

# **Математическое моделирование экономического эффекта применения технологий точного земледелия (на макроуровне)**

**Меденников Виктор Иванович,**

*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, ФИЦ ИУ РАН,  
119333, Москва, Вавилова, д.44, кор.2,*

**Бутрова Елена Викторовна,**

*Российский университет дружбы народов,  
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6*

**Харламов Максим Михайлович,**

*ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов  
им. Ю.А. Гагарина»,*

*141160, Московская область, Звездный городок*

**Скляр Алексей Евгеньевич,**

*АО «Российские космические системы»,  
111024, г. Москва, ул. Авиамотормая, д. 53*

*В статье рассматриваются тенденции цифровой трансформации сельского хозяйства в сторону прецизионного производства продукции отрасли, воплощенного в технологиях точного земледелия на основе данных дистанционного зондирования Земли. Показано, что данные технологии в настоящее время эволюционируют от цифровизации отдельных операций к цифровизации взаимосвязанного комплекса их на основе интеграции всех операций, включая операции смежных отраслей. Дан анализ проблем эффективного внедрения цифровых технологий в России, а также пути их разрешения на базе комплексных, интеграционных технологий. Представлена авторская математическая модель экономического эффекта применения технологий точного земледелия на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ставших одним из основным драйвером бурного развития сельского хозяйства во всем мире. Обсуждены возможные варианты использования данной модели с целью научно-обоснованного подхода к развитию указанных технологий в стране.*

**Ключевые слова:** *дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), модель, прогноз, сельское хозяйство.*

**JEL коды:** *O12, O13.*

# **Mathematical modeling of the economic effect of the application of precision farming technologies (at the macro level)**

***Medennikov Victor Ivanovich,***

*Computing Center of A.A. Dorodnitsyna,  
Federal research center "Informatics and Management" RAS  
119333, Moscow, St.Vavilova, 44, building 2*

***Butrova Elena Viktorovna,***

*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6*

***Kharlamov Maxim Mikhailovich,***

*Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center  
141160, Moscow Region, Zvezdnyj gorodok*

***Sklyarov Alexey Evgenievich,***

*JSC "Russian Space Systems",  
111024, Moscow, St. Aviamotornaya, 53*

*The article discusses the trends in the digital transformation of agriculture towards the precision production of industry products, embodied in precision farming technologies based on the Earth's remote sensing data. It is shown that these technologies are currently evolving from the digitalization of separate operations to the digitalization of an interconnected complex of them based on the integration of all operations, including operations of related industries. The analysis of the problems of the effective implementation of digital technologies in Russia, as well as the ways to solve them based on integrated integration technologies is given. The authors present a mathematical model of the economic effect of the application of precision farming technologies based on the Earth's remote sensing data, which has become one of the main drivers of the rapid development of agriculture around the world. Possible options for the usage of this model with the aim of a science-based approach to the development of these technologies in the country are discussed.*

***Keywords:*** *the Earth's remote sensing, model, forecast, agriculture.*

***JEL codes:*** *O12, O13.*

## Введение

С самого начала зарождения технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) они стали применяться в сельском хозяйстве в силу его пространственного характера. На первых этапах информация ДЗЗ использовалась лишь в виде снимков. Например, при формировании ВНИИ Кибернетики АПК в 1985 г. ему досталось подразделение дистанционного зондирования Земли на базе трех самолетов ТУ-134 с новейшим французским оборудованием. Анализ его деятельности показал, что подача аэрофотоснимков полей руководству регионов, районов, хозяйств не вызывала особого интереса, поскольку требовала дешифровки, пояснений снимков высококлассными специалистами. Связано это было с тем, что руководству нужны были варианты принимаемых решений, ретроспектива, динамика, прогноз, а для этого данные съемок нужно было накапливать в некоторой базе данных (БД) с динамическим рядом наблюдений. Лишь с появлением таких БД в виде геоинформационных систем (ГИС), а также современной съемочной аппаратуры и платформ-носителей ее началось широкое применение технологий ДЗЗ в сельском хозяйстве. Самое значительное применение данных технологий получило в точном земледелии (ТЧЗ), переживающем сейчас настоящий бум.

Например, в 2018г. в Великобритании на площади размером в один га впервые в мире выращена озимая пшеница без непосредственного участия людей на поле, причем со значительной урожайностью в 70 ц/га. Все технологические операции от обработки почвы до обмолота зерна были совершены роботизированными сельскохозяйственными машинами и агрегатами с использованием технологий ДЗЗ и ТЧЗ [1].

Анализ данного опыта, а также множества других экспериментов применения ТЧЗ в мире показывает, что данные ДЗЗ позволяют решить множество различных задач по выращиванию растений, но их применение требует привлечения значительного объема дополнительной информации, как накопленной в течение длительного времени, так и оперативной с соответствующей интеграцией ее с датчиками, оборудованием и

исполнительными механизмами, устанавливаемыми на сельскохозяйственную технику.

Таким образом, суть ТЧЗ заключается в интеграции новых агротехнологий и высокоточного позиционирования на основе технологий ДЗЗ, а также дифференцированных высокоэффективных и экологически безопасных агротехнических мероприятий на полях на основе подробной информации химико-физических характеристик каждого участка. В результате такой интеграции за счет создания оптимальных условий роста и развития культур в пределах границ экологической безопасности цифровые ТЧЗ дают возможность получать максимально возможное количество продукции, отвечающей ряду необходимых требований по качеству, цене и безопасности.

Отсюда видно, что в этом случае цифровая трансформация сельского хозяйства требует объединения огромного количества разнородной, многоаспектной, многоотраслевой информации с соответствующими технологиями ее обработки. Как следствие, технологии ТЧЗ постепенно эволюционировали от цифровизации отдельных операций до комплекса операций, причем, не только в растениеводстве, но и с интеграцией операций в смежных отраслях. Значительное снижение стоимости цифровых технологий продвинуло их до такого уровня, что появилась возможность получать информацию о каждой операции с любым агропромышленным объектом и связанным с ним окружением с точным анализом последствий всех действий. Учет и мониторинг максимально возможного количества сельскохозяйственных процессов становится основной целью в разработке стратегией цифровизации крупнейших агропромышленных и машиностроительных фирм в мире.

Преобразование сельского хозяйства в индустриальное производство за счет цифровизации его остро поставило вопрос о разработке методов прогноза экономического эффекта инвестиций в такой новый актив, как технологии ДЗЗ, о формировании необходимых условий эффективности применения этих технологий на основе научного анализа степени готовности России к внедрению ТЧЗ и ДЗЗ. С учетом этого в работе рассматриваются поднятые выше проблемы

на основе математического моделирования.

## **Состояние и тенденции развития технологий точного земледелия в России**

Большой интерес к точному земледелию (ТЧЗ) в развитых странах продиктован все более усложняющимися и дорогими традиционными технологиями повышения эффективности и качества продукции сельского хозяйства подобно возрастанию уровня сложности майнинга каждого нового биткоина. В [2] предсказывается снижение до 20% на гектар таких ресурсов, как топливо, семена, удобрения. В России же потолок традиционных факторов повышения экономических показателей еще не скоро будет достигнут. Поэтому цифровизация отрасли должна рассматриваться как один из ряда других факторов: выведение более продуктивных сортов растений, изобретение более энергоэффективной сельскохозяйственной техники, создание оптимальной агротехнологической системы ведения сельского хозяйства, появление эффективных средств защиты и питания растений. В силу этого, а также высокой стоимости цифровых технологий, сложности в освоении высокотехнологических средств цифровых технологий, отсутствия квалифицированных в стране незначителен, так называемый «социальный заказ» на цифровизацию отрасли, в том числе, и на технологии ТЧЗ. Комплексное использование ТЧЗ могут начать лишь немногие отечественные хозяйства.

А для комплексного использования технологий ТЧЗ необходимо выполнение основного требования цифровой экономики – интеграции как информационных систем, так и информации, используемой для цифровой трансформации сельского хозяйства.

