

DOI: 10.58168/E-SESTTI2025\_164-170

УДК 004.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE FORESTRY COMPLEX

**Анциферова В.И.**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Российская Федерация

**Antsiferova V.I.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia

**Голова Е.А.**, магистрант кафедры информационных технологий, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Российская Федерация

**Golova E.A.** Master's student, Department of Information Technology, FGBOU VO «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russia

**Аннотация:** В статье рассматривается влияние искусственного интеллекта на сферу лесного хозяйства, а также будущее цифровых технологий, используемых в лесной промышленности. Несмотря на традиционную консервативность лесного сектора, технологии ИИ начинают активно применяться для решения задач, которые ранее требовали человеческого участия, таких как незаконные вырубki, спутниковый мониторинг. ИИ демонстрирует высокую эффективность в анализе космических снимков, что позволяет точнее выявлять изменения в лесном фонде. Однако, эксперты подчеркивают, что ИИ не сможет полностью заменить человека в мониторинге, так как требует квалифицированной поддержки. В заключение подчеркивается, что ИИ — это не просто модный тренд, а важный инструмент, способный изменить существующие системы мониторинга и повысить их эффективность.

**Abstract:** The article examines the impact of artificial intelligence on forestry, as well as the future of digital technologies used in the forest industry. Despite the traditional conservatism of the forestry sector, AI technologies are beginning to be actively used to solve problems that previously required human participation, such as illegal logging and satellite monitoring. AI demonstrates high efficiency in analyzing space images, which allows for more accurate detection of changes in forest resources. However, experts emphasize that AI will not be able to completely replace humans in monitoring, as it requires qualified support. In conclusion, it is emphasized that AI is not just a fashionable trend, but an important tool that can change existing monitoring systems and increase their efficiency.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, лесная отрасль, лесной комплекс, искусственный интеллект, нейросеть

**Key words:** digital technologies, forest industry, forest complex, artificial intelligence, neural network

### Признательность

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность и.о. заведующего кафедрой Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф.

Морозова, г. Воронеж, кандидату физико-математических наук, доценту Ягодкину Александру Сергеевичу за возможность участия в научной конференции. Статья выполнена в рамках государственного задания Министерство науки и высшего образования РФ, в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» по теме «Энерго ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса», посвящённую 95-летию ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в различные сферы человеческой деятельности происходит стремительными темпами. Увеличиваются инвестиции в обучение нейросетей, расширяются зоны космического мониторинга, и это приносит ощутимые результаты, в том числе в области лесного хозяйства. Хотя эта отрасль традиционно считается консервативной, она также переживает технологическую трансформацию. Развитие искусственного интеллекта и нейронных сетей происходит ежедневно, и можно наблюдать значительные изменения между первыми версиями и последними поколениями технологий. Многие задачи, которые ранее требовали человеческого участия, теперь могут быть успешно решены с помощью нейросетей. В ближайшем будущем новые технологии позволят оперативно отправлять нарушителям предписания о возмещении ущерба за незаконную вырубку лесов, выявленную с помощью спутников по аналогии с практикой, когда водителям, нарушающим правила дорожного движения, приходят уведомления о штрафах, зафиксированных камерами. Ожидается, что это снизит нагрузку на водителей лесовозов и инспекторов, а также сделает процесс транспортировки древесины более прозрачным. С 2026 года спутниковый мониторинг использования лесов охватит каждый второй регион России. Площадь мониторинга увеличится на 20% и составит 300 миллионов гектаров, что соответствует почти 42% всех лесных земель. Таким образом, впервые под космическое наблюдение попадут все леса, где ведется интенсивная коммерческая заготовка древесины, что позволит значительно быстрее выявлять незаконные рубки. Ранее существовало мнение, что внедрение технологий искусственного интеллекта — это всего лишь модный тренд. Однако сегодня этот инструмент доказал свою эффективность в различных областях. Исследования показывают, что многие задачи, решаемые традиционными методами, требуют значительно больше времени, усилий и финансовых затрат. Нейросети действительно способны ускорить обработку информации и, в конечном итоге, улучшить качество анализа данных. В своем Послании Федеральному Собранию в 2024 году президент России Владимир Путин обозначил основную цель использования искусственного интеллекта: автоматизацию процессов и повышение производительности труда. Технологии предоставляют дополнительные преимущества в традиционных системах дистанционного мониторинга, так как искусственный интеллект может обрабатывать большие объемы данных гораздо быстрее человека. Развитие системы космического слежения за лесными комплексами, основанное на расширении зоны непрерывного дистанционного мониторинга, позволило проводить анализ космических снимков на постоянной основе, в отличие от традиционного мониторинга, который осуществляется раз в пять-семь дней [2, 54]. Мониторинг значительно ускорил реакцию на выявленные нарушения: при непрерывном слежении проверки на месте проводятся в течение пяти дней, тогда как при обычном - до тридцати. Например, компания

