Сведения об авторах

Нуржан Аманкулулы Бажаев* – постдокторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: nurzhan_nfs@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4820-6132.

Айжан Конурбаевна Токкулиева – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: tokkuliyeva_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5019-2413.

Авторлар туралы мәліметтер

Нуржан Аманкулулы Бажаев* – постдокторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Мемлекеттік техникалық қызмет» АҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: nurzhan_nfs@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4820-6132.

Айжан Конурбаевна Токкулиева – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: tokkuliyeva_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5019-2413.

Information about the authors

Nurzhan Bazhayev* – postdoctoral fellow; L.N. Gumilyov Eurasian National University, State Technical Service, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurzhan_nfs@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4820-6132.

Aizhan Tokkuliyeva – doctoral student; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: tokkuliyeva_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5019-2413.

Редакцияға енуі 20.06.2026
Өңдеуден кейін түсуі 04.08.2026
Жариялауға қабылданды 04.09.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-28

МРНТИ: 68.85.85

CC BY 4.0
Check for updates

Ш.Ж. Сеилов[1], Б.Ш. Журсинбек[1], М.У. Байдельдинов[1], А.К. Майданов[*], А.А. Сейлов[1,2]
[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2
[2]ТОО «Ауыл телеком» (дочерняя компания АО «Казахтелеком»)
*e-mail: makeadil@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕЛЬСКАЯ ТЕРРИТОРИЯ КАК МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация: *Устойчивое развитие сельских территорий остаётся одним из ключевых условий продовольственной безопасности и роста экономики Казахстана. Несмотря на значительные государственные инвестиции в цифровую инфраструктуру и сельское хозяйство, сохраняются неравномерность территориального развития, низкая производительность труда, ограниченная диверсификация сельской экономики и миграционный отток населения.*

В работе предложена концепция «Интеллектуальная сельская территория» (Intelligent Rural Territory, IRT), рассматривающая сельскую территорию как интегрированную социально-экономическую систему, в которой цифровые технологии служат инструментом повышения эффективности агропромышленного комплекса, роста экспортного потенциала и качества жизни населения. В отличие от концепций Smart Village и Digital Village, ориентированных на телекоммуникационную инфраструктуру и отдельные сервисы, предложенная модель рассматривает цифровую трансформацию как основу новой экономики сельских территорий. Предложена шестиуровневая архитектура, связывающая цифровую инфраструктуру, данные, интеллектуальную аналитику, платформы, новые виды экономической деятельности и результаты устойчивого развития восходящим потоком данных и нисходящим контуром управления.

©Ш.Ж. Сеилов, Б.Ш. Журсинбек, М.У. Байдельдинов, А.К. Майданов, А.А. Сейлов, 2026

Введён индекс Intelligent Rural Territory Index (IRTI) для комплексной оценки цифровой зрелости, экономической результативности, социальной устойчивости и экспортной готовности сельских территорий. В отличие от индексов семейства IDI с компенсаторным аддитивным агрегированием, IRTI использует некомпенсаторную геометрическую свёртку, при которой провал по любому из шести блоков не возмещается остальными. Методика реализована как модульная информационная система с фиксированными границами нормализации, протоколированием винзоризации, явной политикой пропусков и манифестом воспроизводимости прогона; ранжирование выполняется по распределению Дирихле в 100 000 реализаций весов с публикацией медианного ранга и интервала рангов 5-95%.

Работа является методологической: числовые результаты получены на синтетической панели из 17 единиц наблюдения и проверяют корректность программной реализации протокола, а не оценивают реальные области. Проверка показала, что индекс публикуется для 14 единиц, ранги шести из них неустойчивы к выбору весов, а некомпенсаторная свёртка штрафует несбалансированные профили, не переупорядочивая сбалансированную часть совокупности. Расчёт на официальной статистике предполагается в следующей публикации.

Результаты применимы при разработке государственной политики цифровой трансформации сельских территорий Республики Казахстан и при формировании национальной программы «Интеллектуальная сельская территория Казахстана – 2035».

Ключевые слова: *интеллектуальная сельская территория, Smart Village, цифровая трансформация, агропромышленный комплекс, композитный индекс, некомпенсаторное агрегирование, анализ чувствительности, метод Монте-Карло, спутниковый мониторинг, устойчивое развитие, Казахстан.*

Введение

Современный этап развития мировой экономики характеризуется переходом к цифровым платформам, широким внедрением искусственного интеллекта, Интернета вещей, технологий больших данных и цифровых двойников. Эти изменения оказывают существенное влияние на пространственное развитие государств, формируя новые подходы к организации экономики, государственного управления и территориального развития. Международное измерение этого процесса опирается на индекс развития ИКТ (ICT Development Index, IDI), ежегодно публикуемый Международным союзом электросвязи [1-3]; методология индекса версии 3.1 объединяет десять показателей в два столпа – универсальную и содержательную связность [4, 5].

Для Казахстана вопросы развития сельских территорий имеют стратегическое значение. По балансу земель на 1 ноября 2024 года земельный фонд, используемый Республикой Казахстан, составляет 262,9 млн га, из которых сельскохозяйственные угодья занимают 213,6 млн га – порядка 81% используемого фонда; пашня составляет 26,9 млн га, то есть около 10% территории страны [6, 7]. Агропромышленный комплекс обладает значительным потенциалом увеличения вклада в валовой внутренний продукт, расширения экспортных поставок продовольствия и повышения национальной продовольственной безопасности. Вместе с тем многие сельские территории сталкиваются с рядом системных проблем: сокращением численности населения, оттоком молодежи, ограниченным доступом к качественным образовательным и медицинским услугам, низкой производительностью труда, слабой диверсификацией экономики и недостаточной интеграцией в цифровую экономику.

На протяжении последних лет основное внимание государственной политики уделялось развитию телекоммуникационной инфраструктуры и обеспечению доступа к широкополосному Интернету, что закреплено в государственной программе «Цифровой Казахстан» и сменившей её Концепции цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023-2029 годы [8, 9]. Безусловно, наличие современной связи является необходимым условием цифровой трансформации. Однако международный опыт показывает, что сам по себе доступ к Интернету не приводит автоматически к росту производительности, повышению доходов населения или снижению миграции из сельской местности [16, 18, 19].

Следовательно, объектом цифровой трансформации должна стать не только инфраструктура связи, но и сама система функционирования сельской территории. Цифровые технологии должны быть интегрированы во все ключевые процессы – управление

земельными ресурсами, производство сельскохозяйственной продукции, логистику, переработку, экспорт, образование, здравоохранение и государственное управление.

Исходя из этого, в настоящей статье предлагается концепция «Интеллектуальная сельская территория» (Intelligent Rural Territory). Под интеллектуальной сельской территорией понимается комплексная социально-экономическая система, основанная на данных, цифровых платформах и технологиях искусственного интеллекта, обеспечивающая устойчивое развитие сельской экономики, рост производительности агропромышленного комплекса, повышение качества жизни населения и увеличение экспортного потенциала страны.

Главная гипотеза исследования заключается в том, что переход от модели «цифрового села» к модели «интеллектуальной сельской территории» способен обеспечить качественно новый уровень развития агропромышленного комплекса Казахстана, превратив его в один из ключевых драйверов долгосрочного экономического роста.

Научная новизна исследования состоит в следующем. Во-первых, предложена концепция интеллектуальной сельской территории, объединяющая цифровую инфраструктуру, интеллектуальное управление агропроизводством, социальную устойчивость и экспортно-ориентированную экономику в единой измеримой модели. Во-вторых, разработана шестиуровневая архитектура цифровой экосистемы сельской территории, связывающая уровни восходящим потоком данных и нисходящим контуром управления. В-третьих, предложен индекс Intelligent Rural Territory Index (IRTI) с некомпенсаторной геометрической свёрткой, явной политикой пропусков и воспроизводимым вычислительным протоколом, доведённым до модульной информационной системы. В-четвёртых, обоснован переход от оценки цифровизации по обеспеченности связью к оценке по приросту производительности, доходов, экспортной выручки и занятости. В-пятых, сформирована концептуальная основа национальной программы «Интеллектуальная сельская территория Казахстана – 2035», учитывающая экономические, социальные, технологические и экологические особенности Республики Казахстан.

Эволюция концепции цифрового развития сельских территорий

Обзор мировой литературы и теоретические основы исследования

Вопросы развития сельских территорий на протяжении последних десятилетий занимают одно из центральных мест в исследованиях региональной экономики, аграрной политики и цифровой трансформации. Первоначально исследования были сосредоточены преимущественно на проблемах модернизации сельского хозяйства, развития инженерной инфраструктуры и повышения эффективности государственного управления. Однако стремительное развитие цифровых технологий существенно изменило содержание научной дискуссии.

С начала 2010-х годов в мировой литературе активно развивается концепция Smart Village [10, 11], рассматривающая цифровые технологии как инструмент повышения качества жизни сельского населения. Основной акцент делается на развитии широкополосного Интернета, цифровых государственных услуг, электронного здравоохранения, дистанционного образования, интеллектуальных энергетических систем и цифрового управления местными сообществами [12, 13]. На уровне политики Европейского союза концепция закреплена инициативой EU Action for Smart Villages и последующими мерами поддержки [20]. Современные обзоры отмечают междисциплинарный характер этой концепции и её связь с устойчивым развитием [16, 18, 19], а также указывают на проблемы масштабирования, финансирования и учета местной специфики [14, 17]. Наукометрический анализ показывает быстрый рост числа публикаций при сохраняющейся терминологической неопределённости самого понятия «умное село» [18, 19].

Параллельно развивается направление Digital Village [21, 22], в котором цифровизация рассматривается как инструмент комплексной модернизации сельских территорий. Особое развитие данная концепция получила в Китае, где цифровая трансформация стала частью государственной стратегии сельского возрождения (Rural Revitalization). Исследования показывают, что цифровые платформы, электронная коммерция, интеллектуальное сельское хозяйство и цифровое управление положительно влияют на доходы населения и эффективность местного развития, а также сокращают разрыв в доходах между городом и

селом [23]. При этом большое внимание уделяется созданию интегральных индексов оценки цифрового развития сельских территорий [21].

Значительное влияние на формирование современных подходов оказала и концепция Smart City, основанная на использовании больших данных, Интернета вещей, искусственного интеллекта и цифровых платформ для управления городской средой [11, 13]. В последние годы многие исследователи пытаются перенести отдельные принципы Smart City на сельские территории, однако особенности сельского пространства требуют иных организационных и экономических решений [13, 15, 17].

