

З.В. Нагоев, К.Ч. Бжихатлов, О.З. Загазежева

**НЕЙРОКОГНИТИВНЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ФЕДЕРАТИВНОГО
ОБУЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В РЕАЛЬНОЙ
КОММУНИКАТИВНОЙ СРЕДЕ**

В отличие от существующих методов обучения систем искусственного интеллекта, подходы, основанные на федеративном обучении, не потребуют длительной и дорогостоящей процедуры подготовки обучающей выборки при создании и массовом практическом применении «умных» сельскохозяйственных систем, автономных беспилотных сельскохозяйственных машин и роботов, а полученные системой принятия решений знания будут актуализироваться на постоянной основе. Целью исследования является разработка и внедрение сквозной технологии федеративного обучения для искусственного интеллекта, отсутствие которой сегодня препятствует созданию интегрированных информационно-управляющих систем для растениеводства и животноводства («умные» сельскохозяйственные системы), основанных на групповом применении беспилотных наземных и воздушных сельскохозяйственных машин и роботов. Внедрение подобных интеллектуальных систем необходимо для сохранения и повышения производительности продукции и обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства. В статье описаны нейрокогнитивные методы и алгоритмы федеративного обучения интеллектуальных систем управления сельскохозяйственными процессами в реальной среде. Также предлагается структура обмена данными и знаниями в системе «умного» поля на основе распределенной сети интеллектуальных агентов, управляющих системами «умного» поля на различных сельскохозяйственных участках, на основе федеративного обучения. Каждый интеллектуальный агент представляет собой программную модель нейрокогнитивных процессов рассуждения и принятия решений в рамках решения определенной задачи. Предложенная структура будет способствовать совместному накоплению базы знаний в области сельского хозяйства и сможет стать основой множества различных интеллектуальных агентов, эффективно выполняющих конкретные задачи в рамках распределенной сети систем управления «умными» полями. Также приводится описание интеллектуальных агентов, выполняющих различные задачи в реальной среде. Приведены примеры разрабатываемых на автономных робототехнических и программных комплексов, на основе которых планируется апробация предложенной концепции федеративного обучения систем «умного» поля. Вместе с тем в статье описаны ожидаемые эффекты внедрения технологий, основанных на разрабатываемых методах и алгоритмах федеративного обучения интеллектуальных агентов, управляющих системами умного поля.

Нейрокогнитивные архитектуры; интеллектуальные агенты; федеративное обучение; «умные» сельскохозяйственные системы; автономный робот; защита растений.

Z.V. Nagoev, K.Ch. Bzhikhatlov, O.Z. Zagazezheva

**NEUROCOGNITIVE METHODS AND ALGORITHMS OF FEDERATED
LEARNING OF INTELLIGENT INTEGRATED INFORMATION
MANAGEMENT SYSTEMS IN A REAL COMMUNICATIVE ENVIRONMENT**

Unlike existing methods of teaching artificial intelligence systems, approaches based on federated learning will not require a long and expensive procedure for preparing a training sample when creating and mass practical application of "smart" agricultural systems, autonomous unmanned agricultural machines and robots, and the knowledge obtained by the decision-making system will be updated on an ongoing basis. The aim of the research is to develop and implement end-to-end artificial intelligence technology, the lack of which today prevents the creation of integrated information management systems for crop and livestock production ("smart" agricultural systems) based on the group application of unmanned ground and aerial agricultural machines and robots. The introduction of such intelligent systems is necessary to preserve and improve the products produced and ensure the sustainable development of agriculture. The article describes neurocognitive methods and algorithms of federated learning of intelligent agricultural process management systems in a real

environment. The structure of data and knowledge exchange in the smart field system based on a distributed network of intelligent agents managing smart field systems on various agricultural lands, based on federated learning, is also proposed. Each intelligent agent is a software model of the neurocognitive processes of reasoning and decision-making within the framework of solving a specific task. The proposed structure will facilitate the joint accumulation of a knowledge base in the field of agriculture and will be able to become the basis for many different intelligent agents that effectively perform specific tasks within a distributed network of smart field management systems. There is also a description of intelligent agents performing various tasks in a real environment. Examples of autonomous robotic and software complexes being developed are given, on the basis of which it is planned to test the proposed concept of federated training of "smart" field systems. At the same time, the article describes the expected effects of the introduction of technologies based on the developed methods and algorithms of federated training of intelligent agents controlling smart field systems.

Neurocognitive architectures; intelligent Neurocognitive architectures; intelligent agents; federated learning; smart agricultural systems; autonomous robot; plant protection.

