

Задачи и структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства



Владислав Борисович Минин,
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: minin.iamfe@mail.ru;



Антон Михайлович Захаров,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: bauermw@mail.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Показали, что производство органической продукции – это активно растущий мировой бизнес: в 2017 году он занимал более 1,4 процента всех сельскохозяйственных угодий планеты. Подчеркнули актуальность цифровизации на фоне постоянного роста базы данных, которые фермеру необходимо оперативно и эффективно обрабатывать. (*Цель исследования*) Сформировать структуру информационно-коммуникационной системы «умного» растениеводческого органического хозяйства и необходимую базу данных для ее обучения и обеспечения функционирования. (*Материалы и методы*) Использовали ранее выполненные исследования, включая созданные базы данных и информацию из литературных источников. С 2016 года для заполнения экспериментальными данными информационной базы проводится многофакторный опыт с картофелем в рамках органического севооборота. (*Результаты и обсуждение*) Сформировали структуру информационно-коммуникационной системы «умного» растениеводческого органического хозяйства. За ее основу приняли цифровую карту территории и цифровые модели сельскохозяйственных культур. Решили в ходе работы системы ежедневно вносить изменения в цифровую модель сельскохозяйственной культуры на основе поступающей агроэкологической информации, а также подготовить рекомендации по оптимальному выбору и использованию очередных технологических операций. Выявили, что в полевом опыте за четыре года урожайность картофеля в контрольном варианте (без внесения компоста и пестицидов) составила в среднем 21,7 тонны на гектар, а при использовании компоста и биофунгицида Картофин она увеличилась до 26,7 тонны на гектар. Рассчитали уравнения множественной линейной регрессии, описывающие зависимость содержания минеральных форм азота в почве в июне от суммы активных температур в этот период и дозы компоста (коэффициент корреляции 0,658) и зависимость урожайности картофеля от содержания в почве минеральных форм азота в первую декаду июня и суммы активных температур в мае – июне (коэффициент корреляции 0,667). (*Выводы*) Представили структуру информационно-коммуникационной системы органического сельхозпредприятия, обосновали возможность ее полной реализации в качестве инструмента, помогающего агропроизводителям осуществлять экологически безопасное, конкурентоспособное и эффективное органическое производство на новом уровне.

Ключевые слова: органическое производство, информационно-коммуникационная система, урожайность картофеля, минеральные формы азота в почве, погодные условия.

■ **Для цитирования:** Минин В.Б., Захаров А.М. Задачи и структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 56-64. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.

Objectives and Structure of the Information and Communication System for "Smart" Organic Farming

Vladislav B. Minin,
Ph.D.(Agri.), senior researcher,
e-mail: minin.iamfe@mail.ru;

Anton M. Zakharov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: bauermw@mail.ru

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russian Federation



Abstract. The authors showed that the organic production is an actively growing global business: in 2017, it occupied more than 1.4 percent of all agricultural land on the planet. The authors emphasized the relevance of digitalization with the constant growth of the database, which the farmer needs to process quickly and efficiently. (*Research purpose*) To form the structure of the information and communication system for the «smart» crop organic farming and the database necessary for its training and ensuring its functioning. (*Materials and methods*) The prior research was used, as well as previously created databases and information from the existing literature. Since 2016, a multifactorial experiment with potatoes has been carried out as part of an organic crop rotation to fill the information base with experimental data. (*Results and discussion*) The structure of the information and communication system of the “smart” organic crop production has been formed. It is based on the territory digital map and agricultural crop digital models. In the course of the work of the system, we decided to make daily changes to the digital model of agricultural crops based on the incoming agroecological information, as well as to prepare recommendations on the relevant choice and use of the planned technological operations. It was found out that in a four-year field experiment, the potato yield in the control variant (without the introduction of compost and pesticides) averaged 21.7 tons per hectare, and when using compost and biofungicide Kartofin, it increased to 26.7 tons per hectare. The authors calculated multiple linear regression equations describing the dependence of the nitrogen mineral form content in the soil in June on the sum of the active temperatures during this period and the compost dose (the correlation coefficient is 0.658); and the dependence of potato yield on the nitrogen mineral form content in the soil in the first ten days of June and the sum of active temperatures in May-June (the correlation coefficient is 0.667). (*Conclusions*) The authors presented the structure of the information and communication system of an organic agricultural enterprise, substantiated the possibility of its full implementation as a tool that helps agricultural producers to carry out environmentally safe, competitive and efficient organic production at a totally new level.

Keywords: organic production, information and communication system, potato yield, mineral forms of nitrogen in the soil, weather conditions.

