

Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3 (51). С.28–36
Vestnik Kurganskoy GSNA. 2024; 3(51): 28–36

Научная статья
УДК 631.58:55:5
ВАК 4.1.1

EDN: RYFUMD

СИСТЕМНЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В РАЗВИТИИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Сергей Алексеевич Семизоров¹, Николай Васильевич Абрамов²✉, Игорь Николаевич Топорков³

^{1, 2, 3} Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

¹ semizorovsa@gauz.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0771-8165>

² abramovnv@gauz.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8816-3370>

³ toporkov.in@ati.gauz.ru

Аннотация. Цель исследований – разработать систему цифровых технологий в точном земледелии. Проведён анализ использования цифровых технологий в отрасли растениеводства Российской Федерации и зарубежных стран. Выявлено, что инновационные технологии с использованием систем спутниковой навигации имеют поступательное развитие, но отсутствует системность в их применении. На основе длительных научно-производственных опытов в Уральском Федеральном округе (период с 1998 по 2023 гг.) предложен системный подход к точному земледелию. Он представляет собой системную целостность технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур и ранжируется на три этапа, которые отражают последовательность перехода на высокотехнологическую отрасль растениеводства. Первый этап предусматривает оценку природного и биологического потенциала возделываемых культур. На втором этапе на основе большого массива данных (Big Data) проводится моделирование почвообразовательного процесса с оценкой оптимизации земных факторов для получения максимально возможной, экономически и экологически оправданной продуктивности агроценозов. Третий этап включает пошаговую последовательность перехода на цифровые технологии с использованием программного продукта для роботизации производственных процессов: оцифровка сельскохозяйственных угодий; мониторинг состояния плодородия почв и культурных растений; технологическое решение автоматизированного управления производственных процессов. Предложена математическая модель зависимости продуктивности агроценозов от состояния параметров окружающей среды. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса сокращает перерасход семян и удобрений на площади 551,1 м²/га, их экономию – на 13 кг/га и 6 кг/га соответственно, дизельного топлива – 0,39 л/га, снижает себестоимость зерна на 140 руб./ц и увеличивает рентабельность производства на 24 %.

Ключевые слова: цифровые технологии, биоклиматический потенциал, потенциальная урожайность, оцифровка сельскохозяйственных угодий, мониторинг плодородия земель.

Для цитирования: Семизоров С.А., Абрамов Н.В., Топорков И.Н. Системные цифровые решения в развитии точного земледелия // Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 3(51). С. 28–36. EDN: RYFUMD.

Scientific article

SYSTEM DIGITAL SOLUTIONS IN PRECISION AGRICULTURE DEVELOPMENT

Sergey A. Semizorov¹, Nikolay V. Abramov²✉, Igor N. Toporkov³

^{1, 2, 3} Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

¹ semizorovsa@gauz.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0771-8165>

² abramovnv@gauz.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-8816-3370>

³ toporkov.in@ati.gauz.ru

Abstract. The purpose of the research is to develop a system of digital technologies in precision agriculture. The analysis of applying digital technologies in crop industry of the Russian Federation and foreign countries is carried out. It is revealed that innovative technologies which use satellite navigation systems have progressive development, but there is no consistency in their application. Based on long-term scientific and industrial experiments in the Ural Federal District (the period from 1998 to 2023), a systematic approach to precision farming is proposed. It represents systemic integrity of crop cultivation technological operations and is ranked into three stages, which reflect the sequence of transition to the high-tech crop industry. The first stage involves the assessment of the natural and biological potential of cultivated crops. At the second stage, the modeling of the soil formation process based on databulk (Big Data) is carried out with an assessment of terrestrial factors optimization to obtain the maximum possible, economically and environmentally justified productivity of agroecosystems. The third stage includes a step-by-step sequence of transition to digital technologies using a software product for robotization of production processes: digitization of agricultural land; monitoring of soil fertility and cultivated plants; technological solution for automated management of production processes. A mathematical model of agroecosystems productivity dependence on the environmental parameters status is proposed. The digital transformation of the agro-industrial complex reduces seeds and fertilizers overexpenditure over an area of 551.1 m²/ha, their saving by 13 kg/ha and 6 kg/ha, respectively, diesel fuel by 0.39 l/ha, it reduces the cost of grain by 140 rubles/kg and increases the production profitability by 24 %.