Введение. Внедрение «умных» сельскохозяйственных систем предполагает использование современных информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), таких как сенсоры, носимая электроника, машинное обучение и искусственный интеллект для улучшения качества и производительности сельского хозяйства. Данные системы позволяют анализировать большое количество данных о почве, растениях, погоде и других факторах, влияющих на урожайность. Они обеспечивают возможность точного дозирования химикатов, воды и удобрений в соответствии с потребностями каждого конкретного участка земли. Такие системы помогают фермам решать экономические задачи, такие как оптимизация производства, снижение затрат и решение проблем устойчивости к изменению климата. В целом, использование «умных» сельскохозяйственных систем позволяет повысить производительность, снизить затраты и улучшить качество выращиваемых продуктов, способствуя устойчивому развитию сельского хозяйства [1–3].

Нейрокогнитивные методы и алгоритмы федеративного обучения интеллектуальных интегрированных информационно-управляющих систем в реальной коммуникативной среде. «Умные» сельскохозяйственные системы выполняют мониторинг процессов на сельскохозяйственных объектах, анализ проблем и возможностей, прогноз развития ситуации, синтез рекомендаций лицам, принимающим решения, и - управляющих воздействий беспилотным машинам и роботам на основе распределенной сети локальных центров управления (интеллектуального программного обеспечения – т.н. «интеллектуальных программных агентов») [4, 5].

Каждый сельскохозяйственный и производственный объект (поле, сад, ферма, водоем, станция материально-технического обслуживания, лаборатория), каждая единица пилотируемой и беспилотной техники (наземные и воздушные дроны, специализированные роботы, сельскохозяйственная техника), действующие совместно (коллаборативно) на данном сельскохозяйственном объекте, оснащается датчиками, каналами связи, вычислительным и сетевым оборудованием, программным обеспечением, реализующим функционал интеллектуального управляющего программного агента, и включается в состав «умной» системы [5–7].

Программные агенты, управляющие отдельными объектами и единицами техники в составе интегрированной информационно-управляющей «умной» сельскохозяйственной системы, оснащаются интеллектуальной системой управления на основе нейрокогнитивной архитектуры.

Нейрокогнитивные архитектуры – это формальный и алгоритмический аппарат моделирования мыслительной деятельности (рассуждения и принятия решений), в течение ряда лет разрабатываемый учеными КБНЦ РАН, отличающийся способностью к самостоятельному обучению на основе наблюдений и при взаимодействии с помощью естественного языка в коммуникативном окружении (операторы, пользователи системы, агрономы и др.) [8].

Работа направлена на создание и исследование системы т.н. федеративного обучения интеллектуальных программных агентов на основе управляющих нейрокогнитивных архитектур.

При федеративном обучении каждый из интеллектуальных агентов, управляющих каким-то отдельным сельскохозяйственным объектом, или единицей беспилотной техники (наземные, воздушные, надводные беспилотники и роботы) в составе «умной» сельскохозяйственной системы использует свою нейрокогнитивную архитектуру для того, чтобы обучиться на основе данных со своих датчиков и информации, вводимой операторами, сформировать новые знания об участке своей функциональной ответственности, а затем передать эти знания всем другим таким же агентам в составе этой «умной» системы.

Таким образом, при федеративном обучении знания, полученные одним интеллектуальным агентом на своем функциональном участке путем затрат собственных вычислительных ресурсов, становятся доступны всем другим заинтересованным агентам, которым уже нет необходимости затрачивать на это новые ресурсы, что резко увеличивает производительность машинного обучения и повышает интеллект «умной» системы. Сегодня создание и массовое практическое применение «умных» сельскохозяйственных систем, автономных беспилотных сельскохозяйственных машин и роботов сдерживается низким уровнем функциональных возможностей, применяемых для управления ими систем искусственного интеллекта.

Создание методов, алгоритмов и программного обеспечения для федеративного обучения интеллектуальных управляющих агентов на основе нейрокогнитивных архитектур позволит преодолеть эту проблему, так как обеспечит резкое увеличение интенсивности производства знаний, необходимых для эффективной работы таких агентов, на основе процессов самостоятельного обучения и свободного обмена знаниями между ними. В отличие от существующих формализмов искусственного интеллекта, основанных на классической модели нейронной сети как взвешивающего сумматора, создание таких систем не потребует длительной и дорогостоящей процедуры подготовки обучающей выборки, а полученные знания будут актуализироваться на постоянной основе [9, 10].

Классический подход к системе автоматизации выращивания посевов предполагает сбор данных со всех сенсоров, доступных в поле (например, с метеостанций, навесного оборудования на сельскохозяйственной технике, дронов и роботов) на единый вычислительный центр, который занимается сбором, хранением и обработкой данных. Результаты обработки данных и команды пользователя высылаются всем активным устройствам в системе автоматизации на поле, которые, в свою очередь, выполняют поставленные команды. Структура подобной системы показана на рис. 1. Синими стрелками на рисунке показаны пути обмена данными между участниками системы.