По мнению экспертов компании J'son & Partners Consulting [3], в сельском хозяйстве складываются две специализированные платформы: платформы-агрегаторы сельскохозяйственной информации или платформы для первичного сбора и накопления данных (информационные ресурсы в нашей трактовке) и прикладные платформы (приложения в нашей трактовке). Между этими двумя

видами платформ реализован интенсивный двусторонний обмен данными. Анализ данных ведется в платформах обеих видов, а функции автоматизации производственных и бизнес-процессов аграрных предприятий с использованием этих данных реализуется только в прикладных платформах и сервисах. Утверждается, что такое взаимодействие невозможно без использования соответствующих облачных платформ и сервисов, именно облачных, поскольку только облачная модель делает их доступными для хозяйств всех размеров, а не только для отдельных наиболее крупных хозяйств. Появление этих сервисов, доступных в том числе для малых хозяйств, создает необходимые предпосылки для кардинального повышения эффективности и снижения рисков в отрасли, причем для всех участников цепочки создания добавленной стоимости, включая поставщиков ресурсов, потребителей продукции и логистических организаций. Предполагается, что основным сегментом рассматриваемой цепочки выступают облачные транзакционно-аналитические платформы и приложения для растениеводства и универсальные платформы и приложения, формирующие 86% общего объема потребления. Массовое внедрение такого облачного подхода в аграрном бизнесе только начинается. Даже в США, наиболее продвинутом региональном рынке, облачные платформы и сервисы стали широко применяться лишь последние 2-3 года, поэтому пока сложно оценить экономический эффект от цифровой трансформации сельского хозяйства при переходе к данным технологиям.

Осознание необходимости комплексного, системного подхода к проблеме цифровизации страны требует огромных изменений в технологиях как проектирования информационных систем (ИС), составляющих суть ЦЭ, так и в технологиях процессов управления общественным развитием. Системный подход требует также утверждения единого главного конструктора (архитектора) цифровизации АПК с соответствующим научным и технологическим сопровождением, подобно Королеву С.П. в космической отрасли.

Поэтому одной из причин, могущих помешать успешной реализации

Программы цифровой экономики, является недостаточный уровень интеграции информационных систем различных отраслей. Негативную роль в этом сыграл и провал национального сетевого проекта, основанного на типизации и интеграции ИС, предложенного А.И. Китовым и академиком В.М. Глушковым по созданию Общегосударственной автоматизированной системы (ОГАС) в 70-е годы XX века [4].

Сегодня в стране доминирует «позадачный» метод разработки и внедрения программного обеспечения, когда у различных производителей приобретаются отдельные, так называемые «готовые» программные комплексы, не связанные ни функционально, ни информационно. Если до настоящего момента еще можно было мириться с «позадачным» (еще называют лоскутной, островной информатизацией) методом разработки и внедрения информационных систем в силу незначительного уровня информатизации предприятий, то неконтролируемое развитие ИКТ, Интернет-технологий сулит огромные издержки. Переход к цифровой экономике требует осознания грядущих огромных изменений в технологиях как проектирования информационных систем, составляющих суть ЦЭ, так и в технологиях процессов управления общественным развитием. Технологии проектирования информационно-управляющих систем (ИУС) на идеях А.И. Китова и В.М. Глушкова об ОГАС предполагают разработку единой системы сбора и анализа статистической и учетной отчетности, разработку унифицированных производственных типовых ИУС, информационно-вычислительных систем в науке и образовании.

Следуя позадачному подходу (еще называют островной, лоскутной информатизацией) и оценивая с округлением количество задач, решаемых в растениеводстве, в размере 150, различных технологических операций – около 20, регионов – 80, культур - 20, получим 4800000 информационных систем. Это еще не учитывая различные технологии, применяемые при этом.

Лишь в последние два года руководители ИТ подразделений агропромышленных предприятий начали бить в колокола по поводу слабой унификации и регламентации учетной политики, лоскутной автоматизации

бизнеса, внедрения гетерогенных программных средств, БД, общесистемного ПО, отсутствия единой нормативно-справочной информации. Например, этой проблеме уделялось значительное внимание на прошедшей недавно конференции «ИТАПК-2019: теория и практика цифровизации аграриев».

Однако в большинстве отраслей продолжается эпоха позадачного проектирования информационных систем под вывеской цифровой трансформации, в силу сиюминутной выгоды такого подхода.

Например, Минсельхозом в конце 2019г. разработана концепция национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство», в которой приводится перечень подплатформ, состав которых и определяет саму платформу: подплатформа сбора статистических данных агропромышленного комплекса, подплатформа обеспечения информационной поддержки и предоставления услуг, подплатформа цифрового землепользования и землеустройства, подплатформа хранения и распространения информационных материалов, подплатформа прослеживаемости продукции АПК, подплатформа агрометеопрогнозирования, сервис многофакторного оперативного мониторинга, диагностики и упреждающего моделирования развития болезней сельскохозяйственных культур. Однако, в концепции ни слова не говорится о трансформации технологий процессов управления сельским хозяйством. Не затрагиваются и проблемы формирования единой образовательной среды АПК, которая должна выполнять триединую роль: поддержка научных исследований, повышение уровня образования (порой переподготовкой) для всех слоев населения, эффективная система трансфера научно-образовательных знаний в экономику за счет неограниченного доступа к данным знаниям не только традиционным пользователям в лице научных работников, студентов и преподавателей, но и будущим абитуриентам и работодателям, госорганам, товаропроизводителям, бизнесу, менеджменту, другим категориям населения. Такое пространство должно убрать противоречия между объемами накапливаемой информации, знаний и их эффективным использованием, а также инструментом повышения качества человеческого капитал (ЧК), его оценки,

влияния на социально-экономическое положение в отрасли [5].

Кроме того, подход к цифровой платформе (ЦП) сельского хозяйства, как сумме указанных подплатформ, исключает интеграцию их на действительно интегрированной единой ЦП АПК [5, 6].

Другой пример. В нашей стране вслед за западом стремительно появляется много компаний, предлагающих различные решения в области точного земледелия (ТЧЗ) на базе ГИС технологий. Поскольку данные технологии внедряются фрагментарно в силу изложенных выше причин, то и ГИС носят гетерогенный характер, выхватывая отдельные стороны внедряемых технологий. При этом логические структуры БД являются гетерогенными неполными подмножествами идеальной единой концептуальной информационной схемы растениеводства, представленной в [7], что представляет угрозу будущей интеграции сельскохозяйственных информационных ресурсов в перспективную цифровую платформу применения геоинформационных систем в АПК.

В России технологии ДЗЗ только начинают формироваться и использоваться, при этом российский сегмент ДЗЗ незначителен, поэтому наземные системы приема, обработки, хранения и передачи данных от этих источников также недостаточно развиты и состоят из разнородных ведомственных, несвязанных между собой центров, с устаревшим программно-техническим оснащением, неспособным принимать и обрабатывать большие объемы информации от источников ДЗЗ [8]. Там же показано, что существующие методы и формы получения данных ДЗЗ для отечественных заказчиков отличаются невысокой оперативностью исполнения заказов на данные ДЗЗ, отсутствием нужной полноты, достоверности и надежности их исполнения, а также слабую тематическую обработку. Нет доступа и к архивным данным ДЗЗ в силу их размытости по ведомствам и отсутствия их интеграции. Все это в совокупности существенно снижает эффективность использования имеющейся информации ДЗЗ, снижает потребность российских и зарубежных заказчиков в ее массиве. Выход заключается в комплексном подходе к разрешению проблемы

интеграции данных ДЗЗ, в координации работы всех созданных различными центрами по интеграции исходной и выходной информации на единой цифровой платформе (ЦП), в их согласованном использовании при передаче потенциальным пользователям с учетом онтологических моделей их баз данных.

**Постановка задачи математического моделирования прогноза  
экономического эффекта применения данных ДЗЗ  
в технологиях точного земледелия**

На заре компьютеризации для оценки эффективности ИКТ использовался аппарат производственной функций Кобба-Дугласа, в которую компьютерный капитал и труд в этом секторе включены как отдельные факторы [9, 10]. Производственная функция выглядит следующим образом.

$$Y = (e^{(\alpha^0 \times t)}; C^{\alpha^1}; K^{\alpha^2}; S^{\alpha^3}; L^{\alpha^4}), \quad (1)$$

в которой  $Y$  – выпуск продукции,  $C$  – компьютерный капитал,  $K$  – остальной капитал,  $S$  – трудовой капитал в ИКТ,  $L$  – остальной трудовой капитал,  $\alpha^i$  – параметры модели,  $i = (0 \dots 4)$ .