© Семизоров С.А., Абрамов Н.В., Топорков И.Н., 2024

Keywords: digital technologies, bioclimatic potential, potential yield, agricultural land digitization, land fertility monitoring.
For citation: Semizorov S.A., Abramov N.V., Toporkov I.N. System digital solutions in precision agriculture development. Vestnik Kurganskoy GSHA. 2024; 3(51): 28–36 . EDN: RYFUMD. (In Russ).

Введение. Для эффективного функционирования аграрного сектора важным является использование инновационных технологий выращивания сельскохозяйственных культур. Современные мировые продовольственные системы выходят на принципиально новый этап технологического развития, который получил название «Сельское хозяйство 4.0» («Agriculture 4.0»). В России также прослеживается стремительный рост интереса к цифровым технологиям в отрасли растениеводства, в основе которых накоплен массив данных (Big Data) по факторам почвенного плодородия не только в среднем по полям, но и по их микроучасткам. В выборе решений повышения плодородия почв, продуктивности агроценозов и, как результат, экономической целесообразности перехода на инновационные технологии возрастает роль искусственного интеллекта. Успех устойчивого функционирования точного земледелия в производственных условиях подтверждается пока скромными результатами аграрного сектора [1–3].

Вместе с этим современный агропродовольственный сектор России – один из наиболее стабильно развивающихся секторов национальной экономики, а производство отдельных продуктов демонстрирует исторические рекорды. Стратегическое направление в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. ставит задачу увеличения производительности вдвое [4]. Однако эксперты отмечают низкий уровень проникновения информационных технологий в сферу АПК. Так, только 13–15 % агропредприятий готовы использовать геоинформационные системы, а на мировом уровне Россия занимает 41-е место по использованию технологий искусственного интеллекта. Цифровизация должна включать синергетический синтез информационных и интеллектуальных систем управления, эффективной работы оборудования и машин, своевременного получения фактических и прогнозных данных с возможностью их оперативного анализа, «интеллектуальных подсказок» [5–7].

Эффективность искусственного интеллекта будет реализована только тогда, когда инновационные цифровые технологии возделывания сельскохозяйственных культур примут системную целостность. К сожалению, зачастую в агробизнесе технологические процессы точного земледелия имеют фрагментарный характер [8–10]. Ключевой предпосылкой перехода к цифровым технологиям выращивания культур должны послужить разработки IT-специалистов, которым следует придать

комплексный подход, объединяющий в единую систему на всех этапах производства сельскохозяйственной продукции от поля до прилавка [11–13]. В целом это будет отражать отечественную платформу ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство». Формирующийся блокчейн становится основой для перехода к цифровизации производственных процессов в точном земледелии. Автоматизация и роботизация, дистанционное зондирование Земли, программное обеспечение геоинформационных систем, последовательность воплощения инновационных технологий в реальную сферу производственной цепочки АПК позволит перейти к рациональному земледелию, обеспечивающему рентабельность производства сельскохозяйственной продукции. В связи с этим целью наших исследований являлось разработать систему цифровых технологий в точном земледелии.

Материалы и методы. Методология разработки системы цифровых технологий выращивания культур базировалась с учетом целей и задач, сформулированных в «Стратегическом направлении в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г.», в «Программе цифровая экономика Российской Федерации» и других государственных документах. Для формирования иерархической структуры цифровизации производственных процессов использовались методы статистического анализа. Дана характеристика базовых компонентов, отражающих различный уровень продуктивности агроценозов, и предложены пути достижения цели с использованием инновационных технологий возделывания культур.

Результаты исследований и их обсуждение. При реализации стратегического направления цифровой трансформации агропромышленного комплекса следует иметь полное представление о биопродуцировании агроэкосистем. Поэтому на первом этапе перехода на цифровые технологии предлагается определить биоклиматический потенциал территории (БКП), который показывает возможную биологическую продуктивность земли и является одним из основных научных обоснований для перехода на новые технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

Расчеты с учетом коэффициента биологической продуктивности климата и суммы активных температур (более 10 °C) летнего периода показали, что биоклиматический потенциал агроклиматических зон Тюменской области находится в интервале 1,6–2,2. Это говорит о том, что более эффективно будут функционировать агропродовольственные системы, специализирующиеся

на отрасли животноводства. Вместе с этим данный уровень БКП свидетельствует об удовлетворительных условиях для выращивания сельскохозяйственных культур. Таким образом, биоклиматический потенциал в конкретной природно-климатической зоне может служить ориентиром на максимально возможный прирост продуктивности агроценозов относительно фактической производственной урожайности сельскохозяйственных культур и биопродуктивности агроценозов на фоне естественного плодородия почв. Объективная закономерность недобора продуктивности растений говорит о том, что в условиях Западной Сибири и Зауралья агроэкологический потенциал не используется достаточно эффективно и указывает на резервные возможности применения инновационных технологий выращивания культур.