Технологическое ядро этих концепций опирается на быстро развивающийся аппарат дистанционного зондирования и машинного обучения в агропроизводстве: спутниковый мониторинг и вегетационные индексы [25, 26], прогнозирование урожайности методами машинного обучения [27, 28] и цифровые двойники в «умном» сельском хозяйстве [29]. Отдельную линию образуют работы о доверии к данным и решениям в распределённых агропродовольственных системах: риск-ориентированные схемы верификации, объединяющие цифровую прослеживаемость, мониторинг на основе искусственного интеллекта и выборочный лабораторный аудит [30], а также исследования условий доверия при обмене сельскохозяйственными данными и роли отраслевых кодексов поведения [37]. Для интеллектуальной сельской территории эти вопросы существенны: показатели блоков формируются из ведомственных, спутниковых и корпоративных источников, и их пригодность для управленческих решений определяется не только полнотой, но и проверяемостью.

Основные ограничения существующих концепций

Несмотря на активное развитие исследований, анализ современной литературы позволяет выделить ряд принципиальных ограничений существующих подходов.

Во-первых, большинство исследований рассматривает цифровизацию преимущественно как развитие инфраструктуры связи и электронных сервисов [10, 12, 20]. При этом значительно меньше внимания уделяется трансформации производственной структуры сельской экономики и формированию новых источников создания добавленной стоимости.

Во-вторых, существующие модели ориентированы преимущественно на относительно компактные территории Европы и Восточной Азии, характеризующиеся высокой плотностью населения и развитой транспортной инфраструктурой [13, 15, 16, 21]. Они недостаточно учитывают особенности стран с огромной территорией, низкой плотностью населения и значительной пространственной неоднородностью.

В-третьих, большинство исследований оценивает эффективность цифровизации через показатели доступности Интернета, цифровых услуг и уровня информатизации населения [1-4]. Однако подобные показатели не отражают влияние цифровых технологий на производительность агропромышленного комплекса, экспортную конкурентоспособность и устойчивость сельской экономики.

В-четвертых, современные концепции редко рассматривают сельскую территорию как единую интегрированную систему, объединяющую производство, логистику, переработку, образование, здравоохранение, экологический мониторинг и государственное управление на основе единой цифровой платформы.

В-пятых, интегральные индексы цифрового развития в подавляющем большинстве строятся на аддитивной свёртке нормализованных показателей, то есть являются полностью компенсаторными: высокое значение одного измерения арифметически возмещает провал другого. В методологической литературе по композитным индикаторам такое свойство рассматривается как источник систематического искажения ранжирований [31-36].

Казахстанский контекст как источник новой научной модели

Особенности Казахстана существенно отличаются от большинства стран, на материалах которых сформированы современные концепции Smart Village.

Казахстан обладает одной из крупнейших территорий мира, характеризуется крайне низкой плотностью населения, значительными расстояниями между населенными пунктами, разнообразием природно-климатических условий и высокой специализацией отдельных регионов на различных видах сельскохозяйственного производства.

На севере страны доминирует зерновое хозяйство, на юге – орошаемое земледелие, в западных и центральных регионах – пастбищное животноводство, в юго-восточных областях активно развиваются садоводство и овощеводство. Одновременно сохраняются существенные различия в уровне доходов населения, обеспеченности социальной инфраструктурой и доступности современных цифровых технологий.

В этих условиях механическое применение зарубежных моделей Smart Village не позволяет решить стратегические задачи национального развития.

Главной целью цифровой трансформации сельских территорий Казахстана должно стать не только повышение качества предоставления государственных услуг, но и формирование новой модели пространственного развития, обеспечивающей рост производительности агропромышленного комплекса, увеличение экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью, создание новых рабочих мест и снижение миграционного оттока населения.

Научный пробел и авторская концепция

Проведенный анализ показывает наличие существенного научного пробела. В доступной литературе не обнаружено интегральной концепции, объединяющей цифровую трансформацию сельских территорий, интеллектуальное управление природными ресурсами, искусственный интеллект, спутниковый мониторинг, цифровые двойники, экспортно-ориентированное развитие агропромышленного комплекса и социальную устойчивость сельских сообществ в единой измеримой модели.

Для восполнения данного пробела в настоящем исследовании предлагается концепция «Интеллектуальная сельская территория» (Intelligent Rural Territory, IRT).

В отличие от существующих подходов, интеллектуальная сельская территория рассматривается как единая цифровая социально-экономическая экосистема, в которой данные становятся стратегическим производственным ресурсом, а искусственный интеллект, спутниковые технологии, цифровые двойники и платформенные сервисы обеспечивают повышение эффективности производства, устойчивое использование природных ресурсов, рост доходов населения и укрепление экспортного потенциала агропромышленного комплекса.

Концепция «Интеллектуальная сельская территория» как новая модель пространственного развития

Научное обоснование новой концепции

Анализ современных исследований показал, что существующие концепции Smart Village, Digital Village и Rural Revitalization [10-13, 21-23] внесли значительный вклад в понимание цифровой трансформации сельских территорий. Однако их объединяет одна общая особенность – цифровые технологии рассматриваются преимущественно как средство повышения доступности услуг, совершенствования инфраструктуры и локального управления.

В условиях Казахстана подобный подход является необходимым, но недостаточным.

Для страны, обладающей одной из крупнейших территорий мира, богатыми земельными ресурсами и высоким аграрным потенциалом, основной целью цифровой трансформации должно стать создание новой модели пространственного развития, в которой сельская территория выступает не как объект государственной поддержки, а как интеллектуальная производственная система, генерирующая экономический рост, экспортную выручку и социальную устойчивость.

Таким образом, предлагается переход от парадигмы «цифровизация инфраструктуры» к парадигме «интеллектуализации территориальной экономики».

Авторское определение

В настоящем исследовании предлагается следующее определение.

Интеллектуальная сельская территория (Intelligent Rural Territory, IRT) – это интегрированная пространственная социально-экономическая система, функционирующая на основе данных, искусственного интеллекта, цифровых платформ, спутникового мониторинга, цифровых двойников и интеллектуального управления природными ресурсами, обеспечивающая устойчивое развитие агропромышленного комплекса, повышение качества жизни населения и рост экспортной конкурентоспособности страны.

В отличие от существующих определений, данная концепция объединяет четыре взаимосвязанных компонента:

– цифровую инфраструктуру;
– интеллектуальное управление агропроизводством;
– социальную устойчивость сельских территорий;
– экспортно-ориентированную экономику.

Именно их интеграция формирует качественно новую модель развития.

Архитектура интеллектуальной сельской территории

Предлагаемая модель включает шесть взаимосвязанных уровней (рис. 1). Уровни связаны двумя встречными потоками: восходящим потоком данных, в котором первичные измерения последовательно превращаются в решения, и нисходящим контуром управления, в котором решения возвращаются на нижние уровни в виде управляющих воздействий.



Рисунок 1 – Шестиуровневая архитектура интеллектуальной сельской территории

Первый уровень – цифровая инфраструктура

Создается гибридная коммуникационная среда, объединяющая волоконно-оптические линии связи, мобильные сети, спутниковый Интернет, сети Интернета вещей и облачные вычисления.

Основная задача данного уровня состоит не только в обеспечении доступа к Интернету, но и в создании среды непрерывного обмена данными между всеми участниками сельской экономики.

Второй уровень – цифровые данные

На этом уровне формируется единое цифровое пространство сельской территории. В него входят: цифровые карты земель; цифровые паспорта полей; кадастровая информация; сведения о водных ресурсах; климатические данные; спутниковые снимки; данные датчиков; информация о сельскохозяйственной технике; данные о производстве и логистике. Данные становятся новым производственным ресурсом.

Третий уровень – интеллектуальная аналитика

Искусственный интеллект обеспечивает прогноз урожайности [27, 28]; диагностику заболеваний растений; прогнозирование засух; управление водными ресурсами; оптимизацию внесения удобрений; прогноз цен; анализ экспортных рынков; оценку климатических рисков [25, 26]. Таким образом осуществляется переход от реактивного управления к управлению на основе прогнозов.

Четвертый уровень – цифровые платформы

Все данные интегрируются в единую цифровую платформу. Она объединяет фермеров; кооперативы; перерабатывающие предприятия; логистические компании; банки; страховые организации; государственные органы; научные учреждения; образовательные организации. Платформа становится ядром цифровой экономики сельской территории, а цифровой двойник территории – её вычислительным представлением [29]. Устойчивость такой платформы определяется не только техническим сопряжением информационных систем, но и правилами обмена данными и механизмами согласования интересов участников, характерными для многосторонних платформ данных [24].

Пятый уровень – интеллектуальная экономика

В результате цифровой трансформации формируются новые виды экономической деятельности: агроданные как услуга; цифровой агроконсалтинг; роботизированное сельское хозяйство; интеллектуальная логистика; цифровая сертификация продукции; дистанционный мониторинг; экспортные цифровые платформы. Экономика начинает развиваться не только за счет производства продукции, но и за счет производства знаний и цифровых сервисов.

Шестой уровень – устойчивое развитие

Конечным результатом функционирования интеллектуальной сельской территории являются рост производительности труда; увеличение доходов населения; повышение занятости; снижение миграции; рациональное использование природных ресурсов; увеличение экспорта продукции; повышение качества жизни. Таким образом, цифровизация становится механизмом достижения устойчивого развития.

Основные принципы интеллектуальной сельской территории

Предлагаемая концепция базируется на четырёх принципах, не сводимых к описанной выше архитектуре и задающих правила её применения.

– Цифровизация оценивается по экономическому результату – приросту производительности, доходов, экспортной выручки и занятости, – а не по числу подключений и внедрённых сервисов.

– Данные территории рассматриваются как производственный ресурс, для которого установлены режим доступа, требования к качеству и процедура проверяемости.

– Государство переходит от управления объектами к управлению цифровыми экосистемами и правилами обмена данными между участниками.

– Интеллектуальная сельская территория обязана обеспечивать социальную устойчивость: создание рабочих мест и доступ к образованию, здравоохранению и государственным услугам.

Предлагаемая модель может быть использована не только в Казахстане, но и в других странах с обширными территориями, низкой плотностью населения и высоким потенциалом агропромышленного производства.

Intelligent Rural Territory Index (IRTI): методика оценки интеллектуального развития сельских территорий

Концепция индекса и его отличие от индексов семейства IDI

Для количественной оценки уровня интеллектуального развития сельских территорий предлагается индекс Intelligent Rural Territory Index (IRTI). Индекс предназначен для комплексной оценки эффективности цифровой трансформации сельских территорий и может использоваться для ранжирования сельских районов; оценки эффективности государственных программ; распределения бюджетных инвестиций; мониторинга достижения национальных целей устойчивого развития; оценки инвестиционной привлекательности сельских территорий.