В середине прошлого столетия применение производственной функции Кобба-Дугласа было оправдано в силу выполнения основных достаточно жестких требований математической статистики: информация должна отражать собой результаты, либо единовременного обследования достаточно множества однородных объектов, либо результаты обследования за одним и тем же объектом в течение больших периодов времени; при этом объекты (объект) должны пребывать в достаточно одинаковых условиях во времена обследований.

Например, в начале перестройки еще украинским НИИ сельского хозяйства и институтом кибернетики АПК была разработана компьютерная система в интересах равнонапряженного формирования госзаданий предприятиям на основе производственной функции Кобба – Дугласа. Производственный потенциал (ПП) хозяйств и эффективность его использования оценивался по шести факторам:

$$ПП = \alpha G^{\alpha^1} Z^{\alpha^2} B^{\alpha^3} L^{\alpha^4} F^{\alpha^5} K^{\alpha^6}, \quad (2)$$

где  $\alpha^i$  - параметры модели,  $i = (1 \dots 6)$ ;

$G$  – величина воды для полива;  $Z$  – бонитет пашни;  $B$  – объем вносимых удобрений;  $L$  – численность работников;  $F$  – стоимость основных фондов;

$K$  – объем кормовой базы. Для каждого типа хозяйств, определяемого по основной выращиваемой культуре (томаты, сахарная свекла и т.д.), определялись параметры модели на основе статистических данных за 15 лет произведенной продукции и осуществленных затратах в 30-ти хозяйствах, одинаковых по размерам, структуре производства и находящихся в одних природно-климатических условиях.

В настоящее время в силу значительной динамики всего технологического уклада общества обеспечить эти условия почти невозможно. Тем более, что цифровых технологий очень много, отличающихся оборудованием, программным обеспечением, квалификацией кадров и т.д. Главное препятствие в использовании методов, основанных на экономико-статистических зависимостях, заключается в соблюдении условия однородности рассматриваемой совокупности объектов, которое очень трудно обеспечить. В этой ситуации статистические методы обычно дополняют или заменяют, что чаще происходит, корректировочными расчетами на основе экспертных оценок и качественного анализа.

Поэтому при обилии прогнозов эффективности использования цифровых технологий находишь довольно отличающиеся друг от друга результаты без математического подтверждения их.

Так, по прогнозам Gartner, общий экономический эффект от внедрения интернета вещей во всех отраслях экономики в глобальном масштабе составит к 2020 году \$1,9 трлн. На долю сельского хозяйства приходится 4%, т. е. примерно \$76 млрд. [9]. Рынок умного фермерского хозяйства Roland Berger оценивает в 4,5 млрд евро к 2020 году, при этом доля США составляет более 40% от глобального рынка. По оценке GoldmanSachs, совокупный рост производительности растениеводства за счет внедрения решений точного земледелия может вырасти на 70% и принести \$800 млрд дополнительной

продукции к 2050 году. Рынок решений точного земледелия производителям и разработчикам принесет \$240 млрд в 2050 году. Это решения по точной посадке, точной ирригации, точному удобрению, опрыскиванию, мониторингу поля, анализу данных малой сельскохозяйственной техники, включая автономную. В [11] предсказывается снижение до 20% на гектар таких ресурсов, как топливо, семена, удобрения.

Вслед за такими многообещающими прогнозами J'son & Partners Consulting, Центр компетенций по цифровой трансформации сельского хозяйства ФГБУ «АЦ Минсельхоза России» без учета проанализированных выше проблем цифровой трансформации отрасли еще более многообещающе планирует к 2024 году: увеличение производительности труда на сельхозпредприятиях в 2 раза в расчете на 1 работника; сокращение удельных затрат предприятий на администрирование бизнеса в 1,5 раза; снижение доли материальных затрат в себестоимости единицы сельхозпродукции (ГСМ, удобрения, электроэнергия, посадочный материал, корма и др.) на 20 % и более. Опять же, ссылаясь на прогнозы экспертов (J'son & Partners Consulting), IoT-решения и цифровизация в сельском хозяйстве принесут суммарный экономический эффект в размере 4,8 трлн руб. в год или 5,6 % прироста ВВП России. [12].

Остается только дождаться 2024 г., чтобы убедиться в неверности прогноза на основе западных обещаний. Такие величины прогнозов эффективности использования цифровых технологий, не подкрепленные математическими моделями, объясняются просто – желанием получить некоторые преференции, инвестиции для отечественных прогнозистов, захватить рынок сбыта – западными компаниями, чему способствует обещание принципиальной возможности получения существенного экономического эффекта от цифровизации сельского хозяйства, кратно превышающего инвестиции на ресурсы его достижения.

Поскольку мы предложили для прогноза экономического эффекта применения данных ДЗЗ использовать математическое моделирование,

рассмотрим необходимые исходные требования для такой постановки.

Исходя из определения точного земледелия как системы, состоящей из тесно увязанных подсистем в виде новых технологий производства продукции растениеводства, программно-аппаратных средств высокоточного позиционирования проведения технологических работ и соответствующего этим требованиям комплекса технических и агрохимических средств, можно сделать вывод, что внедрение ТЗ должно опираться на системный подход. Об ошибках бессистемного внедрения пишется в [13]. Например, указывается, что процесс переделки имеющейся техники под дифференцированное внесение удобрений довольно сложен и дорог. Более эффективный выход видится в приобретении новой техники. Успех этого этапа перехода к ТЗ определяется грамотным учетом множества факторов, как технологических, временных, этических, так и человеческих. И таких примеров в литературе накопилось много.

Исходя из анализа следующих источников [14, 15, 16], можно утверждать, что для каждого конкретного хозяйства наибольшая эффективность применения ТЧЗ достигается при формировании комплекса технологий ЧТЗ, включающего технические, программные средства, интегрированные между собой, и оформленные в виде технологий ЧТЗ.

Приборы и датчики для точного земледелия:

- системы параллельного вождения;
- пробоотборники и почвенный анализ;
- системы дифференцированного внесения;
- датчики урожая.

Мониторинг сельскохозяйственных угодий:

- мониторинг границ рабочих участков полей;
- агрохимический мониторинг полей;
- картирование урожайности;
- анализ условий местности.

Мониторинг техники:

- автоматизированный сбор данных на основе космической навигации;

- визуализация перемещений техники;
- оперативный учет сельскохозяйственных работ.

Средства передачи информации в структурные подразделения хозяйства:

- учет сельскохозяйственной продукции;
- финансовый анализ;
- задачи управления;
- задачи планирования.

Исходя из основного требования цифровой экономики – интеграции как информационных систем, так и информации, рассмотренных выше, – должна быть разработана единая онтологическая информационная модель растениеводства для всех сельскохозяйственных предприятий России. В России концептуальные вопросы такого подхода были проработаны в результате расчетов на основе модели синтеза оптимальных ИС [17] еще в рамках задания «Электронизация сельского хозяйства» Комплексной программы НТП стран-членов СЭВ с последующим научным обоснованием в работе [7]. Так, была разработана экономико-математическая модель формирования цифровых платформ для управления экономикой страны, которая позволяет рассчитывать оптимальные ЦП и в АПК [18]. Модель позволила выделить ряд цифровых подплатформ, одна из них представляет облачный сервис сбора и хранения пооперационной первичной учетной информации всех предприятий в единой БД (ЕБДПУ) в следующем виде: вид и объект операции, место осуществления, субъект проведения, дата и интервал времени проведения, задействованные средства производства, объем и вид потребленного ресурса. Вторая – также облачный сервис единой БД технологического учета (ЕБДТУ) всех предприятий [7]. Например, сформирована на их основе единая онтологическая информационная модель растениеводства (стандарт на ИР) с выделением 240 функциональных управленческих задач с единым описанием алгоритмов также для большинства сельскохозяйственных организаций (стандарт на приложения).

В качестве примера приведем перечень некоторых задач, решение которых будет опираться на технологиях ДЗЗ.

## *Растениеводство в целом.*

### Учет:

- автоматизированное ведение книги истории полей;
- учет фактического размещения культур в севооборотах.