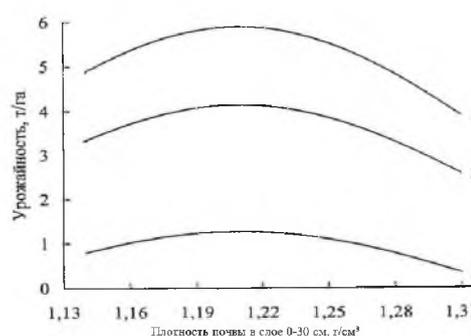
На данном этапе также определяется потенциальная продуктивность культур, которая зависит от фотосинтетической активной радиации с оптимальными почвенными и метеорологическими условиями для роста и развития культурных растений. Наши расчеты показали, что при использовании прогрессивных технологий выращивания зерновых, оптимизируя параметры почвенного плодородия, коэффициент использования ФАР (фотосинтетической активной радиации) в агроценозах достигает 5 %. При таком высоком уровне коэффициента использования фотосинтетической активности радиации потенциальная урожайность яровой пшеницы составила 13,75 т/га. Средняя многолетняя урожайность зерновых в Тюменской области составляет 2,15 т/га, т. е. агросектор использует только 21,4 % потенциальной возможности агроценозов.

В то же время расчеты показали, что урожайность яровой пшеницы в условиях оптимального увлажнения в период вегетации достигает 8,20 т/га, а при оптимальном уровне температурного режима по фазам развития – 8,38 т/га. Данный уровень продуктивности культур близок к производственным значениям и может служить основанием для программирования урожая в Зауралье.

Второй этап включает оценку роли земных факторов продуцирования агроэкосистем. Они более регулируемы, в отличие от космических факторов (ФАР, температуры, осадки), и имеют конкретные оптимальные значения при выращивании каждой культуры. Для черноземной почвы Северного Зауралья разработана модель почвенного плодородия с получением максимально возможной урожайности яровой пшеницы в богарных условиях – 5,96 т/га. Данный уровень продуктивности яровой пшеницы обеспечивают: плотность сложения почвы – 1,18–1,22 г/см³ в слое 0–30 см, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы – 120–150 мм, агрономически цен-

ные агрегаты размером 0,25–10 мм в диаметре – 65–71 %, а их водопрочность – 60–65 % [14], наличие и соотношение в почвенном растворе водородных катионов и гидроксильных анионов – рН 6,0–7,3, нитратный азот – 15–20 мг/кг почвы, P₂O₅ – 140–170 мг/кг, K₂O – 160–200 мг/кг почвы и гумус в слое 0–30 см – 7–9 %.

С использованием математического аппарата установлены нелинейные регрессии – квадратическая зависимость ($y = a + bx + cx^2$ – парабола второй степени). Они характерны для таких взаимосвязей урожайности яровой пшеницы, как с плотностью почвы, запасами воды, содержанием элементов питания и др. Например, при различных значениях факторов почвенного плодородия процесс формирования продуктивности яровой пшеницы отображен графически, где видно, что оптимальная плотность почвы для роста и развития культурных растений 1,18–1,22 г/см³ (рисунок 1).