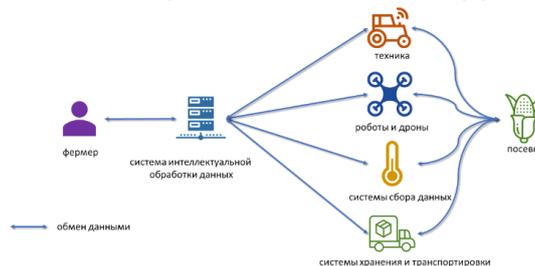


Рис. 1. Структура обмена данными в системе, которую сейчас принято считать «умным» полем

При этом термин «умное» поле предполагает использование интеллектуальной системы принятия решений. Подобные системы, зачастую использующие обработку больших данных и машинное обучение на основе искусственных нейронных

сетей, также активно внедряются в сельскохозяйственное производство. Например, существует ряд работ, посвященных распознаванию вредителей, сорных растений и заболеваний на посевах на основе распознавания образов, полученных за счет обычной и мультиспектральной съемки [11–15]. При этом, для обучения нейросетей приходится использовать достаточно большие обучающие выборки с размеченными на них целевыми объектами (сорняками и вредителями) [16]. Также существует множество различных робототехнических комплексов, применяемых в сельском хозяйстве и автономно выполняющих задачи мониторинга состояния, обработки посевов и сбора урожая [17–19]. При этом стоит учитывать сложности реализации систем принятия решений, использующих классические формализмы искусственного интеллекта, связанные с большой степенью неопределенности, длительностью процесса сбора данных, дороговизной экспериментов и большим объемом необходимых для принятия решения данных. В этом случае, одним из возможных путей перехода к интеллектуальному управлению сельским хозяйством может стать использование подхода, основанного на федеративном обучении, то есть, использования большого количества независимых интеллектуальных систем принятия решений, которые могут обучаться при выполнении определенных задач в рамках обслуживания процесса выращивания посевов. При этом, учитывая значительный объем «сырых» данных, генерируемых системами «умного» земледелия, встает необходимость организации обмена знаниями, сгенерированными отдельными интеллектуальными системами. Это ограничивает применимость классических искусственных нейронных сетей, в которых нет возможности выделить алгоритм принятия определенного решения из общей структуры сети. Для этого могут подойти формализмы искусственного интеллекта, позволяющие выделять и передавать знания, сгенерированные системой, например, мультиагентные нейрокогнитивные модели позволяют создавать функциональные системы, представляющие группу нейронов, отвечающих за выполнение определенной подзадачи (например, онтологическое описание факта, описывающего взаимосвязь между проведенной агротехнической операцией и изменением состояния посевов). В этом случае система принятия решений (интеллектуальный агент) изначально реализована как часть мультиагентной системы и имеет возможность передавать данные и полученные знания в более сжатом виде. Такой подход позволяет использовать небольшие специализированные системы управления в виде отдельных интеллектуальных агентов, управляющих автономными роботами и техникой, подключенной к «умному» полю. При этом каждый участник системы управления обменивается знаниями между собой и между основным центром управления, который занимается стратегическим планированием работ. Структура обмена данными и знаниями в подобной системе показана на рис. 2. Как видно из рисунка, после передачи данных с конечных устройств, система использует только обмен знаниями между интеллектуальными агентами. При этом взаимодействие с пользователем (владельцем посевов, специалистами и его работниками) уже может быть реализовано с использованием естественного языка, что позволит наиболее эффективно включить в систему управления людей.

Следующим этапом обмена знаниями является реализация центрального сервера для хранения знаний (мультиагентных фактов) о сельском хозяйстве. Принцип работы подобной системы также основан на взаимодействии отдельных интеллектуальных агентов, отвечающих за работу различных сельскохозяйственных предприятий. При этом каждая система может работать полностью автономно и обменивается информацией для увеличения скорости обучения всех участников подобного мультиагентного коллектива. Также общая база знаний не требует хранения и передачи значительного объема данных с сенсоров и при этом позволяет выделять нетривиальные закономерности. Схема обмена знаний при федеративном обучении показана на рис. 3.

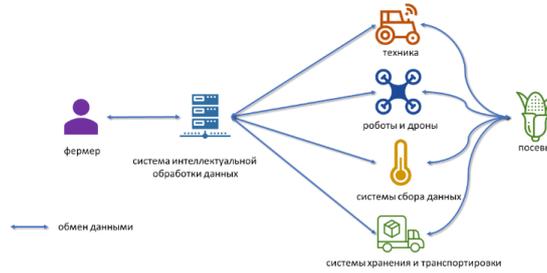


Рис. 2. Структура обмена данными и знаниями в системе «умного» поля на основе интеллектуальных агентов

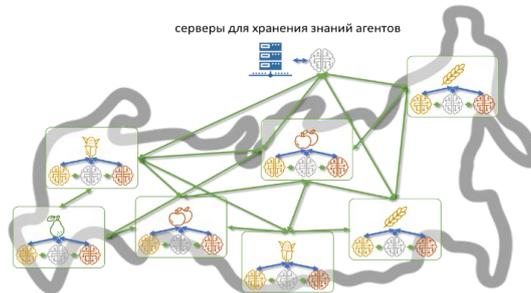


Рис. 3. Совместно накопленная база знаний в области сельского хозяйства сможет стать основой множества различных интеллектуальных агентов, эффективно выполняющих конкретные задачи в рамках распределенной сети систем управления «умными» полями