### Планирование:

- расчет оптимальной структуры производства отрасли растениеводства с учетом внесения соответствующих условий по объемам производства и ограничений по ресурсам;
- планирование обеспечения животноводства кормами;
- расчет оптимальной структуры площадей кормовых культур по видам их использования;
- расчет оптимальной структуры севооборотов;
- расчет оптимального размещения культур в севооборотах при изменяющихся внешних условиях;
- расчет оптимального размещения в пространстве перекрестноопыляющихся родительских и гибридных форм отдельных сельскохозяйственных культур с учетом выполнения условий по структуре производства и структуре севооборота;
- расчет потребностей и составление заявок на приобретение тары и других материальных средств для растениеводства;
- планирование обеспечения агроматериалами.

### Прогнозирование:

- прогнозирование развития отрасли растениеводства.

### Анализ:

- расчет бонитета почв;
- анализ использования природно-климатического и производственного потенциала в растениеводстве;
- анализ фактической структуры посевных площадей в севооборотах.

### *Почва.*

#### Учет:

- учет агрофизического состояния почв;
- учет агрохимического состояния поля, участка.

#### Отчетность:

- агрохимпаспорт поля;
- агрохимические картограммы.

#### Планирование:

- расчет баланса питательных веществ в почве.

#### Прогнозирование:

- прогнозирование содержания гумуса в почве.

#### Анализ:

- анализ рельефа с целью размещения культур и проведения агромероприятий.

### *Агротехнология.*

#### Общие вопросы технологии.

#### Учет:

- учет полевых технологических операций (сроков проведения, качества проведения и т.д.);
- учет неполевых технологических операций.

#### Планирование:

- разработка дифференцированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур;
- планирование работ по технологическим периодам:
- выбор оптимального сочетания технологических операций от окончания уборки предшественников до прогнозируемого срока начала посева озимых культур;
- выбор оптимального сочетания технологических операций от посева до прекращения вегетации озимых культур;

- выбор оптимального сочетания технологических операций в период возобновления вегетации;
- выбор оптимального сочетания технологических операций при возделывании полевых культур от начала полевых работ до прогнозируемого срока уборки;
- расчет оптимальных вариантов уборочных работ с учетом ограничений по ресурсам и минимизации потерь урожая;
- расчет технологических карт по культурам и сортам;
- планирование работ для многолетних насаждений:
- по подготовке плодово-ягодных насаждений к зимовке;
- по омолаживанию садов;
- планирование применения стимуляторов роста, ингибиторов и других препаратов.

#### Прогнозирование:

- прогноз сроков проведения технологических мероприятий:
- в частности, срока начала уборки урожая.

#### Оперативное управление:

- расчет сроков, норм, способа сева в зависимости от качества посевного материала, подготовки почвы, метеоусловий.

#### Анализ:

- анализ соблюдения сроков и качества выполнения технологических операций.

В этом случае системное применение технологий ТЗ позволит добиться ощутимой выгоды в виде: сокращения затрат топлива, семян, удобрений, воды и т.д.; роста урожайности культур; повышения качества продукции; повышения плодородия почвы; снижения экологических рисков.

Как известно, для производства определенного качества и количества сельскохозяйственной продукции необходимо соблюдение строгих пропорций между ресурсами, обусловленных технологическими требованиями и спецификой производимой продукции. Изменение качества и количества одного

вида ресурса влечет за собой изменение структурных характеристик других ресурсов, что в итоге отражается на качестве и количестве производимой продукции [19]. В результате, факторы производства образуют целостную систему сельскохозяйственного производства. В формализованном виде данные требования нашли подтверждение в так называемой теории комплементарности [20]. Результаты показали, что вложения в ИКТ более эффективны, когда высок уровень двух других комплементарных активов – организационного и человеческого капиталов. То есть инвестирование в ИКТ связано со значительными вложениями на изменение как организационного, так и человеческого капиталов.

Данная теория показала, что у комплементарных активов есть определенная степень свободы, разная по величине, некоторые из них оказываются более изменчивы, чем иные. В этом случае более изменчивый актив играет роль драйвера изменений. При этом его изменение по цепочке функциональных комплементарных связей приводит к изменению остальных активов. Исходя из этого, история эволюции предприятий состоит из трех периодов:

1. первый период. До появления промышленного производства эффективность предприятий и конкурентность бизнеса определялись, в основном, личными способностями работников. Именно тогда человеческий капитал диктовал динамику развития предприятий. Это означает, что в те времена человеческий капитал являлся наиболее изменчивым комплементарным активом;

2. второй период. С появлением промышленного производства (конец XVIII века) постепенно подвижность человеческого комплементарного актива сменяется на организационный капитал, поскольку промышленное производство вызвало появление новых форм организации управления им;

3. третий период. Наиболее изменчивы активы компьютерного капитала. Массовое внедрение ИКТ в конце XX века в сферу автоматизации некоторых управленческих функций предприятий дало толчок для роста компьютерного

капитала, ставшего наиболее изменчивым активом.

Для подтверждения данных выводов в этом направлении Тимоти Бреснааном и Шейном Гринстейном были проведены серьезные исследования в рамках теории комплементарности, основоположниками которой были Милгор и Робертс [9]. Их работа подтвердила комплексный характер внедрения ИКТ, так был сделан вывод, что инвестиции в ИКТ более эффективны, когда существует соответствующий, причем, значительный уровень инвестиций в еще другие комплементарные активы – человеческий и организационный капиталы. Таким образом, инвестиции во все три капитала взаимоувязаны и взаимосвязаны в определенных пропорциях и с определенной степенью изменчивости. Некоторые активы, изменяясь с большей скоростью, чем иные, играют роль локомотива преобразований: его скорость в соответствии с цепочкой взаимосвязей вызывает определенные изменения других комплементарных активов. Тогда, в любой организации существуют более изменчивые активы, на которые оказывают сдерживающий эффект другие активы, не соответствующие его скорости изменений.

Последующие исследования, выполненные Эриком Бриньолфсоном, Лорином Хиттом и Шинкью Янгом [10] в этом направлении подтвердили наличие комплементарных взаимосвязей между этими группами капиталов. Они выяснили условия соотношения ИКТ и организационного капитала для формирования большей стоимости, нежели независимая изменчивость их. Инвестиции в компьютерный капитал значительно влияют на стоимость предприятий. Так, доллар, вложенный в ИКТ, ведет к увеличению рыночной стоимости предприятий примерно в 12 раз в отличие от прочих материальных активов, ведущих к увеличению их стоимости немногим более одного 1 доллара. Отсюда следует, что необходимым условием цифровой трансформации предприятия является переход на усовершенствованное управление, на укрепление качественных характеристик кадрового состава. Лишь после этого нужно переходить к цифровизации управления и производства. Замечено также, что при улучшении кадрового потенциала на предприятии без использования

ИКТ наблюдается рост его прибыли на 9%, при одновременном же внедрении ИКТ – на 26%. Внедрение же ИКТ без улучшения кадрового состава приводит, наоборот, к снижению прибыли на 11%. Без цифровой трансформации кадрового потенциала снижение прибыли предприятия достигает 24% по сравнению с передовыми оцифрованными предприятиями. Знание и практическое использование этих соотношений чрезвычайно важны для АПК в силу существенного разрыва между указанными направлениями.

Наконец, приведем еще одно исходное требование для разработки математической модели прогноза экономического эффекта применения данных ДЗЗ.

Иногда стоимость только одного датчика превышает стоимость российского трактора [21]. В силу бедности большинства хозяйств России преимуществами технологий ДЗЗ и ТЧЗ может воспользоваться незначительное их количество. На основе математического моделирования [22] показано, что лишь около 17% организаций могут осуществить начальный этап цифровизации без государственной поддержки. Поэтому необходимо в модели учесть размеры хозяйств.