For citation: Minin V.B., Zakharov A.M. Zadachi i struktura informatsionno-kommunikatsionnoy sistemy «umnogo» organicheskogo khozyaystva [Objectives and structure of the information and communication system for "smart" organic farming]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 56-64 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.

Производство органической продукции – это активно растущий бизнес. В 2017 году он занимал более 1,4 процента всех сельскохозяйственных угодий планеты. Анализ мета-набора данных показал относительно небольшие различия в урожайности между органическим и традиционным сельским хозяйством – 15,5-22,9%, которые снизились до 8-9% при использовании методов диверсификации [1]. Вклад органических систем в смягчение последствий изменения климата в ходе отказа от минеральных удобрений сокращает ежегодные выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве на 20%, а вследствие связывания углерода – на 40-72% [2].

К началу 2020 г. в связи с вступлением в силу Закона № 280-ФЗ от 03.08.2018 и ряда государственных стандартов в Российской Федерации фактически сложилось законодательное обеспечение органического производства. При управлении продуктивностью органических агроэкосистем необходимо учитывать множество хозяйственно значимых процессов и факторов [3]. Технологии растениеводства многообразны: даже один процесс может быть реализован несколькими способами. Использование параметров управления и ограничивающих экологических факторов позволяет выбрать адекватные технологии и создать программы управления продуктивностью [4].

В Указе Президента России от 7 мая 2018 г. № 204

«О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» поставлена задача внедрения цифровых технологий в приоритетные отрасли экономики, включая сельское хозяйство. Соответствующая научная база в аграрном производстве предусматривает создание интенсивных машинных технологий, энергонасыщенной техники нового поколения, роботизированного оборудования и использования цифровых систем [5]. Разработана организационная модель сельскохозяйственного предприятия, позволяющая на базе современных информационно-коммуникационных технологий осуществлять интеграцию всех технологических звеньев производства, обеспечивать непрерывность отслеживания сроков и качества выполнения технологических операций [6].

Для органических производителей использование информационных технологий жизненно необходимо, так как им следует постоянно ориентироваться на развитие природных процессов и состояние агроэкосистемы. Внедрение цифровых технологий, автоматизации производственных и других процессов повысят эффективность органического производства благодаря более экономному использованию ресурсов [7]. Группа авторов разработала программу для работы с органическими удобрениями, использующую модели развития растений, размещенную в «облаке», куда фер-

мер может выходить через смартфон [8]. Другое направление цифровизации – применение полевых роботов в органических хозяйствах, в частности для борьбы с сорной растительностью, которая может значительно распространяться в органических посевах, что установлено в Северной Европе [9, 10].

При создании информационной системы для управления производством органической растениеводческой продукции необходимо ориентироваться на потребности основных культур, входящих в севооборот. Для исследования выбрали картофель, третью по важности продовольственную культуру в мире после риса и пшеницы, производящую больше калорий на гектар, чем зерновые. При органическом производстве картофеля не используют генетически модифицированный семенной материал, а получаемая продукция обычно ценнее для питания, так как содержит больше витаминов и в ней отсутствуют остаточные количества пестицидов [11]. В литературе описано более 30 моделей развития картофеля [12]. Калиброванная и проверенная биофизическая модель улучшает управление путем прогнозирования реакции урожайности и размера клубней картофеля на управленческие решения и стрессовые события [13].

Цель исследования – формирование структуры информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства и заполнение базы данных экспериментальной информацией, описывающей развитие картофеля.

Материалы и методы. Решение задачи основывается на ранее выполненных исследованиях по созданию соответствующих баз данных и информации, взятой из литературных источников [3].

Для сбора экспериментальной информации с 2016 г. проводится полевой опыт в составе 6-польного модельного органического севооборота, включающего картофель, свеклу столовую, несколько полей с многолетними травами. Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая на остаточном карбонатном моренном суглинке. Она характеризуется слабокислой реакцией среды, достаточным запасом питательных элементов и высоким содержанием органического вещества [14].

В многофакторном опыте с картофелем изучается действие двух групп факторов:

- уровень минерального питания, регулируемый внесением компоста;
- действие биофунгицидного препарата Картофин, СК, созданного на основе штамма *Bacillus subtilis*-И5-12/23, полученного в результате широкого скрининга микробов-антагонистов, входящих в состав Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей ФГБНУ ВИЗР [15].

Возделывали картофель сорта Удача, районированный для Ленинградской области. Ширина междурядья 0,7 м.

