methodology (RAM), officially launched on 13 December 2022 at the inaugural Global Forum on the Ethics of AI in Prague [29]. RAM evaluates a country's institutional preparedness to govern artificial intelligence responsibly across five dimensions — legal and regulatory, social and cultural, economic, scientific and educational, and technological and infrastructural — using qualitative and quantitative indicators within each dimension [29]. As of October 2025, more than 75 countries across five continents had initiated or completed a RAM assessment [31], a figure that indicates accelerating uptake of the methodology since its 2022 launch. Kazakhstan, a country in the same broader region as Azerbaijan, formally launched its national RAM process in January 2026 at Astana Hub, bringing together roughly 80 representatives from government, academia, the private sector, and civil society [30] — a precedent of direct relevance to the recommendations advanced in Section 4 below.

The institutional architecture supporting AI ethics was further strengthened at the Third UNESCO Global Forum on the Ethics of Artificial Intelligence, held in Bangkok in June 2025, which saw the establishment of two complementary bodies: a Global Network of AI Ethics Supervisory Bodies, intended to connect national regulators, and a Global Network of Civil Society and Academia on AI Ethics, intended to broaden non-governmental participation in AI-governance debates [8, 32]. Taken together, the Recommendation, the RAM, and these two global networks constitute a three-tier governance stack — normative standard, country-level diagnostic tool, and cross-border coordination network — that frames not only the ethical use of AI in heritage protection narrowly, but also the broader question of how a country such as Azerbaijan might align a future national geospatial-AI programme with internationally recognised governance norms rather than developing such norms in isolation.

3.6 Implementation Challenges and Structural Constraints

Despite the technological and institutional achievements described above, the transition of AI-based solutions from the research stage to routine operational practice continues to encounter structural difficulties. Three constraints recur across the literature reviewed for this study. First, access to the computing infrastructure required to fine-tune or run inference on large foundation models remains unevenly distributed, disadvantaging institutions outside a small number of well-resourced research hubs. Second, the specialised workforce capable of adapting open-source geospatial AI models to local applications is unevenly distributed across regions and is frequently concentrated in a handful of countries. Third, openly released foundation models and their associated documentation, fine-tuning examples, and benchmark datasets are overwhelmingly published in English, creating a non-trivial adaptation burden for institutions operating primarily in other languages.

The Tech4DRR report's caution regarding the necessity of local-context calibration reinforces this picture: a technological solution validated in one geographic and institutional setting cannot be assumed to transfer automatically to another without deliberate investment in local data, local expertise, and local-language documentation [22]. This caution applies directly to the Azerbaijani case examined in Section 4: although the Prithvi model family and the HeritageWatch.AI template are both, in principle, openly accessible, neither has yet been fine-tuned on Azerbaijani satellite imagery, validated against Azerbaijani heritage sites, or documented in Azerbaijani or Russian, and the proposals advanced below should therefore be read as identifying a feasible starting architecture rather than a turnkey solution.

4. Results: Application Perspectives for Azerbaijan

4.1 Azerkosmos: Strategic Space Infrastructure

Although the formal mechanisms of the UNESCO–NASA partnership described in Section 3 are not directly applied within Azerbaijan, the global initiatives reviewed above — the Prithvi model family and platforms such as HeritageWatch.AI — create a substantial opportunity space for the country, which already possesses much of the underlying infrastructure required to engage with this technological trend.

The Space Agency of the Republic of Azerbaijan (“Azerkosmos”), operating under the Ministry of Digital Development and Transport, is active both domestically and internationally, and functions as considerably more than a satellite operator: it is a strategic agency that positions Azerbaijan within the global space economy, exports high-technology services, and develops AI-based geoinformation systems domestically. Azerkosmos currently operates the Azerspace-1 and Azerspace-2 telecommunication satellites, providing continuous television, radio-broadcasting, and satellite-internet services across Europe, Africa, the Middle East, and Central Asia.

The agency's export performance has shown sustained growth through the first four months of 2026: satellite telecommunication-service exports reached USD 1.5 million in January, rose to a cumulative USD 4.1 million across the first quarter (January–March) — delivered to nearly 90 companies in 32 countries — and reached a cumulative USD 8.7 million across January–April [38]. Across this period, service exports have consistently represented approximately 64–65 percent of the agency's total revenue, with the United Kingdom, Luxembourg, Sweden, Turkey, and Pakistan consistently ranking among the top five destination markets [38]. Beyond telecommunications, Azerkosmos provides satellite-imagery and archival-data services supporting agriculture, ecology, cartography, and urban planning, and maintains international cooperation agreements with NASA, the Turkish Space Agency (TUA), the China National Space Administration (CNSA), and the South African National Space Agency (SANSA) [39].

This combination of an operational satellite fleet, an established international cooperation network that already includes NASA, and a growing satellite-services export base constitutes precisely the kind of national space infrastructure on which a geospatial AI programme — of the type discussed in Section 3 — could be built without requiring entirely new capital investment in launch or ground-segment infrastructure. The principal gap, as elaborated below, lies not in space infrastructure but in the AI-modelling and heritage-domain integration layer.

4.2 Satellite Monitoring of Cultural Heritage: Karabakh and East Zangazur

Azerbaijan's close partnership with UNESCO in heritage protection reflects the country's broader sensitivity to global standards in this field. The protection of inscribed properties such as the Walled City of Baku (İçərişəhər) with the Shirvanshahs' Palace and the Maiden Tower, and the Gobustan Rock Art Cultural Landscape, already draws on internationally recognised heritage-management methodologies. As noted in Section 1, the 47th session of the World Heritage Committee in 2025 added two further Azerbaijani properties — the Ancient City of Gabala and the Historical, Cultural and Natural Complex of Gamigaya and Goygol — to UNESCO's Tentative List [40], expanding the population of nationally significant sites that will eventually require the same standard of international-grade documentation and monitoring as the existing inscribed properties.

The most urgent and distinctive heritage-monitoring need, however, concerns the historical and cultural monuments located in the territories of Karabakh and East Zangazur liberated from nearly three decades of occupation. Azerbaijan already makes active use of satellite imagery to monitor these areas, both to assess the condition of historical-cultural monuments and to evaluate broader economic-reconstruction potential. Applying Prithvi-type AI-based geospatial models in this specific context could be expected to deliver several concrete benefits, sequentially:

- multi-temporal satellite analysis of changes in the territorial composition of monuments (destruction, restoration, new construction), of the kind already demonstrated by Prithvi-EO-2.0 in flood- and burn-scar mapping elsewhere [12, 36];
- forecasting of soil-erosion, landslide, and flood risk affecting both monuments and the broader reconstruction zone, an application directly analogous to the hazard-mapping function of Prithvi-WxC and the NASA Disasters Program's severe-weather models described in Section 3.4 [24, 26];
- restoration of historical territorial-planning maps to support the return of internally displaced persons, an application that combines archival cartographic material with multi-temporal satellite analysis in a manner conceptually similar to Iconem's digital-twin methodology within HeritageWatch.AI [34].

Each of these three applications has a documented technological precedent in the literature reviewed in Section 3; the principal task for Azerbaijan is therefore one of adaptation and integration rather than basic research.

4.3 Toward a National “Smart Cultural Heritage Monitoring Platform”

Combining Azerbaijan's regional space capability with its digital-humanities and heritage-documentation needs could position the country among the more technologically advanced centres in the international scientific arena. Building directly on the institutional-technological-implementation framework derived in Section 3 — institutional agreement, open-source foundation models, and a public-private (or, in this case, inter-institutional) implementation layer — the proposed architecture of a national ‘Smart Cultural Heritage Monitoring Platform’ should include the following core components:

- a unified coordination mechanism linking Azerkosmos, the Ministry of Culture, and the Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), mirroring the multi-institution governance structure that underlies both the UNESCO-NASA partnership [28] and HeritageWatch.AI [34], but configured around domestic rather than international partners;
- a locally fine-tuned analogue of Prithvi-EO-2.0, trained or fine-tuned on Azerbaijani satellite imagery to provide automated assessment of monument condition, following the open fine-tuning pathway already enabled by the model's release on Hugging Face and GitHub [12, 37];
- Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) monitoring of historical monuments at the millimetre level of subsidence detection — a remote-sensing technique complementary to, rather than duplicative of, the optical and multispectral imagery used by Prithvi;
- full application of UNESCO's RAM methodology to align Azerbaijan's national AI-governance framework with international standards, following the template Kazakhstan adopted in January 2026 [30] and consistent with the broader uptake trend, in which more than 75 countries had engaged with RAM as of October 2025 [31];
- LiDAR scanning and 3D modelling — directly analogous to Iconem's role within HeritageWatch.AI [34] — to create digital twins of monuments such as the Shirvanshahs' Palace and the Sheki Khans' Palace.

Each of these five components corresponds to a specific element already validated, in some other national or institutional context, within the literature reviewed in Section 3; the platform proposed here is therefore best understood as a synthesis and domestic adaptation of existing, internationally tested components rather than as an entirely novel technical proposal. This is consistent with the methodological framing set out in Section 2, where the contribution of this article was defined as a comparative transfer analysis rather than original model development.

4.4 Space Ecosystem Development and Youth Engagement

Sustained engagement with this agenda also depends on building the specialised human-capital base identified in Section 3.6 as one of the principal global constraints on AI adoption. Azerkosmos regularly organises Space Olympiads and large-scale outreach events to popularise space science among young people, and — together with its partners — convenes National Space Hackathons in which young researchers combine artificial intelligence and satellite data to develop innovative machine-learning models for applications including real-estate analytics, agricultural land valuation, and marine-ecosystem monitoring.