Однако многие современные мировые достижения «умного» сельского хозяйства в силу дороговизны доступны сейчас лишь крупным компаниям – государственным унитарным сельскохозяйственным предприятиям и частным агрохолдингам. Большинство же личных подсобных и фермерских хозяйств (99 % по количеству в совокупности, почти 30 % по объему производства в денежном выражении и 50–90 % по отдельным видам продукции сельского хозяйства в натуральном выражении) новые цифровые технологии практически не используют [3]. Преобладание малых хозяйств в структуре производства сельхозпродукции в России в сочетании с недоступностью для таких предприятий современных агротехнологий, средств механизации и автоматизации труда, удобрений и химикатов, является основной причиной низкой производительности труда в аграрном секторе страны, которая, в свою очередь, определяет низкий уровень оплаты труда и высокую себестоимость

продукции. Поэтому сейчас в системе мер по внедрению цифровых технологий в экономике села необходимо уделить большее внимание цифровизации малых форм хозяйствования и системы кооперации (производственной и потребительской). Объединение в кооперативы улучшает финансовые возможности хозяйств, позволяет конкурировать с крупными компаниями в росте производительности труда, снижении себестоимости продукции, в том числе за счет внедрения новейших цифровых и агротехнологий. В рамках кооперации могут появляться реальные перспективы использования инновационных достижений в разработке сенсоров и самоуправляемой (беспилотной) техники, платформ и приложений, которые выводят способы выращивания растений и животных на новый уровень.

Основой экономики села, несмотря на современную многоукладность АПК, являются сейчас не крупные сельскохозяйственные предприятия и даже не фермеры, а личные подсобные хозяйства населения (далее – ЛПХ). Они, по данным Минсельхоза РФ, производят в среднем около 30–35 % валовой продукции АПК, а по некоторым видам сельхозпродукции (картофель, овощи, плоды и ягоды) их удельный вес достигает 65–70 %.

### **Математическая модель прогноза экономического эффекта применения данных ДЗЗ в технологиях точного земледелия**

Соображения, приведенные выше, представим в виде ряда постулатов.

Считаем, что внедрением ЧТЗ будут заниматься лишь прибыльные предприятия.

Все хозяйства разбиваются на группы, определяемые в соответствии со специализацией хозяйственной деятельности, например, на основе ОКВЭД.

Все прибыльные хозяйства, в зависимости от общего объема оборота продукции, разбиваются на классы доходности с шагом 5 млн рублей для более детального анализа уровня цифровой трансформации хозяйств на основе исследований известной западной консалтинговой компании Gartner, которая выделяет три группы компаний по затратам на информационные технологии

(ИТ), выраженным в процентах от оборота компаний [23]. В соответствии с данной методикой, будем считать, что затраты российских сельскохозяйственных предприятий на ИТ составляют около 0,5% от оборота.

Считаем, что задачи, подлежащие автоматизации, ранжированы по степени важности, с точки зрения очередности их приобретения, для каждой группы хозяйств. Данное предположение основано на результатах мониторинга процесса информатизации трехсот лучших предприятий АПК и анализа рынка программных средств России.

Считаем, что затраты предприятий на цифровую трансформацию сосредотачиваются на внедрении ТЧЗ, то есть не будем учитывать затраты на остальные отрасли. Это необходимо, чтобы не потерять общности цели исследований в силу усложнения модели при разбивке ППП по отраслям.

Введем обозначения.

$i$  – номер задачи, реализующей функцию управления ТЧЗ в виде пакета прикладных программ (ППП),  $i \in I_l$ ,  $I = \sum I_l$ ;

$l$  – индекс, отражающий технологию ТЧЗ;

$j$  – индекс, отражающий специализацию группы хозяйств, например по ОКВЭД;

$I_j$  – ранжированные задачи, необходимые хозяйствам из группы  $j$ ,  
 $i \in I = \bigcup_{j \in J} I_j$ ;

$k$  – индекс, отражающий класс доходности хозяйства;

$n_{jk}$  – количество хозяйств из группы  $j$  в классе доходности  $k$ ;

$a_{ijml}$  – инвестиции в оборудование, обучение персонала, реорганизацию системы управления на один га угодий, необходимых для решения  $i$ -й задачи  $m$ -го предприятия  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ,  $m \in N_{jk}$ ;

$q_{ijl}$  – годовая стоимость сопровождения оборудования на один га угодий, необходимых для решения  $i$ -й задачи  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$t$  – номер текущего года;

$S_m$  – площадь угодий  $m$ -го предприятия;

$p_{ijl}$  – стоимость ПО, необходимого для решения  $i$ -й задачи  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$b_{ijl}$  – стоимость внедрения ПО, необходимого для решения  $i$ -й задачи  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$r_{ijl}$  – годовая стоимость сопровождения ПО, необходимого для решения  $i$ -й задачи  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$f_{jl}$  – годовая стоимость снимков (на га), необходимых для  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$h_{jl}$  – годовая стоимость дешифровки снимков (на га), необходимых для  $j$ -й группы  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$d_{jk}^t$  – количество средств, выделенных на внедрение технологий ТЧЗ в группе  $j$  класса доходности  $k$  в  $t$ -м году;

$d_{jkl}^t$  – количество средств, выделенных на внедрение технологий ТЧЗ в группе  $j$  класса доходности  $k$  в  $t$ -м году  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$I_{jk}^t$  – количество ППП, внедренных в группе  $j$  классе доходности  $k$  к  $t$ -му году, включая  $t$ -й год;

$I_{jkl}^t$  – количество ППП, внедренных в группе  $j$  классе доходности  $k$  к  $t$ -му году, включая  $t$ -й год  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$MO_{jk}^t$  – объем инвестиций в оборудование, обучение персонала, реорганизацию системы управления в группу  $j$  класса доходности  $k$  к  $t$ -му году, включая  $t$ -й год;

$MO_{jkl}^t$  – объем инвестиций в оборудование, обучение персонала, реорганизацию системы управления в группу  $j$  класса доходности  $k$  к  $t$ -му году, включая  $t$ -й год  $l$ -й технологии ТЧЗ;

$Z_{jk}^t$  – затраты предприятий на цифровую трансформацию в  $t$ -м году группы  $j$  класса доходности  $k$ .

Введем величину  $g_{jl}^t = 1$ , если  $\sum_{i=I_{jk}^{t-1}}^{I_{jk}^t} p_{ijl} > 0$ , 0 – иначе;

Тогда затраты на приобретение ППП, оборудования, снимков ДЗЗ, сопровождение и внедрение их, а также обучение персонала, реорганизацию системы управления в  $t$ -м году в группе  $j$  класса доходности  $k$  к  $t$ -му году  $l$ -й технологии ТЧЗ выглядит следующим образом:

$$\Delta d_{jkl}^t = n_{jk} \sum_{i=I_{jk}^{t-1}}^{I_{jk}^t} p_{ijl} + n_{jk} \sum_{i=I_{jk}^{t-1}}^{I_{jk}^t} (b_{ijl} + r_{ijl}) + \sum_{m=1}^{n_{jk}} \sum_{i=I_{jk}^{t-1}}^{I_{jk}^t} a_{ijml} S_m + n_{jk} \sum_{m=1}^{n_{jk}} \sum_{i=I_{jk}^{t-1}}^{I_{jk}^t} q_{ijl} S_m + \sum_{m=1}^{n_{jk}} g_{jl}^t (f_{jl} + h_{jl}) S_m \quad (3)$$

Затраты же на сопровождение ППП, оборудования, приобретение снимков ДЗЗ, функционирующих к началу  $t$ -го года запишутся в виде:

$$d_{jkl}^{t-1} = n_{jk} \sum_{i=1}^{I_{jk}^{t-1}} (b_{ijl} + r_{ijl}) + n_{jk} \sum_{m=1}^{n_{jk}} \sum_{i=I_{jk}^{t-1}}^{I_{jk}^{t-1}} q_{ijl} S_m + \sum_{m=1}^{n_{jk}} g_{jl}^{t-1} (f_{jl} + h_{jl}) S_m \quad (4)$$

Тогда с учетом оговорки, что затраты предприятий на цифровую трансформацию сосредотачиваются на внедрении ТЧЗ, выражение  $Z_{jk}^t$  определяется следующим образом

$$Z_{jk}^t = (d_{jkl}^{t-1} + \Delta d_{jkl}^t), \quad (5)$$

$$\text{Где } d_{jkl}^{t-1} = \sum_{l=1}^L d_{jkl}^{t-1}, \Delta d_{jkl}^t = \sum_{l=1}^L \Delta d_{jkl}^t.$$

Ограничения на финансовые средства выглядят:

$$d_{jkl}^{t-1} + \Delta d_{jkl}^t \leq D_{jk} \quad (6)$$

Критерий эффективности производимых затрат на цифровую трансформацию предприятий в  $t$ -м году группы  $j$  класса доходности  $k$  определим, как максимизацию расходованных отпущенных средств:  $\max_i Z_{jk}^t$  при выполнении определенных выше ограничений.