Исследования проводились с компостом, произведенным на основе куриного помета промышленным способом в биоконвекторе [16]. Использовали три дозы компоста, рассчитанные по последовательно возрастающему в 2 раза количеству содержащегося в нем азота: 40; 80 и 160 кг N/га. Конкретные дозы рассчитывали после анализа удобрения, приготовленного для использования в опыте.

Клубни картофеля обрабатывали во время посадки Картофином СК (3 л на 1 т посадочного материала), для чего на сажалку установили специально разработанный опрыскиватель. Этим же биофунгицидом обрабатывали листья во время вегетации культуры, переместив опрыскиватель на культиватор.

Междурядную обработку проводили с использованием экспериментального образца пропашного культиватора оригинальной конструкции, обеспечивающего глубокое рыхление. Сорная растительность удалялась механическим способом с помощью боронок БРУ-0,7, входящих в состав культиватора.

Площадь делянки $5,6 \times 11 = 61,6 \text{ м}^2$, повторность 4-кратная, расположение делянок рендомизированное.

Образцы почвы отбирали из пахотного слоя. Содержание аммония и нитратов в почве, а также нитратов в картофеле определяли ионометрическим методом, ГОСТ 26951-86.

Полученные в опыте за ряд лет аналитические данные объединены в единую электронную базу данных и обработаны при помощи программы Статистика, версия 10.

Результаты и обсуждение. Агропроизводитель в течение вегетационного периода должен принимать более 40 различных организационных и управленческих решений, касающихся выбора сортов, вида, дозы и способа внесения удобрений, целесообразности проведения той или иной обработки почвы, нормы высева, проведения мероприятий по защите растений и уборке [17]. Информационно-коммуникационная система умного органического сельскохозяйственного предприятия обеспечивает научно обоснованную поддержку принятия решений по выбору и сопровождению адаптивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Северо-Западного региона России. Разработка структуры Информационно-коммуникационной системы умного органического сельскохозяйственного предприятия (ИКСУ-ОСП) основана на следующих базовых принципах:

- интеграция: обрабатываемые данные, однажды введенные в систему, образуют единое информационное пространство, которое многократно используется для решения большого числа задач;
- системность: обработка данных в различных аспектах, чтобы получить информацию, необходимую для принятия решений на всех уровнях управления;

- комплексность: механизация и автоматизация процедур преобразования данных на всех этапах функционирования информационной системы;

- гибкость: способность системы легко меняться при изменении структуры и (или) условий функционирования предприятия;

- самообучаемость: система, «анализируя» выбор решений пользователя, получает знания, которые повышают эффективность ее работы;

- открытость (масштабируемость): любые изменения, вносимые в систему (внедрение новых компонентов, обновление законодательства, реорганизация предприятия и т.п.), не требуют изменения ее базовой части, то есть не нарушают функционирования системы, что позволяет варьировать «размер» системы, просто добавляя к базовой части нужные компоненты.

При практически ориентированном подходе разработки ИКСУОСП прежде всего необходимо решить четыре базовые задачи:

- определить и формализовать методику агроэкологического мониторинга, то есть определить список источников информации об агроэкологическом состоянии предприятия и механизм ее обработки;

- разработать архитектуру системы, то есть фундаментальную организацию системы, реализованную в ее компонентах, связях компонентов друг с другом и внешней средой и принципах, определяющих структуру и развитие системы;

- найти базовое программное обеспечение (такое как СУБД, WCB-сервер) для реализации системы на его основе;

- выбрать датчики и сетевое оборудование.

Основу ИКСУОСП составляют цифровая карта территории, цифровые модели сельскохозяйственных культур и несколько баз данных (рис. 1). На цифровой карте будут представлены следующие данные:

- сельскохозяйственная информация: размещение земельных угодий, посевов, построек хозяйства, дорожная сеть;

- информация о природных ресурсах расположенных на территории: почвенный покров, агрохимическая характеристика почв, водная сеть.

ИКСУОСП анализируют и формализуют:

- схемы информационных потоков, отражающих маршруты движения информации и ее объемы,

- места возникновения первичной информации и использования результатной информации.

Построение схем информационных потоков, позволяет выявить объемы информации и провести ее анализ, что необходимо для формирования единого информационного пространства системы.

