

## **ОБЪЯСНИМЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ОСНОВА ПРОЗРАЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЛОРУССКИХ АГРОПРЕДПРИЯТИЙ**

**И. В. Клименко**

*магистрант, Белорусский государственный университета информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Беларусь, znachnamail@gmail.com*

**Научный руководитель А. А. Ефремов**

*кандидат экономических наук, доцент, Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, efremov.kafei@gmail.com*

В статье рассматриваются направления внедрения объяснимого искусственного интеллекта как элемента цифровой трансформации агропромышленного комплекса Республики Беларусь. Описываются методы PDP, ICE, SHAP, LIME и Permutation Importance, их значение для интерпретации алгоритмических прогнозов и повышения доверия к аналитическим системам. Обосновывается необходимость институционализации интеграции ХАИ в отраслевые информационные системы.

**Ключевые слова:** объяснимый искусственный интеллект; цифровая трансформация; интерпретируемые модели; информационные системы АПК.

## **EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A FOUNDATION FOR TRANSPARENT FORECASTING OF THE PERFORMANCE INDICATORS OF BELARUSIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES**

**I. V. Klimenko**

*master student, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus,  
znachnamail@gmail.com*

**Supervisor A. A. Efremov**

*PhD in economics, associate professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
Minsk, Belarus, znachnamail@gmail.com*

The article examines the implementation of explainable artificial intelligence as an element of the digital transformation of the agro-industrial complex of the Belarus. The methods PDP, ICE, SHAP, LIME, and Permutation Importance are described, emphasizing their role in interpreting algorithmic predictions and increasing trust in analytical systems. The necessity of institutionalizing the integration of XAI into sectoral information systems is substantiated.

**Keywords:** explainable artificial intelligence; digital transformation; interpretable models; agricultural information systems.

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса Республики Беларусь рассматривается как стратегическое условие повышения его конкурентоспособности и устойчивости. Несмотря на наличие программ государственной поддержки, сохраняется технологическое отставание от соседних стран, обусловленное низкой скоростью внедрения инноваций и слабым разви-

тием инфраструктуры данных. Преодоление этого разрыва требует не только автоматизации процессов, но и перехода к системам интеллектуальной аналитики, предоставлять управленчески значимые выводы на основе интерпретации больших объемов информации [1, с. 8–9].

В данный момент основой цифровой трансформации АПК Беларуси являются внедрение элементов точного земледелия, систем мониторинга состояния животных, специализированных отраслевых информационных систем на основе облачных технологий. Нормативно-правовую основу этих процессов формируют Декрет № 8 и Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси», которые определяют стратегические направления цифрового обновления аграрного сектора [2, с. 215–216]. Однако используемые в процессе цифровизации алгоритмы не всегда прозрачны для лиц, участвующих в принятии решений. Руководители и специалисты нередко не доверяют прогнозам алгоритмов, поскольку не могут объяснить, как они получены [3, с. 2–3].

На этом фоне всё большее значение приобретает концепция объяснимого искусственного интеллекта (Explainable Artificial Intelligence, XAI). Она объединяет методы, позволяющие раскрыть внутреннюю логику сложных моделей без потери точности прогнозов. Объяснимость становится необходимым условием управленческого использования ИИ, так как делает алгоритмы не только точными, но и понятными.

В современной аналитической практике выделяются несколько ключевых методов XAI. Partial Dependence Plot (PDP) показывает, как изменение одного признака в среднем влияет на результат: например, как уровень влажности почвы отражается на прогнозируемой урожайности. Метод удобен для выявления глобальных закономерностей. Individual Conditional Expectation (ICE) позволяет рассматривать влияние признаков для каждого наблюдения отдельно, что особенно важно для точного земледелия, где условия могут различаться даже в пределах одного поля.