Наиболее авторитетным международным инструментом измерения цифрового развития является индекс развития ИКТ (ICT Development Index, IDI) Международного союза электросвязи [1-3]. В редакции методологии 3.1 он объединяет десять показателей в два столпа – универсальную связность (Universal Connectivity) и содержательную связность (Meaningful Connectivity); показатели нормируются к фиксированным реперным значениям (goalposts) и агрегируются с равными весами по иерархической схеме [4]. Значение IDI для Казахстана составило 90,1 балла в выпуске 2024 года, 90,5 – в 2025 году и 93,0 – в 2026 году (столп Universal Connectivity – 92,6, Meaningful Connectivity – 93,5) при среднемировом уровне 79 баллов и среднем по региону СНГ 87 баллов [1-3].

Существенно, что МСЭ сознательно отказался от ранжирования стран: в соответствии с Резолюцией 131 (пересм. Бухарест, 2022) публикуются только баллы, поскольку рейтинговое представление «может усиливать восприятие конкуренции и вести к ошибочным выводам» [1, 5]. Процедура пересмотра методологии индекса также вынесена в отдельный регламентируемый процесс [42]. Настоящее исследование принимает обе эти нормы: во-первых, публикуемым результатом IRTI является не место в списке, а значение индекса вместе с интервалом рангов; во-вторых, любое изменение состава показателей и весов документируется отдельно и не применяется задним числом.

При этом семейство IDI решает иную задачу, чем та, что стоит перед настоящим исследованием. Различия носят принципиальный характер и определяют конструкцию IRTI.

– Единица наблюдения. IDI измеряет экономику страны в целом [1-4]; IRTI строится для субнациональной единицы – области, а в перспективе района, – где сосредоточена сельская экономика.

– Предмет измерения. IDI измеряет связность как таковую; IRTI измеряет способность территории конвертировать связность в производительность, доходы, экспорт и удержание населения.

– Форма агрегирования. IDI использует равновзвешенное аддитивное агрегирование [4], то есть является компенсаторным. IRTI использует некомпенсаторную геометрическую свёртку, при которой провал по любому блоку не возмещается остальными [31-36].

– Отношение к пропускам. IDI восполняет отсутствующие значения на этапе подготовки данных; IRTI не восполняет пропуски и не публикует индекс для единиц с недостаточной наблюдаемостью, публикуя вместо этого перечень таких единиц наравне с результатами.

Архитектура индекса IRTI

Индекс рассчитывается по шести взаимосвязанным измерениям (блокам), показанным на рисунке 2. Состав показателей ограничен девятнадцатью позициями: показатель включается в расчётный контур только при выполнении двух условий – наличии публикуемого источника с периодичностью не реже одного раза в год и наличии операционального определения, при котором два независимых исполнителя получат одно и то же значение. Всё, что этим условиям не удовлетворяет, вынесено в перспективный контур и в расчёт не входит. Блоки DI, SA, HC, ES и GI содержат по три показателя, блок EC – четыре. Полный реестр показателей с указанием направления действия, уровня агрегирования и канала источника приведён в таблице А.1, публикуемой как online-материал.



Рисунок 2 – Шесть измерений индекса IRTI и их показатели

Таблица 1 – Полосы интерпретации значений IRTI (квинтильное разбиение совокупности опубликованных значений)

Полоса	Квинтиль	Управленческая интерпретация
Территории-лидеры	V	Сбалансированный профиль по всем блокам; территории пригодны для тиражирования решений
Развитые территории	IV	Устойчивое развитие при одном ограничивающем блоке
Территории перехода	III	Смешанный профиль; результат чувствителен к выбору весов
Территории развития	II	Два и более блока в нижней части распределения
Территории приоритетной поддержки	I	Выраженная несбалансированность профиля; требуется адресная программа по ограничивающему блоку

Примечание: Полосы определяются по квинтилям фактического распределения опубликованных значений и пересчитываются при каждом полном расчёте; они характеризуют положение единицы внутри совокупности, а не уровень значения индекса. Единицы, для которых индекс не публикуется, в определении границ полос не участвуют.

Нормализация показателей

Показатели измеряются в несопоставимых единицах, поэтому перед агрегированием они приводятся к безразмерной шкале [0; 1] линейным преобразованием min-max [31, 32]. Для показателя прямого действия

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - min_j}{max_j - min_j} \quad (1)$$

для показателя обратного действия — с инверсией:

$$\tilde{x}_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - min_j}{max_j - min_j} \quad (2)$$

,где $\tilde{x}_{ij}$ – нормализованное значение j-го показателя для i-й территории; min_j и max_j – границы нормализации, зафиксированные при первом полном расчёте.

Две процедурные нормы существенны для сопоставимости во времени. Во-первых, границы нормализации фиксируются один раз и переиспользуются в последующие годы: если пересчитывать их ежегодно, динамика индекса будет отражать смену базы нормирования, а не изменение состояния территорий. Во-вторых, выбросы обрабатываются винзоризацией по 5-му и 95-му процентилям с полным протоколированием каждого изменённого значения, что предотвращает ситуацию, при которой одно аномальное наблюдение задаёт шкалу для всей совокупности [31, 33]. Следует различать два способа задания границ. Для показателей, имеющих естественные пределы, – долей и уровней, ограниченных интервалом [0; 1] (доступ к широкополосной связи, доля домохозяйств с Интернетом, уровень занятости, доля переработанной продукции, доля деградированных земель, доля государственных услуг в электронной форме, доля опубликованных наборов открытых данных, наблюдаемость), – принимаются содержательные реперные значения 0 и 1 по образцу goalposts методологии IDI [4]; такие границы не зависят от состава панели и обеспечивают сопоставимость между расчётами. Для показателей без естественного верхнего предела (урожайность, обеспеченность техникой, производительность труда, экспорт на душу населения, плотность субъектов малого и среднего бизнеса, водозабор, характеристики NDVI) границы задаются по минимуму и максимуму первой полной расчётной панели и фиксируются вместе с датой их установления. Для второй группы показателей регламент пересмотра границ при появлении значений за пределами исходного диапазона принимается заранее и публикуется вместе с методикой.

Свёртка внутри блока и между блоками

Внутри блока применяется аддитивная свёртка по фактически наблюдённым показателям:

$$B_{ik} = \frac{1}{|O_{ik}|} \sum_{j \in O_{ik}} \tilde{x}_{ij} \quad (3)$$

, где O_{ik} – множество показателей блока k, наблюдённых для территории i. Компенсаторность внутри блока допустима: показатели одного блока измеряют одно и то же явление разными способами и в этом смысле взаимозаменяемы.

Между блоками компенсаторность недопустима. Общепринятая аддитивная форма

$$IRTI_i^{add} = \sum_{k=1}^{K} w_k B_{ik} \quad (4)$$

позволяет территории с развитой связью, но деградирующим сельским хозяйством получить тот же балл, что и территории со сбалансированным профилем. Содержательно это неверно: цифровая инфраструктура при отсутствии производства не создаёт добавленной стоимости. Поэтому основной формой индекса принимается взвешенное геометрическое среднее [34–36]:

$$IRTI_i = \prod_{k=1}^{K} [max(B_{ik}, \varepsilon)]^{w_k}, \quad \sum_{k=1}^{K} w_k = 1 \quad (5)$$

, где ε – нижняя отсечка, ограничивающая штраф за полностью проваленный блок (базовое значение ε = 0,01), а w_k – веса блоков. Геометрическая свёртка обладает свойством некомпенсаторности: предельная норма замещения между блоками зависит от достигнутых уровней, и чем ниже блок, тем дороже обходится его дальнейшее снижение. Именно это свойство обосновано в литературе по композитным индикаторам как условие корректного ранжирования разнородных единиц [34, 35]. Величина ε не является технической деталью: при равных весах блок с нулевой оценкой умножает итоговое значение индекса не на нуль, а на ε в степени 1/6, то есть на 0,316 при ε = 0,001, на 0,464 при ε = 0,01 и на 0,607 при ε = 0,05.

Тем самым ε задаёт максимальную величину штрафа, и её выбор требует содержательного обоснования. Базовое значение ε = 0,01 принято как уровень, ниже которого блок считается не выполняющим свою функцию: он соответствует предельному штрафу примерно в два с половиной раза относительно сбалансированного профиля и сохраняет различимость единиц с одним проваленным блоком между собой. Чувствительность результата к ε проверяется в обязательном порядке и публикуется вместе с расчётом.

Некомпенсаторная форма не лишает результат управленческой интерпретируемости: логарифмирование восстанавливает аддитивность вкладов

$$ln\, IRTI_i = \sum_{k=1}^{K} w_k \, ln\, B_{ik} \quad (6)$$

, что позволяет разложить итоговое значение на слагаемые по блокам и указать, какой именно блок ограничивает территорию.

В базовом режиме веса приняты равными (w_k = 1/6). При отсутствии обоснованной иерархии блоков равное взвешивание нейтрально; любой иной набор требует раскрытия процедуры. В частности, применение метода анализа иерархий [38] допускается только при одновременном выполнении четырёх условий: раскрыт состав экспертной панели с областями компетенции; приложена полная матрица парных сравнений; коэффициент согласованности CR < 0,10; описана процедура агрегирования индивидуальных суждений. До выполнения этих условий веса, объявленные «экспертными», в расчёт не принимаются.

Политика пропусков и наблюдаемость

Пропуски не восполняются средними значениями. Подстановка среднего систематически завышает оценку наименее наблюдаемых территорий – то есть именно тех, где точность оценки наиболее важна для распределения поддержки.

Блок считается наблюдаемым, если по нему наблюдено не менее двух показателей и охват составляет не менее 0,5 (неравенство нестрогое). Для блоков из трёх показателей оба условия совпадают; для блока EC из четырёх показателей они расходятся, и два наблюдённых показателя из четырёх дают охват ровно 0,5 – такой блок признаётся наблюдаемым. Правило вида «доля пропусков в блоке до 20%» для блоков из трёх показателей неработоспособно: один пропуск даёт 33%, и при геометрической свёртке любой единичный пропуск обнулял бы индекс целиком. Если хотя бы один блок признан ненаблюдаемым, индекс для данной территории не публикуется, а сама территория включается в публикуемый перечень непубликуемых единиц. Доля фактически наблюдаемых показателей вынесена в отдельный показатель GI_observability: наблюдаемость территории рассматривается как характеристика качества управления, а не как техническая деталь.