Использование данной информационной технологии создает возможность эффективно реализовывать систему управления, своевременно отражать объективную картину экологического и технологического

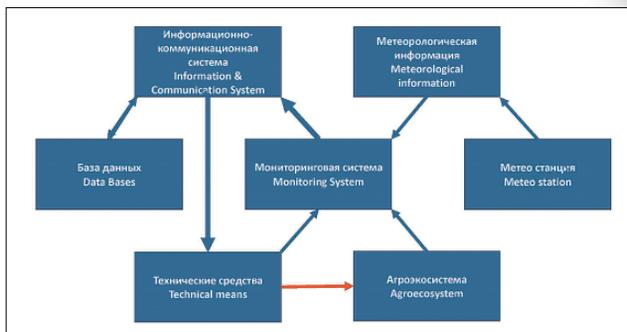


Рис. 1. Структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического сельскохозяйственного предприятия

Fig.1. The structure of the "smart" organic agricultural enterprise information and communication system

состояния предприятия и формировать рекомендации по его улучшению.

Результатом станет многомерная картина происходящего, с визуализацией данных в удобном и понятном виде. Экспертная система на основании данных, накопленного опыта и заданного набора критериев оптимизации выбирает наилучшее решение. В свою очередь система моделирования позволяет рассчитать и оценить результаты различных сценариев, что обеспечивает разностороннее рассмотрение выбираемого мероприятия.

Основная задача системы моделирования – это управление, в динамике, развитием цифровой модели сельскохозяйственной культуры от посадки до уборки. Ежедневно поступающая информация от метеостанции, почвенных датчиков и данные по результатам облетов беспилотными летательными аппаратами будет обрабатываться информационной системой.

Выбранная цифровая модель должна проводить ежедневные изменения, в соответствии с поступившей информацией подготавливать сценарии дальнейшего развития культуры и рекомендации по оптимальному выбору времени осуществления технологических операций. При этом развитие картофеля определяется среднесуточной температурой воздуха. При накоплении соответствующей суммы температур осуществляется переход из одной фазы развития картофеля в другую. Недостатки водного или питательного режимов, а также проявление болезней и вредителей замедляют скорость развития культуры, что отражается в модели.

Предметные области описывают как саму агроэкосистему, так и воздействующие на нее факторы:

- территория, на которой находится агроэкосистема;
- почва агроэкосистемы;
- сельскохозяйственные культуры;
- сорная растительность;
- вредители;
- болезни;
- сельскохозяйственные технические средства;

- агрохимикаты и улучшители почвы;
- агрометеорологические условия.

Части базы данных, за которыми закреплены эти предметные области, должны быть заполнены соответствующей информацией. Например, предметная область «территория» должна включать местоположение, рельеф местности, расположение полей, дорожную сеть; предметная область «сельскохозяйственные культуры» объединяет виды и сорта культур, характеристику сортов.

Близкие по задачам выполнения системы разрабатывает целый ряд ученых [13, 17].

Сбор экспериментальных данных для использования информационной системой осуществляется в полевых экспериментах и опытах, заложенных в пилотных фермерских хозяйствах.

С 2016 г. ведется экспериментальный органический севооборот, в котором отрабатываются модели управления производственным процессом. Все экспериментальные данные заносятся в единую базу данных «Опыт», что позволяет обрабатывать их достаточно быстро. Ниже приводятся результаты, которые включаются в ИКСУОСП.

Для оценки погодных условий использовались два интегральных показателя: сумма активных температур (более 10°C) и ГТК по Селянину (табл. 1). Следует отметить, что если сумма активных температур характеризует тепловой и световой режимы, то гидротермический коэффициент (ГТК) является комплексным показателем, отражающим как тепловой, так и водный режимы агроэкосистемы.

Представленные данные свидетельствуют о существенных различиях в рассматриваемых показателях между годами. Наиболее равномерное обеспечение тепловыми и водными ресурсами отмечено в 2019 г.

Были собраны данные о содержании минеральных форм азота (включающих нитраты и аммонийный) в почве в конце мая – начале июля, перед посадкой, во время прорастания картофеля и начала активного накопления биомассы (табл. 2). Используемая в опыте почва была хорошо окультурена, с повышенным содержанием органического вещества.

При создании благоприятных условий, обеспечивающих развитие минерализационных процессов,

даже в контрольном варианте отмечалось накопление достаточно значительного количества минеральных форм азота в почве (до 30,7 мг N/кг почвы в первой декаде июня в 2019 г. и до 72,4 мг N/кг почвы в начале июля в 2020 г).

Использование компоста существенно активизировало этот процесс, что хорошо заметно в первую декаду июня, до начала активного потребления питательных веществ картофелем: содержание минеральных форм азота в почве в случаях с внесением компоста в дозе, соответствующей 80 кг N/га, в среднем превышало контроль на 6-8 мг/кг почвы.

Содержание минеральных форм азота в почве в июне зависит от дозы компоста и суммы активных температур в июне (рис. 2).