Within the framework of the Year of Memorialisation and Urban Planning, declared for 2026, the agency is implementing dedicated scientific-practical projects and competitions applying satellite imagery and geographic information systems (GIS) to cadastral mapping, territorial planning, and digital-twin technologies. The integration of the national AI ecosystem with heritage protection carries strategic importance in this framework: hackathon-trained researchers represent precisely the workforce category whose scarcity was identified, in Section 3.6, as a recurring global constraint on translating AI foundation models into operational heritage-protection tools. Embedding heritage-monitoring challenges directly into these existing youth-engagement programmes — rather than creating a separate training pipeline — would allow Azerbaijan to address the workforce constraint and the heritage-monitoring agenda simultaneously, using infrastructure that Azerkosmos has already built.

5. Conclusion

The analysis presented in this article indicates that the UNESCO–NASA cooperation, in place since 2005, has continuously broadened its institutional foundations and now functions as a significant platform for integrating artificial intelligence and space technologies into cultural-heritage protection, disaster-risk reduction, and climate resilience. Three findings from the literature review in Section 3 are particularly salient for the comparative transfer analysis undertaken in Section 4. First, the technological core of the partnership — the Prithvi foundation-model family — is openly released and was specifically designed to lower the computational barrier to adoption for institutions that did not participate in its original training, a design choice directly exploitable by national agencies elsewhere. Second, the HeritageWatch.AI initiative demonstrates that the institutional architecture required to operationalise such models — a coordinated combination of a satellite-data provider, a 3D/AI-modelling capability, and a heritage-financing or heritage-governance body — can be assembled domestically and need not depend on direct UNESCO or NASA participation. Third, the governance layer built around UNESCO’s Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence and its Readiness Assessment Methodology provides an internationally recognised diagnostic pathway, already adopted by more than 75 countries as of October 2025 and by Azerbaijan’s regional peer Kazakhstan in January 2026, through which a country can align a new national AI programme with global governance norms rather than developing such norms in isolation.

From the perspective of Azerbaijan, the prospects opened up by this global experience present themselves across three connected layers. First, the existing space infrastructure and international cooperation network of Azerkosmos — including its established cooperation with NASA itself — already provide ready ground for using satellite data for heritage-protection purposes. Second, the monitoring and restoration of cultural monuments in the territories liberated from occupation in Karabakh and East Zangazur make the adaptation of foundation models such as Prithvi to the Azerbaijani context an urgent rather than a discretionary priority. Third, applying UNESCO’s RAM methodology constitutes a necessary step — both technologically and institutionally — in aligning the country’s AI-governance framework with international standards, a step for which a clear regional precedent now exists.

29. UNESCO Readiness Assessment Methodology (RAM). (2022). Officially launched 13 December 2022 at the inaugural Global Forum on the Ethics of AI, Prague.
30. UNESCO. (2026, January 16). Kazakhstan Launches UNESCO's AI Readiness Assessment Methodology (RAM). UNESCO Regional Office, Almaty.
31. UNESCO. (2026). Artificial Intelligence and Emerging Technologies. UNESCO AI Sector Overview (accessed June 2026).
32. UNESCO Global Forum on the Ethics of AI, 3rd Session. (2025). Launch of the Global Network of AI Ethics Supervisory Bodies and the Global Network of Civil Society and Academia on AI Ethics. Bangkok, June 2025.
33. UNESCO World Heritage Centre. (2025, June). Digital Innovation Strengthens Heritage Protection in Africa.
34. ALIPH, Iconem, Microsoft & Planet Labs PBC. (2025, February 10). Launch Announcement: HeritageWatch.AI. Paris: French Ministry of Culture, AI Action Summit.
35. UNESCO. (2025, July). 26 New Sites Inscribed: Closing Statement of the 47th Session of the World Heritage Committee. Paris: UNESCO.

Additional Sources (used to support the expanded sections of this version)

36. IBM Research. (2025). Prithvi-EO: An Open-Access Geospatial Foundation Model Advancing Earth Science through Global Collaboration. Presented at AGU 2025.
37. NASA-IMPACT / IBM / Jülich Supercomputing Centre. (2024). Prithvi-EO-2.0 Model Repository and Release Notes. GitHub / Hugging Face.
38. Economic Reforms Analysis and Communication Centre (ERACC), Republic of Azerbaijan. (2026). Export Review, monthly bulletins, January–April 2026. Baku.
39. State Space Agency of the Republic of Azerbaijan ("Azerkosmos"). Official activity reports on satellite fleet operations and international cooperation.
40. UNESCO World Heritage Centre. (2025, July). 47th Session of the World Heritage Committee — Tentative List Additions. Paris.

УДК 004.8

DOI: <https://doi.org/10.66941/3106-9037/2026/iss2pp21-30>

А.С. Утеулина

ТОО “Центр исследований искусственного интеллекта и общества”, Алматы, Казахстан

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК НОВЫЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ:
МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ, ОТВЕТСТВЕННОСТЬ И ЭКОНОМИКА РЕШЕНИЙ**

Утеулина Айжан Сеиловна, кандидат философских наук, директор Центра исследований ИИ и общества, Алматы, Казахстан.

E-mail: Utembaika80@gmail.com, ORCID ID 0009-0006-0228-1717

Цель данной статьи – представить сравнительный анализ и развитие методологических принципов, охватывающий 37-летний период научной деятельности автора. Основное внимание уделяется трансформации концепции научного эксперимента, заложенной в диссертационном исследовании 1988 года, в современную философию взаимодействия с искусственным интеллектом (ИИ). Автор доказывает, что в эпоху генеративных моделей промпт-инжиниринг перестает быть чисто инженерной задачей и переходит в плоскость гуманитарного проектирования. Центральное место в работе занимает авторская концепция «Zero-Iteration Workflow» (безитерационный рабочий процесс). Суть данного подхода заключается в достижении точного результата взаимодействия с ИИ с первого запроса за счет глубокой предварительной проработки «онтологического дизайна» промпта. Методика исключает лишние итерации («пробы и ошибки»), используя инструменты философии, филологии и этнографии для устранения семантической неопределенности. Автор обосновывает прозрачность классической казахстанской школы диалектики, в рамках которой эксперимент рассматривался как активная деятельность субъекта. Сегодня этот подход позволяет демистифицировать ИИ, видя в нем «омертвленный труд» человечества, требующий «живого» категориального распределения. В статье подчеркивается необходимость приоритета гуманитарных основ над техническими средствами для управления сложными алгоритмическими системами.

Ключевые слова: искусственный интеллект, методология науки, научный эксперимент, промпт-инжиниринг, Zero-Iteration Workflow, казахстанская философская школа, цифровая философия, активность субъекта.

А. С. Утеулина

Жасанды интеллект және қоғамды зерттеу орталығы, Алматы, Қазақстан

**ЖИ ФИЛОСОФИЯСЫНА ЭКСПЕРИМЕНТ МЕТОДОЛОГИЯСЫНАН: ЗЕРТТЕУ
БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ (1988–2025)**

Утеулина А.С., философия ғылымдарының кандидаты, Жасанды интеллект және қоғамды зерттеу орталығының директоры, Алматы, Қазақстан.

E-mail: Utembaika80@gmail.com, ORCID ID 0009-0006-0228-1717

Аннотация. Мақаланың мақсаты – автордың ғылыми қызметінің 37 жылдық кезеңін қамтитын әдіснамалық қағидаларының дамуы мен салыстырмалы талдауы ұсыну. Негізгі назар 1988 жылғы диссертациялық зерттеуде қалыптасқан ғылыми эксперимент тұжырымдамасының қазіргі жасанды интеллектпен (ЖИ) өзара әрекеттесу философиясына дейінгі трансформациясына аударылады. Автор генеративті модельдер дәуірінде промпт-инжинирингтің таза инженерлік міндет болудан қалып, гуманитарлық жобалау кеңістігіне ауысатынын дәлелдейді. Зерттеудің өзегінде авторлық «Zero-Iteration Workflow» (итерациясыз жұмыс үдерісі) тұжырымдамасы орын алады. Бұл тәсілдің мәні — промпттың «онтологиялық дизайнын» терең алдын ала пысықтау арқылы ЖИ-мен өзара әрекеттесуде алғашқы сұраудың

өзінде дәл нәтижеге қол жеткізу. Әдістеме философия, филология және этнография құралдарын пайдалана отырып, семантикалық айқынсыздықты жою арқылы артық итерацияларды («сынау және қателесу») жоққа шығарады. Автор классикалық қазақстандық диалектика мектебінің көрегендігін негіздей отырып, оның аясында эксперимент субъектінің белсенді қызметі ретінде қарастырылғанын көрсетеді. Бүгінгі күні бұл тәсіл ЖИ-ді демистификациялауға мүмкіндік беріп, оны категориялық тұрғыдан «тірі» түрде қайта игеруді қажет ететін адамзаттың «өлі еңбегі» ретінде пайымдауға жол ашады. Мақалада күрделі алгоритмдік жүйелерді басқаруда техникалық құралдардан гөрі гуманитарлық негіздердің басымдығы қажеттілігі атап көрсетіледі.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, ғылым методологиясы, ғылыми эксперимент, промпт-инжиниринг, Zero-Iteration Workflow, қазақстандық философия мектебі, цифрлық философия.

A. S. Uteulina

Of the Center for AI and Society Studies, Almaty, Kazakhstan

FROM THE METHODOLOGY OF EXPERIMENT TO THE PHILOSOPHY OF AI: EVOLUTION OF THE RESEARCH PROGRAM (1988–2025)

Uteulina Aizhan Seilovna, Candidate of Philosophical Sciences, Director of the Center for AI and Society Studies, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Utembaika80@gmail.com, ORCID ID 0009-0006-0228-1717

Abstract. This article presents a comparative analysis and the development of the author's methodological principles, covering a 37-year period of scientific activity.