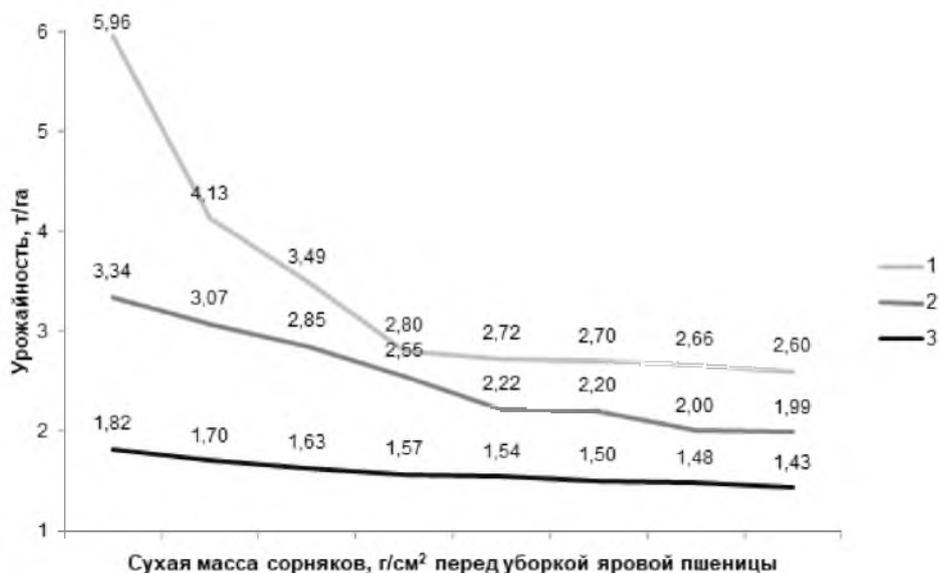


- 1 – оптимальное значение факторов плодородия;
2 – значение факторов, имеющих наибольшую частоту повторений; 3 – значение факторов, в которых урожайность яровой пшеницы наименьшая

Рисунок 1 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от плотности почвы

Гипербалическая зависимость $y = a + b/x$ была связана с засоренностью посевов, их поражённостью корневыми гнилями (рисунок 2).

Третий этап предусматривает практическую реализацию в производство цифровых технологий с предельной точностью. Данный этап решает в системе точного земледелия фундаментальные требования к производственному циклу выращивания культур: обеспечение воспроизводства плодородия почв, экономическое и экологическое обоснование технологии с получением максимально возможной урожайности. Нами сформулировано понятие точного земледелия: это система оптимизации звеньев систем земледелия и ресурсной базы, основанная на ГИС-технологиях. В результате получается запрограммированная продуктивность агроценозов, экологически безопасная, с желаемым качеством продукции.



1 – оптимальные значения факторов плодородия; 2 – значения факторов, имеющих наибольшую частоту повторений; 3 – значения факторов, в которых урожайность пшеницы наименьшая

Рисунок 2 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от засоренности посевов

Инновационные технологии возделывания культур при использовании систем спутниковой навигации и программного обеспечения имеют определенную последовательность для перехода к прецизионному земледелию. Изначально необходимо сформировать электронные карты сельскохозяйственных угодий с построением контура каждого поля и привязкой к географическим координатам. Оцифровка полей позволяет определить их площадь, учесть внутривольные объекты естественного и искусственного происхождения, а используя двухчастотный GPS-приемник, возможно построить цифровую модель рельефа поля (рисунок 3).

Для регионов с отрицательно выровненным рельефом полей это малоактуально, но в предгорных районах Уральского федерального округа для предотвращения водной эрозии следует учи-

тывать особенности ландшафта.

Вторым шагом в цифровых технологиях является мониторинг состояния плодородия почв по элементарным участкам. Согласно ГОСТа 28168-89 «Почвы. Отбор проб», размер элементарного участка зависит от природно-климатических условий, вариабельности почвенного плодородия, уровня применений фосфорных удобрений. Для Уральского ФО площадь элементарного участка при агрохимическом обследовании составляет 3-15 га, а для Задано- и Восточно-Сибирского – 3-40 га. Индивидуальные почвенные пробы (из 20 точек) каждого элементарного участка объединяется в один смешанный образец. После агрохимического анализа для поля составляется агрохимическая картограмма по элементарным участкам (рисунок 4).

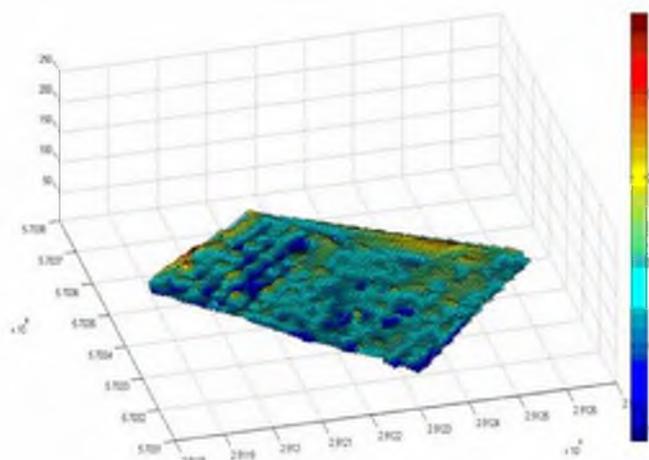


Рисунок 3 – Цифровая модель рельефа (Тюменская обл., Заводоуковская агропромышленная компания, 2007 г.)