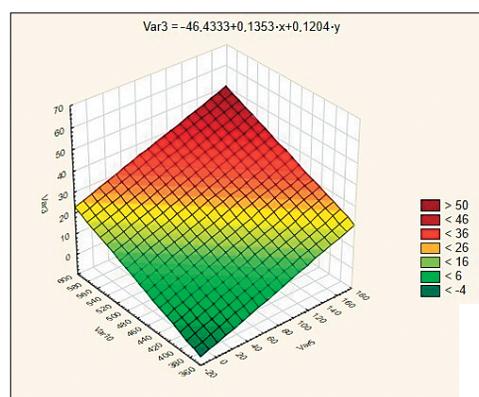


Рис. 2. Зависимость содержания минерального азота в почве (Var 3) от дозы компоста (Var 5) и суммы активных температур в июне (Var 10), коэффициент множественной корреляции $R = 0,658$

Fig. 2. Dependence of mineral N content in the soil (Var 3) on the compost dose (Var 5) and the sum of active temperatures in June (Var 10); multiple correlation coefficient, $R = 0.658$

Проведена статистическая обработка данных за 4 года. Как внесение компоста, так и увеличение суммы активных температур способствуют накоплению минеральных форм азота в почве, причем с синергетическим эффектом. Уравнение позволяет прогнозировать содержание минеральных форм азота в почве в условиях нашего опыта. По результатам опыта установлено существенное влияние содержания мине-

Таблица 1

Table 1

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД В 2017-2020 ГГ.
METEOROLOGICAL INDICATORS FOR THE GROWING SEASONS IN 2017-2020

Годы Year	Сумма активных температур Sum of active temperatures				Гидротермический коэффициент Hydrothermal coefficient			
	май May	июнь June	июль July	август August	май May	июнь June	июль July	август August
2017	195	379	511	541	0,45	1,69	2,48	2,83
2018	435	478	646	595	0,64	1,02	2,85	2,02
2019	341	560	514	526	2,11	1,42	3,52	1,80
2020	203	575	546	575	0,59	2,25	3,41	3,80

Таблица 2

Table 2

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ПОЧВЕ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА THE CONTENT OF MINERAL FORMS OF NITROGEN IN THE SOIL IN THE FIRST HALF OF THE GROWING SEASON			
Годы Year	22-26 мая May, 22-26	4-10 июня June, 4-10	2-7 июля July, 2-7
<i>Контроль (без компоста и биофунгицида) / Control variant (without compost or biofungicide)</i>			
2017	13,4+1,9	13,9	30,8
2018	–	8,9	27,7
2019	16,0+7,9	30,7	24,3
2020	6,3+ 2,7	23,7	72,4
<i>Опыт (компост 80 кг N/га + биофунгицид) / Option with compost (80 kg N/ha) and plant protection products</i>			
2017	13,4+1,9	21,8	27,5
2018	–	15,1	33,2
2019	16,0+7,9	38,6	36,2
2020	6,3+ 2,7	31,7	82,4
<i>HCP₀₅/LSD₀₅</i>		1,02	1,28

ральных форм азота в почве в начале июня на продуктивность картофеля.

Рассмотрим урожайность картофеля в двух вариантах опыта в 2017-2020 гг. (табл. 3). Благодаря высокому плодородию почвы и отработанной технологии возделывания даже на контрольных вариантах урожайность составляла около 20 т/га.

Существенное воздействие на продуктивность картофеля оказывали как использование компоста и биофунгицида, так и условия года исследований. Наибольшая прибавка биологического урожая от биопрепаратов достигнута в 2018 г. – более 12 т/га, наименьшая, около 3 т/га, – в 2017 г., когда отмечались засушливые условия в начале вегетации картофеля. Разница между биологическим урожаем и урожаем стандартных клубней объясняется количеством поврежденного, травмированного и нестандартного карто-

феля. Наилучший выход стандартных клубней отмечен в 2020 г. В 2017-2019 гг. этот показатель выше в варианте с компостом и биофунгицидом. В 2020 г. он оказался ниже контроля вследствие увеличения числа нестандартно крупных клубней. В дальнейшем нужно больше внимания уделять созданию условий для получения стандартных клубней в соответствии с требованиями рынка [18].