Федеративный подход к обучению отдельных интеллектуальных агентов, управляющих системами «умного» земледелия, позволит значительно увеличить скорость набора знаний интеллектуальных систем управления в сельском хозяйстве, что на данный момент является одной из значительных преград для перехода к безлюдному сельскому хозяйству. Рост скорости объема знаний интеллектуальных агентов должен привести к точке перехода к автономному сельскому хозяйству, после которой дальнейшее обучение систем управления значительно повысит эффективность сельского хозяйства не только за счет возможности ухода за каждым отдельным растением, но и за счет более точного прогнозирования процесса выращивания растений и подбора оптимальной траектории ухода за ним (рис. 4).

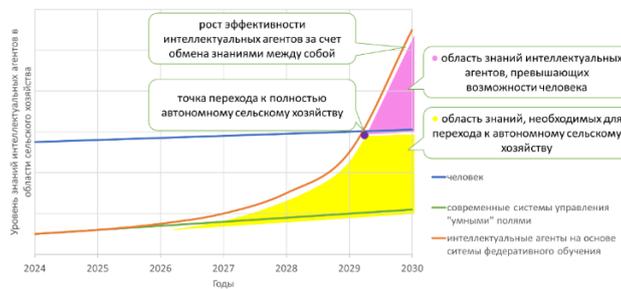


Рис. 4. Влияние внедрения методов и алгоритмов федеративного обучения интеллектуальных агентов на скорость роста продуктивной полноты знаний интеллектуальных агентов, управляющих «умными» сельскохозяйственными системами

Для апробации представленной концепции федеративного обучения для обеспечения работы систем интеллектуального управления ухода за урожаем был разработан ряд программных и аппаратных элементов системы «умное» поле. В частности, создан автономный робот для мониторинга и опрыскивании посевов (рис. 5). Данный робот предназначен для мониторинга и своевременного обнаружения заболевших растений, а также опрыскивания данных участков необходимыми активными веществами. Робот для активной защиты растений представляет собой узкую транспортную платформу (ширина менее 70 см позволяет двигаться по междурядью кукурузы). На этой платформе установлен комплекс сенсоров и устройств для навигации робота, бортовой компьютер, система питания, резервуар с активным раствором и насос для системы опрыскивания. Опрыскивание растений проводится с помощью 6 манипуляторов, установленных на двух П-образных каркасах. Каждый манипулятор состоит из опусков с двумя степенями свободы (движение по горизонтали и изменение высоты опуска), на которых установлен набор форсунок [20, 21]. Такое решение позволяет проводить одновременное опрыскивание до 8 рядов, регулируя высоту и плотность факела опрыскивания для каждого растения отдельно.



Рис. 5. Автономный робот для мониторинга и опрыскивании посевов, который будет применяться для отработки федеративных методов обучения управляющих нейрокогнитивных архитектур

Система управления автономным роботом использует мультиагентные нейрокогнитивные модели работы нейронов головного мозга [22]. Внешний вид программы для визуализации и редактирования отдельных агентов мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры показан на рис. 6.

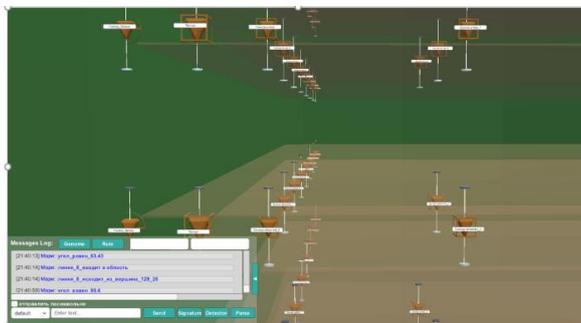


Рис. 6. Программа искусственного интеллекта на основе нейрокогнитивных архитектур

Для управления роботами и обеспечения взаимодействия пользователей и профильных специалистов был разработан сервис управления «умным» полем. Веб-интерфейс для доступа к «умной» сельскохозяйственной системе представляет собой экспертную систему для сбора данных и их передачи пользователю. Данная система является частью онлайн-сервиса актовой защиты растений. Данные собираются роботом и другими сенсорами (например, метеостанцией) непосредственно на поле. Потом информация от сенсоров передается на сервер. На сервере данные хранятся и при необходимости передаются клиентам. Визуализация данных происходит на конечном устройстве пользователя (персональный компьютер или смартфон) в виде веб-интерфейса. Скриншот страницы разработанного сервиса показан на рис. 7.