Рисунок 4 – Технология мониторинга плодородия почв сельскохозяйственного назначения

Ранее изготовленный оцифрованный план полей хозяйства (1) загружается в специализированное геодезическое программное обеспечение «Google Earth» персонального компьютера (ПК) (2), где каждое поле размечается на элементарные участки определенной площади с учетом множества факторов. Затем подготовленные карты экспортируются в бортовой навигационный комплекс (БНК) «Агронавигатор» (3), который установлен в кабине автомобиля-внедорожника с подключенным внешним приёмником спутниковых навигационных сигналов (ГЛОНАСС/GPS), размещенным на автоматизированном почвенном пробоотборнике (4). При движении по элементарным участкам поля с каждого отбираются не менее 15–20 почвенных проб и смешиваются в один общий образец (5) одного участка. Почвенные образцы анализируются в агрохимической лаборатории (6) на содержание элементов питания. По результатам агрохимического определения почвы, создаются многослойные электронные карты (7) для дальнейшего их использования.

Детализация содержания элементов питания по микроучасткам поля является основой для следующего шага в практической реализации дифференцированного внесения удобрений с использованием систем спутниковой навигации. После калибровки нормы внесения удобрений высевающим аппаратом составляется карта-задание

в электронном виде и экспортируется в бортовой навигационный компьютер (БНК), который в автоматическом режиме, учитывая координаты нахождения посевного комплекса, регулирует объем подачи минеральных удобрений. В зависимости от пестроты поля по содержанию элементов питания дифференцированное внесение обеспечивало экономию минеральных удобрений на 56 %, что в денежном выражении составило 825 руб./га при цене аммиачной селитры 25 руб./кг. Используя коэффициент NDVI, содержание элементов питания в почве практически отработано дифференцированным внесением удобрений в режиме офлайн при подкормке в твердом или жидком виде по вегетации многих культур, возделываемых в УрФО.

Важной технологической операцией выращивания сельскохозяйственных культур считается защита растений от вредителей, болезней и сорняков. Использование системы «АСУР-ВД», которая способна регулировать поток рабочей жидкости при любом скоростном режиме опрыскивателя, отключать самостоятельно форсунки на уже обработанных площадях, предотвращало ожог посевов в наших исследованиях на 10 %, давало экономию химических средств защиты до 24 %, позволяло проводить опрыскивание полей помимо светового дня и тем самым увеличивало производительность агрегата на 37 %.

Заключительным шагом в процессе выращивания культур является учет урожая. Одной из наиболее оптимальных систем картирования урожайности зерновых считается механизм оптического определения объема и массы поступающего в бункер комбайна зерна. В такой комплект системы учёта урожайности входят: оптические датчики (рисунок 5), которые устанавливаются на корпус зернового элеватора друг против друга. При работе зерноуборочного комбайна по зерновому элеватору транспортёрной цепью со скребками подаётся зерно в камеру загрузочного шнека бункера комбайна, при проходе скребка транспортёра между двух оптических датчиков световой луч считывает высоту и наполненность горки зерна на скребке и передаёт её на бортовой компьютер, установленный в кабине комбайна. В зерновом бункере на загрузочный шнек устанавливается датчик определения влажности постоянно проходящего через него зерна. В системе картирования урожайности предусмотрена навигационная система, при помощи которой определяется местоположение агрегата в определённом участке поля. Для приёма сигналов GPS или ГЛОНАСС-связи на кабине комбайна установлена антенна [15].

Вся система картирования включается датчиком положения жатки. При опускании жатки на определённо установленную высоту среза хлебной массы система включается в работу, а при поднятии жатки она отключается. Все используемые датчики системы картирования подключены к бортовому компьютеру, а на его дисплее отображается информация о работоспособности системы, фактической урожайности и влажности обмолоченного зерна.

Полученные данные системой учёта урожая можно обработать в специальной ГИС-программе,

где, по легенде, можно наблюдать фактическую урожайность в отдельных участках поля, скорость движения комбайна при работе, влажность зерна и многие другие показатели.

Таким образом, результаты картирования позволили установить причины неоднородности урожайности яровой пшеницы на данном фрагменте поля, которые имеют постоянный характер и связаны с типом и разновидностью почвенного покрова. Картирование и выявление причин неоднородности урожая сельскохозяйственных культур по полям севооборота служат отправной точкой внедрения элементов точного земледелия. В последующем идет детализация факторов почвенного плодородия внутри проблемных участков, которые могут быть причинами снижения продуктивности агроценозов. Составляется подробная карта по элементарным участкам обеспеченности культурных растений тем или иным фактором жизнеобеспечения, а также программа дифференцированного выполнения агроприема с целью оптимизации показателей почвенного плодородия.