Зависимость биологического урожая картофеля от суммарного содержания нитратов и аммония в почве в первой декаде июня (когда начинается активное развитие картофеля) и суммы активных температур в мае – июне демонстрирует важность управления содержанием минеральных форм азота в почве в начале вегетации картофеля (рис. 3). При благоприятном сочетании этих факторов биологический урожай органического картофеля может превышать 40 т/га – без

Таблица 3

Table 3

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГОДА, КОМПОСТА И БИОФУНГИЦИДА НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ INFLUENCE OF THE YEAR CONDITIONS, THE PLANT PROTECTION SYSTEM AND THE NUTRIENT SUPPLY ON THE POTATO YIELD				
Год опыта Year	Вариант Option	Биологическая урожайность, т/га Biological yield, t/ha	Урожайность стандартных клубней, т/га Yield of standard tubers, t/ha	Доля стандартных клубней в общей биомассе, % Share of standard tubers in total biomass, %
2017	контроль* / reference point*	17,13	14,11	82,4
	опыт* / experiment*	20,65	17,84	86,4
2018	контроль / reference point	19,26	17,07	88,6
	опыт / experiment	31,38	28,20	89,9
2019	контроль / reference point	25,52	21,21	83,1
	опыт / experiment	31,96	26,90	84,2
2020	контроль / reference point	20,95	20,25	96,7
	опыт / experiment	28,77	26,87	93,4
<i>HCP₀₅ / LSD₀₅</i>		0,71	0,73	–

* контроль – без внесения компоста и биофунгицида;
опыт – с внесением компоста и биофунгицида.
* reference point – without compost and biofungicide;
experiment – with the application of compost and biofungicide.

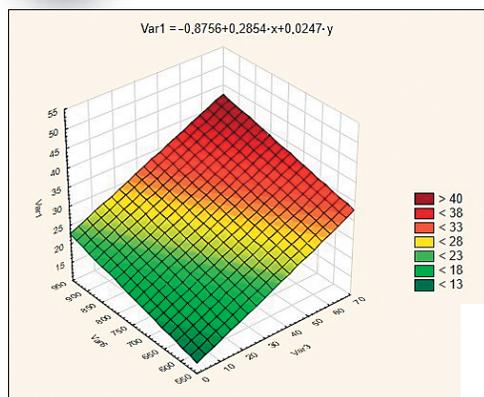


Рис. 3. Зависимость биологического урожая картофеля (Var 1) от содержания минерального азота в почве в первую декаду июня (Var 3) и суммы активных температур в мае – июне (Var 6); коэффициент множественной корреляции $R = 0,667$

Fig. 3. Dependence of the potato biological yield (Var 1) on the mineral nitrogen content in the soil in the first ten days of June (Var 3) and the sum of active temperatures in May – June (Var 6); multiple correlation coefficient $R = 0.667$

использования химических удобрений и пестицидов, но с внесением дозы компоста, соответствующей 160 кг N/га, и биофунгицида.

На разнообразном статистическом материале показано, что количество клубней и их величина для каждого сорта зависела от суммы активных температур и числа стеблей [13, 19, 20]. Шведские ученые провели многомерный анализ набора данных серии полевых экспериментов с органическим картофелем за 7 лет. Уровень плодородия почвы сильно влиял на продуктивность и качество картофеля, объяснив 53% общей вариации [21]. Аналогично нашим исследованиям использование куриного помета при возде-

лывании картофеля в Бангладеш обеспечило получение максимальной урожайности [20].

Для обучения информационной системы и формирования ее откликов на складывающиеся агроэкологические условия будут использованы полученные экспериментальные данные и информация, взятая из литературных источников.

Выводы

1. Представили структуру информационно-коммуникационной системы органического агропредприятия, предусматривающую использование цифровой модели сельскохозяйственной культуры как основы управления производственным процессом с учетом складывающейся агроэкологической обстановки в течение вегетации. При полной реализации этой системы хозяйства получают мощный инструмент, позволяющий перейти к экологически безопасному, конкурентоспособному и эффективному органическому производству на новом уровне.

2. Установили зависимости содержания минеральных форм азота в почве в начале вегетации картофеля от использования компоста, произведенного из куриного помета, и суммы активных температур. Урожайность органического картофеля определяется содержанием минеральных форм азота в почве в начале июня и суммой активных температур в мае – июне и может достигать 40 т/га.