Интерпретация значений

До получения первого полного расчёта на реальных данных абсолютные пороговые значения индекса эмпирически не обоснованы, поэтому основной схемой категоризации приняты квинтили фактического распределения (таблица 1). Полосы представляют собой разбиение совокупности, а не абсолютную шкалу значений: принадлежность территории к полосе зависит от состава панели, а при малом числе единиц границы полос определяются положением отдельных наблюдений. Следствие этого свойства видно и на используемой синтетической панели: единицы со значениями 0,477 и 0,192 попадают в одну полосу, хотя разрыв между ними больше, чем весь разброс девяти верхних единиц. Поэтому полосы публикуются только вместе со значением индекса и интервалом рангов и не используются для сравнения между годами. Переход к абсолютной шкале возможен после накопления ряда наблюдений на реальных данных.

Вычислительный протокол и его апробация

Состав протокола

Методика реализована в виде воспроизводимого вычислительного протокола (рис. 3). Протокол включает шесть последовательных шагов расчёта и два блока проверок. Каждый прогон формирует манифест воспроизводимости: SHA-256 всех входных файлов и конфигураций, метку времени UTC, применённый набор весов, значение ε, параметры олитики пропусков, число опубликованных и снятых с публикации единиц. Результат без манифеста считается невоспроизводимым и не публикуется.



Рисунок 3 – Вычислительный протокол IRTI: шаги расчёта, схема Монте-Карло и проверки устойчивости

Информационная система расчёта индекса

Протокол реализован в виде модульной информационной системы, состоящей из пяти компонентов: модуля сбора и загрузки данных, модуля нормализации и контроля качества, расчётного ядра, модуля анализа устойчивости и модуля публикации результатов. Разделение на модули задано границами ответственности: изменение источника данных не затрагивает расчётное ядро, а изменение формы свёртки не затрагивает слой загрузки.

Модуль сбора данных получает исходные значения по четырём каналам: наборы Бюро национальной статистики и портала открытых данных data.egov.kz (выгрузка в форматах CSV и XLSX, при наличии – через программный интерфейс); ведомственная отчётность операторов связи и Министерства сельского хозяйства в виде структурированных табличных форм; зональная статистика по растрам дистанционного зондирования (GeoTIFF, агрегирование значений по границам сельскохозяйственных угодий административной единицы); производные показатели, вычисляемые самой системой. Каждая загрузка сохраняется без изменений в неизменяемом хранилище исходных данных с указанием источника, даты выгрузки и контрольной суммы SHA-256; все последующие преобразования выполняются над копией, что делает любой опубликованный результат прослеживаемым до исходного файла.

Модуль нормализации приводит записи к единой схеме «единица наблюдения – год – код показателя – значение – признак наблюдаемости», выполняет контроль типов и допустимых диапазонов, протоколирует винзоризацию и применяет зафиксированные границы нормализации по формулам (1) и (2). Входными параметрами расчётного ядра служат нормализованная матрица показателей, конфигурация блоков, вектор весов и значение ε; выходными – вектор значений индекса, разложение по блокам согласно формуле (6), перечень единиц, снятых с публикации, и указание ограничивающего блока для каждой опубликованной единицы.

Модуль анализа устойчивости выполняет прогон Монте-Карло по распределению Дирихле и формирует медианный ранг и интервал рангов, а также проверки чувствительности к значению ε и к форме свёртки. Модуль публикации формирует выходные таблицы и манифест воспроизводимости – машиночитаемый файл, содержащий контрольные суммы всех входных файлов и конфигураций, метку времени UTC, применённый набор весов, значение ε, параметры политики пропусков, начальное значение генератора псевдослучайных чисел, число опубликованных и снятых с публикации единиц и версию программного кода. Расчёт без манифеста не публикуется.

Регламент обновления предполагает годовой цикл: ежегодный пересчёт при неизменных границах нормализации и неизменном составе показателей; отдельно документируемый пересмотр методики с указанием версии и даты введения; отсутствие пересчёта ранее опубликованных значений задним числом. Сопряжение с внешними системами реализуется через тот же слой загрузки: интерфейсы к системам ведомственного мониторинга, к сервисам зональной статистики по данным дистанционного зондирования и к цифровому двойнику территории, для которого индекс и его поблочное разложение

выступают агрегированной характеристикой состояния, а сценарные расчёты двойника — источником прогнозных значений отдельных показателей.

Ранжирование методом Монте-Карло

Точечное ранжирование территорий по композитному индексу вводит в заблуждение: оно предъявляет читателю один порядок, тогда как этот порядок зависит от набора весов, выбранного исследователем. Поэтому ранжирование в настоящей работе выполняется не при одном наборе весов, а по распределению весов [33, 36].

Вектор весов моделируется распределением Дирихле с центром в равных весах:

$$w^{(m)} \sim Dir(\alpha), \quad \alpha_k = \frac{c}{K}, \quad m = 1, \dots, M \tag{7}$$

, где K = 6 – число блоков, c – параметр концентрации (принято c = 20), M – число реализаций. Чем меньше c, тем шире исследуемое пространство весов. Для каждой реализации $w^{(m)}$ индекс пересчитывается по формуле (5), территории упорядочиваются, и фиксируется ранг каждой территории. Публикуемыми характеристиками являются медианный ранг и интервал рангов между 5-м и 95-м процентилями:

$$R_i^{med} = med_m \, rank\left(IRTI_i\left(w^{(m)}\right)\right), \quad \left[R_i^{0,05};\, R_i^{0,95}\right] \tag{8}$$

Территория считается устойчиво ранжированной, если размах интервала рангов не превышает двух позиций. Результат, устойчивый только при одном наборе весов, публикуется с явной пометкой о неустойчивости.

Число реализаций принято равным M = 100 000, начальное значение генератора псевдослучайных чисел зафиксировано и записано в манифест, что делает результат в точности воспроизводимым. Расчёт индекса и полный прогон Монте-Карло для 17 единиц занимают секунды на персональном компьютере; вычислительные ресурсы высокопроизводительного кластера требуются только для зональной статистики по растрам дистанционного зондирования при переходе к районному уровню.

Условия проверки программной реализации

Важное ограничение. Приводимые ниже результаты являются проверкой программной реализации вычислительного протокола, а не рейтингом областей Республики Казахстан. Расчёт выполнен на синтетической панели, воспроизводящей размерность задачи (17 единиц, 19 показателей, около 8% случайных пропусков) и содержащей пять единиц с несбалансированным профилем – высокая цифровая инфраструктура при слабом сельском хозяйстве, – из них три с выраженным дисбалансом. Назначение проверки – убедиться, что реализация отрабатывает заявленные свойства: некомпенсаторность свёртки, политику пропусков и устойчивость рангов. Поскольку порождающий процесс синтетической панели известен, воспроизведение этих свойств подтверждает корректность реализации, но не является эмпирическим свидетельством в пользу конструкции индекса. Содержательная интерпретация конкретных значений и мест применительно к реальным областям недопустима; полный расчёт на данных Бюро национальной статистики и портала открытых данных станет предметом следующей публикации.

Наименования областей сохранены в таблицах и на рисунках исключительно как метки единиц наблюдения, обеспечивающие сопоставимость структуры выходных таблиц с будущим расчётом на реальных данных.

Результаты проверки программной реализации

При заявленной политике пропусков индекс опубликован для 14 из 17 единиц (табл. 2). Три единицы сняты с публикации: по каждой из них хотя бы один блок не набрал двух наблюдённых показателей. Это ожидаемое поведение протокола: при геометрической свёртке публикация индекса по частично наблюдаемой единице означала бы неявную подстановку недостающих значений.

Ранжирование методом Монте-Карло показано на рисунке 4. Из четырнадцати опубликованных единиц восемь имеют устойчивый ранг, шесть – неустойчивый. Неустойчивость распределена не случайно: пять из шести неустойчиво ранжированных единиц имеют несбалансированный профиль, у которых порядок определяется тем, какому блоку исследователь придаст больший вес. Шестая неустойчивая единица (№ 7) сбалансирована, но расположена в плотной части распределения, где три соседних значения

индекса различаются менее чем на 0,03, и небольшое изменение весов меняет их порядок. Точечный рейтинг скрыл бы оба обстоятельства полностью.

Таблица 2 – Результаты проверки программной реализации протокола IRTI на синтетической панели: значения индекса и ранжирование методом Монте-Карло (100 000 реализаций весов)

№	Единица наблюдения	IRTI (геом.)	IRTI (аддит.)	Медианный ранг	Интервал рангов 5-95%	Полоса
1	Павлодарская	0,695	0,741	1	1-1	Территории-лидеры
2	Жамбылская	0,615	0,624	2	2-2	Территории-лидеры
3	Туркестанская	0,592	0,606	3	3-4	Территории-лидеры
4	Актюбинская	0,578	0,593	4	3-5	Развитые территории
5	область Абай	0,564	0,575	5	5-6	Развитые территории
6	Западно-Казахстанская	0,552	0,555	6	4-6	Развитые территории
7	область Ұлытау	0,507	0,536	7	6-9*	Территории перехода
8	Алматинская	0,503	0,511	8	7-9	Территории перехода
9	Карагандинская	0,477	0,481	9	7-9	Территории развития
10	Акмолинская	0,192	0,301	10	10-13*	Территории развития
11	Атырауская	0,181	0,372	12	10-14*	Территории развития
12	Восточно-Казахстанская	0,168	0,274	12	11-14*	Территории приоритетной поддержки
13	Мангистауская	0,153	0,346	13	10-14*	Территории приоритетной поддержки
14	Кызылординская	0,135	0,405	14	11-14*	Территории приоритетной поддержки

Примечание: Медианный ранг вычисляется независимо для каждой единицы по 100 000 реализациям весов, поэтому медианы разных единиц могут совпадать, а отдельные значения ранга – не встречаться ни у одной единицы: в настоящем расчёте медианный ранг 12 получен для двух единиц, а ранг 11 не получен ни для одной. Совпадения не разрешаются принудительно, поскольку порядок единиц задаётся значением индекса, а публикуемой характеристикой служит интервал рангов, а не место в списке. Звёздочкой отмечены единицы, ранг которых неустойчив к выбору весов, то есть размах интервала рангов превышает две позиции.