Все технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур выполнялись с использованием навигационной системы. Параллельное вождение, передвижение техники по полю согласно заданного маршрута, осуществляется благодаря встроенному GPS-приемнику и курсоуказателю. Точное движение техники с навигационным прибором снижает пропуски перекрытий при посеве, внесении минеральных удобрений, обработке посевов пестицидами и т. д. [16].

При среднем значении перекрытий стыковых междурядий 130 см пересев семян яровой пшеницы на 1 га составил 778,4 м², или 7,8 сотки (таблица) без применения систем спутниковой навигации.



Рисунок 5 – Картирование урожайности зерновых

Таблица – Экономическая эффективность работы посевного комплекса HORSCH с использованием спутниковой навигационной системы

Показатель	Без навигатора		С навигатором		Разность		Эффективность, руб.	
	на 1 га	на 10000 га	на 1 га	на 10000 га	на 1 га	на 10000 га	на 1 га	на 10000 га
Площадь пересева	778,4 м ²	778 га	227,3 м ²	227 га	551,1 м ²	551 га		
Перерасход семян	19 кг	190 т	6 кг	60 т	13 кг	130 т	260 руб.	2,6 млн руб.
Перерасход удобрений	12 кг	120 т	4 кг	40 т	8 кг	80 т	200 руб.	2,0 млн руб.
Перерасход топлива	0,546 л	5460 л	0,161 л	1610 л	0,385 л	3850 л	22,3 руб.	223,3 тыс. руб.

* в ценах 2024 г. семена – 20 руб./кг пшеницы; удобрения (аммиачная селитра) – 25 руб./кг; дизельное топливо – 58 руб./л

Учитывая, что широкозахватную технику используют в первую очередь крупные агрофирмы с размером пашни 10–40 тыс. га, нами проведен перерасчет дополнительных затрат для выполнения отдельных операций на 10 тыс. га, где площадь пересева и внесения минеральных удобрений составит 550 га. При этом перерасход семян яровой пшеницы (с нормой высева 2,5 ц/га) составил 13 кг/га, а на площади 10 тыс. га – 130 т. Товаропроизводитель на такой площади несет убыток только от пересева семян в стыковых междурядьях 2,6 млн руб., при стоимости 1 т семян – 20 тыс. руб. Излишне внесенные минеральные удобрения (норма 1,5 ц/га в физическом весе) составят 8 кг/га, или 80 т на 10 тыс. га, что в денежном выражении составит 2,0 млн руб.

Дополнительные затраты на дизельное топливо при посеве яровой пшеницы составят 223,3 тыс. руб. Выполнение работ на пересеянной площади 550 га влечет увеличение заработной платы исполнителям (механизаторам, водителям, рабочему персоналу) в размере 546,2 тыс. руб.

Кроме того, площадь пересева 550 га при общей площади посева зерновых 10 тыс. га соответственно потребует 3 дня дополнительного времени в период посевной (при норме выработки 200 га/смену). Потери урожая от несвоевременного посева в среднем составляют 0,2 т/га, а убытки при уходе от оптимальных сроков сева – 1,1 млн руб.

В целом переход на цифровые технологии возделывания культур с использованием систем спутниковой навигации позволит экономить 3475 руб./га.

Системный подход в использовании инновационных технологий апробирован в ряде хозяйств Тюменской и Свердловской областей.

Так, за 4 года внедрения ОАО «Приозёрное» Тюменской области урожайность зерновых возросла с 2,8 т/га до 3,9 т/га, а себестоимость их производства снизилась с 679 руб./ц до 539 руб./ц, с увеличением рентабельности от 0 до 24 %.

В ООО «Калининский» Свердловской области с площадью пашни 7,7 тыс. га поэтапный переход на технологии точного земледелия позволил увеличить урожайность яровой пшеницы за 3 года по сравнению с предыдущим периодом на 1,6 т/га, ячменя – на 1,19 т/га, овса – на 1,5 т/га.

Заключение. Разработанная система цифровых технологий в растениеводстве Уральского федерального округа включает в себя три этапа. Первый: формирование банка данных о космических факторах продуцирования агроэкосистем. Второй: оценка роли факторов почвенного плодородия в формировании продуктивности агроценозов. Третий: переход на инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур с использованием систем спутниковой навигации для оптимизации жизнеобеспечивающих свойств окружающей среды.