3. Продолжили формирование массива экспериментальной информации, который будет использован в будущей информационно-коммуникационной системе «умного» органического сельскохозяйственного предприятия для ее настройки, а затем и для подготовки рекомендаций по возделыванию картофеля с учетом складывающихся агроэкологических условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ponisio L.C., M'Gonigle L.K., Mace K.C., Palomino J., de Valpine P., Kremen C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. 1396.
2. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169.
3. Попов В.Д., Минин В.Б., Максимов Д.А., Папушин Э.А. Обоснование интеллектуальной системы управления органическим производством в растениеводстве // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. N4(97). С. 28-41.
4. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Дорохов А.С. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N2(31). С. 41-52.
5. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии, роботизи-
6. рванная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2018. N7. С. 2-7.
7. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Ильченко Е.Н., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С., Афонина И.И. Управление производственными процессами полевых предприятий с использованием информационных и цифровых технологий // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 180-190.
7. Rakhimova S., Kunanbayeva K., Goncharenko L., Pigurin A. Balanced system of indicators for the assessment of innovative construction projects efficiency. International Science Conference SPbWOSCE-2018 «Business Technologies for Sustainable Urban Development». 2019. Vol. 110. 02154.
8. Hyun S., Yang S.M., Kim J., Kim K.S., Shin J.H., Min Lee S.M., Lee B.-W., Beresford R.M., Fleisher D.H. Development of a mobile computing framework to aid decision-making on organic fertilizer management using a crop growth model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 181. 105936. 2-9.



9. Краусп В.Р., Королев В.А. Направление развития систем автоматизированного управления электророботизированными агрегатами полеводства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N6(21). С. 122-130.

10. Hofmeijer M.A.J., Melander B., Salonen J., Lundkvist A., Zarina L., Gerowitt B. Crop diversification affects weed communities and densities in organic spring cereal fields in northern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. Vol. 308. 107251.

11. Pacifico D., Paris R. Effect of Organic Potato Farming on Human and Environmental Health and Benefits from New Plant Breeding Techniques. Is It Only a Matter of Public Acceptance? *Sustainability*. 2016. Vol. 8. 1054.

12. Raymundo R., Asseng S., Cammarano D., Quiroz R. Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. *Field Crops Research*. 2014. Vol. 166. 173-185.

13. Goeser N.J., Mitchell P.D., Esker P.D., Curwen D., Weis G., Bussan A.J. Modeling Long-Term Trends in Russet Burbank Potato Growth and Development in Wisconsin. *Agronomy*. 2012. N2. 14-27.

14. Minin V.B., Popov V.D., Maksimov D.A., Ustrov A.A., Papushin E., Melnikov S.P. Developing of Modern Cultivation Technology of Organic Potatoes. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. Special Iss. 2. 1359-1367.

15. Titova J.A., Novikova I.I., Boykova I.V., Pavlyushin V.A., Krasnobaeva I.L. Novel solid-phase multibiorecycled biologics based on *Bacillus subtilis* and *Trichoderma asperellum* as effec-

tive potato protectants against *Phytophthora* disease. *Sel'skokozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2019. Vol. 54(5). 1002-1013.

16. Briukhanov A., Subbotin I., Uvarov R., Vasilev E. Method of designing of manure utilization technology. *Agronomy research*. 2017. Vol. 15(3). 658-663.

17. Гостев А.В., Пыхтин А.И., Любичкий Н.И. Программное обеспечение рационального выбора адаптивных технологий возделывания зерновых культур как элемент цифровизации земледелия. Программное обеспечение рационального выбора // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2019. N23(6). С. 189-209.

18. Seifu F., Betewulign E. Evaluation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties for Yield Attributes. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2017. Vol. 7. N21. 15-22.

19. El-Zehery T.M. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 10. N12. 857-865.

20. Ahmed F., Mondal M., Akter B. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2019. Vol. 29. N3. 1-11.

21. Hagman J.E., Martensson A., Grandin U. Cultivation Practices and Potato Cultivars Suitable for Organic Potato Production. *Potato Research*. 2009. Vol. 52. 319-330.

REFERENCES

1. Ponisio L.C., M'Gonigle L.K., Mace K.C., Palomino J., de Valpine P., Kremen C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. 1396. (In English).

2. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169 (In English).

3. Popov V.D., Minin V.B., Maksimov D.A., Papushin E.A. Obosnovanie intellektual'noy sistemy upravleniya organicheskimi proizvodstvom v rastenievodstve [Substantiation of intellectual management system of organic crop production]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. N4(97). 28-41 (In Russian).

4. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Dorokhov A.S. Tsifrovoe sel'skoe khozyaystvo (obzor tsifrovoykh tekhnologiy sel'khoznaznacheniya [Digital agriculture (review of agricultural digital technologies)]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N2(31). 41-52 (In Russian).

5. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogonov Yu.H. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i tsifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies, robotized equipment and digital systems for production of main groups of agricultural products]. *Tekhnika i obudovanie dlya sela*. 2018. N7. 2-7 (In Russian).