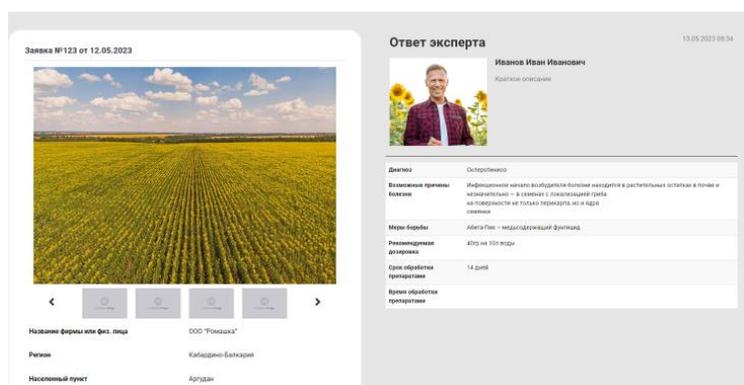


Рис. 7. Проект веб-интерфейса для доступа к «умной» сельскохозяйственной системе на основе федеративного обучения нейрокогнитивных интеллектуальных управляющих программных агентов

На данном этапе ведется отработка алгоритмов управления роботами в полевых условиях. Дальнейшее распространение подобных систем с реализацией федеративного обучения позволит обеспечить ряд преимуществ, способствующих продовольственной безопасности страны (табл. 1). В частности, создание общей базы знаний в области сельского хозяйства и управления агроботами позволит обеспечить переход к полностью автономному сельхозпроизводству и минимизировать потери урожая, связанные с заболеваниями, вредителями и ошибками в планировании агротехнических операций.

Таблица 1

Ожидаемые эффекты внедрения технологий, основанных на разрабатываемых методах и алгоритмах федеративного обучения ИА, управляющих системами умного поля

Ожидаемый эффект	Группа технологий, на основе результатов предложенной НИР
Снижение потерь урожая	Применение интеллектуальных агентов и автономных роботов (в том числе и разрабатываемых в КБНЦ РАН) под их управлением позволит обеспечить реализацию оптимального ухода за посевами с учетом внешних условий, своевременным обнаружением и устранением возможных угроз
Повышение урожайности	Интеллектуальные агенты, обладающие необходимым набором знаний, могут подобрать наиболее эффективный план агротехнических операций с учетом всей совокупности факторов, что позволит обеспечить рост урожайности

Снижение себестоимости продукции	Использование интеллектуальных агентов для управления автономными роботами позволит перейти к полностью автономному сельскому хозяйству и исключить оплату труда из структуры затрат. Прогнозирование угроз и точечная обработка посевов автономными роботами позволят заметно снизить расходы, затраты и издержки
Снижение экологической нагрузки	Перенос фокуса агротехнических операций с поля на отдельное растение с помощью автономных роботов позволит снизить объем вносимых химикатов, что, в свою очередь, заметно уменьшает экологическую нагрузку
Повышение качества продукции	Интеллектуальные агенты позволят рассчитать наиболее эффективный план агротехнических операций для данного поля, что приведет к повышению потребительских свойств выращиваемой продукции
Снижение темпов деградации почвы	Коллективы интеллектуальных агентов программный агент позволит реализовать интеллектуальное управление севооборотом (с учетом внешних условий и истории полей), что позволит снизить темпы деградации почвы

Оценка эффективности внедрения технологий, основанных на разрабатываемых методах и алгоритмах федеративного обучения ИА, имеет стратегический характер, поскольку некоторые программные агенты уже показывают позитивную тенденцию в сохранении планируемого урожая, можно предположить, что в дальнейшем при разработке и внедрении данной системы покажут и другие положительные эффекты.

Заключение. Главный системный результат внедрения федеративного обучения – существенный рост интеллекта «умных» сельскохозяйственных систем, что значительно расширит их применимость в сложных условиях реальной среды, создаст предпосылки для резкого снижения издержек, повышения производительности и эффективности сельхозпроизводства за счет оптимизации процессов, применения беспилотных машин и роботов.

Создание интеллектуальных самообучающихся систем управления для беспилотных сельскохозяйственных машин и автономных роботов, которые позволят эффективно выполнять агротехнические операции без участия человека.

Создание систем прогнозирования для «умного поля», которые по полученным данным смогут предугадывать изменения в характере вегетации, возможные заболевания, необходимые удобрения и прогнозируемый урожай.

Автоматизация управления человеко-машинным коллективом при обработке посевов (все уровни управления от планирования посева до реализации урожая).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орбачев М.И., Моторин О.А., Суворов Г.А. Развитие умного сельского хозяйства России и за рубежом // Управление рисками р АПК. – 2020. – № 2. – С. 62-72. – URL: <http://www.agrorisk.ru>.
2. Белых Д.В., Медведева Л.Н. "Умная техника" и "умные технологии" в обеспечении развития сельского хозяйства // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования, С. Соленое Займище, 28 февраля 2018 года. – С. Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2018. – С. 1349-1353.
3. Бжухатлов К.Ч., Загазежева О.З. Разработка модели взаимодействия в социо-эколого-экономической системе сельских территорий в условиях внедрения новых технологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6 (110). – С. 194-202. – DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-194-202.
4. Черненко А.Б., Черников Н.С., Багинский Н.А., Сысоев М.И. Особенности применения роботизированных платформ в сельском хозяйстве // Проблемы науки. – 2020. – № 8 (153). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-robotizirovannyh-platform-v-selskom-hozyaystve> (дата обращения: 27.02.2024).
5. Пишенокова И.А., Бжухатлов К.Ч., Унагасов А.А., Абазоков М.А. Мультиагентный алгоритм сбора данных с метеостанции для прогнозирования урожайности и состояния посевов // Известия ЮФУ. Технические Науки. – 2022. – № 1 (225). – С. 91-101.