«Терра Тех», входящая в холдинг «Российские космические системы» госкорпорации «Роскосмос», совместно с «Рослесинфоргом» уже давно экспериментирует использование нейросетей для анализа космических изображений с целью выявления изменений в лесах, особенно связанных с вырубкой [1, 14]. С 2022 года было успешно реализовано несколько проектов по непрерывному мониторингу лесного фонда для отдельных лесничеств, что дало конкретные результаты. Эксперименты показали, что производительность анализа космической информации возросла на 50%. Нейросети, работающие с большими территориями, более эффективно, чем человек, выявляют вырубки и помогают сосредоточить внимание на участках, которые могли бы быть упущены. Кроме того, они помогают выявлять несоответствия в разрешительной документации на использование лесов. Когда алгоритм ошибается, на проверку требуется значительно меньше времени, чем при полностью ручной работе, отмечает заместитель генерального директора «Терра Тех» Максим Болтаев [1, 3]. Технологии, связанные с искусственным интеллектом, демонстрируют высокое качество анализа исходных данных, и с каждым днем это качество продолжает улучшаться. Эксперты уверены, что новая система фиксации нарушений является шагом в будущее для систем дистанционного мониторинга. Одним из основных преимуществ системы контроля за лесовозами с использованием нейросетей и съемки с помощью стационарных камер или беспилотников является ее независимость от человеческого фактора. Она не делает выбор в пользу тех, кто ей нравится или не нравится, и исключает возможность коррупционных схем, таких как подкуп для достижения нужного результата. Дополнение этой системы трекерами на лесовозной технике позволит еще более точно идентифицировать нарушителей по принципу: «нет трекера, но везет лес — значит, нарушитель», — считает генеральный директор компании. Максим Чинов, представитель компании «Агримакс.Аэро» и член Ассоциации «АЭРОНЕКСТ». Также отмечено, что нейросети открывают возможности для реализации масштабных и амбициозных проектов. Одним из таких проектов является инициатива «Цифровая Земля — Сервисы». Благодаря использованию искусственного интеллекта удалось собрать информацию о качественных и количественных характеристиках территориальных и природных ресурсов в различных регионах страны. В частности, за период 2022-2023 годов была собрана информация о вырубках, фактических границах лесопокрываемых площадей и лесных пожарах. «В рамках данного проекта территория страны была обработана 3-4 раза, что в сумме составляет более 65 миллионов квадратных километров. В ручном режиме на получение таких результатов ушли бы годы, а нейросети позволили сделать это всего за несколько месяцев», — делится Максим Болтаев. Наиболее распространенным сценарием применения искусственного интеллекта в лесном хозяйстве, который уже внедрен в некоторых регионах, является отслеживание незаконной вырубки леса. Система автоматически распознает изменения, происходящие в лесном фонде, и инспекторам остается лишь выехать на место для проверки легитимности вырубки. Кроме того, экспериментально подтверждено, что искусственный интеллект способен выявлять участки с усыхающими деревьями. Ему можно доверить обработку данных дистанционного зондирования Земли, при этом можно быть уверенным в скорости и точности дешифровки космических снимков, а также в исключении человеческого фактора — как умышленного, так и случайного искажения результатов. Конечно, нейросети сегодня находятся на пике популярности, но это не универсальное решение всех проблем. На первый взгляд может показаться, что достаточно лишь