SHAP (Shapley Additive Explanations) основан на идеях теории кооперативных игр и позволяет разложить итоговый прогноз на вклад отдельных факторов. Это помогает понять, какие именно климатические, почвенные или технологические параметры существенно влияют на результат прогноза. LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations) строит модель вокруг конкретного объекта и объясняет, почему алгоритм принял именно это решение. Метод универсален и интуитивно понятен, но не отображает общую структуру модели. Permutation Importance, в свою очередь, оценивает значимость признаков через случайную перестановку их значений и измерение потери точности, что позволяет выстраивать иерархию факторов, влияющих на прогноз [3, с. 5–7].

Совокупное использование этих методов создаёт основу для прозрачного и доверительного анализа: PDP и ICE дают наглядную картину факторов, SHAP обеспечивает количественную атрибуцию, LIME уточняет локальные причины прогнозов, а Permutation Importance помогает структурировать иерархию влияния признаков.

Практическое применение методов XAI в аграрной аналитике подтверждает их эффективность. В интеллектуальных системах рекомендаций сельскохозяйственных культур используются LIME и SHAP. LIME позволяет «заглянуть внутрь» решения модели: например, объяснить, что выбор культуры обусловлен сочетанием влажности, кислотности и средней температуры. Метод SHAP распределяет общий вклад между климатическими и почвенными детерминантами. Такой подход не только повышает доверие пользователей, но и согласуется с принципом «права на объяснение», закреплённым в GDPR [4, с. 31–36].

Также XAI используется при предиктивном обслуживании тепличного оборудования. Метод SHAP позволяет определить вклад сенсоров температуры и вибрации в риск отказа, а LIME уточняет локальные причины тревожных прогнозов. Это повышает точность предупреждений, снижает вероятность ложных сигналов и укрепляет уверенность персонала в надёжности цифровых решений [5, с. 11806–11807].

Таким образом, объяснимый искусственный интеллект трансформирует саму природу цифрового анализа. Он превращает алгоритм из «чёрного ящика» в партнёра человека, способного обеспечить понимание того, почему принято то или иное решение.

Для Беларуси приоритетным направлением должна стать институционализация использование методов ХАИ на уровне государственных программ. Необходимо включение ХАИ в национальные и региональные информационные системы, разработка регламентов отчётности по объяснимости и проведение пилотных проектов с оценкой метрик доверия и точности. Не менее важна подготовка специалистов, способных критически осмысливать работу алгоритмов. Расширение образовательных модулей по ХАИ в рамках продолжения Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» и её подпрограммы «Информационно-аналитическое и организационно-техническое сопровождение цифрового развития» на 2026–2030 гг. создаст кадровую основу для осмысленной цифровой трансформации [6, с. 2–3].

### Библиографические ссылки

1. Проблемы и перспективы цифровизации аграрной экономики в Республике Беларусь / К. В. Павлов [и др.] // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия экономика. № 2(44). 2023. С. 7–13.
2. Сырокваш Н. А., Санун О. Л. О развитии цифровизации АПК Беларуси // Актуальные проблемы инновационного развития агропромышленного комплекса Беларуси : сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-практической конференции, Горки, 30–31 мая 2022 г. : в 2 ч. Ч. 2. / редколлегия : И. В. Шафранская (ответственный редактор) и др. Горки, 2023. С. 54–58.
3. Шевская Н. В. Объяснимый искусственный интеллект и методы интерпретации результатов. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1005> (дата обращения: 12.09.2025).
4. Akkem Y., Biswas S. K., Varanasi A. Role of Explainable AI in Crop Recommendation Technique // I. J. Intelligent Systems and Applications. 2025. Vol. 1. P. 31–52.
5. Suresh S. E., Venkateswara Reddy K. Explainable AI for Predictive Maintenance in Smart Agricultural Facilities // International Journal of Research Publication and Reviews. Vol 6. Issue 5. 2025. P. 11806–11808.
6. О результатах выполнения Госпрограммы «Цифровое развитие Беларуси» 2021–2025 в 2023 г. // Минсвязи Республики Беларусь. URL: [https://mpt.gov.by/sites/default/files/kratkaya\\_spravka\\_ob\\_itogah.pdf](https://mpt.gov.by/sites/default/files/kratkaya_spravka_ob_itogah.pdf) (дата обращения: 15.09.2025).