6. *Hachimi C.E., et al.* Smart Weather data management based on artificial intelligence and big data analytics for precision agriculture // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 95.
7. *Nagoev Z., Pshenokova I., Gurtueva I., Bzhikhatlov K.* A simulation model for the cognitive function of static objects recognition based on machine-learning multi-agent architectures / In: *Samsonovich, A. (ed.) // Biologically inspired cognitive architectures 2019. BICA 2019. Advances in intelligent systems and computing. Vol 948.* – Springer, Cham, 2020. – https://DOI.org/10.1007/978-3-030-25719-4_48.
8. *Коношин Д.И., Измесьев М.М.* Особенности применения интеллектуальных систем опрыскивания в сельском хозяйстве // *Аграрная наука - 2022: Матер. всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22–24 ноября 2022 года.* – М.: Российский государственный аграрный университет - МСХА Им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 1074-1077.
9. *Nagoev Z., Pshenokova I., Anchekov M.* Model of the reasoning process in a multi-agent cognitive system // *Procedia Computer Science*. – 2020. – 169. – P. 615-619. – <https://DOI.org/10.1016/j.procs.2020.02.202>.
10. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., and Kankulov S.* Situational analysis model in an intelligent system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*. – 2021. – 2131. – 022103. – DOI:10.1088/1742-6596/2131/2/022103.
11. *Jabir Brahim, Rabhi Loubna, Falih Noureddine.* RNN - and CNN-Based weed detection for crop improvement: An Overview // *Foods And Raw Materials*. – 2021. – No. 2. – DOI: 10.21603/2308-4057-2021-2-387-396.
12. *Murad N.Y., Mahmood T., Forkan A.R.M, Morshed A., Jayaraman P.P., Siddiqui M.S.* Weed Detection Using Deep Learning: A Systematic Literature Review // *Sensors (Basel)*. – 2023 Mar. 31. – 23 (7). – 3670. – DOI: 10.3390/s23073670.
13. *Erunova Marina G., Pisman Tamara I., Shevyrnogov Anatoliy P.* The technology for detecting weeds in agricultural crops based on vegetation index VARI (planetscope) // *Журнал СВУ. Техника и технологии*. – 2021. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-technology-for-detecting-weeds-in-agricultural-crops-based-on-vegetation-index-vari-planetscope> (дата обращения: 29.02.2024).
14. *Badhan S., Desai K., Dsilva M., Sonkusare R. and Weakey S.* Real-Time Weed Detection using Machine Learning and Stereo-Vision // *6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Maharashtra, India, 2021. – P. 1-5. – DOI: 10.1109/I2CT51068.2021.9417989.
15. *Filbert H. Juwono, W.K. Wong, Seema Verma, Neha Shekhawat, Basil Andy Lease, Catur Apriono.* Machine learning for weed-plant discrimination in agriculture 5.0: An in-depth review // *Artificial Intelligence in Agriculture*. – 2023. – Vol. 10. – P. 13-25. – DOI: 10.1016/j.aiia.2023.09.002.
16. *Wang P., Tang Y., Luo F., Wang L., Li C., Niu Q. and Li H.* Weed25: A deep learning dataset for weed identification // *Front. Plant Sci*. – 2022. – Vol. 13.
17. *Cheng C., Fu J., Su, H., Ren, L.* Recent advancements in agriculture robots: Benefits and Challenges // *Machines*. – 2023, – 11. – P. 48. – DOI: 10.3390/machines11010048.
18. *Mitrofanova Olga & Blekanov Ivan & Sevostyanov Danila & Zhang Jia & Mitrofanov Evgenii.* Development of a robot for agricultural field scouting // *In Lecture Notes in Computer Science*. – 2023. – P. 185-196. – DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1_17.
19. *Zhang Anzheng & Pan Yuzhen & Zhang Chenyun & Wang Jinhua & Chen Guangrong & Shang Huiliang.* Design and implementation of a novel agricultural robot with multi-modal kinematics // *In Intelligent Robotics and Applications*. – 2023. – P. 395-406. – Springer Nature Singapore. – DOI: 10.1007/978-981-99-6480-2_33.
20. *Бжикхатлов К.Ч., Загазежева О.З., Мамбетов И.А.* Концепция интеллектуальной системы защиты растений и оценка эффективности ее внедрения // *Перспективные системы и задачи управления: Матер. XVIII всероссийской научно-практической конференции и XIV молодежной школы-семинара. Посвящается памяти почетного члена оргкомитета конференции, водителя первого лунохода, генерал-майора В.Г. Довганя, п. Домбай, Карачево-Черкесская Республика, 03–07 апреля 2023 года.* – Таганрог: Общество с ограниченной ответственностью изд-во "Лукоморье", 2023. – С. 404-412.
21. *Alzaghir A.* Flying fog mobile edge computing based on UAV-assisted for iot nodes in smart agriculture // *Proceedings of Telecommunication Universities*. – 2022. – Vol. 8, No. 4. – P. 82-88. – DOI: 10.31854/1813-324x-2022-8-4-82-88.
22. *Нагоев З.В.* Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013.