На основе произведенных исследований рассчитан биоклиматический потенциал по агроклиматическим зонам Северного Зауралья – 1,6–2,2. Определён уровень потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур (для яровой пшеницы 13,75 т/га). Установлено, что действительно возможная урожайность по влагообеспеченности составляет 8,20 т/га, по тепловым ресурсам – 8,38 т/га. Предложена математическая модель зависимости продуктивности агроценозов от состояния параметров окружающей среды.

Выявлено, что цифровизация технологий возделывания культур с использованием космических систем сокращает перерасход семян и удобрений на площади 551,1 м²/га, при их экономии 13 кг/га

и 6 кг/га соответственно, уменьшает расход дизельного топлива на 0,39 л/га, снижает себестоимость зерна на 140 руб./ц и повышает рентабельность его производства на 24 %. Разработки технологий возделывания сельскохозяйственных культур с использованием систем спутниковых навигаций успешно прошли производственную апробацию в Тюменской, Свердловской, Челябинской, Курганской областях на площади 244 тыс. га.

Список источников

1. Цифровое земледелие / А.Л. Иванов [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 4-9. EDN: YLEQTR.
2. Ганиева И.А. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: консолидация государства и агробизнеса // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 4. С. 5-7. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10401. EDN: QEIUFD.
3. Оборин М.С. Цифровые инновационные технологии в сельском хозяйстве // Аграрный вестник Урала. 2022. № 5 (220). С. 82-92. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-82-92. EDN: MVGSXW.
4. Стратегическое направление в области цифровой трансформации отрасли агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 23.11.2023 г. №3309-Р.М. 48 с.
5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»: утверждена Правительством РФ от 28.07.2017. № 1632.
6. Гамзиков Г.П. Точное земледелие в Сибири: реальности, проблемы и перспективы // Земледелие. 2022. № 1. С. 3-9. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9. EDN: MFZJNE.
7. Ерунова М.Г., Симакина А.С., Якубайлик О.Э. Создание базы данных для точного земледелия ОПХ «Курагинское» // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1 (178). С. 13-20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20. EDN: UXHCYQ.
8. Абрамов Н.В. Цифровизация производственных процессов в точном земледелии // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 58. С. 5-10. EDN: KVRDKO.
9. Оценка состояния сенокосных угодий на основе наземной и спутниковой спектрометрии / А.А. Ларько [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2 (155). С. 11-17. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-11-17. EDN: GDZURI.
10. Комаров А.П., Полищук Ю.В., Лаптев Н.В. Влияние систем точного земледелия на эффективность выполнения посевных работ // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2 (34). С. 20-23. EDN: WWWKXG.
11. Якушев В.П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «умное сельское хозяйство» России // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 11-15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15. EDN: ZBFLJJ.
12. От поля до прилавка: инновационные технологии в производственном цикле // Аграрная наука. 2018. № 7-8. С. 6-8. EDN: XZFADB.
13. Starostin I.A., Belyshkina M.E., Chilingaryan N.O., Alipichev A.Yu. Digital technologies in agricultural production: implementation background, current state and development trends // Agricultural Engineering. 2021. No. 3 (103). P. 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-4-10. EDN: XCMOSR.
14. Абрамов Н.В., Семизоров С.А., Шерстобитов С.В. Агрехимия в эпоху точного земледелия // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия: материалы научно-производственной конференции с международным участием. Тюмень: Изд-во ГАУ Северного Зауралья, 2018. С. 57-67. EDN: YRUKVF.
15. Абрамов Н.В. Космические системы в управлении производственными процессами агроценозов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 2. С. 33-37. EDN: OXSCON.
16. Семизоров С.А. Эффективность применения систем спутниковой навигации при посеве зерновых культур // Агропродовольственная политика России. 2015. № 10 (46). С. 31-34. EDN: VPEBET.

References

1. Ivanov A.L. et al. Tsifrovoye zemledelie [Digital farming]. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2018; (5): 4-9. EDN: YLEQTR. (In Russ).
2. Ganieva I.A. Tsifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaistva Rossii: konsolidatsiya gosudarstva i agrobiznesa [Digital Transformation of Russian Agriculture: Consolidation of the State and Agribusiness]. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2019; 33(4): 5-7. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10401. EDN: QEIUFD. (In Russ).
3. Oborin M.S. Tsifrovye innovatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaistve [Digital Innovative Technologies in Agriculture]. *Agricultural Bulletin of the Ural*. 2022; 5(220): 82-92. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-82-92. EDN: MVGSXW. (In Russ).
4. Strategicheskoye napravleniye v oblasti tsifrovoy transformatsii otrasli agropromyshlennogo i rybokhozyaistvennogo kompleksov RF na period

do 2030 g. [Strategic direction in the field of digital transformation of the agro-industrial and fisheries complexes of the Russian Federation for the period up to 2030]: Order of the Government of the Russian Federation dated 23.11.2023 No. 3309-P. M. 48 p. (In Russ).