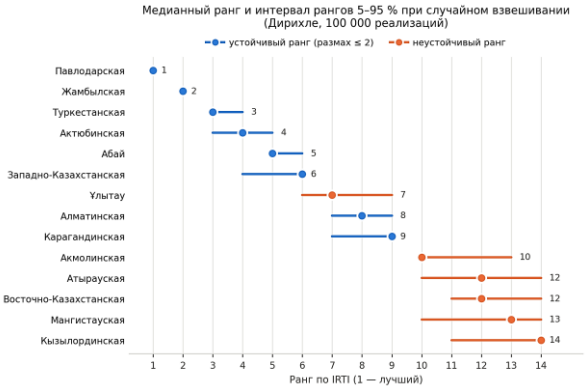


Рисунок 4 – Медианный ранг и интервал рангов 5-95 % при случайном взвешивании блоков (распределение Дирихле, 100 000 реализаций)

Профили единиц по блокам приведены на рисунке А.1, публикуемом как online-материал. Тепловая карта делает видимой структуру, которую итоговое число неизбежно скрывает: единицы в нижней части таблицы имеют не равномерно низкие оценки, а резко несбалансированные – высокая цифровая инфраструктура при близких к нулю оценках интеллектуального сельского хозяйства и экономической результативности.

Проверка свойств свёртки

Сопоставление аддитивной и геометрической форм (рис. 5) даёт прямую проверку заявленного свойства некомпенсаторности. Ранговая корреляция Спирмена между двумя

формами составила ρ = 0,934 при p = 1,0·10⁻⁶ (n = 14) – то есть по значениям формы близки. Однако сама по себе корреляция значений здесь малоинформативна: содержательный эффект проявляется не в общем порядке, а в адресном штрафе. У девяти сбалансированных единиц разность между аддитивной и геометрической оценками не превышает 0,05 (максимум 0,046), тогда как у пяти единиц с несбалансированным профилем она составляет от 0,106 до 0,270, причём у трёх наиболее несбалансированных – от 0,191 до 0,270, что соответствует потере нескольких позиций в ранжировании. Иными словами, геометрическая свёртка делает ровно то, ради чего она вводится, – наказывает несбалансированность профиля пропорционально её выраженности, не переупорядочивая при этом сбалансированную часть совокупности.

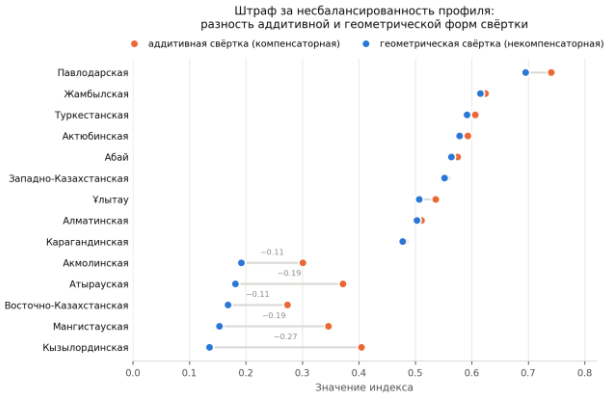


Рисунок 5 – Штраф за несбалансированность профиля: сопоставление аддитивной и геометрической форм свёртки

Это наблюдение имеет методологическое следствие для формулировки проверяемых следствий модели. Первоначально предполагалось считать некомпенсаторность подтверждённой при ρ < 0,90; проверка показывает, что такой порог слишком жёсток и при работающем механизме приводит к формальному «неподтверждению». Информативной статистикой является не корреляция значений, а максимальное смещение ранга у единиц с несбалансированным профилем, и именно она принимается в качестве критерия.

Результаты остальных проверок устойчивости сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сводка проверок устойчивости результатов

Проверка	Статистика	Значение	Вывод
Устойчивость рангов к весам	Число единиц с размахом интервала рангов более двух позиций	6 из 14	Публикуются с пометкой о неустойчивости
Форма свёртки	Ранговая корреляция Спирмена между аддитивной и геометрической формами	ρ = 0,934; p = 1,0·10⁻⁶ (n = 14)	Порядок сохраняется; штраф адресный
Форма свёртки	Разность значений у пяти несбалансированных единиц	0,106–0,270	Некомпенсаторность работает
Чувствительность к ε	Максимальное смещение ранга и множитель штрафа за нулевой блок при ε = 0,001 / 0,01 / 0,05	2 позиции; 0,316 / 0,464 / 0,607	Порядок устойчив, значение индекса чувствительно
Наблюдаемость	Корреляция наблюдаемости с прочими блоками	ρ = −0,353; p = 0,164 (n = 17)	Мощность недостаточна для вывода

Примечание: Все проверки выполнены на той же синтетической панели, что и таблица 2. Проверки формы свёртки и устойчивости рангов выполнены по 14 опубликованным единицам, проверка связи наблюдаемости – по всем 17 единицам панели, поскольку различия в наблюдаемости проявляются именно на снятых с публикации единицах. Проверка связи наблюдаемости с прочими блоками на синтетических данных не имеет содержательного смысла и приведена для полноты протокола; кроме того, при n = 17 мощность недостаточна для вывода о наличии или отсутствии связи, и её результат подлежит перепроверке на реальных данных.

Ограничения исследования

Прозрачное перечисление ограничений является частью предлагаемой методики, а не оговоркой к ней.

Ограничение данных. Приведённые числовые результаты получены на синтетической панели и не являются оценкой реальных областей. Готовность источников для полного расчёта неоднородна. Показатели блоков социальной устойчивости, экологической устойчивости и качества управления, а также большая часть показателей блоков цифровой инфраструктуры и экономической результативности формируются из открытых источников – наборов Бюро национальной статистики, портала data.egov.kz, баланса земель Министерства сельского хозяйства [6, 7, 41] и материалов дистанционного зондирования [25, 26]; препятствием здесь является трудоёмкость ручной выгрузки, поскольку аналитическая система Taldau закрыта для автоматического доступа. Данные о покрытии сетями 4G+ по площади сельской территории не публикуются в открытых источниках и требуют ведомственного запроса. Итоги национальной сельскохозяйственной переписи 2025 года, закрывающие блоки SA и EC на районном уровне, на момент подготовки статьи опубликованы только в части показателей охвата [39, 40]. Отдельным ограничением является проверяемость исходных данных: часть показателей поступает из ведомственных и корпоративных источников, для которых требуется процедура выборочного аудита, аналогичная риск-ориентированным схемам верификации в цепочках поставок [30].

Ограничение уровня агрегирования. Областной уровень слишком груб для управленческих решений: внутри одной области различия между районами могут превышать различия между областями. Переход к районному уровню (около 170 единиц) является необходимым условием практического применения индекса и заблокирован публикацией итогов переписи, а не готовностью методики.

Ограничение весов. Базовый режим равных весов нейтрален, но не обоснован содержательно. Обоснованная иерархия блоков требует полноценной процедуры экспертного оценивания с раскрытием матрицы парных сравнений и коэффициента согласованности [38]; до её проведения любые «экспертные» веса были бы произвольными. Ранжирование методом Монте-Карло частично компенсирует это ограничение, показывая, какие выводы устойчивы к выбору весов, а какие нет.

Ограничение пороговых значений. Абсолютная шкала интерпретации до первого полного расчёта эмпирически не откалибрована; используются квинтили фактического распределения, которые по построению не позволяют сравнивать уровни между годами. Переход к абсолютной шкале возможен только после накопления ряда наблюдений.

Ограничение сопоставимости. Фиксация границ нормализации обеспечивает сопоставимость во времени, но делает индекс уязвимым к появлению значений за пределами исходного диапазона. Регламент пересмотра границ должен быть принят заранее и опубликован, по аналогии с процедурой пересмотра методологии IDI [42].

Ограничение винзоризации. Правило обработки выбросов по 5-му и 95-му процентилям чувствительно к объёму совокупности. На панели из 17 единиц оно затрагивает менее одного наблюдения с каждой стороны и практически не работает, тогда как при переходе к районному уровню (около 170 единиц) оно будет заменять примерно по восемь значений с каждой стороны. Пороги винзоризации должны быть привязаны к объёму совокупности и зафиксированы отдельно для областного и районного уровней.

Ограничение, связанное со стимулами отчётности. Внутриблочная свёртка выполняется по фактически наблюдённым показателям (формула 3), а блок сохраняет статус наблюдаемого при двух показателях из трёх. Отсюда следует измеримый стимул: территория, у которой не опубликован именно худший показатель блока, получает более высокую оценку блока и, следовательно, более высокое значение индекса. Показатель GI_observability частично противодействует этому, но его вес в итоговой конструкции составляет около 1/18, и он одновременно выступает критерием фильтрации единиц и оцениваемым показателем, что делает его защитную роль ограниченной. Для индекса, предназначенного в том числе для распределения бюджетных инвестиций, это существенно: до расчёта на реальных данных необходимо предусмотреть контроль пропусков не только по их доле, но и по систематичности – сопоставление состава пропущенных показателей между годами и между

территориями, а также проверку того, не концентрируются ли пропуски на показателях с заведомо низкими значениями.

Заключение

В работе предложена концепция интеллектуальной сельской территории (Intelligent Rural Territory) как модели пространственного развития, в которой сельская территория рассматривается не как объект государственной поддержки, а как интеллектуальная производственная система. Разработана шестиуровневая архитектура такой территории, связывающая цифровую инфраструктуру, данные, интеллектуальную аналитику, платформы, новые виды экономической деятельности и результаты устойчивого развития двумя встречными потоками – восходящим потоком данных и нисходящим контуром управления.

Для количественной оценки предложен индекс IRTI, объединяющий цифровую инфраструктуру, интеллектуальное сельское хозяйство, экономическую результативность, человеческий капитал, экологическую устойчивость и качество управления. Индекс отличается от международных индексов цифрового развития семейства IDI [1-5] тремя конструктивными решениями: субнациональной единицей наблюдения; измерением не связности как таковой, а способности территории конвертировать связность в экономический и социальный результат; и, главное, некомпенсаторной геометрической свёрткой, при которой провал по любому блоку не возмещается успехом по остальным [34-36].

Методика доведена до воспроизводимого вычислительного протокола с фиксацией границ нормализации, протоколированием винзоризации, явной политикой пропусков и манифестом воспроизводимости для каждого прогона. Ранжирование выполняется не при одном наборе весов, а по распределению Дирихле в 100 000 реализаций, что позволяет публиковать медианный ранг вместе с интервалом рангов и открыто указывать единицы, порядок которых к выбору весов неустойчив.