REFERENCES

1. *Orbachev M.I., Motorin O.A., Suvorov G.A.* Razvitie umnogo sel'skogo khozyaystva Rossii i za rubezhom [Development of smart agriculture in Russia and abroad], *Upravlenie riskami r APK* [Risk management in the agro-industrial complex], 2020, No. 2, pp. 62-72. Available at: <http://www.agrorisk.ru>.
2. *Belykh D.V., Medvedeva L.N.* "Umnaya tekhnika" i "umnye tekhnologii" v obespechenii razvitiya sel'skogo khozyaystva ["Smart technology" and "smart technologies" in ensuring the development of agriculture], *Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskie aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya, S. Solenoe Zaymishche, 28 fevralya 2018 goda* [Current ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational environmental management, Solenoye Zaimishche Village, February 28, 2018]. – Solenoye Zaimishche Village: Prikaspiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut aridnogo zemledeliya, 2018, pp. 1349-1353.
3. *Bzhikhatlov K.Ch., Zagazheva O.Z.* Razrabotka modeli vzaimodeystviya v sotsio-ekologo-ekonomicheskoy sisteme sel'skikh territoriy v usloviyakh vnedreniya novykh tekhnologiy [Development of a model of interaction in the socio-ecological-economic system of rural territories in the context of the introduction of new technologies], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS], 2022, No. 6 (110), pp. 194-202. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-194-202.
4. *Chernenko A.B., Chernikov N.S., Baginskiy N.A., Sysoev M.I.* Osobennosti primeneniya robotizirovannykh platform v sel'skom khozyaystve [Features of the use of robotic platforms in agriculture], *Problemy nauki* [Problems of science], 2020, No. 8 (153). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-priimeneniya-robotizirovannykh-platform-v-sel'skom-hozyaystve> (accessed 27 February 2024).
5. *Pshenokova I.A., Bzhikhatlov K.Ch., Unagasov A.A., Abazokov M.A.* Mul'tiagentnyy algoritm sbora dannykh s meteostantsii dlya prognozirovaniya urozhaynosti i sostoyaniya posevov [Multi-agent algorithm for collecting data from a weather station to predict the yield and condition of crops], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie Nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 1 (225), pp. 91-101.
6. *Hachimi C.E., et al.* Smart Weather data management based on artificial intelligence and big data analytics for precision agriculture, *Agriculture*, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 95.
7. *Nagoev Z., Pshenokova I., Anchekov M.* Model of the reasoning process in a mul-tiagent cognitive system, *Procedia Computer Science*, 2020, 169, pp. 615-619. Available at: <https://DOI.org/10.1016/j.procs.2020.02.202>.
8. *Konoshin D.I., Izmes'ev M.M.* Osobennosti primeneniya intellektual'nykh sistem opryskivaniya v sel'skom khozyaystve [Features of the use of intelligent spraying systems in agriculture], *Agrarnaya nauka - 2022: Mater. vserossiyskoy konferentsii molodykh issledovateley, Moskva, 22–24 noyabrya 2022 goda* [Agrarian Science - 2022: Proceedings of the All-Russian Conference of Young Researchers, Moscow, November 22–24, 2022]. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet - MSKhA Im. K.A. Timiryazeva, 2022, pp. 1074-1077.
9. *Nagoev Z., Pshenokova I., Anchekov M.* Model of the reasoning process in a mul-tiagent cognitive system, *Procedia Computer Science*, 2020, 169, pp. 615-619. Available at: <https://DOI.org/10.1016/j.procs.2020.02.202>.
10. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., and Kankulov S.* Situational analysis model in an intelligent system based on multi-agent neurocognitive architectures, *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*, 2021, 2131, 022103. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/2/022103.
11. *Jabir Brahim, Rabhi Loubna, Falih Noureddine.* RNN - and CNN-Based weed detection for crop improvement: An Overview, *Foods And Raw Materials*, 2021, No. 2. DOI: 10.21603/2308-4057-2021-2-387-396.
12. *Murad N.Y., Mahmood T., Forkan A.R.M., Morshed A., Jayaraman P.P., Siddiqui M.S.* Weed Detection Using Deep Learning: A Systematic Literature Review, *Sensors (Basel)*, 2023 Mar. 31, 23 (7), 3670. DOI: 10.3390/s23073670.
13. *Erunova Marina G., Pisman Tamara I., Shevyrnogov Anatoliy P.* The technology for detecting weeds in agricultural crops based on vegetation index VARI (planetscope), *Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of SFU. Technics and technology], 2021, No. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-technology-for-detecting-weeds-in-agricultural-crops-based-on-vegetation-index-vari-planetscope> (accessed 29 February 2024).