В результате решения оптимизационной задачи имитационным моделированием будут найдены величины:  $I_{jk}^t$ ,  $I_{jkl}^t$ ,  $MO_{jk}^t$ ,  $MO_{jkl}^t$ , а также затраты на снимки ДЗЗ в год  $t$ :

$$fh_{jl}^t = \sum_{m=1}^{n_{jk}} g_{jl}^t (f_{jl} + h_{jl}) S_m \quad (7)$$

Суммируя по времени осуществления цифровой трансформации за весь период  $(t_0, T)$ , получим интегральные величины

$$I_{jk}^T = \sum_t I_{jk}^t - \text{количество ППП, внедренных в } j - \text{й группе } k - \text{го класса}$$

доходности за рассматриваемый период,

$$I_{jkl}^T = \sum_t I_{jkl}^t - \text{количество ППП, внедренных в } j - \text{й группе } k - \text{го класса}$$

доходности  $l$ -й технологии ТЧЗ за рассматриваемый период,

$$MO_{jk}^T = \sum_t MO_{jk}^t - \text{объем инвестиций в оборудование, обучение персонала,}$$

реорганизацию системы управления в  $j$  – ю группу  $k$  – го класса доходности за рассматриваемый период,

$$MO_{jkl}^T = \sum_t MO_{jkl}^t - \text{объем инвестиций в оборудование, обучение персонала,}$$

реорганизацию системы управления в  $j$  – ю группу  $k$  – го класса доходности  $l$ -й технологии ТЧЗ за рассматриваемый период,

$$fh_{jk}^T = \sum_t fh_{jk}^t - \text{затраты на снимки ДЗЗ за рассматриваемый период.}$$

Исходя из найденных интегральных величин, можно получить аналитические выкладки по уровню цифровой трансформации отрасли в разрезах функций управления ТЧЗ:

$$W^r = \left( \sum_{j,k} I_{jk}^T / I \right) \times 100\% , \quad (8)$$

В разрезе отраслевой принадлежности:

$$W^j = \left( \sum_k I_{jk}^T / I_j \right) \times 100\% , \quad (9)$$

В разрезе классам доходности хозяйств:

$$W^k = \left( \sum_j I_{jk}^T / I \right) \times 100\% , \quad (10)$$

В разрезе технологий ТЧЗ:

$$W^l = \left( \sum_{j,k} I_{jkl}^T / I_l \right) \times 100\% , \quad (11)$$

Например, нас в дальнейшем интересует уровень цифровой трансформации отрасли в разрезе информатизации функций управления ТЧЗ:

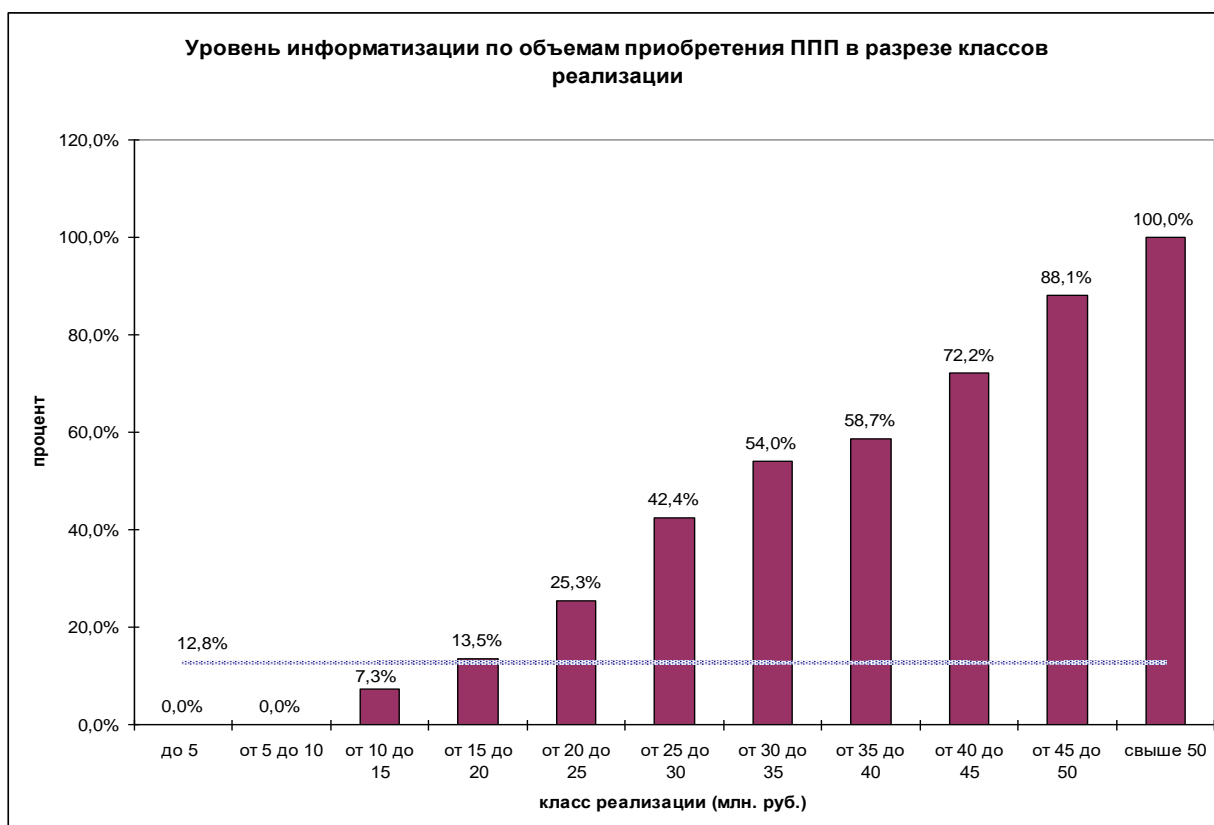
$$W^r = (\sum_{j,k} I_{jk}^T / I) \times 100\% . \quad (12)$$

Если теперь в качестве эталона взять передовое хозяйство в мире со 100% уровнем цифровой трансформации и с показателем эффективности  $W^e$  применения технологий ТЧЗ на базе ДЗЗ, то величина  $IND = W^r / W^e$  определит российский прогнозный индекс экономической эффективности применения результатов проекта «Цифровая Земля» на примере сельского хозяйства.

### **Практическая значимость**

С помощью разработанной модели были проведены серии численных экспериментов для исследования механизмов влияния на процессы цифровизации в сельском хозяйстве. В качестве примера приведем результат одного из сценариев, наиболее интересного с точки зрения декларируемой темы работы, когда цифровизация отрасли осуществляется только за счет средств предприятий без помощи государства и без учета затрат на агрегаты, оборудование ЧТЗ и снимки ДЗЗ в силу недостаточности информации по ним. Приобретение информационных средств (ППП и ПК) осуществляется по рыночным ценам и все ППП приоритетны в первый же год. Необходимая информация по предприятиям была получена из БД «Спарк» и анкетирования 300 лучших предприятий АПК [24].

Расчеты по этому сценарию показали, что уровень цифровизации сельского хозяйства выглядит для разных групп ППП следующим образом. Бухгалтерский и финансовый учет – 32,4%, управление предприятием – 24%, организационное управление – 17,7%, управление технологиями – 9,3%, общий уровень – 12,8%. Из расчетов видно, что в силу недостаточности средств в первых двух группах предприятий по объему реализации продукции, предприятия этих групп исключены из процесса информатизации (уровень информатизации их равен нулю) (рис. 1).



*Рис.1.* Уровень цифровизации сельского хозяйства по классам доходности (реализации) продукции по первому сценарию.

*Источник:* составлено авторами.

*Fig. 1.* The digitalization level of agriculture according to the classes of profitability (sales) of products according to the first scenario.

*Source:* compiled by the authors.