инвестировать в разработку и обучение, а затем использовать систему без дополнительных затрат. Однако на практике, как и любая другая технология, искусственный интеллект требует постоянной квалифицированной поддержки. Появляются новые алгоритмы, изменяются геоданные, сам процесс мониторинга также претерпевает изменения. Все это необходимо учитывать и продолжать работу с технологией, внося коррективы и поддерживая развитие системы с помощью высококвалифицированных специалистов. Возможности человека ограничены, в то время как ИИ владеет наибольшими временными ресурсами и вычислительными мощностями. Система может постоянно обучаться, обрабатывать и анализировать все больше информации. Специалистам в области лесного хозяйства не стоит беспокоиться: нейросеть не оставит их без работы, хотя, безусловно, значительно упростит их задачи. «Несмотря на то, что нейронные сети могут помочь в решении некоторых задач, они не способны полностью заменить человека в дистанционном мониторинге. Во-первых, нейросети пока не обладают интуитивным пониманием проблем. Во-вторых, они не могут адаптироваться к новым ситуациям и принимать решения на основе опыта и знаний. Использование нейросетей — это будущее в обработке данных, а не просто модный тренд. Искусственный интеллект, о котором раньше писали в фантастических романах, начинает свое развитие, и мы можем направить его на благо человечества», — считает Владимир Кузьма, директор филиала Рослесинфорга «Прибайкалеспроект». «Полностью заменить человеческий ресурс нейросетями невозможно. Существует вероятность, что через 10 лет элементы ИИ будут применяться в лесном хозяйстве, и это станет нормой. Однако на данный момент первичную информацию, например, по лесопатологическому исследованию, все равно предоставляет человек. Только специалист, работающий непосредственно в лесу, может сделать точные замеры и внести их в базу данных. Алгоритмы могут быть высокоэффективными, но не совершенными. Текущий подход к мониторингу не интегрирует несколько процессов. Сначала происходит анализ снимков нейросетями, затем их проверка экспертами и сопоставление с документами. Два года назад АО «Терра Тех» и Рослесинфорг по поручению Правительства РФ запустили пилотный проект по непрерывному мониторингу лесного комплекса в Иркутской и Архангельской областях. Для совместной работы специалисты «Терра Тех» создали отдельную виртуальную среду, в которой сотрудники Рослесинфорга могли самостоятельно участвовать в процессе обучения искусственного интеллекта. Алгоритмы «Терра Тех» осуществляют автоматическую разметку данных, а специалисты Рослесинфорга проверяют ее на основе реальных данных лесоустройства. После этого происходит дообучение, и цикл повторяется. Автоматизация, достигнутая благодаря интеграции систем, позволила значительно улучшить процесс мониторинга. Осуществление непрерывного мониторинга в сочетании с постоянным обучением нейросетей позволяет постоянно повышать точность их работы. На сегодняшний день разработчики нейросетей сталкиваются с задачей обеспечения эффективной работы в сложных условиях, таких как разносезонные снимки, наличие снега, облачность, горные районы и другие труднопроходимые ландшафты. Это особенно важно, поскольку вырубка леса часто происходит именно в таких сложных территориях. Эти методы не являются взаимоисключающими, что позволяет использовать их совместно для интерпретации одной и той же модели с различными целями. В качестве примера таких методов мы рассмотрим механистические детали локально интерпретируемой независимой от модели объяснительной модели (LIME), предложенной

Рибейро и его коллегами в 2016 году [3, 199]. Метод постфактумной интерпретации, который не зависит от модели и может применяться как на глобальном, так и на локальном уровнях. Этот метод привлек значительное внимание в научном сообществе искусственного интеллекта и способствовал росту популярности объяснимого ИИ (xAI). Основная цель LIME заключается в том, чтобы объяснить, как сложная модель формирует прогноз для конкретного экземпляра (например, для ячейки сетки или другого локального окружения). Для достижения этой цели LIME создает «локальную суррогатную» модель (простую модель, такую как логистическая регрессия или дерево решений), которая аппроксимирует поведение сложной модели в ограниченной области n-мерного пространства, определяемого предикторами.

Процесс поиска локальной суррогатной модели формулируется следующим образом: как  $\text{argmin}_L(f, g, \pi_x) + \Omega(g)$  [6, 5].

$L(f, g, \pi_x)$  вычисляет разницу в точности между сложной моделью  $f$  (например, случайные леса) и простой моделью  $g$  (например, линейная модель) в целевом прогнозе  $x$  и окружающей окрестности близости  $\pi$  в n-мерном пространстве.