The purpose of this article is to present a comparative analysis and development of the author's methodological principles, covering a 37-year period of scientific activity.

The main focus is placed on the transformation of the concept of the scientific experiment, originally formulated in the 1988 dissertation research, into a contemporary philosophy of interaction with artificial intelligence (AI). The author demonstrates that in the era of generative models, prompt engineering ceases to be a purely engineering task and shifts into the domain of humanities-based design. A central position in the study is occupied by the author's concept of the "Zero-Iteration Workflow." The essence of this approach lies in achieving an accurate result of interaction with AI from the very first request through deep preliminary elaboration of the prompt's "ontological design." The methodology eliminates unnecessary iterations ("trial and error") by employing tools from philosophy, philology, and ethnography to remove semantic ambiguity. The author substantiates the foresight of the classical Kazakhstani school of dialectics, within which the experiment was regarded as an active activity of the subject. Today, this approach makes it possible to demystify AI by viewing it as the "objectified labor" of humanity that requires "living" categorical re-objectification. The article emphasizes the necessity of prioritizing humanitarian foundations over technical means in the management of complex algorithmic systems.

Keywords: artificial intelligence, methodology of science, scientific experiment, prompt engineering, Zero-Iteration Workflow, Kazakh philosophical school.

Введение

Архитектоника преемственности в казахстанской философской мысли

В этом контексте особую актуальность приобретает обращение к интеллектуальному наследию казахстанской философской школы, в частности к традициям Алма-Атинской школы диалектической логики, расцвет которой пришелся на 1970–1980-е годы. Именно здесь, в недрах Института философии и права АН КазССР и на кафедрах КазГУ им. С.М. Кирова (ныне КазНУ им. аль-Фараби), был выработан уникальный категориальный аппарат, позволяющий уже в 2026 году осуществить глубокую рефлексию феномена искусственного интеллекта не как технологической игрушки, а как фундаментальной онтологической проблемы.

Настоящая статья представляет собой попытку реконструкции и актуализации исследовательской программы, заложенной автором в диссертационном исследовании «Методологическая роль эксперимента в научном познании», защищенном в Алма-Ате в 1988 году.

Данная работа, выполненная под идейным влиянием академика Ж.М. Абдильдина, содержит ряд прогностических интуиций касательно природы «глобального эксперимента», «математизации познания» и «активности субъекта», которые обретают свое истинное звучание лишь сейчас, в условиях планетарного развертывания алгоритмических систем.

Автор рассматривает данный текст не как архивный артефакт, а как точку бифуркации, в которой классическая диалектическая традиция соприкоснулась с предчувствием цифровой эпохи, породив методологию, способную объяснить кризис современной техногенной цивилизации.

Основной тезис исследования заключается в том, что концепция «активности субъекта», разработанная Алма-Атинской школой, является ключом к демистификации современного ИИ. В противовес техно-детерминизму, рассматривающему нейросети как автономных агентов, диалектический подход позволяет увидеть в них «омертвленный труд» (в марксистском понимании) и форму отчужденной социальной практики.

Анализ эволюции понятия «глобальный эксперимент» – от экологических и метеорологических коннотаций 1980-х годов к социотехническим реалиям 2020-х – позволяет выявить структуру ответственности и рисков, связанных с неконтролируемым внедрением больших языковых моделей (LLM) в социальную ткань. Особое внимание уделяется на гуманистическое измерение технологий и роль человеческого фактора в управлении сложными системами.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляет диалектико-логический подход, разработанный в рамках Алма-Атинской философской школы под влиянием академика Ж.М. Абдильдина. Применяется метод историко-логической ретроспекции, позволяющий сопоставить структуру научного эксперимента конца XX века с современными когнитивными практиками промпт-инжиниринга. Автор использует рефлексивный анализ собственной исследовательской программы для выявления преемственности категориального аппарата. Ключевой установкой является принцип активности субъекта, в рамках которого познание трактуется как процесс «распредмечивания» реальности. Для обоснования методики «Zero-Iteration Workflow» применяется междисциплинарный синтез философии, филологии и этнографии, что позволяет перевести техническую задачу взаимодействия с ИИ в плоскость герменевтического проектирования смыслов.

Интеллектуальный ландшафт 1980-х: диалектика против догматизма

Для понимания глубины идей, заложенных в исследовательской программе 1988 года, необходимо реконструировать философский контекст эпохи. В 1960-1980-е годы Алма-Ата стала одним из ведущих центров развития диалектической логики в Советском Союзе, наряду с Москвой (школа Э.В. Ильенкова) и Киевом (школа П.В. Копнина). Лидером казахстанской школы выступал академик Ж. М. Абдильдин, чьи труды по логике «Капитала» К. Маркса и теории познания сформировали целое поколение мыслителей, ориентированных на преодоление догматического марксизма через обращение к гегелевской традиции и глубинному анализу природы мышления.

Ключевой особенностью Алма-Атинской школы был отказ от понимания отражения как пассивного зеркального акта. В противовес этому выдвигался принцип активности субъекта (subject activity). Познание трактовалось как сложный, исторически развивающийся процесс распредмечивания (disobjectification) реальности, где субъект не просто созерцает мир, а активно формирует его образ через категориальные сетки, инструменты и практику. Как отмечается в рецензиях на работы Ж.М. Абдильдина, ленинский тезис о совпадении диалектики, логики и теории познания был для казахстанских философов не лозунгом, а рабочим инструментом анализа современной науки.

В диссертации эта методологическая установка реализуется через анализ научного эксперимента, на «методологическую роль марксистского принципа активности субъекта в научно-теоретическом познании» как на основу своего исследования. Важно отметить, что в качестве официального оппонента на защите выступал сам Ж.М. Абдильдин, что подтверждает включенность данной работы в ядро исследовательской программы школы. Этот факт имеет принципиальное значение: анализ эксперимента в 1988 году был не просто частным исследованием по философии физики, а **попыткой применить мощный аппарат диалектической логики к пониманию того, как человек конструирует реальность в условиях научно-технической революции (НТР).**

Диалектика «живого» и «омертвленного» труда в познании

Алма-Атинская школа, следуя логике Маркса, рассматривала категории мышления как «опредмеченные» формы человеческой деятельности. Любой инструмент – будь то молоток, циклотрон или математическая формула – есть свернутая, застывшая практика прошлых поколений («омертвленный труд»), которая оживает лишь в руках активного субъекта («живой труд»).

В работе 1988 года эта диалектика прослеживается в анализе взаимоотношений прибора и исследователя. «Ни сами приборы, ни объект не могут быть условиями как таковыми, если они не вовлечены в человеческую деятельность. Условия, в силу своей предметности... предполагают их распредемечивание» (А.С.Утеулина). Это положение является фундаментальным для современной философии ИИ. Сегодня мы сталкиваемся с ситуацией, когда гигантские массивы «омертвленного труда» (тексты, изображения, код, накопленные человечеством) «опредмечены» в параметрах нейросетей.

Ошибка современного техно-оптимизма заключается в приписывании этому «мертвому труду» субъектных качеств (сознания, воли, агентности). Диалектическая методология Абдильдина и Утеулиной позволяет вскрыть эту фетишизацию: ИИ активен лишь постольку, поскольку он включен в контур деятельности живого субъекта. Без «живого огня» человеческого целеполагания алгоритм остается лишь сложной формой материи, подверженной энтропии. Как отмечается в современных исследованиях, опубликованных в журнале *AI & Society*, когда «омертвленный труд» начинает доминировать над «живым», возникает отчуждение, ведущее к деградации творческого потенциала.

Математизация как форма субъективности

Особый интерес представляет анализ математизации эксперимента, проведенный в работе 1988 года. В то время как позитивизм рассматривал математику как нейтральный язык описания природы, диалектическая школа видела в ней высшую форму активности субъекта. «Исследовать математизацию научного эксперимента как форму активности субъекта теоретического познания» – такова одна из задач, поставленных автором диссертации.

Математический эксперимент (компьютерное моделирование) рассматривался как «мост» между мысленным и реальным экспериментом. В 1988 году это относилось к моделированию физических процессов или климатических систем. Однако логика рассуждения применима и к современным LLM. Генеративный ИИ – это предельная форма математизации, где не только природные процессы, но и семантика, культурные коды и социальные нормы переведены на язык векторов и матриц.

В современных больших языковых моделях значения слов, понятий и даже сложных смысловых конструкций представлены не в виде словарных определений, а как многомерные векторные представления (embeddings). Каждому понятию соответствует точка в высокоразмерном пространстве, а семантическая близость определяется расстояниями и направлениями между такими векторами. Следовательно, философские категории, культурные коды и логические отношения приобретают математическую форму, допускающую вычисление вероятностных переходов между смыслами. Именно поэтому процесс интерпретации не исчезает, а переносится на более высокий уровень: субъект уже работает не непосредственно с текстом, а с результатом математического преобразования смыслового пространства. С точки зрения Алма-Атинской школы, это означает не «уход субъекта», а, наоборот, колоссальное

возрастание его роли, так как математическая модель требует еще более сложной интерпретации и валидации, чем непосредственное наблюдение.

Субъект 1988 года «распредмечивал» показания осциллографа. Субъект 2025 года должен «распредметить» вывод нейросети, поняв, какие социальные предубеждения, теоретические установки и культурные паттерны были «защиты» в ее математическую структуру на этапе обучения. Без этой рефлексивной работы, на которой настаивала школа Абдильдина, познание вырождается в некритическое потребление машинных галлюцинаций.