Второй сценарий отличается от первого, тем, что государство инвестирует в разработку ППП на основе их типизации, что существенно снижает стоимость их для предприятий. Остальные параметры остались неизменны. В этой ситуации уровень цифровизации сельского хозяйства выглядит для разных групп ППП следующим образом. Бухгалтерский и финансовый учет – 62,8%, управление предприятием – 37,7%, организационное управление – 37,4%, управление технологиями – 19,9%, общий уровень – 23,6% (возрос на 10,8% по сравнению с первым сценарием). Из расчетов видно, что и в этом случае в силу недостаточности средств в первой группе предприятий по объему реализации продукции, эти предприятия исключены из процесса цифровизации, зато

предприятия второй группы активно включаются в процесс цифровизации, затрачивая на него 522 480 тыс. рублей. Однако и в этом случае общий уровень информатизации все еще недостаточен (рис. 2).

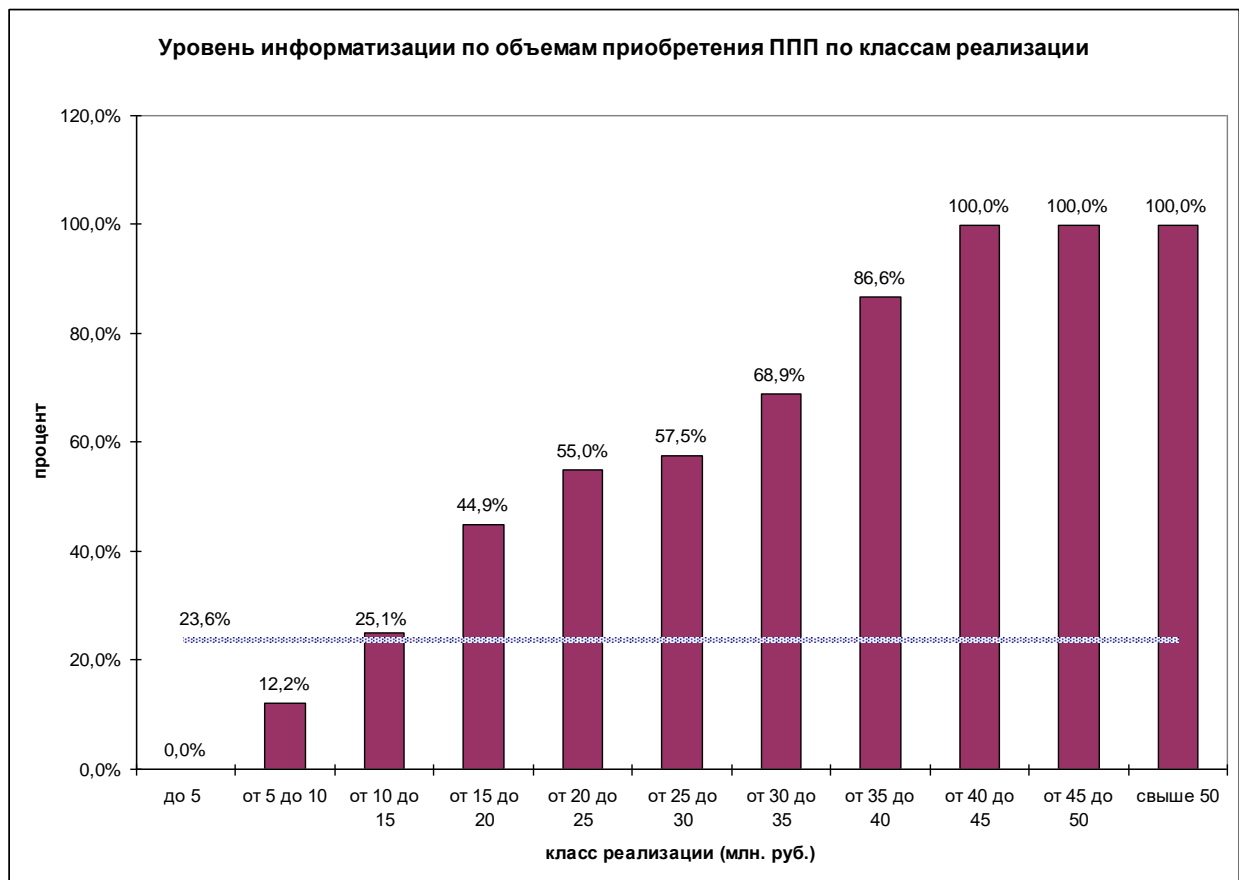


Рис. 2. Уровень цифровизации сельского хозяйства по классам доходности (реализации) продукции по второму сценарию.

Источник: составлено авторами.

Fig. 2. The digitalization level of agriculture according to the classes of profitability (sales) of products according to the second scenario.

Source: compiled by the authors.

## Выводы

В рыночных условиях постепенно приходят к пониманию необходимости формирования некоторого облачного единого информационного пространства цифрового взаимодействия участников цепочки добавленной стоимости в сельском хозяйстве [3]. В нашей стране пока эти идеи не находят отклика в Минсельхозе. Авторская математическая модель прогноза экономического эффекта применения данных ДЗЗ в технологиях точного земледелия позволяет

проводить численные эксперименты с различными сценариями развития цифровой трансформации отрасли, полностью в условиях рынка, а также при формировании единого информационного Интернет-пространства цифрового взаимодействия АПК, включающего и цифровую подплатформу ТЧЗ на базе ДЗЗ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-010-00619 "Разработка методологии применения результатов проекта «Цифровая Земля» для решения задач народного хозяйства и модель прогноза экономического эффекта их применения в контексте цифровизации России".*

### **Список литературы**

1. Первая в мире роботизированная ферма Hands Free Hectare вырастила урожай без участия людей [Электронный ресурс]. URL: <https://incrussia.ru/news/pervaya-robotizirovannaya-ferma-hands-free-hectare/> (дата обращения: 05.05.2020).

2. Точное земледелие: принцип работы и перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/> (дата обращения: 05.05.2020).

3. Цифровизации сельского хозяйства в России не хватает данных [Электронный ресурс]. URL: [www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-hozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP](http://www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-hozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP) (дата обращения: 25.04.2020).

4. Peters, Benjamin. How Not to Network a Nation: The Uneasy History of the Soviet Internet. The MIT Press, 2016.

5. Меденников В.И., Сальников С.Г., Муратова Л.Г. Методика оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов. – М.: Аналитик, 2017. - 250 с.

6. Kulba V., Medennikov V., Butrova E. Methodical Approaches to Agricultural Risk Estimate in Forecasting the Economic Effect of Applying Data of the Earth's

Remote Sensing // IEEE Xplore Digital Library. Twelfth International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD). – 2019. – DOI: 10.1109 / MLSD.2019.8911084.

7. Меденников В.И. Единое информационное Интернет-пространство АПК на основе идей А.И. Китова и В.М. Глушкова об ОГАС // Цифровая экономика. – 2018. – № 3. – С. 69-74.

8. Носенко Ю.И., Лошкарев П.А. ЕТРИС ДЗЗ — проблемы, решения, перспективы (Часть 1) [Электронный ресурс]. URL: <http://geomatica.ru/clauses/304/> (дата обращения: 01.06.2020).

9. Акаев А.А., Рудской А.И. Конвергентные ИКТ как ключевой фактор технического прогресса на ближайшие десятилетия и их влияние на мировое экономическое развитие. International Journal of Open Information Technologies. 2017. – Т. 5. - №1. – С. 1-18.

10. Erik Brynjolfsson, Lorin Hitt, Shinkyu Yang. Intangible Assets: Computers and Organizational Capital // Brookings Papers on Economic Activity. 2002. – Т. 2. – №1. – 2002.

11. Цифровизация сельского хозяйства в России: этапы, итоги, планы TAdviser: ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: <https://geometerussia.ru/a219060-tsifrovizatsiya-selskogo-hozyajstva.html> (дата обращения: 05.05.2020).

12. Akhmetov V.Ya., Galikeev R.N. Prospects for the socio-economic development of rural areas in the context of digitalization of the economy. The Eurasian Scientific Journal. 2019. – № 6 (11). DOI: 10.15862/03ECVN619.

13. Как начать внедрять точное земледелие на предприятии [Электронный ресурс]. URL: <https://smartfarming.ua/ru-blog/kak-nachat-vnedryat-tochnoe-zemledelie-na-predpriyatii> (дата обращения: 05.05.2020).