$\Omega(g)$  — это сложность простой модели, представленная как число параметров. Алгоритм LIME минимизирует  $L + \Omega$ , чтобы заменить сложную модель более простой, пытаясь при этом избежать потери точности. Ключевое предположение LIME заключается в том, что необходимая степень сложности модели зависит от области данных, для которой должны быть сделаны прогнозы. Согласно стратегии развития лесного комплекса до 2030 года, приоритетной задачей сейчас является цифровизация. ИИ всецело работает с цифровыми данными и в будущем способен видоизменить системы мониторинга, действующие сейчас, и интегрироваться с любой системой. Специалисты видят наибольшую продуктивность именно в комбинировании различных подходов [5, 75]. Важно понимать, что использование нейросетей требует огромных вычислительных мощностей. Для их применения в системах мониторинга придётся работать с огромным фондом пространственных данных, данных дистанционного зондирования земли и табличных данных различных ведомств. Для реализации этой задачи быть может потребоваться не один дата-центр. Тем не менее, нейросети представляют собой следующий этап развития технологий. Поэтому в будущем интеграция будет постепенно охватывать все известные системы, что позволит достичь более эффективных результатов.

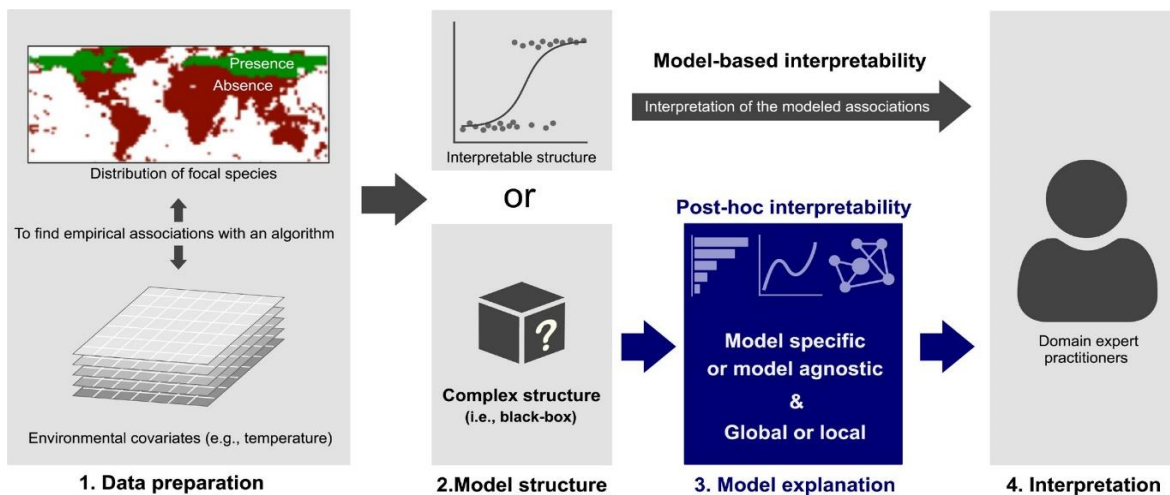


Рисунок 1- Моделирование с использованием ИИ

Рисунок 1 иллюстрирует значение объяснимого искусственного интеллекта (xAI) в моделировании распространения видов. Методы машинного обучения, которые можно интерпретировать, делятся на две категории: те, которые направлены на прямое понимание структуры модели (интерпретируемость на основе модели), и те, которые анализируют поведение модели для ее интерпретации (интерпретируемость постфактум). Методы интерпретируемости постфактум могут быть как специфичными для определенной модели, так и универсальными, что позволяет применять их к любой модели.