Результаты и обсуждение

Контекст 1988 года: Метеорология и экология

Понятие «глобальный эксперимент» (global experiment) не является случайной метафорой. Конец 1970-х и 1980-е годы были временем первых масштабных планетарных исследований. В 1978–1979 годах прошел Первый глобальный эксперимент ПИГАП (FGGE – First GARP Global Experiment), ставший беспрецедентной попыткой собрать данные о состоянии атмосферы всей Земли. Ученые осознали, что антропогенное воздействие на природу достигло таких масштабов, что человечество фактически проводит непреднамеренный эксперимент над собственной средой обитания.

Автором фиксируется этот сдвиг в методологии: «Под глобальным экспериментированием мы понимаем деятельность субъекта, направленную на изучение процессов... протекающих в очень больших системах... Эти процессы характеризуются необратимостью». Важнейшим отличием глобального эксперимента от классического лабораторного **является невозможность изоляции объекта**. В лаборатории ученый строит толстые стены, чтобы исключить внешние помехи. В глобальном эксперименте «стены» отсутствуют – объектом является весь мир.

Вторым критическим параметром, выделенным в 1988 году, является необратимость и однократность. Классический эксперимент верифицируем через многократное повторение (репликацию). Глобальный эксперимент (например, выброс CO₂ в атмосферу или интродукция нового вида) проводится один раз, и его результаты меняют начальные условия навсегда. «Реальный глобальный эксперимент невозможно проводить многократно... он связан с непрерывным, необратимым процессом, с постоянно меняющимися во времени условиями». Эта методологическая установка, выработанная для анализа экологических проблем, оказалась пророческой для понимания цифровой революции.

Трансформация концепции в эпоху цифровизации

Переносясь в 2025 год, мы видим, что термин «глобальный эксперимент» прочно вошел в словарь социологии техники и философии ИИ, наполнившись новым содержанием. Если в 1988 году речь шла о физической оболочке планеты, то сегодня ареной эксперимента стала социальная ткань и когнитивная сфера человечества.

Внедрение алгоритмических лент социальных сетей, систем распознавания лиц и, наконец, больших языковых моделей (LLM) описывается исследователями как «нерегулируемый глобальный эксперимент» (unregulated global experiment). Как и в описании диссертационной работы, где эксперимент характеризуется невозможностью изоляции. Нельзя создать «стерильную» социальную группу, не подверженную влиянию цифровых технологий, чтобы использовать ее как контрольную. Все человечество вовлечено в процесс обучения и использования ИИ, становясь одновременно и субъектами, и объектами этого воздействия.

Важным аспектом, отмеченным в диссертации 1988 года и получившим развитие в современных исследованиях, является роль случайности и малых воздействий. «Несущественные на первый взгляд связи и отношения могут сыграть решающую роль в неожиданном повороте процесса экспериментирования в нежелательную сторону, чреватой катастрофическими последствиями». В контексте ИИ это явление известно как проблема «alignment» (выравнивания) и непредсказуемого поведения сложных систем. Малейшие смещения (biases) в обучающих данных, которые казались разработчикам несущественными, при глобальном масштабировании приводят к системной дискриминации, поляризации общества и эрозии демократических институтов.

Таблица 1. Сравнительный анализ структуры глобального эксперимента (1988 vs 2025)

Параметр сравнения	Глобальный эксперимент (Модель 1988 г.)	Глобальный эксперимент ИИ (Модель 2025 г.)
Объект исследования	Биосфера, климат, экологические системы	Ноосфера, социальные коммуникации, когнитивные процессы
Характер системы	Природно-техническая, открытая	Социо-техническая, рекурсивная (ИИ обучается на данных, созданных ИИ)
Изоляция	Невозможна физически	Невозможна информационно (Ubiquitous Computing)
Временной фактор	Необратимость физических процессов	Необратимость культурных и когнитивных сдвигов
Субъект	Научное сообщество, государство	Технокорпорации (Big Tech), алгоритмические агенты, пользователи
Риски	Экологический коллапс, ядерная зима	Эпистемический кризис, коллапс моделей (Model Collapse), утрата субъектности

Планетарный компьютеринг как реализация диалектического прогноза

В современной философии техники, в частности в работах, публикуемых в журнале AI & Society, развивается концепция «планетарного компьютеринга» (Planetary Computing). Согласно ей, Земля покрывается слоем вычислительной инфраструктуры, превращаясь в единый кибернетический организм. Это перекликается с интуициями Алма-Атинской школы о том, что практика субъекта приобретает планетарный масштаб, охватывая собой всю действительность.

Автор писала о необходимости «интеграции общественных, естественных и технических наук» для осмысления комплексных проблем. Планетарный компьютеринг и есть материализация этой интеграции, где геологические датчики, социальные сети и экономические алгоритмы слиты в единую систему данных. Однако, в отличие от оптимизма 1980-х, современный анализ окрашен тревогой. Если в 1988 году предполагалось, что «теория должна опережать практику», то в реальности развития ИИ мы наблюдаем обратное: практика (релиз продуктов) катастрофически опережает теорию (осмысление последствий и этику).

Глобальный эксперимент ИИ проводится «in the wild» – в дикой среде, без заранее прописанных протоколов безопасности. Это возвращает нас к предупреждению о том, что в таких условиях «случайность принципиальна». Мы не контролируем начальные условия эксперимента с GPT-5 или Claude 4, так как они формируются динамически в процессе взаимодействия миллионов пользователей. Таким образом, методология, разработанная для анализа экологических систем 1980-х, оказывается наиболее адекватным инструментом для описания экологии цифровой среды 2020-х.

Активность субъекта в эпоху Generative AI: от созерцания к промпт-инжинирингу Феноменология промптинга: Инструментальный генезис

Одной из центральных категорий диссертации, является «мысленный эксперимент», который описывается как движение мысли «от следствия к основанию», поиск условий, при которых возможен желаемый результат. В 2025 году эта абстрактная гносеологическая

процедура обрела конкретную технологическую форму в виде промпт-инжиниринга (prompt engineering).

Взаимодействие человека с большой языковой моделью (LLM) – это не программирование в классическом смысле и не просто общение. Это форма герменевтической практики, где субъект пытается «настроить» (tune) состояние гигантской семиотической системы таким образом, чтобы она актуализировала нужный смысловой фрагмент. Как отмечается в недавних исследованиях, промптинг включает в себя элементы мысленного эксперимента: пользователь должен представить желаемый ответ (следствие) и сконструировать текстовую инструкцию (основание), которая приведет к этому ответу.

В современных LLM качество промпта определяется не только полнотой информации, но и тем, насколько точно он задает начальную область пространства эмбедингов. Поскольку модель оперирует не словами как таковыми, а их многомерными векторными представлениями, различные формулировки одного и того же намерения могут активировать различные области семантического пространства. Следовательно, задача субъекта состоит не в увеличении объема запроса, а в максимально точном позиционировании модели в пространстве смыслов.

Диалектика этого процесса заключается в том, что промпт – это инструмент опосредования. Согласно теории инструментального генезиса (instrumental genesis), развиваемой в рамках деятельностного подхода, любой артефакт становится инструментом только в процессе активного использования субъектом. LLM сама по себе – это пассивный набор весов («омертвленный труд»). Она становится «интеллектом» только когда субъект через промпт интегрирует ее в свою деятельность. Автор отмечала в своей работе тех лет: «Объект, попавший в сферу деятельности человека... преобразовывается в ней». Промпт-инжиниринг есть процесс этого преобразования, где субъект не просто получает информацию, а активно формирует контекст ее существования.

«Нераспредмеченные закономерности» и проблема «Черного ящика»

В тексте диссертации 1988 года присутствует важное размышление о «нераспредмеченных законах», присущих объекту, которые выявляются только в ходе реального эксперимента. «Если результаты, полученные в реальном эксперименте, противоречат теоретически ожидаемым... значит в ходе эксперимента вступают в силу... нераспредмеченные законы».

Это положение дает мощную философскую базу для понимания проблемы интерпретируемости ИИ (Explainable AI – XAI) и феномена эмерджентности. Нейросети часто демонстрируют поведение, которое не было явно запрограммировано создателями (например, способность к арифметике или переводу редких языков у моделей, не обученных этому специально). С точки зрения Алма-Атинской школы, это не мистика, а проявление объективной логики того «омертвленного труда», который спрессован в модели.

Модель содержит в себе скрытые («нераспредмеченные») структуры человеческой культуры и языка. Эти структуры не хранятся в модели как готовые знания. Они распределены по миллиардам параметров и проявляются через геометрию пространства эмбедингов. Во время генерации ответа модель фактически вычисляет наиболее вероятную траекторию движения в этом смысловом пространстве, а не извлекает заранее записанные факты.

Активность субъекта (исследователя ИИ, этика, пользователя) заключается в том, чтобы через серию экспериментов (benchmarking, red teaming) «распредметить» эти скрытые закономерности, перевести их из формы неявного знания (implicit knowledge) весов модели в форму явного теоретического знания. Без этой работы ИИ остается «вещью в себе». Таким образом, философия эксперимента предвосхищает современные методологии аудита алгоритмов.

Кризис субъектности и диалектика отчуждения

Однако активность субъекта в эпоху ИИ сталкивается с новыми угрозами. Марксистский анализ отчуждения, на который опиралась Алма-Атинская школа, сегодня актуален как никогда. Автор упоминала о том, что при капитализме происходит «полное отчуждение субъекта от предмета труда». В экономике генеративного ИИ это отчуждение достигает абсолюта.