Проверка программной реализации протокола на синтетической панели воспроизвела заявленные свойства. Некомпенсаторная свёртка накладывает адресный штраф на территории с несбалансированным профилем (разность с аддитивной формой от 0,106 до 0,270 против максимум 0,046 у сбалансированных единиц), не переупорядочивая при этом сбалансированную часть совокупности. Политика пропусков отрабатывает как проектировалось, снимая с публикации единицы с недостаточно наблюдаемыми блоками вместо неявной подстановки недостающих значений. Анализ чувствительности показал, что шесть из четырнадцати опубликованных рангов неустойчивы к выбору весов, – обстоятельство, которое точечный рейтинг скрыл бы полностью. Поскольку порождающий процесс синтетической панели известен, эти результаты свидетельствуют о корректности реализации протокола и не заменяют эмпирической проверки на реальных данных.

Проверка выявила и два дефекта первоначального протокола, исправленных в настоящей редакции. Правило «доля пропусков в блоке до 20 %» оказалось неработоспособным для блоков из трёх показателей и заменено правилом «не менее двух наблюдённых показателей и охват не ниже 0,5». Критерий некомпенсаторности через ранговую корреляцию $\rho < 0{,}90$ оказался слишком жёстким и заменён максимальным смещением ранга у несбалансированных единиц. Оба исправления получены именно потому, что протокол был реализован и прогнан, а не описан словесно; это подтверждает практическую ценность требования исполнимости методики.

Перспективы дальнейших исследований

Первое и наиболее приоритетное направление – расчёт индекса на реальных данных. Как показано в разделе ограничений, для тринадцати из девятнадцати показателей источники открыты уже сейчас, поэтому работа начинается не с ожидания ведомственных данных, а с ядра вычислимых показателей: композиты NDVI и границы административных единиц дают блоки SA и ES средствами дистанционного зондирования, наборы Бюро национальной статистики и портала открытых данных – блоки HC и GI. Остальные показатели досчитываются к этому ядру по мере открытия источников; единицы, по которым хотя бы один блок остаётся ненаблюдаемым, публикуются в перечне непубликуемых, а не достраиваются подстановками.

Второе направление – переход к районному уровню (около 170 единиц). Он требует зональной статистики по растрам дистанционного зондирования в равновеликой проекции и

станет возможным после публикации содержательных итогов национальной сельскохозяйственной переписи 2025 года [39, 40]. Именно на районном уровне индекс приобретает управленческий смысл: адресность программ поддержки определяется на этом масштабе.

Третье направление – обоснование весов блоков. Планируется проведение полноценной процедуры экспертного оценивания с раскрытием состава панели, матрицы парных сравнений и коэффициента согласованности [38], а также сопоставление экспертных весов с весами, полученными методом энтропии и факторным анализом, с последующей проверкой устойчивости выводов ко всем трём наборам средствами той же схемы Монте-Карло.

Четвёртое направление – построение временного ряда индекса и переход от квинтильной категоризации к абсолютной шкале, откалиброванной эмпирически. Это позволит перейти от сравнения территорий между собой к оценке динамики каждой территории относительно собственного прошлого состояния – постановке, существенно более пригодной для оценки эффективности государственных программ.

Пятое направление – расширение показателя площадного охвата интеллектуальными технологиями. В отличие от индексов, считающих проекты и населённые пункты, показатель доли сельскохозяйственных угодий, охваченных цифровым мониторингом, методологически корректен именно для страны с площадью используемого земельного фонда 262,9 млн га и низкой плотностью населения [6, 7], и вычислим средствами дистанционного зондирования без ведомственной отчётности.

Шестое направление – верификация прогнозной способности индекса: проверка того, предсказывают ли значения IRTI и структура его блочных вкладов последующую динамику производительности труда, экспорта продукции агропромышленного комплекса и миграционного сальдо сельского населения. Положительный результат такой проверки превратит индекс из инструмента описания в инструмент раннего предупреждения, что и является конечной целью разработки.

Наконец, предложенная модель по построению не является страновой. Страны с обширной территорией, низкой плотностью населения и высокой ролью агропромышленного комплекса – Монголия, Австралия, отдельные регионы Российской Федерации, страны Центральной Азии – сталкиваются с теми же ограничениями европейских моделей Smart Village. Апробация IRTI на их данных представляется естественным продолжением работы и одновременно внешней проверкой переносимости методики.

Список литературы

1. Measuring digital development: The ICT Development Index 2026. – Geneva: International Telecommunication Union, 2026. URL: https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/idi2026/.
2. Measuring digital development: The ICT Development Index 2025. – Geneva: International Telecommunication Union, 2025. https://www.itu.int/hub/publication/d-ind-ict_mdd-2025-1/.
3. Measuring digital development: The ICT Development Index 2024. – Geneva: International Telecommunication Union, 2024. https://www.itu.int/hub/publication/d-ind-ict_mdd-2024-3/.
4. Methodology of the ICT Development Index: Version 3.1. – Geneva: International Telecommunication Union, October 2023. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/IDI/IDI_2023_Version3_1_Oct2023.pdf.
5. The ICT Development Index (IDI) [офиц. страница статистики]. – International Telecommunication Union, Telecommunication Development Bureau. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx (панель данных: https://datahub.itu.int/dashboards/idi/) (дата обращения: 15.05.2026).
6. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2024 год. – Астана: Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан, Комитет по управлению земельными ресурсами, 2025. – Данные на 1 ноября 2024 г.
7. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики Казахстан за 2023 год. – Астана: Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан, 2024. – Данные на 1 ноября 2023 г.
8. Об утверждении Концепции цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023-2029 годы: постановление

Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 269. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000269 (дата обращения: 15.05.2026).
9. Об утверждении Государственной программы «Цифровой Казахстан»: постановление Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000827 (дата обращения: 15.05.2026).
10. Zavratnik V. Smart Villages: Comprehensive Review of Initiatives and Practices / V. Zavratnik, A. Kos, E. Stojmenova Duh // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, № 7. – Art. 2559. https://doi.org/10.3390/su10072559.
11. Visvizi A. It's Not a Fad: Smart Cities and Smart Villages Research in European and Global Contexts / A. Visvizi, M.D. Lytras // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, № 8. – Art. 2727. https://doi.org/10.3390/su10082727.
12. Wolski O. Smart Villages Revisited: Conceptual Background and New Challenges at the Local Level / O. Wolski, M. Wójcik // Smart Villages in the EU and Beyond. – Bingley: Emerald Publishing, 2019. – P. 29-48. https://doi.org/10.1108/978-1-78769-845-120191004.
13. Adamowicz M. The «Smart Village» as a Way to Achieve Sustainable Development in Rural Areas of Poland / M. Adamowicz, M. Zwolińska-Ligaj // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, № 16. – Art. 6503. https://doi.org/10.3390/su12166503.
14. The Use of IoT Technology in Smart Cities and Smart Villages: Similarities, Differences, and Future Prospects / N. Cvar et al // Sensors. – 2020. – Vol. 20, № 14. – Art. 3897. https://doi.org/10.3390/s20143897.
15. Komorowski Ł. Smart Villages: Where Can They Happen? / Ł. Komorowski, M. Stanny // Land. – 2020. – Vol. 9, № 5. – Art. 151. https://doi.org/10.3390/land9050151.
16. Smart Villages Policies: Past, Present and Future / S. Stojanova et al // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, № 4. – Art. 1663. https://doi.org/10.3390/su13041663.
17. Territorial and Human Geography Challenges: How Can Smart Villages Support Rural Development and Population Inclusion? / E. Anastasiou et al // Social Sciences. – 2021. – Vol. 10, № 6. – Art. 193. https://doi.org/10.3390/socsci10060193.
18. Gerli P. What makes a smart village smart? A review of the literature / P. Gerli, J. Navio Marco, J. Whalley // Transforming Government: People, Process and Policy. – 2022. – Vol. 16, № 3. – P. 292-304. https://doi.org/10.1108/TG-07-2021-0126.
19. Increased Attention to Smart Development in Rural Areas: A Scientometric Analysis of Smart Village Research / Q. Wang et al // Land. – 2022. – Vol. 11, № 8. – Art. 1362. https://doi.org/10.3390/land11081362.
20. EU action for Smart Villages. – Brussels: European Commission, DG AGRI, 2017. https://ec.europa.eu/newsroom/agri/items/58296/en (дата обращения: 15.08.2026).
21. Comprehensive evaluation of digital village development in the context of rural revitalization: A case study from Jiangxi Province of China / H. Liu et al // PLOS ONE. – 2024. – Vol. 19, № 5. – Art. e0303847. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303847.
22. Deng J. The Impact of Digital Rural Construction on Rural Revitalization — Empirical Evidence from Chinese County Panel Data / J. Deng, X. Li, N. Zhang // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, № 11. – Art. 1903. https://doi.org/10.3390/agriculture14111903.
23. Has Digital Village Construction Narrowed the Urban–Rural Income Gap: Evidence from Chinese Counties / Y. Liu et al // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, № 13. – Art. 5330. https://doi.org/10.3390/su16135330.
24. Otto B. Designing a multi-sided data platform: findings from the International Data Spaces case / B. Otto, M. Jarke // Electronic Markets. – 2019. – Vol. 29, № 4. – P. 561-580. https://doi.org/10.1007/s12525-019-00362-x.
25. Weiss M. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review / M. Weiss, F. Jacob, G. Duveiller // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 236. – Art. 111402. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402.
26. A global systematic review of the remote sensing vegetation indices / K. Yan et al // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2025. – Vol. 139. – Art. 104560. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104560.