14. *Badhan S., Desai K., Dsilva M., Sonkusare R. and Weakey S.* Real-Time Weed Detection using Machine Learning and Stereo-Vision, *6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Maharashtra, India, 2021*, pp. 1-5. DOI: 10.1109/I2CT51068.2021.9417989.
15. *Filbert H. Juwono, W.K. Wong, Seema Verma, Neha Shekhawat, Basil Andy Lease, Catur Apriono.* Machine learning for weed–plant discrimination in agriculture 5.0: An in-depth review, *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2023, Vol. 10, pp. 13-25. DOI: 10.1016/j.aiia.2023.09.002.
16. *Wang P., Tang Y., Luo F., Wang L., Li C., Niu Q. and Li H.* Weed25: A deep learning dataset for weed identification, *Front. Plant Sci.*, 2022, Vol. 13.
17. *Cheng C., Fu J., Su, H., Ren, L.* Recent advancements in agriculture robots: Benefits and Challenges, *Machines*, 2023, 11, pp. 48. DOI: 10.3390/machines11010048.
18. *Mitrofanova Olga & Blekanov Ivan & Sevostyanov Danila & Zhang Jia & Mitrofanov Evgenii.* Development of a robot for agricultural field scouting, *In Lecture Notes in Computer Science*, 2023, pp. 185-196. DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1_17.
19. *Zhang Anzheng & Pan Yuzhen & Zhang Chenyun & Wang Jinhua & Chen Guangrong & Shang Huiliang.* Design and implementation of a novel agricultural robot with multi-modal kinematics, *In Intelligent Robotics and Applications*, 2023, pp. 395-406. Springer Nature Singapore. DOI: 10.1007/978-981-99-6480-2_33.
20. *Bzhikhatlov K.Ch., Zagazezheva O.Z., Mambetov I.A.* Kontseptsiya intellektual'noy sistemy zashchity rasteniy i otsenka effektivnosti ee vnedreniya [The concept of an intelligent plant protection system and assessment of the effectiveness of its implementation], *Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya: Mater. XVIII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii i XIV molodezhnoy shkoly-seminara. Posvyashchaetsya pamyati pochetnogo chlena orgkomiteta konferentsii, voditelya pervogo lunokhoda, general-mayora V.G. Dovganya, p. Dombay, Karachevo-Cherkesskaya Respublika, 03–07 aprelya 2023 goda* [Perspective systems and management tasks: Materials of the XVIII All-Russian scientific and practical conference and the XIV youth school-seminar. Dedicated to the memory of the honorary member of the conference organizing committee, the driver of the first lunar rover, Major General V.G. Dovganya, Dombay, Karachevo-Cherkess Republic, April 03–07, 2023]. Taganrog: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu izd-vo "Lukomor'e", 2023, pp. 404-412.
21. *Alzaghir A.* Flying fog mobile edge computing based on UAV-assisted for iot nodes in smart agriculture, *Proceedings of Telecommunication Universities*, 2022, Vol. 8, No. 4, pp. 82-88. DOI: 10.31854/1813-324x-2022-8-4-82-88.
22. *Nagoev Z.V.* Intellektika, ili Myshlenie v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh [Intelligence, or Thinking in living and artificial systems]. Nal'chik: Izd-vo KBNTS RAN, 2013.

Статью рекомендовала к опубликованию к.ф.-м.н. Д.А. Крымшюкалова.

Нагоев Залимхан Вячеславович – Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»; e-mail: zaliman@mail.ru; тел.: +78662426562; г. Нальчик, Россия; к.т.н.; генеральный директор.

Бжихатлов Кантемир Чамалович – e-mail: haosit13@mail.ru; тел.: +79631663448; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Загазежева Оксана Зауровна – e-mail: oksmil.82@mail.ru; тел.: +79289136674; к.э.н.; зав. «Инжиниринговым центром КБНЦ РАН».

Nagoev Zalikhan Vyacheslavovich – Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”; e-mail: zaliman@mail.ru; phone: +78662426562; Nalchik, Russia; cand. of eng. sc.; general director.

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich – e-mail: haosit13@mail.ru; phone: +79631663448; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

Zagazezheva Oksana Zauravna – e-mail: oksmil.82@mail.ru; phone: +79289136674; cand. of ec. sc.; head of the "Engineering center of the KBSC RAS".