Продукт творчества миллионов людей (тексты, картины, код) отчуждается от них, обезличивается и превращается в обучающую выборку для нейросети. Затем эта нейросети (как концентрированный «мертвый труд») начинает конкурировать с живыми творцами, обесценивая их деятельность. Возникает парадокс: активность субъекта (создание контента) оборачивается против него самого, усиливая власть алгоритмической системы.

Диалектический подход позволяет увидеть здесь не просто экономическую несправедливость, а онтологическую угрозу. Если субъект перестанет быть активным началом, делегируя целеполагание алгоритму, произойдет коллапс самой структуры познания. Машина может генерировать тексты, но она не может генерировать смыслы, так как смысл рождается только в живой деятельности, в столкновении с сопротивлением материала. Как верно замечают современные исследователи, опирающиеся на марксистскую традицию, «омертвленный труд» не может создавать новую стоимость без притока «живого труда». Если мы замкнем цикл обучения ИИ на контенте, созданном ИИ (Model Collapse), система деградирует. Спасение – только в сохранении уникальной, неалгоритмизируемой активности человеческого субъекта.

От диалектической логики к цифровой этике

Исследовательская программа, начатая в 1988 году, не завершена. Она трансформируется в новые дисциплинарные поля. То, что автор называла «методологической ролью эксперимента», сегодня развивается в рамках философии технонауки (philosophy of technoscience) и цифровой этики.

Современные казахстанские философы, работающие в русле этой традиции, применяют диалектический метод для анализа проблем виртуальной реальности, идентичности в сети и этики алгоритмов. Идея о том, что технологии не нейтральны, что они несут в себе «печать» социальных отношений и логики производства, становится аксиомой для критических исследований технологий (Critical Technology Studies).

В этой статье акцентировано внимание на прямую линию преемственности:

1. Тезис 1988: Эксперимент есть активная деятельность субъекта по преобразованию объекта, включающая теоретические и инструментальные средства.
2. Антитезис 2025: ИИ (как глобальный эксперимент) стремится скрыть активность субъекта, представляя результат как объективную данность («машина так решила»), что ведет к отчуждению и безответственности.
3. Синтез (Задача будущего): необходимо вернуть субъекту контроль над «глобальным экспериментом» через механизмы этического регулирования, развитие цифровой грамотности (как формы «распредмечивания») и демократизацию технологий.

Заключение

Подводя итоги проведенного анализа, можно утверждать, что эволюция исследовательской программы от методологии эксперимента к философии искусственного интеллекта демонстрирует исключительную жизнеспособность диалектического метода.

Сравнение работ 1988 и 2025 годов подтверждает прозорливость классической казахстанской философской школы, сумевшей предсказать возрастание роли субъекта в управлении сложными, необратимыми системами. Внедрение методики «Zero-Iteration Workflow» становится необходимым ответом на кризис техноцентризма, позволяя вернуть человеку статус архитектора смыслов в цифровой среде. Главный вывод исследования заключается в том, что гуманитарные науки сегодня выполняют роль «операционной системы» для ИИ, обеспечивая точность перевода человеческих интенций в цифровой код. Преемственность идей о глобальном эксперименте и активности субъекта позволяет казахстанской научной мысли сохранять оригинальный голос в глобальном диалоге о будущем технологий, предлагая гуманистическую альтернативу механистическому подходу. Таким образом, истинная философия всегда работает на опережение времени, превращая архивные интуиции в действенные инструменты управления будущим.

Литература

- 1 Утеулина А.С. Методологическая роль эксперимента в научном познании: Автореф. дис. ... канд. филос. наук. – Алма-Ата: КазГУ, 1988.
- 2 Ilyenkov E.V. Dialectical Logic. Introduction. – Marxists Internet Archive. – URL: <https://www.marxists.org/archive/ilyenkov/works/essays/dialectical-logic.pdf> (Дата обращения: 01.02.2026).
- 3 Abdildin Zh.M. The formation of study about dialectics and logic of cognition // Philosophical thought in Kazakhstan. – e-history.kz (Дата обращения: 01.02.2026).
- 4 Leontyev A.N. Activity and Consciousness. – Marxists Internet Archive. – URL: <https://www.marxists.org/archive/leontev/works/activity-consciousness.pdf> (Дата обращения: 01.02.2026).
- 5 Labour, Energy and the Colonial Geography of Artificial Intelligence. – The Corner House. – URL: <http://www.thecornerhouse.org.uk/sites/thecornerhouse.org.uk/files/Labour%2C%20Energy%20and%20the%20Colonial%20Geography%20of%20Artificial%20Intelligence.pdf> (Дата обращения: 01.02.2026).
- 6 Y. E. Oztas и B. Arda. «Re-evaluating creative labor in the age of artificial intelligence: a qualitative case study of creative workers' perspectives on technological transformation in creative industries» AI & Society. – 2025. – Vol. 40. – P.4119–4130. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1007/s00146-025-02180-6>
- 7 Hilgartner S. Chats Between Bots: A Real-World Experiment in Writing, Recursion, and Reflexivity ResearchGate.2025. https://www.researchgate.net/publication/390878057_Chats_Between_Bots_A_Real-World_Experiment_in_Writing_Recursion_and_Reflexivity
- 8 Mishra P. AI, Education, & the Unregulated Global Experiment. <https://punyamishra.com/2026/01/18/ai-education-the-unregulated-global-experiment-keynote-at-education-internationals-first-global-ai-conference/>
- 9 Chats Between Bots: A Real-World Experiment in Writing, Recursion, and Reflexivity. — ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/390878057_Chats_Between_Bots_A_Real-World_Experiment_in_Writing_Recursion_and_Reflexivity
- 10 Henrickson L., Meroño-Peñuela A. Prompting meaning: A hermeneutic approach to optimising prompt engineering with ChatGPT // AI & Society. – 2023. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01752-8>
- 11 Abdildin Zh.M., Balgimbaev A.S. The dialectic of the subject's activity in scientific knowledge. – Alma-Ata: Nauka, 1977.
- 12 Batty M. The emergence and evolution of urban AI // AI & Society. – 2022.
- 13 The First GARP Global Experiment. – NASA Technical Reports Server. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19860014649/downloads/19860014649.pdf> (Дата обращения: 01.02.2026).
- 14 Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX). – Oxford Research Encyclopedias. (Дата обращения: 01.02.2026).
- 15 Ramanathan V. The Greenhouse Theory of Climate Change: A Test by an Inadvertent Global Experiment // Science. – 1988. – Vol. 240.

References

- 1 Uteulina A.S. Metodologicheskaya rol' ehksperimenta v nauchnom poznanii: Avtoref. dis. ... kand. filос. nauk. — Alma-Ata: KazGU, 1988.
- 2 Ilyenkov E.V. Dialectical Logic. Introduction. Marxists Internet Archive. URL: <https://www.marxists.org/archive/ilyenkov/works/essays/dialectical-logic.pdf> (Data obrashcheniya: 01.02.2026).
- 3 Abdildin Zh.M. The formation of study about dialectics and logic of cognition // Philosophical thought in Kazakhstan. — e-history.kz (Data obrashcheniya: 01.02.2026).
- 4 Leontyev A.N. Activity and Consciousness. Marxists Internet Archive. URL: <https://www.marxists.org/archive/leontev/works/activity-consciousness.pdf> (Data obrashcheniya: 01.02.2026).
- 5 Labour, Energy and the Colonial Geography of Artificial Intelligence. The Corner House. URL: <http://www.thecornerhouse.org.uk/sites/thecornerhouse.org.uk/files/Labour%2C%20Energy%20and%20the%20Colonial%20Geography%20of%20Artificial%20Intelligence.pdf> (Data obrashcheniya: 01.02.2026).
- 6 Y. E. Oztas i B. Arda. «Re-evaluating creative labor in the age of artificial intelligence: a qualitative case study of creative workers' perspectives on technological transformation in creative industries» AI & Society. 2025. Vol. 40. P. 4119–4130. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1007/s00146-025-02180-6>

- 7 Hilgartner S. Chats Between Bots: A Real-World Experiment in Writing, Recursion, and Reflexivity. ResearchGate. 2025. https://www.researchgate.net/publication/390878057_Chats_Between_Bots_A_Real-World_Experiment_in_Writing_Recursion_and_Reflexivity
- 8 Mishra P. AI, Education, & the Unregulated Global Experiment. <https://punyamishra.com/2026/01/18/ai-education-the-unregulated-global-experiment-keynote-at-education-internationals-first-global-ai-conference/>
- 9 Chats Between Bots: A Real-World Experiment in Writing, Recursion, and Reflexivity. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/390878057_Chats_Between_Bots_A_Real-World_Experiment_in_Writing_Recursion_and_Reflexivity
- 10 Henrickson L., Meroño-Peñuela A. Prompting meaning: A hermeneutic approach to optimising prompt engineering with ChatGPT // AI & Society. — 2023. <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01752-8>
- 11 Abdildin Zh.M., Balgimbaev A.S. The dialectic of the subject's activity in scientific knowledge. Alma-Ata: Nauka, 1977.
- 12 Batty M. The emergence and evolution of urban AI // AI & Society. 2022.
- 13 The First GARP Global Experiment. — NASA Technical Reports Server. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19860014649/downloads/19860014649.pdf> (Data obrashcheniya: 01.02.2026).
- 14 Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX). Oxford Research Encyclopedias. (Data obrashcheniya: 01.02.2026).
- 15 Ramanathan V. The Greenhouse Theory of Climate Change: A Test by an Inadvertent Global Experiment // Science. 1988. Vol. 240.