14. Новицкий И. Точное земледелие: принцип работы и перспективы [электронный ресурс]. URL: <https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/> (дата обращения: 04.05.2020).

15. Применение ГИС для обеспечения технологии «точного земледелия» [Электронный ресурс]. URL: <https://gisinfo.ru/item/65.htm> (дата обращения: 05.05.2020).
16. Спутниковый мониторинг в сельском хозяйстве [https](https://aggeek.net/ru-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve) [Электронный ресурс]. URL: [aggeek.net/ru-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve](https://aggeek.net/ru-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve) (дата обращения: 05.05.2020).
17. Меденников В.И. Теоретические аспекты синтеза структур компьютерного управления агропромышленным производством // Аграрная наука. – 1993. – №2. – С. 16-18.
18. Меденников В.И. Математическая модель формирования цифровых платформ управления экономикой страны // Цифровая экономика. – 2019. – № 1. – С. 25-35.
19. Василенко Ю.В., Данчук Г.Д. Анализ использования производственного потенциала // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 1989. – № 12. – С. 3-42.
20. Milgrom P., Roberts J. The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization // The American Economic Review. – 1990. – P. 511-528.
21. At.farm [Электронный ресурс]. URL: [www.at.farm](http://www.at.farm) (дата обращения: 22.04.2020).
22. Меденников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г., Горбачев М.И. Экономико-математическое моделирование сценариев информатизации сельского хозяйства // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 4. – С. 23-27.
23. Куда движется волна автоматизации [Электронный ресурс]. URL: <https://1-sys.ru/> (дата обращения: 09.04.2020).
24. Спарк [Электронный ресурс]. URL: [www.spark-interfax.ru/](http://www.spark-interfax.ru/) (дата обращения 09.04.2020).
25. Бутрова Е.В., Меденников В.И., Кокуйцева Т.В., Ковков Д.В. Теоретические основы применения геоинформационных систем в сельском

хозяйстве //Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2019. – Т. 171. – № 4. – С. 53-64.

## References

1. Pervaya v mire robotizirovannaya ferma Hands Free Hectare vyrastila urozhaj bez uchastiya lyudej [The world's first robotic farm Hands Free Hectare has grown crops without the participation of people]. Available at: <https://incrussia.ru/news/pervaya-robotizirovannaya-ferma-hands-free-hectare/> (accessed 05 May 2020).

2. Tochnoe zemledelie: princip raboty i perspektivy [Precision farming: the principle of work and prospects]. Available at: <https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/> (accessed 05 May 2020).

3. Cifrovizacii sel'skogo hozyajstva v Rossii ne hvataet dannyh [Digitalization of agriculture in Russia is not enough data]. Available at: [www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-xozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP](http://www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-xozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP) (accessed 25 April 2020).

4. Peters B. How Not to Network a Nation: The Uneasy History of the Soviet Internet. The MIT Press, 2016.

5. Medennikov V.I., Salnikov S.G., Muratova L.G. Metodika ocenki effektivnosti ispol'zovaniya informacionnyh nauchno-obrazovatel'nyh resursov [Methodology for assessing the effectiveness of the use of informational scientific and educational resources]. Moscow: Analitik, 2017.

6. Kulba V., Medennikov V., Butrova E. Methodical Approaches to Agricultural Risk Estimate in Forecasting the Economic Effect of Applying Data of the Earth's Remote Sensing. IEEE Xplore Digital Library. Twelfth International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD), 2019. DOI: 10.1109 / MLSD.2019.8911084.

7. Medennikov V.I. Edinoe informatsionnoe Internet-prostranstvo APK na osnove idej A.I. Kitova i V.M. Glushkova ob OGAS [A single informational Internet space of the agro-industrial complex based on the ideas of A.I. Kitova and

V.M. Glushkova about OGAS]. *Tsifrovaya ekonomika*, 2018, no. 3, pp. 69-74.

8. Nosenko YU. I., Loshkarev P. A. *ETRIS DZZ — problemy, resheniya, perspektivy (chast' 1)* [ETRIS Remote Sensing - Problems, Solutions, Prospects]. Available at: <http://geomatica.ru/clauses/304/> (accessed 1 June 2020).

9. Akayev A.A., Rudskoy A.I. *Konvergentnye IKT kak klyuchevoj faktor tekhnicheskogo progressa na blizhajshie desyatiletiya i ih vliyanie na mirovoe ekonomicheskoe razvitie* [Converged ICTs as a key factor in technological progress for the coming decades and their impact on world economic development]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, Vol. 5, no. 1, pp. 1-18.

10. Brynjolfsson E., Hitt L., Yang S. *Intangible Assets: Computers and Organizational Capital*. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2002, Vol. 2, no. 1.

11. *Tsifrovizatsiya sel'skogo hozyajstva v Rossii: etapy, itogi, plany TAdviser: IT v agropromyshlennom komplekse Rossii* [Digitalization of agriculture in Russia: stages, results, TAdviser plans: IT in the agricultural sector of Russia]. Available at: <https://geometerrussia.ru/a219060-tsifrovizatsiya-selskogo-hozyajstva.html> (accessed 05 May 2020).

12. Akhmetov V.Ya., Galikeev R.N. *Prospects for the socio-economic development of rural areas in the context of digitalization of the economy*. *The Eurasian Scientific Journal*, 2019, Vol. 6 (11). DOI: 10.15862 / 03ECVN619.

13. *Kak nachat' vnedryat' tochnoe zemledelie na predpriyatii* [How to start introducing precision farming at the enterprise]. Available at: <https://smartfarming.ua/en-blog/kak-nachat-vnedryat-tochnoe-zemledelie-na-predpriyatii> (accessed 05 May 2020).

14. Novitsky I. *Tochnoe zemledelie: princip raboty i perspektivy* [Precision farming: principle of work and prospects]. Available at: <https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/> (accessed 04 May 2020).

15. *Primenenie GIS dlya obespecheniya tekhnologii «tochnogo zemledeliya»* [The use of GIS to ensure the technology of "precision farming"]. Available at: <https://gisinfo.ru/item/65.htm> (accessed 05 May 2020).

16. *Sputnikovyj monitoring v sel'skom hozyajstve* [Satellite monitoring in

agriculture]. Available at: [aggeek.net/en-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve](http://aggeek.net/en-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve) (accessed 05 May 2020).

17. Medennikov V.I. Teoreticheskie aspekty sinteza struktur komp'yuternogo upravleniya agropromyshlennym proizvodstvom [Theoretical aspects of the synthesis of computer control structures for agricultural production]. Agrarnaya nauka, 1993, Vol. 2, pp. 16-18.

18. Medennikov V.I. Matematicheskaya model' formirovaniya cifrovyyh platform upravleniya ekonomikoj strany [A mathematical model for the formation of digital platforms for managing the country's economy]. Tsifrovaya ekonomika, 2019, no. 1, pp. 25-35.

19. Vasilenko Yu.V., Danchuk G.D. Analiz ispol'zovaniya proizvodstvennogo potentsiala [Analysis of the use of production potential]. Ekonomika sel'skohozyajstvennyh i pererabatyvayushchih predpriyatij, 1989, no. 12, pp. 3-42.

20. Milgrom P., Roberts J. The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization. The American Economic Review, 1990, pp. 511-528.

21. At.farm. Available at: [www.at.farm](http://www.at.farm) (accessed 22 April 2020).

22. Medennikov V.I., Muratova L.G., Salnikov S.G., Gorbachev M.I. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie scenarijev informatizacii sel'skogo hozyajstva [Economic and mathematical modeling of agricultural informatization scenarios]. Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal, 2017, no. 4, pp. 23-27.

23. Kuda dvizhetsya volna avtomatizacii [Where the wave of automation is going]. Available at: <https://1-sys.ru/> (accessed 09 April 2020).

24. Spark. Available at: [www.spark-interfax.ru/](http://www.spark-interfax.ru/) (accessed 09 April 2020).

25. Butrova E.V., Medennikov V.I., Kokujceva T.V., Kovkov D.V. Teoreticheskie osnovy primeneniya geoinformacionnyh sistem v sel'skom hozyajstve [The theoretical basis for the use of geographic information systems in agriculture]. Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIEМ, 2019, Vol.171., № 4, pp. 53-64.