6. Izmaylov A.Yu., Smirnov I.G., Il'chenko E.N., Goncharov N.T., Luzhnova E.S., Afonina I.I. Upravlenie proizvodstvennymi processami polevodcheskikh predpriyatiy s ispol'zovaniem informatsionnykh i tsifrovoykh tekhnologiy [Management of manufacturing processes of fielding enterprises with the use of information and digital technologies]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 180-190 (In Russian).

7. Rakhimova S., Kunanbayeva K., Goncharenko L., Pigurin A. Balanced system of indicators for the assessment of innovative construction projects efficiency. International Science Conference SPbWOSCE-2018 «Business Technologies for Sustainable Urban Development». 2019. Vol. 110. 02154 (In English).

8. Hyun S., Yang S.M., Kim J., Kim K.S., Shin J.H., Min Lee S.M., Lee B.-W., Beresford R.M., Fleisher D.H. Development of a mobile computing framework to aid decision-making on organic fertilizer management using a crop growth model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 181. 105936. 2-9 (In English).

9. Krausp V.R., Korolev V.A. Napravlenie razvitiya sistem avtomatizirovannogo upravleniya elektrobotizirovannymi agregatami poleводства [The direction of developing automated control systems for electro-robotic field cultivation units]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N6(21). 122-130 (In Russian).

10. Hofmeijer M.A.J., Melander B., Salonen J., Lundkvist A., Zarina L., Gerowitt B. Crop diversification affects weed communities and densities in organic spring cereal fields in north-

ern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. Vol. 308. 107251 (In English).

11. Pacifico D., Paris R. Effect of Organic Potato Farming on Human and Environmental Health and Benefits from New Plant Breeding Techniques. Is It Only a Matter of Public Acceptance? *Sustainability*. 2016. Vol. 8. 1054 (In English).

12. Raymundo R., Asseng S., Cammarano D., Quiroz R. Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. *Field Crops Research*. 2014. Vol. 166. 173-185 (In English).

13. Goeser N.J., Mitchell P.D., Esker P.D., Curwen D., Weis G., Bussan A.J. Modeling Long-Term Trends in Russet Burbank Potato Growth and Development in Wisconsin. *Agronomy*. 2012. N2. 14-27 (In English).

14. Minin V.B., Popov V.D., Maksimov D.A., Ustroeв A.A., Papushin E., Melnikov S.P. Developing of Modern Cultivation Technology of Organic Potatoes. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. Special Iss. 2. 1359-1367 (In English).

15. Titova J.A., Novikova I.I., Boykova I.V., Pavlyushin V.A., Krasnobaeva I.L. Novel solid-phase multibiorecycled biologics based on *Bacillus subtilis* and *Trichoderma asperellum* as effective potato protectants against *Phytophthora* disease. *Sel'skhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2019. Vol. 54(5). 1002-1013 (In English).

16. Briukhanov A., Subbotin I., Uvarov R., Vasilev E. Method of designing of manure utilization technology. *Agronomy research*. 2017. Vol. 15(3). 658-663 (In English).

17. Gostev A.V., Pykhin A.I., Lyubitskiy N.I. Programmnoe obespechenie ratsional'nogo vybora adaptivnykh tekhnologiy vozdeleyvaniya zernovykh kul'tur kak element tsifrovizatsii zemledeliya [Software of rational choice of adaptive technologies for the cultivation of grain crops as an element of agriculture digitalization]. Programmnoe obespechenie ratsional'nogo vybora. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019. N23(6). 189-209 (In Russian).

18. Seifu F., Betewulign E. Evaluation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties for Yield Attributes. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2017. Vol. 7. N21. 15-22 (In English).

19. El-Zehery T.M. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 10. N12. 857-865 (In English).

20. Ahmed F., Mondal M., Akter B. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2019. Vol. 29. N3. 1-11 (In English).

21. Hagman J.E., Martensson A., Grandin U. Cultivation Practices and Potato Cultivars Suitable for Organic Potato Production. *Potato Research*. 2009. Vol. 52. 319-330. (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов

Минин В.Б. – разработка концепции, методологии, полевые и лабораторные исследования, обработка данных, формальный анализ, написание обзора и статьи, редактирование.

Захаров А.М. – разработка концепции, методология, организация полевых исследований и участие в них, формальный анализ, визуализация, написание обзора и статьи, редактирование.

Contribution of the authors:

Minin V.B. – concept development, methodology, field and laboratory research, data processing, formal analysis, review and article writing, editing.

Zakharov A.M. – concept development, methodology, organization of field research and participation in them, formal analysis, visualization, review and article writing, editing.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

12.08.2021
02.11.2021