27. van Klompenburg T. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review / T. van Klompenburg, A. Kassahun, C. Catal // Computers and Electronics in Agriculture. – 2020. – Vol. 177. – Art. 105709. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709.
28. Machine Learning in Agriculture: A Review / K.G. Liakos et al // Sensors. – 2018. – Vol. 18, № 8. – Art. 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674.
29. Digital twins in smart farming / C. Verdouw et al // Agricultural Systems. – 2021. – Vol. 189. – Art. 103046. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046.
30. Kremenchutskiy A. A Risk-Triggered Hybrid Assurance Framework Integrating Digital Traceability, AI-Based Monitoring, and Selective Laboratory Audits for Organic Supply Chains / A. Kremenchutskiy // Natural and Engineering Sciences. – 2026. – Vol. 11, Iss. 2. – P. 211-224. https://doi.org/10.28978/nesciences.262019
31. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. – Paris: OECD Publishing; European Commission, Joint Research Centre, 2008. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en.
32. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide / M. Nardo et al // OECD Statistics Working Papers. – 2005. – № 2005/03. https://doi.org/10.1787/533411815016.
33. Saisana M. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators / M. Saisana, A. Saltelli, S. Tarantola // Journal of the Royal Statistical Society: Series A. – 2005. – Vol. 168, № 2. – P. 307-323. https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x.
34. Munda G. Noncompensatory/nonlinear composite indicators for ranking countries: a defensible setting / G. Munda, M. Nardo // Applied Economics. – 2009. – Vol. 41, № 12. – P. 1513-1523. https://doi.org/10.1080/00036840601019364.
35. Munda G. Social Multi-Criteria Evaluation for a Sustainable Economy / G. Munda. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73703-2.
36. On the Methodological Framework of Composite Indices: A Review of the Issues of Weighting, Aggregation, and Robustness / S. Greco et al // Social Indicators Research. – 2019. – Vol. 141, № 1. – P. 61-94. https://doi.org/10.1007/s11205-017-1832-9.
37. van der Burg S. Trust in farm data sharing: reflections on the EU code of conduct for agricultural data sharing / S. van der Burg, L. Wiseman, J. Krkeljas // Ethics and Information Technology. – 2021. – Vol. 23, № 3. – P. 185-198. https://doi.org/10.1007/s10676-020-09543-1.
38. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process / T.L. Saaty // International Journal of Services Sciences. – 2008. – Vol. 1, № 1. – P. 83-98. https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590.
39. О проведении национальной сельскохозяйственной переписи Республики Казахстан в 2025 году: постановление Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2023 года № 1248. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300001248 (дата обращения: 15.05.2026).
40. Национальная сельскохозяйственная перепись 2025 года [офиц. раздел]. – Астана: Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. https://stat.gov.kz/ru/national/agriculture2025/ (дата обращения: 15.05.2026).
41. Статистика сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства [офиц. раздел]. – Астана: Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/ (дата обращения: 15.05.2026)
42. Process for revising the ICT Development Index methodology. – Geneva: International Telecommunication Union, BDT, 2026. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/IDI/ITU_ProcessForRevisingIDIMethodology_2026.pdf (дата обращения: 15.05.2026)

References

1. Measuring digital development: The ICT Development Index 2026. – Geneva: International Telecommunication Union, 2026. URL: https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/idi2026/. (in English).

2. Measuring digital development: The ICT Development Index 2025. – Geneva: International Telecommunication Union, 2025. https://www.itu.int/hub/publication/d-ind-ict_mdd-2025-1/. (in English).
3. Measuring digital development: The ICT Development Index 2024. – Geneva: International Telecommunication Union, 2024. https://www.itu.int/hub/publication/d-ind-ict_mdd-2024-3/. (in English).
4. Methodology of the ICT Development Index: Version 3.1. – Geneva: International Telecommunication Union, October 2023. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/IDI/IDI_2023_Version3_1_Oct2023.pdf. (in English).
5. The ICT Development Index (IDI) [ofits. stranitsa statistiki]. – International Telecommunication Union, Telecommunication Development Bureau. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx (panel' dannykh: https://datahub.itu.int/dashboards/idi/) (data obrashcheniya: 15.05.2026). (in English).
6. Svodnyi analiticheskii otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazakhstan za 2024 god. – Astana: Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Respubliki Kazakhstan, Komitet po upravleniyu zemel'nymi resursami, 2025. – Dannye na 1 noyabrya 2024 g. (in Russian).
7. Svodnyi analiticheskii otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazakhstan za 2023 god. – Astana: Ministerstvo sel'skogo khozyaistva Respubliki Kazakhstan, 2024. – Dannye na 1 noyabrya 2023 g. (in Russian).
8. Ob utverzhdenii Kontseptsii tsifrovoi transformatsii, razvitiya otrasli informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologii i kiberbezopasnosti na 2023-2029 gody: postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 28 marta 2023 goda № 269. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000269 (data obrashcheniya: 15.05.2026). (in Russian).
9. Ob utverzhdenii Gosudarstvennoi programmy «Tsifrovoi Kazakhstan»: postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 12 dekabrya 2017 goda № 827. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000827 (data obrashcheniya: 15.05.2026). (in Russian).
10. Zavratnik V. Smart Villages: Comprehensive Review of Initiatives and Practices / V. Zavratnik, A. Kos, E. Stojmenova Duh // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, № 7. – Art. 2559. https://doi.org/10.3390/su10072559. (in English).
11. Visvizi A. It's Not a Fad: Smart Cities and Smart Villages Research in European and Global Contexts / A. Visvizi, M.D. Lytras // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, № 8. – Art. 2727. https://doi.org/10.3390/su10082727. (in English).
12. Wolski O. Smart Villages Revisited: Conceptual Background and New Challenges at the Local Level / O. Wolski, M. Wójcik // Smart Villages in the EU and Beyond. – Bingley: Emerald Publishing, 2019. – P. 29-48. https://doi.org/10.1108/978-1-78769-845-120191004. (in English).
13. Adamowicz M. The «Smart Village» as a Way to Achieve Sustainable Development in Rural Areas of Poland / M. Adamowicz, M. Zwolińska-Ligaj // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, № 16. – Art. 6503. https://doi.org/10.3390/su12166503. (in English).
14. The Use of IoT Technology in Smart Cities and Smart Villages: Similarities, Differences, and Future Prospects / N. Cvar et al // Sensors. – 2020. – Vol. 20, № 14. – Art. 3897. https://doi.org/10.3390/s20143897. (in English).
15. Komorowski Ł. Smart Villages: Where Can They Happen? / Ł. Komorowski, M. Stanny // Land. – 2020. – Vol. 9, № 5. – Art. 151. https://doi.org/10.3390/land9050151. (in English).
16. Smart Villages Policies: Past, Present and Future / S. Stojanova et al // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, № 4. – Art. 1663. https://doi.org/10.3390/su13041663. (in English).
17. Territorial and Human Geography Challenges: How Can Smart Villages Support Rural Development and Population Inclusion? / E. Anastasiou et al // Social Sciences. – 2021. – Vol. 10, № 6. – Art. 193. https://doi.org/10.3390/socsci10060193. (in English).
18. Gerli P. What makes a smart village smart? A review of the literature / P. Gerli, J. Navio Marco, J. Whalley // Transforming Government: People, Process and Policy. – 2022. – Vol. 16, № 3. – P. 292-304. https://doi.org/10.1108/TG-07-2021-0126. (in English).
19. Increased Attention to Smart Development in Rural Areas: A Scientometric Analysis of Smart Village Research / Q. Wang et al // Land. – 2022. – Vol. 11, № 8. – Art. 1362. https://doi.org/10.3390/land11081362. (in English).

20. EU action for Smart Villages. – Brussels: European Commission, DG AGRI, 2017. https://ec.europa.eu/newsroom/agri/items/58296/en (data obrashcheniya: 15.08.2026). (in English).
21. Comprehensive evaluation of digital village development in the context of rural revitalization: A case study from Jiangxi Province of China / H. Liu et al // PLOS ONE. – 2024. – Vol. 19, № 5. – Art. e0303847. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303847. (in English).
22. Deng J. The Impact of Digital Rural Construction on Rural Revitalization – Empirical Evidence from Chinese County Panel Data / J. Deng, X. Li, N. Zhang // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, № 11. – Art. 1903. https://doi.org/10.3390/agriculture14111903. (in English).
23. Has Digital Village Construction Narrowed the Urban–Rural Income Gap: Evidence from Chinese Counties / Y. Liu et al // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, № 13. – Art. 5330. https://doi.org/10.3390/su16135330. (in English).
24. Otto B. Designing a multi-sided data platform: findings from the International Data Spaces case / B. Otto, M. Jarke // Electronic Markets. – 2019. – Vol. 29, № 4. – P. 561-580. https://doi.org/10.1007/s12525-019-00362-x. (in English).
25. Weiss M. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review / M. Weiss, F. Jacob, G. Duveiller // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 236. – Art. 111402. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402. (in English).
26. A global systematic review of the remote sensing vegetation indices / K. Yan et al // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2025. – Vol. 139. – Art. 104560. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104560. (in English).
27. van Klompenburg T. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review / T. van Klompenburg, A. Kassahun, C. Catal // Computers and Electronics in Agriculture. – 2020. – Vol. 177. – Art. 105709. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709. (in English).
28. Machine Learning in Agriculture: A Review / K.G. Liakos et al // Sensors. – 2018. – Vol. 18, № 8. – Art. 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674. (in English).
29. Digital twins in smart farming / C. Verdouw et al // Agricultural Systems. – 2021. – Vol. 189. – Art. 103046. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046. (in English).
30. Kremenchutskiy A. A Risk-Triggered Hybrid Assurance Framework Integrating Digital Traceability, AI-Based Monitoring, and Selective Laboratory Audits for Organic Supply Chains / A. Kremenchutskiy // Natural and Engineering Sciences. – 2026. – Vol. 11, Iss. 2. – P. 211-224. https://doi.org/10.28978/nesciences.262019 (in English).
31. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. – Paris: OECD Publishing; European Commission, Joint Research Centre, 2008. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en. (in English).
32. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide / M. Nardo et al // OECD Statistics Working Papers. – 2005. – № 2005/03. https://doi.org/10.1787/533411815016. (in English).
33. Saisana M. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators / M. Saisana, A. Saltelli, S. Tarantola // Journal of the Royal Statistical Society: Series A. – 2005. – Vol. 168, № 2. – P. 307-323. https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x. (in English).
34. Munda G. Noncompensatory/nonlinear composite indicators for ranking countries: a defensible setting / G. Munda, M. Nardo // Applied Economics. – 2009. – Vol. 41, № 12. – P. 1513-1523. https://doi.org/10.1080/00036840601019364. (in English).
35. Munda G. Social Multi-Criteria Evaluation for a Sustainable Economy / G. Munda. – Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73703-2. (in English).
36. On the Methodological Framework of Composite Indices: A Review of the Issues of Weighting, Aggregation, and Robustness / S. Greco et al // Social Indicators Research. – 2019. – Vol. 141, № 1. – P. 61-94. https://doi.org/10.1007/s11205-017-1832-9. (in English).
37. van der Burg S. Trust in farm data sharing: reflections on the EU code of conduct for agricultural data sharing / S. van der Burg, L. Wiseman, J. Krkeljas // Ethics and Information Technology. – 2021. – Vol. 23, № 3. – P. 185-198. https://doi.org/10.1007/s10676-020-09543-1. (in English).
38. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process / T.L. Saaty // International Journal of Services Sciences. – 2008. – Vol. 1, № 1. – P. 83-98. https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590. (in English).