УДК 004

DOI: <https://doi.org/10.66941/3106-9037/2026/iss2pp31-40>**Б.А. Дүйсембеков***ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений
им. Ж. Жиёмбаева», Алматы, Казахстан*

СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ФИТОСАНИТАРНЫМИ РИСКАМИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Дүйсембеков Б.А., кандидат биологических наук, профессор, академик КААН и НИА РК, Председатель Правления ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева», Алматы, Казахстан.

E-mail: bduisembekov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8572-9906>

Аннотация. В современных условиях обеспечение фитосанитарной безопасности становится одним из ключевых факторов устойчивого развития агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности государства. Изменение климата, расширение международной торговли, появление новых карантинных объектов и растущие масштабы распространения вредных организмов требуют внедрения современных цифровых технологий для мониторинга, прогнозирования и управления фитосанитарными рисками. В статье рассматриваются современные тенденции цифровой трансформации фитосанитарной службы Республики Казахстан. Представлены результаты внедрения геоинформационных систем, технологий дистанционного зондирования Земли, беспилотных летательных аппаратов, искусственного интеллекта, цифровых платформ, мобильных лабораторий и систем поддержки принятия решений. Особое внимание уделяется развитию Казахского научно-исследовательского института защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева, направленных на повышение эффективности фитосанитарного мониторинга и внедрения инновационных технологий в сельскохозяйственное производство. Показано, что интеграция научных исследований, цифровых технологий и производственной практики является основой для формирования современной системы управления фитосанитарными рисками.

Ключевые слова: фитосанитарная безопасность, цифровизация, искусственный интеллект, беспилотные летательные аппараты, геоинформационные системы, мониторинг, прогнозирование, карантин растений.

Б.А. Дүйсембеков*«Ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ФИТОСАНИТАРИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУДАҒЫ ЗАМАНАУИ ЦИФРЛЫҚ ШЕШІМДЕР

Дүйсембеков Б.А., биология ғылымдарының кандидаты, профессор, ҚААН және ҚР ҰИА академигі, «Ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Басқарма Төрағасы, Алматы, Қазақстан;

E-mail: bduisembekov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8572-9906>

Аннотация. Қазіргі жағдайда фитосанитариялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету агроөнеркәсіптік кешеннің орнықты дамуының және мемлекеттің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі факторларының біріне айналуға. Климаттың өзгеруі, халықаралық сауданың кеңеюі, жаңа карантиндік объектілердің пайда болуы және зиянды организмдердің таралу ауқымының ұлғаюы фитосанитариялық тәуекелдерді мониторингілеудің, болжаудың және басқарудың заманауи цифрлық технологияларын енгізуді талап етеді. **Мақсаты** – Қазақстан Республикасы фитосанитариялық қызметінің цифрлық трансформациясының

заманауи бағыттарын қарастыру. Мақалада геоақпараттық жүйелерді, жерді қашықтықтан зондтау технологияларын, ұшқышсыз ұшу аппараттарын, жасанды интеллектті, цифрлық платформаларды, мобильді зертханаларды және шешімдерді қолдау жүйелерін енгізу нәтижелері келтірілген. Фитосанитариялық мониторингтің тиімділігін арттыруға және ауыл шаруашылығы өндірісіне инновациялық технологияларды енгізуге бағытталған ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институтының әзірлемелеріне ерекше назар аударылды. *Қорытындылар:* ғылыми зерттеулердің, цифрлық технологиялар мен өндірістік практиканың интеграциясы фитосанитариялық тәуекелдерді басқарудың заманауи жүйесін қалыптастырудың негізі болып табылады.

Түйін сөздер: фитосанитариялық қауіпсіздік, цифрландыру, жасанды интеллект, ұшқышсыз ұшу аппараттары, геоақпараттық жүйелер, мониторинг, болжау, өсімдіктер карантині.

B.A. Duisembekov

*LLP «Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev»,
Almaty, Kazakhstan*

MODERN DIGITAL SOLUTIONS IN PHYTOSANITARY RISK MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Duisembekov B.A., Candidate of Biological Sciences, Professor, Academician of the Kazakh Academy of Agricultural Sciences and the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Chairman of the Board of LLP “Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev”, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: bduisembekov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8572-9906>

Abstract. In modern conditions, ensuring phytosanitary safety is becoming one of the key factors for the sustainable development of the agro-industrial complex and ensuring the state's food security. Climate change, the expansion of international trade, the emergence of new quarantine objects, and the growing scale of the spread of harmful organisms require the introduction of modern digital technologies for monitoring, forecasting, and managing phytosanitary risks. The article examines the current trends in the digital transformation of the phytosanitary service of the Republic of Kazakhstan. The results of implementing geoinformation systems, Earth remote sensing technologies, unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, digital platforms, mobile laboratories, and decision support systems are presented. Special attention is paid to the developments of the Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev, aimed at improving the efficiency of phytosanitary monitoring and introducing innovative technologies into agricultural production. It is shown that the integration of scientific research, digital technologies, and production practice is the basis for forming a modern system for managing phytosanitary risks.

Keywords: phytosanitary safety, digitalization, artificial intelligence, unmanned aerial vehicles, geographic information systems, monitoring, forecasting, plant quarantine.

Введение

Фитосанитарная безопасность является одним из ключевых элементов продовольственной, экологической и экономической безопасности государства, обеспечивая устойчивость сельскохозяйственного производства, сохранение биоразнообразия и стабильность международной торговли растительной продукцией. По оценкам Секретариата Международной конвенции по карантину и защите растений (IPPC) и Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), ежегодно до 40% мирового урожая сельскохозяйственных культур теряется вследствие воздействия вредителей, болезней и сорных растений, что эквивалентно экономическим потерям более 220 млрд долларов США в год [1].

Современные изменения климата, интенсификация международной торговли, увеличение объемов трансграничного перемещения растительной продукции и расширение

ареалов распространения инвазивных видов способствуют росту фитосанитарных рисков во многих странах мира [1, 2]. По данным FAO, для стран Центральной Азии прогнозируется дальнейшее усиление негативного влияния климатических изменений на распространение вредных организмов, что приведет к увеличению потерь урожая и усложнению системы фитосанитарного контроля, что также подтверждается многолетними исследованиями отечественных ученых [1, 7].

Для Республики Казахстан проблема обеспечения фитосанитарной безопасности имеет особую актуальность вследствие значительной площади сельскохозяйственных угодий, разнообразия природно-климатических зон и высокой экспортной ориентированности агропромышленного комплекса. Закон Республики Казахстан «О карантине растений» определяет необходимость систематического мониторинга, своевременного выявления карантинных объектов и проведения комплекса профилактических мероприятий по предупреждению их распространения [4].

По данным Комитета государственной инспекции в агропромышленном комплексе Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, на территории страны зарегистрировано 13 особо опасных вредных организмов и 14 ограниченно распространённых карантинных объектов, представляющих существенную угрозу сельскохозяйственному производству, согласно нормативно-правовым актам и требованиям, закрепленным уполномоченными органами [5, 6].

Наиболее напряженная фитосанитарная ситуация наблюдается в южных регионах, где распространены южноамериканская томатная моль (*Tuta absoluta*), дынная муха (*Myiopardalis pardalina*), вирусные болезни овощных культур и инвазивные сорные растения. Для северных областей характерны массовые очаги саранчовых вредителей, семенная инфекция зерновых культур и карантинный сорняк горчак ползучий (*Acroptilon repens*). В восточных регионах возрастает значение мониторинга лесных вредителей и предупреждения фитосанитарных последствий природных пожаров.

Следует отметить, что современная фитосанитарная ситуация представляет собой системную проблему, требующую комплексного подхода к мониторингу и управлению. В этих условиях особое значение приобретают цифровые технологии, обеспечивающие оперативное получение, обработку и анализ больших массивов данных.

Современная цифровая трансформация сельского хозяйства открывает новые возможности для повышения эффективности мониторинга, прогнозирования и управления фитосанитарными рисками. Применение геоинформационных систем (ГИС), технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), беспилотных летательных аппаратов, искусственного интеллекта, больших данных и цифровых платформ поддержки принятия решений позволяет осуществлять непрерывный контроль фитосанитарной обстановки, прогнозировать развитие вредных организмов и своевременно принимать управленческие решения, минимизируя экономические потери и экологические риски.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ современных цифровых решений в области управления фитосанитарными рисками и оценка эффективности их внедрения в систему обеспечения фитосанитарной безопасности Республики Казахстан на основе научно-инновационных разработок ТОО «КазНИИЗиКР им. Ж. Жиенбаева».

Методологические основы цифровой фитосанитарии

Современная система фитосанитарного мониторинга основывается на интеграции различных источников информации и применении интеллектуальных методов анализа данных. Базовый методологический принцип функционирования современной системы цифровой фитосанитарии, реализуемый в научно-производственной практике института, можно представить в виде последовательной цепочки сквозных процессов:

Данные → Анализ → Прогноз → Решение → Результат

Для математического моделирования и прогнозирования фитосанитарных рисков в работе использованы следующие методологические подходы:

1. Сбор многоспектральных данных и ДЗЗ: Сбор первичной информации осуществляется с помощью съемок с БПЛА и спутников. Для оценки депрессии посевов и выявления очагов поражения рассчитывается нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI) по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где: NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;
RED – отражение в красной области спектра [8].

2. Прогнозирование на основе тепловых единиц: Краткосрочный и среднесрочный прогноз фенодинамики вредителей базируется на расчете суммы эффективных температур (SET):

$$SET = \Sigma (T_{mean} - T_{lower}),$$

где: T_{mean} – среднесуточная температура воздуха;
 T_{lower} – нижний порог развития конкретного биологического объекта [9].