5. Programma «Tsifrovaya ekonomika Rossiiskoi Federatsii» [The program «Digital Economy of the Russian Federation»]: approved by the Government of the Russian Federation on 28.07.2017. No. 1632. (In Russ).

6. Gamzikov G.P. Tochnoe zemledelie v Sibiri: real'nosti, problemy i perspektivy [Precision farming in Siberia: realities, problems and prospects]. *Zemledelie*. 2022; (1): 3-9. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-3-9. EDN: MFZJNE. (In Russ).

7. Erunova M.G., Simakina A.S., Yakubailik O.E. Sozdanie bazy dannykh dlya tochnogo zemledeliya OPKh «Kuraginskoe» [Creation of a database for precision farming at the Kuraginskoye farm]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2022; 1(178): 13-20. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-13-20. EDN: UXHCYQ. (In Russ).

8. Abramov N.V. Tsifrovizatsiya proizvodstvennykh protsessov v tochnom zemledelii [Digitalization of production processes in precision agriculture]. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2022; (58): 5-10. EDN: KVRDKO. (In Russ).

9. Larko A.A. et al. Otsenka sostoyaniya senokosnykh ugodii na osnove nazemnoi i sputnikovoi spektrometrii [Assessment of the condition of hayfields based on ground-based and satellite spectrometry]. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020; 2(155): 11-17. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-11-17. EDN: GDZURI. (In Russ).

10. Komarov A.P., Polischuk Yu.V., Laptev N.V. Vliyaniye sistem tochnogo zemledeliya na effektivnost' vypolneniya posevnykh rabot [The Impact of Precision Farming Systems on the Efficiency of Sowing Operations]. *Vestnik Kurganskoy GSHA*. 2020; 2(34): 20-23. EDN: WWWKXG. (In Russ).

11. Yakushev V.P. Tsifrovye tekhnologii tochnogo zemledeliya v realizatsii prioriteta «umnoye sel'skoye khozyaistvo» Rossii [Digital technologies of precision farming in the implementation of the priority of «smart agriculture» in Russia]. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019; (2): 11-15. DOI: 10.30850/vrsn/2019/2/11-15. EDN: ZBFLJJ. (In Russ).

12. Ot polya do prilavka: innovatsionnye tekhnologii v proizvodstvennom tsikle [From field to counter: innovative technologies in the production cycle]. *Agrarian science*. 2018; (7-8): 6-8. EDN: XZFADB. (In Russ).

13. Starostin I.A., Belyshkina M.E., Chilingaryan N.O., Alipichev A.Yu. Digital technologies in agricultural production: implementation background, current state and development trends. *Agricultural Engineering*. 2021; 3(103): 4-10. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-4-10. EDN: XCMOSR.

14. Abramov N.V., Semizorov S.A., Sherstobitov S.V. Agrokhimiya v epokhu tochnogo zemledeliya [Agrochemistry in the era of precision farming]. Proceedings of a Scientific and Production Conference with International Participation «Soil Fertility and Assessment of Agricultural Productivity». Tyumen: GAU Severnogo Zaural'ya; 2018: 57-67. EDN: YRUKVF. (In Russ).

15. Abramov N.V. Kosmicheskie sistemy v upravlenii produktsionnymi protsessami agrotsenozov [Space systems in the management of production processes of agrocenoses]. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2012; (2): 33-37. EDN: OXSCON. (In Russ).

16. Semizorov S.A. Effektivnost' primeneniya sistemsputnikovoi navigatsii pri poseve zernovykh kul'tur [Efficiency of using satellite navigation systems in sowing grain crops]. *Agro-food policy in Russia*. 2015; 10(46): 31-34. EDN: VPEBET. (In Russ).

Информация об авторах

С.А. Семизоров – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; AuthorID 677648.

Н.В. Абрамов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; AuthorID 741870.

И.Н. Топорков – аспирант.

Information about the authors

S.A. Semizorov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; AuthorID 677648.

N.V. Abramov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; AuthorID 741870.

I.N. Toporkov – graduate student.

Статья поступила в редакцию 13.05.2024; одобрена после рецензирования 24.07.2024; принята к публикации 03.10.2024.

The article was submitted 13.05.2024; approved after reviewing 24.07.2024; accepted for publication 03.10.2024.