39. O provedenii natsional'noi sel'skokhozyaistvennoi perepisi Respubliki Kazakhstan v 2025 godu: postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 29 dekabrya 2023 goda № 1248. https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300001248 (data obrashcheniya: 15.05.2026). (in Russian).
40. Natsional'naya sel'skokhozyaistvennaya perepis' 2025 goda [ofits. razdel]. – Astana: Byuro natsional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. https://stat.gov.kz/ru/national/agriculture2025/ (data obrashcheniya: 15.05.2026). (in Russian).
41. Statistika sel'skogo, lesnogo, okhotnich'ego i rybnogo khozyaistva [ofits. razdel]. – Astana: Byuro natsional'noi statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/ (data obrashcheniya: 15.05.2026) (in Russian).
42. Process for revising the ICT Development Index methodology. – Geneva: International Telecommunication Union, BDT, 2026. https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/IDI/ITU_ProcessForRevisingIDIMethodology_2026.pdf (data obrashcheniya: 15.05.2026). (in English).

Финансирование. *Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы грантового финансирования научных исследований (№ AP23488699).*

Благодарности. *Авторы выражают признательность ТОО «Шуйское-21» за предоставление доступа к производственной площадке, данным полевых наблюдений и результатам эксплуатации цифровых решений в реальных условиях сельскохозяйственного производства. Полевая апробация технологических решений на базе хозяйства позволила уточнить состав показателей блоков интеллектуального сельского хозяйства и экономической результативности и проверить операциональность их определений. Авторы благодарят рецензентов за замечания, которые привели к пересмотру формы агрегирования индекса, политики пропусков и критериев проверки следствий модели.*

Ш.Ж. Сеилов[1], Б.Ш. Журсинбек[1], М.У. Байдельдинов[1], А.К. Майданов[1]*, А.А. Сейлов[1,2]
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010008, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Сәтбаев көшесі, 2
[2]«Ауыл телеком» ЖШС («Қазақтелеком» АҚ еншілес компаниясы)
*e-mail: makeadil@mail.ru

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ КЕШЕНІН ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯЛАУ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАННЫҢ КЕҢІСТІКТІК ДАМУЫНЫҢ МОДЕЛІ РЕТІНДЕГІ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ АУЫЛДЫҚ АУМАҚ

Ауылдық аумақтардың тұрақты дамуы Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің, ұлттық экономиканың өсуінің және халықтың өмір сүру сапасын арттырудың басты шарттарының бірі болып қала береді. Цифрлық инфрақұрылымға, көлік желісіне және ауыл шаруашылығына елеулі мемлекеттік инвестициялар салынғанына қарамастан, аумақтық дамудың біркелкі еместігі, еңбек өнімділігінің төмендігі, ауылдық аудандар экономикасының шектеулі әртараптандырылуы және халықтың көші-қоны сақталуда.

Жұмыста «Интеллектуалды ауылдық аумақ» (Intelligent Rural Territory, IRT) тұжырымдамасы ұсынылады. Ол ауылдық аумақты цифрлық технологиялар агроөнеркәсіптік кешеннің тиімділігін арттырудың, экспорттық әлеуетті өсірудің және халықтың өмір сүру сапасын жақсартудың құралына айналатын біртұтас әлеуметтік-экономикалық жүйе ретінде қарастырады. Негізінен телекоммуникациялық инфрақұрылымға бағытталған Smart Village және Digital Village тұжырымдамаларынан айырмашылығы, ұсынылған модель цифрлық трансформацияны ауылдық аумақтардың жаңа экономикасын қалыптастырудың негізі деп санайды.

Цифрлық инфрақұрылымды, деректерді, интеллектуалды талдауды, платформаларды, экономикалық қызметтің жаңа түрлерін және тұрақты даму нәтижелерін байланыстыратын алты деңгейлі архитектура ұсынылған.

Ауылдық аумақтардың цифрлық кемелдігін, экономикалық нәтижелілігін, әлеуметтік тұрақтылығын және экспорттық дайындығын кешенді бағалауға арналған Intelligent Rural Territory

Index (IRTI) индексі енгізілді. Аддитивті агрегаттауға негізделген IDI индекстерінен айырмашылығы, IRTI компенсацияланбайтын геометриялық жинақтауды пайдаланады: алты блоктың кез келгені бойынша сәтсіздік қалғандарының жетістігімен өтелмейді.

Әдістеме нормалау шекараларын бекітетін, винзоризацияны хаттамалайтын, олқылықтар саясаты айқын және әрбір есептеудің қайталанымдылық манифесі бар есептеу хаттамасына дейін жеткізілген. Рейтингілеу бір салмақтар жиынтығы бойынша емес, 100 000 іске асырудағы Дирихле үлестірімі бойынша орындалады, бұл медиандық рангіні 5-95% рангілер аралығымен бірге жариялауға мүмкіндік береді.

Бұл жұмыс әдіснамалық сипатта. Сандық нәтижелер 17 бақылау бірлігінен тұратын синтетикалық панельде алынған және хаттаманың бағдарламалық іске асырылуының дұрыстығын тексеруге қызмет етеді, нақты облыстардың бағасы болып табылмайды. Тексеру олқылықтар саясаты бойынша индекс 14 бірлік үшін жарияланатынын, олардың алтауының рангісі салмақтарды таңдауға тұрақсыз екенін, ал компенсацияланбайтын жинақтау теңгерімсіз бейіндерге атаулы айыппұл салып, жиынтықтың теңгерімді бөлігін қайта реттемейтінін көрсетті. Ресми статистика бойынша есептеу келесі жарияланымда жоспарланған.

Нәтижелер Қазақстан Республикасының ауылдық аумақтарын цифрлық трансформациялау мемлекеттік саясатын әзірлеу кезінде және «Қазақстанның интеллектуалды ауылдық аумағы – 2035» ұлттық бағдарламасын қалыптастыруда пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: *интеллектуалды ауылдық аумақ, Smart Village, цифрлық трансформация, агроөнеркәсіптік кешен, композиттік индекс, компенсацияланбайтын агрегаттау, сезімталдық талдауы, Монте-Карло әдісі, ғарыштық мониторинг, тұрақты даму, Қазақстан.*

Sh.Zh. Seilov[1], B.Sh. Zhursinbek[1], M.U. Baideldinov[1], A.K. Maidanov[*], A.A. Seilov[1,2]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
2 Satpayev Street, Astana, 010008, Republic of Kazakhstan
[2]Auyl Telecom LLP (a subsidiary of Kazakhtelecom JSC)
*e-mail: makeadil@mail.ru

INTELLIGENT RURAL TERRITORY AS A MODEL OF SPATIAL DEVELOPMENT OF KAZAKHSTAN UNDER DIGITAL TRANSFORMATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Sustainable rural development is a key condition for food security and economic growth in Kazakhstan. Despite substantial public investment in digital infrastructure and agriculture, uneven territorial development, low labour productivity, limited economic diversification and outward rural migration persist.

The paper proposes the concept of the Intelligent Rural Territory (IRT), treating a rural area as an integrated socio-economic system in which digital technologies raise the efficiency of the agro-industrial complex, expand exports and improve living standards. Unlike Smart Village and Digital Village, which focus on telecommunication infrastructure and individual services, the model treats digital transformation as the basis of a new rural economy. A six-level architecture links infrastructure, data, analytics, platforms, new economic activities and sustainability outcomes through an upward data flow and a downward control loop.

The Intelligent Rural Territory Index (IRTI) is introduced for integrated assessment of digital maturity, economic performance, social sustainability and export readiness. Unlike the compensatory additive IDI family, IRTI uses non-compensatory geometric aggregation, so failure in any of the six blocks cannot be offset by the others. It is implemented as a modular information system with fixed normalisation bounds, logged winsorisation, an explicit missing-data policy and a reproducibility manifest; ranking uses a Dirichlet distribution of 100,000 weight vectors, reporting the median rank and the 5–95 % rank interval.

This is a methodological study: the numerical results come from a synthetic panel of 17 units and verify the software implementation, not actual regions. The index is published for 14 units, the ranks of six are unstable with respect to weights, and non-compensatory aggregation penalises unbalanced profiles without reordering the balanced part of the sample. Computation on official statistics is planned for a subsequent publication.

The results can inform state policy for rural digital transformation in Kazakhstan and the national programme «Intelligent Rural Territory of Kazakhstan – 2035».

Key words: *intelligent rural territory, Smart Village, digital transformation, agro-industrial complex, composite index, non-compensatory aggregation, sensitivity analysis, Monte Carlo method, satellite monitoring, sustainable development, Kazakhstan.*

Сведения об авторах

Шахмаран Журсинбекович Сеилов – кандидат технических наук, профессор кафедры компьютерной и программной инженерии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астна, Казахстан; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Бибинур Шахмарановна Журсинбек – докторант кафедры компьютерной и программной инженерии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: zhursinbek99@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-4505-470X.

Марат Урасканович Байдельдинов – кандидат технических наук, кафедра компьютерной и программной инженерии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: make3508@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3295-2949.

Адиль Кокенович Майданов* – преподаватель кафедры компьютерной и программной инженерии, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: makeadil@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2392-5164.

Амирали Ажибекович Сейлов – генеральный директор ТОО «Ауыл телеком» (дочерняя компания АО «Казахтелеком»), докторант кафедры информационных систем, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9777-5069.

Авторлар туралы мәліметтер

Шахмаран Жүрсінбекұлы Сеилов – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, компьютерлік және бағдарламалық инженерия кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Бибінұр Шахмаранқызы Жүрсінбек – компьютерлік және бағдарламалық инженерия кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: zhursinbek99@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-4505-470X.

Марат Урасканович Байдельдинов – техника ғылымдарының кандидаты, компьютерлік және бағдарламалық инженерия кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: make3508@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3295-2949.

Адиль Кокенович Майданов* – компьютерлік және бағдарламалық инженерия кафедрасының оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: makeadil@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2392-5164.

Амирали Ажибекович Сейлов – «Ауыл телеком» ЖШС («Қазақтелеком» АҚ еншілес компаниясы) бас директоры, ақпараттық жүйелер кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9777-5069.

Information about the authors

Shakhmaran Seilov – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Computer and Software Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Bibinur Zhursinbek – PhD student, Department of Computer and Software Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: zhursinbek99@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-4505-470X.

Marat Baideldinov – Candidate of Technical Sciences, Department of Computer and Software Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: make3508@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3295-2949.

Adil Maidanov* – Lecturer, Department of Computer and Software Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: makeadil@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2392-5164.

Amirali Seilov – General Director, Auyl Telecom LLP (a subsidiary of Kazakhtelecom JSC), PhD student, Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9777-5069.

Поступила в редакцию 08.06.2026
Поступила после доработки 04.09.2026
Принята к публикации 08.09.2026