Использование цифровых технологий позволяет не только получать оперативную информацию о текущем состоянии агроэкосистем, но и моделировать динамику развития фитосанитарной ситуации на основе многофакторного анализа. По оценкам специалистов института, внедрение современных сквозных ИТ-решений позволяет обеспечить точность прогнозирования распространения вредных организмов на уровне 85-95%, что существенно повышает биологическую и экономическую эффективность защитных мероприятий.

Результаты внедрения цифровых разработок ТОО «КазНИИЗиКР»

В рамках реализации стратегических направлений развития научно-инновационной инфраструктуры ТОО «КазНИИЗиКР им. Ж. Жиембаева» был разработан и внедрен комплекс программно-аппаратных решений, мобильных систем и инновационных агротехнологий.

1. Интеллектуальная система программного прогнозирования «Forecast Assistant»

Одним из перспективных направлений цифровизации является разработка специализированных программных средств прогнозирования. Система разработана для автоматизированного долгосрочного и краткосрочного прогнозирования пространственно-временного распространения 16 видов особо опасных и карантинных вредных организмов. Алгоритм программы агрегирует комплекс факторов, включающий ежедневные метеорологические условия (температура, влажность, сумма эффективных температур), биологические особенности развития конкретного вредителя или патогена, региональные географические характеристики и исторические пространственные данные мониторинга прошлых лет. Использование системы способствует резкому повышению оперативности принятия решений государственными органами и фермерскими хозяйствами, снижая риски возникновения фитосанитарных чрезвычайных ситуаций.

2. Платформа «Цифровой полевой журнал»

Для технологической модернизации процессов полевого обследования специалистами института создана информационная система «Цифровой полевой журнал». Данное мобильное приложение обеспечивает автоматизацию сбора, верификации и передачи данных фитосанитарного мониторинга в режиме реального времени (Рисунок 1). К ключевым преимуществам платформы относятся:

- возможность полноценной автономной работы в полевых условиях при отсутствии доступа к сети Интернет;
- жесткая стандартизация форм и протоколов сбора данных, исключающая субъективную оценку;
- автоматическая спутниковая регистрация точных географических координат (геолокация) точек учета;

- бесшовная интеграция геопривязанных фото- и видеоматериалов фитосанитарных объектов;
- автоматизированная передача накопленных данных в единую централизованную базу данных института при восстановлении связи;
- минимизация человеческого фактора и исключение фальсификации данных мониторинга.

Использование цифрового полевого журнала позволяет существенно повысить достоверность мониторинговых данных и сократить сроки их обработки.



Рисунок 1 - Цифровой фитосанитарный мониторинг

3. Мобильная лаборатория

Мобильная лаборатория представляет собой высокотехнологичный автономный научно-исследовательский комплекс на базе специализированного автотранспорта, выполняющий функции «скорой помощи» для агроценозов (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Мобильная лаборатория

Лаборатория укомплектована аналитическим оборудованием для проведения:

- оперативной ПЦР-диагностики непосредственно у края поля без необходимости транспортировки образцов в стационарные центры;
- экспресс-выявления латентных форм карантинных и особо опасных объектов;
- точной этиологической диагностики грибных, бактериальных и вирусных заболеваний растений;
- экспресс-анализа физико-химических показателей почв и комплексной оценки обеспеченности растений элементами минерального питания.

Развертывание мобильной лаборатории позволило сократить время проведения комплексной фитосанитарной диагностики с традиционных 6-7 дней до 2 часов, что имеет критически важное значение при вспышках размножения вредителей или трансграничных заносах инфекций.

4. Алгоритмические и интеллектуальные методы анализа фитосанитарных данных

Для повышения точности прогнозирования фитосанитарных рисков применяется комплексный алгоритмический подход, основанный на интеграции разнородных данных, характеризующих состояние агроэкосистемы и динамику развития вредных организмов. В качестве входных параметров используются метеорологические показатели (температура воздуха, влажность, количество осадков), сумма эффективных температур, данные многолетнего фитосанитарного мониторинга, пространственные координаты выявленных очагов, фенологические характеристики вредных организмов, а также данные дистанционного зондирования Земли и беспилотных летательных аппаратов.

Алгоритм обработки информации включает несколько последовательных этапов: сбор и верификацию исходных данных, их предварительную обработку и нормализацию, пространственно-временную привязку, расчет биоклиматических и вегетационных показателей, выявление статистических закономерностей и формирование прогнозной оценки фитосанитарного риска. Таким образом, общая алгоритмическая схема может быть представлена в следующем виде:

Сбор данных → Предварительная обработка → Нормализация → Пространственно-временной анализ → Расчет биоклиматических показателей → Интеллектуальный анализ → Прогнозирование → Оценка фитосанитарного риска → Формирование управленческого решения.

Для комплексной количественной оценки фитосанитарной ситуации может использоваться интегральный показатель риска, учитывающий совокупное влияние основных факторов:

$$R = w_1M + w_2B + w_3V + w_4H + w_5S,$$

где R – интегральный показатель фитосанитарного риска; M – нормализованный показатель влияния метеорологических условий; B – показатель биологического развития вредного организма, учитывающий его фенологическую стадию и температурные пороги развития; V – показатель состояния растительности, определяемый на основе вегетационных индексов, включая NDVI; H – показатель, характеризующий историческую частоту и интенсивность выявления вредного организма на обследуемой территории; S – пространственный показатель, отражающий географическую близость к ранее зарегистрированным очагам и потенциальные направления распространения; w_1 – w_5 – весовые коэффициенты, определяющие относительный вклад каждого фактора в формирование итогового риска.

Значения входных показателей предварительно приводятся к сопоставимому диапазону путем нормализации. Весовые коэффициенты могут определяться на основе статистического анализа многолетних данных фитосанитарного мониторинга и уточняться по мере накопления новых наблюдений. Полученный интегральный показатель позволяет проводить ранжирование обследуемых территорий по уровню фитосанитарного риска и формировать пространственные карты потенциального распространения вредных организмов.

Для повышения адаптивности прогнозирования в алгоритмическую модель интегрируются методы машинного обучения. Вектор входных признаков $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, включающий метеорологические, биологические, спектральные, пространственные и исторические параметры, используется для определения вероятности возникновения или развития фитосанитарно опасного события:

$$P(y = 1 | X) = f(X),$$

где $P(y = 1 | X)$ – прогнозируемая вероятность формирования или развития очага вредного организма при заданной совокупности факторов, а $f(X)$ – прогнозная функция, формируемая на основе алгоритмов машинного обучения. В зависимости от структуры и объема накопленных данных для решения задач классификации и прогнозирования могут применяться методы логистической регрессии, Random Forest и градиентного бустинга. Использование ансамблевых алгоритмов позволяет учитывать нелинейные взаимосвязи между климатическими, биологическими и пространственными факторами, а также оценивать относительную значимость отдельных признаков при формировании фитосанитарного риска.

Отдельным направлением применения искусственного интеллекта является автоматизированный анализ цифровых изображений, получаемых в ходе полевого мониторинга и съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов. Методы компьютерного зрения и сверточных нейронных сетей могут использоваться для обнаружения и классификации визуальных признаков поражения растений, распознавания вредных организмов и определения пространственных границ потенциальных очагов. Результаты автоматизированного анализа изображений интегрируются с координатами обследований, метеорологическими и историческими данными, что обеспечивает формирование геоинформационных слоев и карт фитосанитарного риска.

Валидация прогнозных моделей осуществляется путем сопоставления расчетных результатов с фактическими данными полевого фитосанитарного мониторинга. Для оценки качества моделей классификации могут использоваться показатели Accuracy, Precision, Recall и F1-score, а для количественного прогнозирования динамики численности вредных организмов – средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент детерминации (R^2). Такой подход позволяет объективно оценивать прогностическую способность используемых алгоритмов и проводить их последовательное уточнение по мере накопления новых данных.

Интеграция математических методов, алгоритмов машинного обучения, технологий искусственного интеллекта, ГИС, ДЗЗ и данных полевого мониторинга формирует основу интеллектуальной системы поддержки принятия решений. В рамках данной концепции цифровая платформа выполняет не только функцию накопления и визуализации информации, но и обеспечивает последовательный переход от первичных данных к прогнозной оценке риска и выработке рекомендаций: данные → анализ → модель → прогноз → карта риска → управленческое решение. Такой подход создает предпосылки для перехода от традиционного реагирования на уже сформировавшиеся очаги вредных организмов к превентивному управлению фитосанитарными рисками на основе прогнозных алгоритмов и интеллектуального анализа данных.

5. Использование БПЛА и технологий искусственного интеллекта

Применение беспилотных авиационных систем в институте осуществляется по двум ключевым направлениям: многомерный мониторинг и ультрамалообъемное опрыскивание (УМО). Использование спектрометрических камер на БПЛА в сочетании со спутниковыми данными ДЗЗ позволяет рассчитывать вегетационные индексы (NDVI и др.) для раннего выявления очагов депрессии посевов, вызванных скрытыми патогенами или вредителями.

Совместно с зарубежными партнерами внедряются технологии многомерного ИИ-мониторинга, где нейросетевые алгоритмы машинного обучения осуществляют распознавание образов вредных организмов по фотоснимкам и прогнозируют темпы роста популяций. В сфере практической защиты растений применение групп из четырех беспилотных опрыскивателей обеспечивает производительность на уровне 400-600 гектаров в сутки с высокой точностью внесения препаратов на сое, рисе, кукурузе, хлопчатнике, томатах, а также в труднодоступных лесных массивах и рекреационных зонах (Рисунок 3).