### Список литературы

1. Каталакиди М. Искусственный интеллект всему голова.// «Лесной комплекс» № 2 (66) март-апрель 2024 г. С. 12-17. [сайт]. — URL: <https://terratech.ru/media/files/fc-110424.pdf> (дата обращения: 23.03.2025).
2. Chen YL, Wu BG, Chen D, Qi Y (2019). Использование машинного обучения для оценки пригодности участка для лесонасаждения с определенными видами. // *Forests* 10(9): 22. С.53-55.
3. МасахироРё, Боян А., Стефано М., Касс М., Блас М. Хартиг Б., ХартигФ..Объяснимый искусственный интеллект улучшает экологию. Интерпретируемость моделей распределения видов «черного ящика» // *Экология*. 2021. С. 199–205.
4. Кришнан, М. 2020. Против интерпретируемости: критический анализ проблемы интерпретируемости в машинном обучении.// *Фил. Технол.* 33: 487–502.
5. Лукас Л., Прозрачный ящик: интерпретируемое машинное обучение в экологии. // *Экологическая монография. Ecol. Monogr.* 2020. С. 74-76.
6. Матеус Э., Гёргенс Э. Б. Процедуры искусственного интеллекта для лесного комплекса. Оценка конусности в сложной мозаике растительности в Бразилии. Группа по экологии и охране лесов, кафедра ботанических наук, Кембриджский университет, Кембридж, Соединенное Королевство, Кафедра лесных наук, Сельскохозяйственный колледж, УниверситетизС. Паулу, Пирасикаба, С. Паулу, Бразилия // *PLoS ONE* 11(5),2016. С. 1-5.
7. АбрашкинаЕ.Д.Агропромышленный комплекс России: Agriculture 4.0. В 2 томах. Т. 1. Стратегии устойчивого развития регионального агропромышленного комплекса.// *Индустрия 4.0 : монография / Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2025. — 509 с. — ISBN 978-5-4497-3808-0 (т. 1), 978-5-4497-3807-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/144357.html> (дата обращения: 23.03.2025).*
8. МалафеевО. А., ШкрабакВ. С., ШкрабакР. В. [и др.] Математический анализ моделей многоагентного инвестирования и функционирования структур агропромышленного комплекса : учебное пособие; под редакцией О. А. Малафеева, В. С. Шкрабака. — Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2024. — 256 с. — ISBN 978-5-6046442-0-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/128689.html> (дата обращения: 22.03.2025).

### References

1. Katalakidi M. Artificial intelligence is the key.// "Forest Complex" N ° 2 (66) March-April 2024. Pp. 12-17. [website]. - URL: <https://terratech.ru/media/files/fc-110424.pdf> (accessed: 23.03.2025).
2. Chen YL, Wu BG, Chen D, Qi Y (2019). Using machine learning to assess the suitability of a site for afforestation with specific species. // *Forests* 10 (9): 22. Pp. 53-55.
3. Masahiro Ryo, Boyan A., Stefano M., Kass M., Blas M. Hartig B., HartigF.. Explainable artificial intelligence improves ecology. Interpretability of "black box" species distribution models // *Ecology*. 2021. P. 199–205.
4. Krishnan, M. 2020. Against interpretability: A critical analysis of the interpretability problem in machine learning.// *Phil. Technol.* 33: 487–502.
5. Lucas, L., The Transparent Box: Interpretable Machine Learning in Ecology. // *Ecological Monograph. Ecol. Monogr.* 2020. P. 74–76.
6. Mateus, E., Goergens, E. B. Artificial Intelligence Procedures for the Forest Complex. Conicity Estimation in a Complex Vegetation Mosaic in Brazil. *Forest Ecology and Conservation Group, Department of Botanical Sciences, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom, Department of Forestry Sciences, College of Agriculture, University of S. Paulo, Piracicaba, S. Paulo, Brazil* // *PLoS ONE* 11(5),2016. Pp. 1-5.
7. Abrashkina E.D. Agro-industrial complex of Russia: Agriculture 4.0. In 2 volumes. Vol. 1. Strategies for sustainable development of the regional agro-industrial complex.// *Industry 4.0: monograph* / Moscow: IPR Media, 2025. - 509 p. - ISBN 978-5-4497-3808-0 (vol. 1), 978-5-4497-3807-3. - Text: electronic // Digital educational resource IPR SMART: [website]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/144357.html> (date of access: 03/23/2025).
8. Malafeev O. A., Shkrabak V. S., Shkrabak R. V. [et al.] Mathematical analysis of multi-agent investment models and functioning of agro-industrial complex structures: a textbook; edited by O. A. Malafeev, V. S. Shkrabak. - St. Petersburg: Prospect Nauki, 2024. - 256 p. - ISBN 978-5-6046442-0-1. - Text: electronic // Digital educational resource IPR SMART: [website]. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/128689.html> (accessed: 03/22/2025).