Рисунок 3 - Обработка посевов с применением БПЛА

5. Инновационная технология «BioDrop»

Проект «BioDrop» представляет собой передовое роботизированное решение в области биологизации АПК, направленное на автоматизированное расселение полезных насекомых-энтомофагов (например, трихограммы, габробракона и макролофуса) с помощью БПЛА. В рамках проекта разработаны оригинальные биodeградируемые защитные капсулы, технологии капсулирования биоагентов и специализированные навесные автоматические распределительные устройства, изготовленные с применением аддитивных технологий (3D-печати). Использование «BioDrop» гарантирует прецизионное равномерное внесение биоагентов по заданной GPS-сетке, снижает трудозатраты и полностью исключает применение химических пестицидов на обрабатываемых площадях (Рисунок 4).

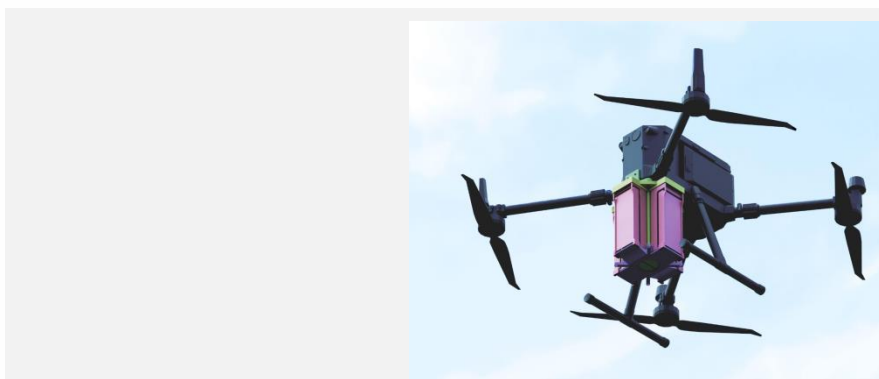


Рисунок 4 - Инновационная технология «BioDrop»

6. Комбинированные механико-химические технологии контроля карантинных сорняков

Для борьбы с горчаком ползучим в системе зернопарового севооборота специалистами Института разработан и запатентован 3-х ярусный культиватор-плоскорез с подпочвенным дифференцированным внесением гербицидов и удобрений (Рисунок 5). Агрегат за один проход реализует синергетический метод контроля: агротехнический (механическое измельчение мощной корневой системы горчака на мелкие отрезки до 5 см, теряющие способность к регенерации) и химический (создание подпочвенного фитотоксичного гербицидного экрана, уничтожающего проростки корней и семена сорняка в глубоких слоях). Данная технология обеспечивает биологическую эффективность до 96%, снижает производственные затраты в 3-4 раза и повышает последующую урожайность культур на 25-30%.

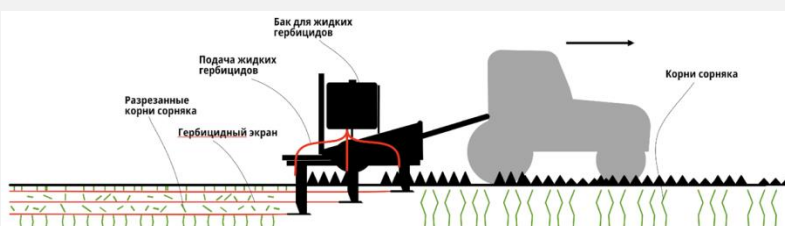


Рисунок 5 - 3-х ярусный культиватор-плоскорез для борьбы с горчаком ползучим

Заключение

Полученные результаты IT-решений ТОО «КазНИИзиКР» убедительно доказывают, что перевод фитосанитарной службы на цифровые рельсы позволяет радикально изменить сам характер управления рисками. Происходит концептуальный переход от реактивного подавления уже развившихся, масштабных очагов вредных организмов к превентивному интеллектуальному управлению на ранних стадиях биологического развития и начальных циклах размножения вредных организмов. Это полностью согласуется с глобальными трендами концепции точного земледелия и международными принципами интегрированной защиты растений.

Практическая ценность разработанных систем, таких как программный комплекс «Forecast Assistant» и платформа «Цифровой полевой журнал», заключается в минимизации человеческого фактора и обеспечении сквозной верификации данных. В традиционных схемах мониторинга задержка между фиксацией объекта в поле и принятием управленческого решения составляла от нескольких дней до недели, что в критические фазы развития вредителей (например, при переходе нестадных саранчовых во вредоносную стадию или вспышках бактериального ожога) приводило к потере урожая. Цифровизация процессов и интеграция экспресс-диагностики на базе мобильных лабораторий сократили это технологическое окно до 2 часов.

Разработанные цифровые и научные решения обеспечивают высокую биологическую и экономическую эффективность, выступая фундаментальным технологическим базисом для построения современной системы защиты сельскохозяйственных угодий, минимизируя фитосанитарные риски и формируя гибкую, устойчивую к климатическим вызовам агроэкосистему, способную стабильно воспроизводить высокий потенциал отечественного растениеводства.

Таким образом, цифровизация фитосанитарии становится магистральным вектором научно-технологического суверенитета агропромышленного комплекса Республики Казахстан и фундаментальным инструментом обеспечения биологической безопасности государства.

Выводы:

1. Цифровизация фитосанитарной отрасли является стратегическим вектором развития и залогом обеспечения продовольственной, биологической и экологической безопасности Республики Казахстан в условиях глобальных климатических вызовов.
2. Интеграция ГИС-технологий, ДЗЗ, беспилотных авиационных систем и нейросетевых алгоритмов искусственного интеллекта позволяет достичь точности прогнозирования динамики популяций вредных объектов на уровне 85–95%, а также сократить время проведения полевой диагностики до 2 часов.
3. Научно-технические разработки ТОО «КазНИИЗиКР» демонстрируют высокую эффективность и перспективность практического применения.
4. Современная аграрная наука должна быть полностью ориентирована на полевые условия – непосредственно туда, где принимаются оперативные производственные решения и закладывается экономическая устойчивость сельскохозяйственного производства страны.

Литература

1. FAO. Climate change impacts on twenty major crop pests in Central Asia, the Caucasus and Southeastern Europe. Rome: FAO, 2021 – 148 p.
2. International Plant Protection Convention (IPPC). Plant Health & Food Security: Global partnership for protecting sustainable agriculture. – Rome: FAO/IPPC, 2023.
3. International Plant Protection Convention. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPMs). - Rome: IPPC, Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2024.
4. Закон Республики Казахстан «О карантине растений» от 11 февраля 1999 года № 344-І (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2026 г.).
5. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан «Об утверждении Правил по охране территории Республики Казахстан от карантинных объектов и чужеродных видов» от 29 июня 2015 года № 15-4/584 (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 24 ноября 2015 года № 12316; с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
6. Решение Совета Евразийской экономической комиссии «Об утверждении единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза» от 30 ноября 2016 года № 157 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
7. Исмаилов М. Г., Токкужаева А. Б. Влияние изменения климата на динамику распространения опасных вредителей сельскохозяйственных культур в регионах Центральной Азии и Казахстана // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 2022. – № 4. – С. 22–31.

8. Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A review // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 236. – Art. 111402.
9. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. – 2006. – Vol. 15, No. 3. – P. 259–263.

References

1. FAO. Climate change impacts on twenty major crop pests in Central Asia, the Caucasus and Southeastern Europe. Rome: FAO, 2021 – 148 p.
2. International Plant Protection Convention (IPPC). Plant Health & Food Security: Global partnership for protecting sustainable agriculture. – Rome: FAO/IPPC, 2023.
3. International Plant Protection Convention. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPMs). - Rome: IPPC, Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2024.
4. Закон Республики Казахстан «О карантине растений» от 11 февраля 1999 года № 344-І (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2026 г.).
5. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан «Об утверждении Правил по охране территории Республики Казахстан от карантинных объектов и чужеродных видов» от 29 июня 2015 года № 15-4/584 (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 24 ноября 2015 года № 12316; с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
6. Решение Совета Евразийской экономической комиссии «Об утверждении единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза» от 30 ноября 2016 года № 157 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
7. Ismailov M. G., Tokkuzhaeva A. B. Vliyaniye izmeneniya klimata na dinamiku rasprostraneniya opasnykh vreditel'ey sel'skohozyajstvennykh kul'tur v regionah Central'noy Azii i Kazakhstana // Vestnik sel'skohozyajstvennoy nauki Kazakhstana. – 2022. – № 4. – S. 22–31.
8. Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A review // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 236. – Art. 111402.
9. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. – 2006. – Vol. 15, No. 3. – P. 259–263.



НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «НАУКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ»

Главный редактор: Токбергенов И.Т.

Научный редактор: Есеркепов М.М.

Ответственный редактор: Ахметова М.С.

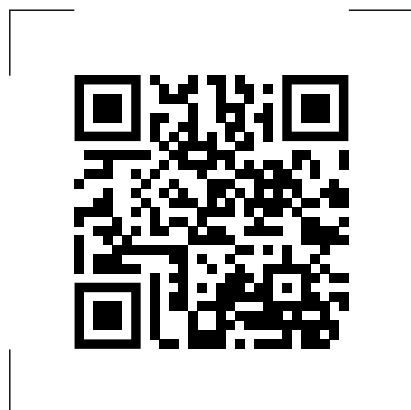
Дизайнер: Копачевский А.В.

Подписано в печать 25.06.2025.

Формат 60x881/8.

НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан»

050010, Алматы, ул. Шевченко, 28



НАЦИОНАЛЬНАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН