

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-189-209>

Программное обеспечение рационального выбора адаптивных технологий возделывания зерновых культур как элемент цифровизации земледелия

А.В. Гостев ¹, А.И. Пыхтин ² ✉, Н.И. Любицкий ²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии – структурное подразделение ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»
ул. Карла Маркса, 70б, г. Курск, 305021, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: aipykhtin@swsu.ru

Резюме

Цель исследования. Разработать научно-обоснованную систему поддержки принятия решений для производителей сельскохозяйственной продукции по выбору адаптивных технологий возделывания зерновых культур в условиях Европейской части России.

Методы. Системный подход, теория проектирования баз данных, математическое моделирование, теория разработки программно-информационных систем, методы квалитетрии программных средств.

Результаты. В работе последовательно рассмотрены вопросы необходимости цифровизации земледелия, описаны результаты проводимых в настоящее время исследований по данной тематике, обозначены направления дальнейших исследований таких разработок, на примере собственных исследований поэтапно описан процесс создания и апробации прикладного программного обеспечения. В результате проведенных исследований был создан и апробирован готовый продукт – компьютерная программа, которая решает не только проблему повышения рентабельности производства зерновых культур, но и обеспечения природоохранной направленности используемых технологий, что крайне важно и актуально в настоящее время. Предлагаемый программный комплекс состоит из клиент-серверного приложения для персональных компьютеров, Web-приложения, мобильного приложения для смартфонов на базе операционной системы Android, двух баз данных (для персональных компьютеров и для Онлайн-версии приложения).

Заключение. Создано программное обеспечение, позволяющее подобрать с учетом сложившихся почвенно-климатических условий конкретной территории технологию возделывания выбранной зерновой культуры и, тем самым, способствовать повышению рентабельности производства зерновых культур, обеспечить природоохранную направленность применяемых технологий за счет эффективного использования минеральных удобрений, горючего и химических средств защиты растений, подбора оптимального сорта или гибрида зерновой культуры, используемой сельскохозяйственной техники с учетом требований импортозамещения и предварительного расчета экономической эффективности предлагаемой к внедрению агротехнологии.

Ключевые слова: программное обеспечение; поддержка принятия решений; база данных; цифровое земледелие.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Гостев А.В., Пыхтин А.И., Любицкий Н.И., 2019

Финансирование: Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук №МК-1064.2018.11.

Для цитирования: Гостев А.В., Пыхтин А.И., Любичский Н.И. Программное обеспечение рационального выбора адаптивных технологий возделывания зерновых культур как элемент цифровизации земледелия // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(6): 189-209. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-189-209>.

Поступила в редакцию 14.10.2019

Подписана в печать 22.11.2019

Опубликована 23.12.2019

Software of Rational Choice of Adaptive Technologies for the Cultivation of Grain Crops as an Element of Agriculture Digitalization

Andrey V. Gostev¹, Alexey I. Pykhtin²✉, Nikita I. Lyubitskiy²

¹ "Kursk FANTS" all-Russian research Institute of agriculture and soil protection from erosion
70B Karl Marks str., Kursk 305021, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: aipykhtin@swsu.ru

Abstract

Purpose of research. The goal of research is to develop a science-based decision support system for agricultural producers to choose adaptive technologies for growing crops in the European part of Russia.

Methods. System approach, database design theory, mathematical modeling, software and information systems development theory, software qualimetry methods.

Results. The paper consistently addresses the issues of the need to digitalize agriculture, describes the results of current research on this topic, identifies areas for further research of such developments, and describes the process of creating and testing application software in stages on the example of our own research. As a result of the conducted research, a finished product has been created and tested. It is a computer program that solves not only the problem of increasing the profitability of grain production, but also ensures the environmental orientation of the technologies used, which is extremely important and relevant at the present time. The proposed software package consists of a client-server application for personal computers, a web application, a mobile application for smartphones based on the Android operating system, and two databases (for personal computers and for the online version of the application).

Conclusion. There has been created software that allows us to select the technology for cultivating the given grain crop, taking into account the prevailing soil and climatic conditions of a particular territory, and, thus, it can help to increase the profitability of grain production, ensure the environmental orientation of the applied technologies by effectively using mineral fertilizers, fuel and chemical plant protection products and select the optimal variety or hybrid of grain crops. It can also help to choose agricultural machinery, taking into account the requirements of import substitution and preliminary calculation of the economic efficiency of the proposed agricultural technology.

Keywords: software; decision support; database; digital agriculture.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The research work was carried out within the grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – candidates of science No. MK-1064.2018.11.

For citation: Gostev A. V., Pykhtin A. I., Lyubitskiy N. I. Software of Rational Choice of Adaptive Technologies for the Cultivation of Grain Crops as an Element of Agriculture Digitalization. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(6): 189-209 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-189-209>.

Received 14.10.2019

Accepted 22.11.2019

Published 23.12.2019

Введение

В связи с активным развитием информационных технологий, цифровизация производственных процессов играет определяющую роль в конкурентоспособности и распределении лидирующих позиций среди развитых стран. Именно поэтому в настоящее время тематика становления цифровой экономики затрагивает практически все сферы деятельности.

Российская Федерация не является исключением в данном глобальном тренде. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р утверждена Госпрограмма «Цифровая экономика Российской Федерации», где указано: «...данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности, что повышает конкурентоспособность страны, качество жизни граждан, обеспечивает экономический рост и национальный суверенитет». Тем не менее, согласно опубликованным в данной Программе сведениям, по готовности к использованию экономических и инновационных результатов в цифровых технологиях Россия «занимает 38-е место с большим отставанием от стран-лидеров, таких, как Финляндия,

Швейцария, Швеция, Израиль, Сингапур, Нидерланды, Соединенные Штаты Америки, Норвегия, Люксембург и Германия».

Таким образом, при наличии 120 млн га пашни и являясь крупнейшим экспортером зерна, Россия существенно отстает и занимает только 15-е место по уровню цифровизации сельского хозяйства. В частности, согласно данным Министерства сельского хозяйства РФ, только в 10 % агрохозяйств России применяются решения на основе цифрового земледелия, тогда как в США эта цифра достигает 60 %, в странах Евросоюза еще выше – 80 % [1].

Поэтому переход нашей страны к цифровой экономике рассматривается в качестве ключевой движущей силы экономического роста и улучшения экономического состояния государства. Так, по оценке Минсельхоза России «использование цифровых технологий в АПК позволяет повысить рентабельность сельхозпроизводства за счет точечной оптимизации затрат и более эффективного распределения средств. Внедрение цифровой экономики позволяет снизить расходы не менее чем на 23% при внедрении комплексного подхода».

Мировая практика и опыт успешных отечественных сельскохозяйствен-

ных производителей показывают, что применение современных цифровых технологий уже на текущем этапе позволяет сформировать оптимальные почвенно-агротехнические и организационно-территориальные условия, обеспечивающие в течение всего жизненного цикла сельскохозяйственной продукции значительное повышение урожайности и производительности труда, снижение материальных затрат на ГСМ, электроэнергию, средства защиты растений, оплату труда и другие виды расходов, сохранение плодородия почв и защиту окружающей среды [2].

Современные исследователи видят цифровые технологии в ближайшем будущем неотъемлемой частью аграрного сектора: от систем поддержки принятия решений планирования посевов до автоматизации поливов, цифрового моделирования и прогнозирования урожайности [3].

Основными аргументами в поддержку цифровизации сельскохозяйственного производства являются необходимости решения следующих проблемных задач, связанных с отставанием России от передовых стран мира [4]:

- увеличение количества и качества урожая;
- минимизация вложений капитала;
- снижение трудоемкости и повышение производительности сельскохозяйственного производства;
- уменьшение вредного воздействия на окружающую среду;

– снижение зависимости от человеческого фактора в сельском хозяйстве и девиации по урожайности.

Следует также отметить, что сельское хозяйство представляет собой динамичную систему, подверженную влиянию множества факторов, поэтому для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур в течение вегетационного сезона необходимо принимать более 40 различных организационных и управленческих решений, касающихся выбора сортов и гибридов, вида, дозы и способа внесения удобрений, целесообразности проведения основной обработки почвы, нормы высева семян, проведения мероприятий по защите посевов и уборке. От корректности принятого решения зависит величина возможных потерь урожая как в количественном, так и качественном отношении. Поэтому для снижения вероятных потерь урожая следует применять научно-обоснованные решения, основанные на анализе имеющихся условий. Применительно к цифровизации земледелия подобные решения должны быть выражены в максимальной автоматизации основных агротехнологических приемов.

В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [5], утвержденной Указом Президента РФ от 1.12.2016 №642, применительно к сельскохозяйственной отрасли следует выделить 2 ключевых вызова:

- «а) исчерпание возможностей экономического роста России, основанного

на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов, на фоне формирования цифровой экономики и появления ограниченной группы стран-лидеров, обладающих новыми производственными технологиями» [5];

«г) потребность в обеспечении продовольственной безопасности и продовольственной независимости России, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе» [5].

Исходя из данных вызовов, в ближайшие 10-15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации предлагается считать:

«а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям» [5];

«г) переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений» [5].

В рамках решения данных приоритетных задач вектор направленности современных научных исследований и разработок переместился в область систематизации и накопления информации, анализа разнородных данных, создания новых и адаптации имеющихся математических моделей и автоматизированного или автоматического принятия решений на их основе. Этой тематике посвящены текущие исследования

как российских (В.К. Каличкин (Сибирский ФНЦ агробиотехнологий), В.В. Якушев (АФИ), Е.В. Луценко (Кубанский ГАУ), Л.В. Тиранова (Новгородский НИИСХ), В.М. Буре (СПбГУ)), так и зарубежных ведущих ученых Деерак Кешвани (Гос. университет Северной Каролины, США), Dennis Commarano (Кембридж, Англия) и мн. др. [6-11]. Тем не менее программного обеспечения, позволяющего на основе анализа имеющихся почвенно-климатических и материальных ресурсов формировать в автоматизированном режиме агротехнологии, до 2019 года в Федеральном институте промышленной собственности зарегистрировано не было. Семейство похожих программных продуктов разработано департаментом первичной промышленности и регионального развития правительства Западной Австралии (Department of Primary Industries and Regional Development - Government of Western Australia) - MyCrop Wheat, MyCrop Barley и др. В то же время указанные программы по сути являются справочниками по некоторым сортам зерновых культур с указанием их описания, возможных вредителей и т.д. Элементы поддержки принятия решений в указанных программах отсутствуют.

Материалы и методы

Цель проводимых исследований – разработать научно-обоснованную систему поддержки принятия решений для производителей сельскохозяйст-

венной продукции по выбору адаптивных технологий возделывания зерновых культур в условиях Европейской части России, позволяющую подобрать с учетом сложившихся почвенно-климатических условий конкретной территории технологию возделывания выбранной зерновой культуры и, тем самым, способствовать повышению рентабельности производства зерновых культур, обеспечить природоохранную направленность применяемых технологий за счет эффективного использования минеральных удобрений, горючего и химических средств защиты растений, подбора оптимального сорта или гибрида зерновой культуры, используемой сельскохозяйственной техники с учетом требований импортозамещения и предварительного расчета экономической эффективности предлагаемой к внедрению агротехнологии.

Исследование проводилось с точки зрения системного подхода, теории проектирования баз данных, математического моделирования, теории разработки программно-информационных систем, методов квалиметрии программных средств.

Согласно результатам Всероссийской сельскохозяйственной переписи, для Европейской части России ведущими культурами являются: пшеница (27,8 млн га), ячмень (8,4 млн га), овес (3,0 млн га), кукуруза на зерно (2,9 млн га), рожь (1,3 млн га), гречиха (1,2 млн га), горох (1,1 млн га), просо (0,4 млн га) [12]. С учетом контрастных почвенно-

климатических и ландшафтных условий изучаемой территории, анализ и обобщение результатов многолетних и краткосрочных полевых опытов по разработке и оптимизации технологий или отдельных приемов возделывания зерновых культур проводился дифференцировано для каждого укрупненного региона Европейской части России (Северного, Северо-Западного, Центрального, Волго-Вятского, Центрально-Черноземного, Северо-Кавказского, Средневолжского и Нижневолжского).

Для оптимизации процесса рационального выбора высокорентабельных адаптивных технологий было принято решение о поэтапном достижении поставленной цели за счет разработки и последующей интеграции в единой платформе вспомогательных приложений, обеспечивающих научно-обоснованный подбор основных агротехнологических приемов при возделывании ведущих зерновых культур на основе анализа имеющихся условий и их соответствия нормативным значениям массивов информации второго уровня:

- по выбору сортов и гибридов зерновых культур;
- по выбору систем удобрения, обработки почвы, защиты растений;
- по выбору способов посева и уборки, в т.ч. сельскохозяйственной техники.

Проведенная работа по анализу экспериментальных данных, полученных при ведении многолетних полевых опытов в Курском федеральном аграр-

ном научном центре и обобщении результатов исследований научно-исследовательских и образовательных учреждений, а также практических результатов других сельскохозяйственных предприятий Европейской части Российской Федерации, позволила выявить наиболее эффективные условия применения адаптивных технологий возделывания ведущих зерновых культур различного уровня интенсивности, на основе которых впоследствии были разработаны нормативно-справочная база данных, математическая модель и алгоритм выбора адаптивных технологий возделывания ведущих зерновых культур. Алгоритм подбора адаптивных агротехнологий основан на последовательном преодолении ключевых факторов почвенно-климатической и агротехнологической направленности, лимитирующих получение наиболее рентабельной урожайности культуры с высокими качественными показателями при соблюдении принципов ресурсосбережения.

Алгоритм подбора агротехнологий представляет собой дерево принятия решений, в котором «листья» – составляющие агротехнологии, содержащие формулы и (или) алгоритмы расчета значений параметров, а «ветки» – соответствующие направления определения элементов агротехнологии, зависящие от значения выбранных или рассчитанных параметров. Совокупность «веток» дерева принятия решений от корневого до замыкающего узла представляет собой адаптивную агротехнологию. Неко-

торые «листья» соответствуют несовместимым вариантам агротехнологий (например, возделывание зерновой культуры в nereкомендованном регионе), выбор такого «листа» требует возврата к предыдущему узлу дерева и не является возможным решением.



Рис. 1. Фрагмент дерева принятия решений

Fig. 1. The fragment of decision tree

Для определения элементов агротехнологии используются следующие инструменты:

1. Матрицы совместимости различных значений параметров элементов агротехнологии, построенные по результатам обработки экспертных оценок. Например, совместимость зерновых культур $C = \bigcup_i c_i$ ($i = \overline{1, N_C}$) и возможных предшественников $P = \bigcup_j p_j$ ($j = \overline{1, N_P}$) задается матрицей $S = (s_{ij})$,

каждый элемент которой равен $s_{ij} = 1$, если возделывание зерновой культуры рекомендуется для выбранного предшественника, $s_{ij} = 0$ - если не рекомендуется. Аналогичные матрицы заданы для соответствия регионов и культур, целесообразных и рекомендованных (предварительных и итоговых) способов основной обработки почвы, способов обработки почвы и групп почвообрабатывающих орудий и т.д.

2. Таблично заданные функции рекомендованных значений. Например, для всех совместимых комбинаций культур $c_i \in C$, типа почвы $t_k \in T$, региона возделывания $r_m \in R$ указаны рекомендованные дозы внесения макроудобрений $u(c_i, t_k, r_m)$.

3. Общеизвестные формулы для расчета элементов агротехнологии. Например, расчет убыли органического вещества почвы производится по следующей формуле:

$$V = G \cdot H \cdot D \cdot kk \cdot km, \quad (1)$$

где V – количество минерализованного гумуса, т/га;

G – содержание гумуса в почве, %;

H – глубина пахотного слоя, см;

D – плотность почвы, г/см³;

kk – относительный индекс биологической продуктивности;

km – коэффициент минерализации гумуса.

4. Метод взвешенной суммы критериев для определения субоптимального решения многокритериальной задачи оптимизации [14, 17]. Например, для

определения агротехнологии на основе выбранной культуры c_i и рассчитанных значений параметров агротехнологии $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{N_p})$:

• вычисляются значения:

$$F_i(c_i, \vec{x}) = \left(\sum_{il} w_{il} \cdot fa_l(c_i, x_{il}) \right) \cdot \left(\prod_{il} ft_l(c_i, x_{il}) \right), \quad (2)$$

где w_{il} – вес критерия по показателю x_{il} ;

$fa_l(c_i, x_{il})$ – функция оценки соответствия параметра агротехнологии для выбранной культуры;

$ft_l(c_i, x_{il})$ – функция совместимости значения параметра агротехнологии для выбранной культуры;

• находится максимальное значение

$$S = \max_i \{F_i(c_i, \vec{x})\};$$

• если значение S соответствует нескольким агротехнологиям с погрешностью ε , задаваемой администратором системы, т.е. $|S - F_i(c_i, \vec{x})| \leq \varepsilon$ для двух и более значений k , то выбирается экономически эффективная агротехнология [18].

В процессе адаптации агротехнологий к сложившимся природно-климатическим особенностям ландшафта, необходимо четко дифференцировать каждый агротехнологический прием по целесообразности его применения к текущим условиям с учетом знаний об истории ведения полей и его текущем состоянии. С учетом данного положения, научно-обоснованный подбор наиболее рациональной системы удобрений под возделываемую культуру в разработанном нами алгоритме представляет собой многоступенчатый процесс подбора

органических и минеральных удобрений, а также мелиорантов на основе анализа текущих почвенно-климатических и агротехнологических условий (содержания доступных для растений элементов питания в почве, реакции почвенной среды, гранулометрического состава почвы, климатических условий, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, последующего воздействия удобрений, рельефа полей и многих других) с использованием расчетного метода элементного баланса [15] исходя из запаса питательных веществ в почве и хозяйственного выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами. Подбор наиболее оптимального способа основной обработки почвы [16] ведется также на основе анализа почвенно-климатических и агротехнологических условий (с учетом гранулометрического состава почв, значений плотности почвы, способа почвообработки под предшествующую культуру, вероятности протекания эрозионных процессов, засоренности полей и т.д.). Таким образом, с помощью разработанного алгоритма формируются ключевые агротехнологические приемы – внесение удобрений и мелиорантов, а также основная обработка почвы, на которые впоследствии накладываются такие агроприемы, как протравливание семян, посев, мероприятия по защите растений и уборка.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время в Реестр селекционных достижений, допущенных к

возделыванию на территории Российской Федерации [13], включено более 3000 различных сортов и гибридов зерновых культур, подбор которых представляется довольно трудной задачей даже для агрономов-экспертов. Поэтому решение о возделывании конкретного сорта или гибрида, как правило, носит субъективный характер, основанный на общих рекомендациях научно-исследовательских учреждений для регионов, успешных маркетинговых акциях семеноводческих компаний, опыта применения сортов или гибридов в соседних агрофирмах, либо консервативного мнения руководителей сельскохозяйственных организаций. Поэтому, современное высокотехнологичное аграрное производство требует разработки и применения методов, алгоритмов и программных средств для подбора сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, учитывающих агротехнологические и почвенно-климатические особенности агросистемы.

Процесс сортосмены, связанный с изменением погодных, климатических, экологических, экономических и других условий является довольно частым явлением в сельском хозяйстве и поэтому с достоверной вероятностью существует потребность сельхозтоваропроизводителей в разработке подобного программного обеспечения. На первом этапе заявленных исследований была разработана «Программа для научно-обоснованного выбора сортов и гибридов зерновых культур» [14] в виде кли-

ент-серверного приложения для персональных компьютеров, реализованного на технологической платформе «1С: Предприятие 8.3», Web-приложения, мобильного приложения для смартфонов на базе операционной системы Android «Зерновые культуры: подбор сортов и гибридов», двух баз данных (для персональных компьютеров и для Онлайн-версии приложения) (рис. 2-3). На 21-ой Российской агропромышленной выставке «Золотая осень 2019» данный программный комплекс был награжден серебряной медалью и дипломом.

Web-сайт находится в открытом доступе (<http://выборсорта.рф>), мобильное приложение размещено в каталоге Google Play Market. Доступ к приложению бесплатен. Административная часть, реализованная на платформе «1С: Предприятие 8.3», находится в закрытом доступе, позволяет редактировать

обрабатываемый перечень зерновых культур, их сортов и гибридов, их характеристик, показателей для подбора и т.д. Административный модуль позволяет импортировать данные из форматов Microsoft Excel и Word, выполняет автоматизированную передачу данных на Web-сервер для корректной работы и обновления Онлайн-приложения и приложения для Android.

Последовательность подбора сортов и гибридов сельскохозяйственных культур представлена интуитивно-понятным пользовательским интерфейсом и заключается в проведении всего двух этапов (рис. 3):

1) в рабочем режиме авторизованный пользователь выбирает интересующую его сельскохозяйственную культуру;

2) для выбранной культуры указывает планируемый регион возделывания и значения необходимых пользователю целевых показателей.

урта.рф/home/cropLevel

Админ Культуры Сорта Параметры Уровни параметров Параметры культур Уровни культур Устойчивость Пользователь Javid

Уровни культур

Добавить

Название культуры	Название параметра	Название уровня	Действие
Горох посевной	Засухоустойчивость	Выше стандартов	Редактировать
Горох посевной	Засухоустойчивость	На уровне стандартов	Редактировать
Горох посевной	Засухоустойчивость	Не имеет значения	Редактировать
Горох посевной	Засухоустойчивость	Ниже стандартов	Редактировать
Горох посевной	Период созревания	Не имеет значения	Редактировать
Горох посевной	Период созревания	Позднеспелый	Редактировать
Горох посевной	Период созревания	Среднепоздний	Редактировать

Рис. 2. Web-интерфейс программного обеспечения по научно-обоснованному выбору сортов и гибридов зерновых культур

Fig. 2. Web-based software interface for scientifically grounded selection of varieties and hybrids of grain crops

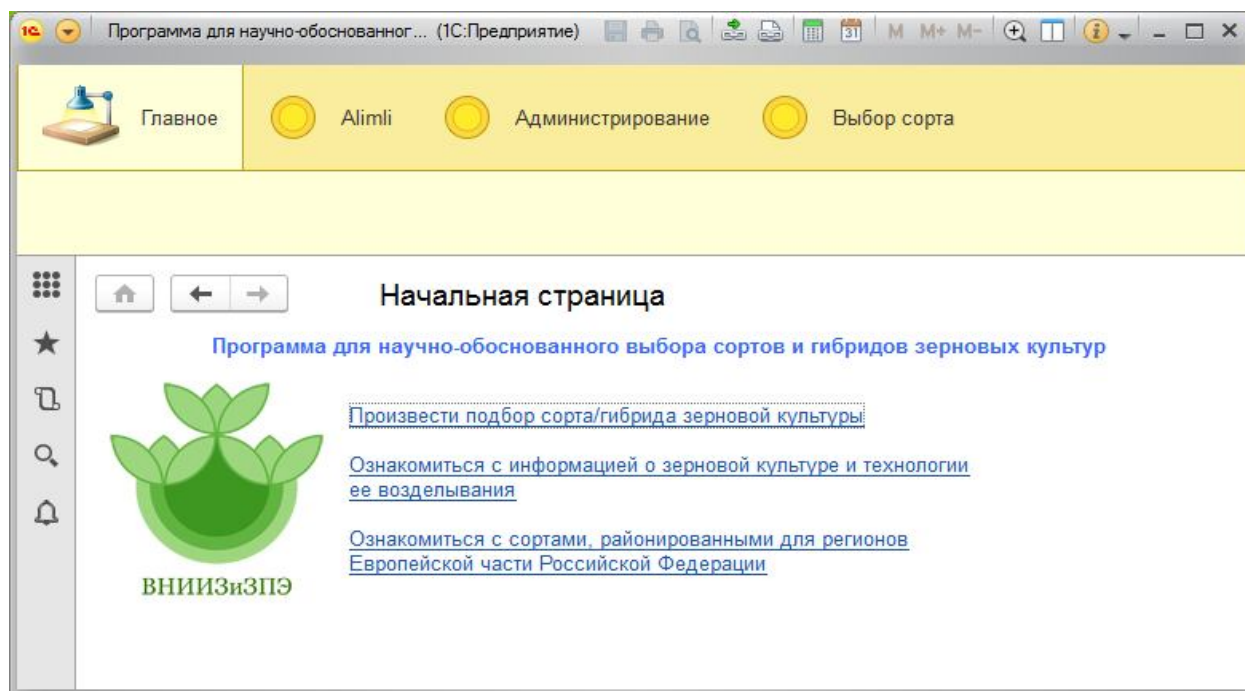


Рис. 3. Клиентский интерфейс программного обеспечения по научно-обоснованному выбору сортов и гибридов зерновых культур, реализованных на технологической платформе «1С: Предприятие 8.3»

Fig. 3. Client interface of the software for scientifically-based selection of varieties and hybrids of grain crops implemented on the technological platform "1C: Enterprise 8.3"

На основе указанных значений показателей и выбранного региона Российской Федерации пользователь получает список рекомендуемых сортов (гибридов), соответствующих, либо в допустимых пределах (задаваемых администратором системы) частично соответствующих введенному запросу с возможностью дальнейшего ознакомления с их подробным описанием.

Проведенная работа по разработке алгоритма рационального подбора высокорентабельных адаптивных технологий возделывания зерновых культур позволила перейти к заключительному этапу исследования – созданию приложения «Программа для рационального выбора высокорентабельных адаптивных технологий возделывания зерновых культур для различных условий Европейской части Российской Федерации»,

позволяющего сельхозтоваропроизводителям на основе компьютерного анализа имеющихся данных оперативно и обоснованно, с научной точки зрения, использовать почвенно-климатические и агротехнологические ресурсы сельскохозяйственных территорий с целью повышения рентабельности применяемых агротехнологий, а также обеспечения природоохранной направленности используемых технологий за счет эффективного использования минеральных удобрений, горючего и химических средств защиты растений, подбора оптимального сорта или гибрида зерновых культур, используемой сельскохозяйственной техники с учетом требований импортозамещения и предварительного расчета экономической эффективности выбранной технологии (рис. 4).

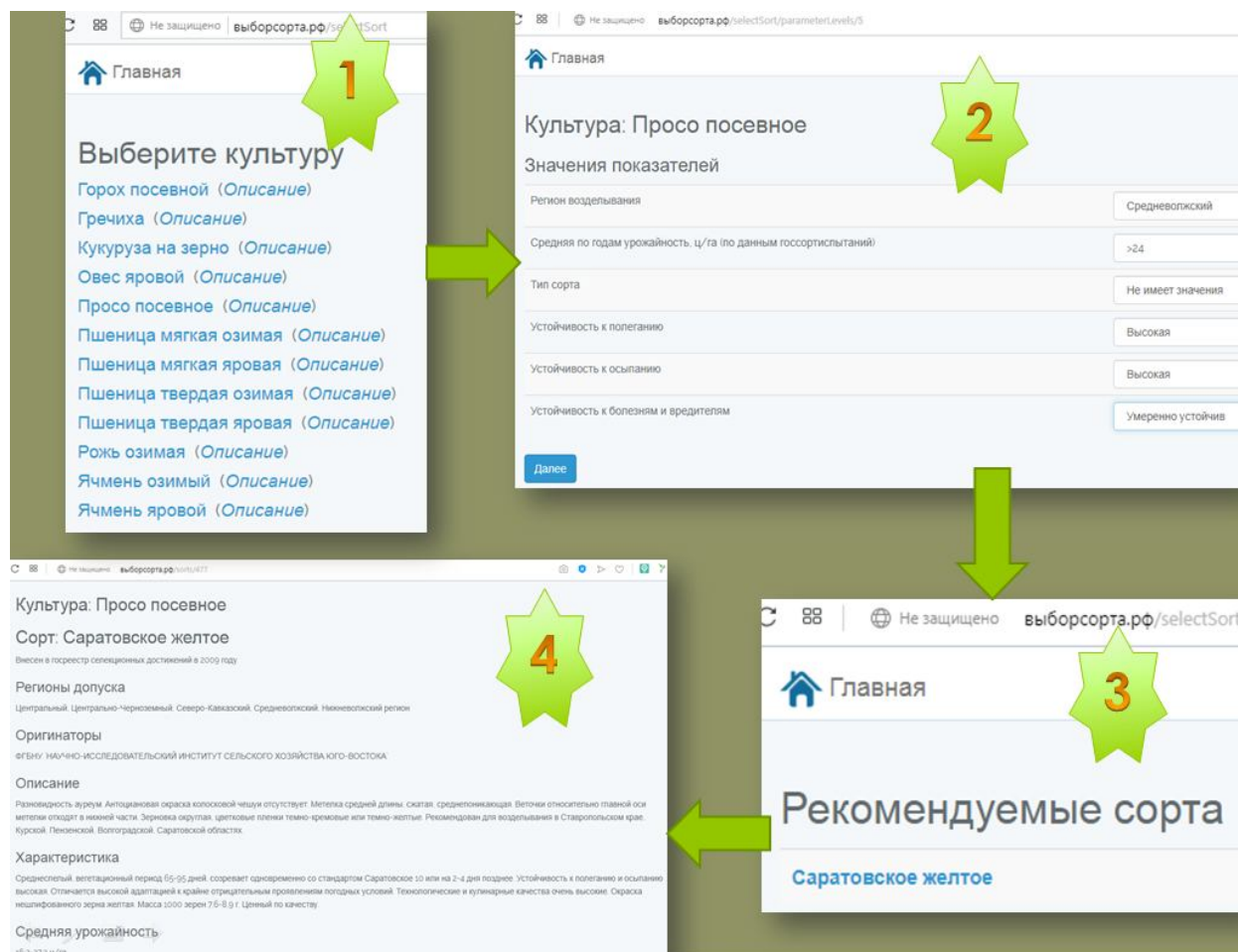


Рис. 4. Последовательность подбора сортов и гибридов сельскохозяйственных культур с помощью программы (на примере проса посевного)

Fig. 4. Sequence of selection of varieties and hybrids of agricultural crops with the help of the program (on the example of common millet)

Последовательность подбора высококорентабельных адаптивных технологий возделывания ведущих зерновых культур представлена в табл. 1 и представляет собой сочетание рабочего режима пользователя (в котором пользователь вводит данные, описывающие почвенно-климатические и агротехнологические условия рабочего участка) и режима поддержки принятия решений (в котором происходит анализ введенных пользователем данных, с учетом имеющихся нормативов, и производит-

ся расчет доз и сроков внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений). Программа разработана с использованием NoSQL базы данных MongoDB.

Прототип программного комплекса доступен в настоящее время по адресу в сети Интернет - <https://agro.workspark.ru/> (рис. 5).

Аналогичные программные комплексы, которые в полном объеме решают подобные задачи, в настоящее время отсутствуют.

Таблица 1. Основные этапы рационального подбора высокорентабельных адаптивных технологий возделывания зерновых культур**Table 1.** Main stages of rational selection of highly profitable adaptive technologies of grain crops cultivation

Рабочий режим пользователя	Режим поддержки принятия решений
Выбор планируемой к возделыванию сельскохозяйственной культуры с указанием региона возделывания	Определение возможности возделывания выбранной культуры в выбранном регионе: если выбранная культура соответствует выбранному региону, то выбор технологии идет дальше, если не соответствует, то пользователю предлагается скорректировать либо выбор культуры, либо выбор региона
Уточнение предшественника выбранной культуры	Определение целесообразности возделывания культуры по данному предшественнику: если выбранную культуру целесообразно возделывать по указанному предшественнику, то выбор технологии идет дальше, если не целесообразно, то пользователю предлагается скорректировать выбор культуры
Заполнение характеристики пахотного слоя почвы рабочего участка (тип почвы, гранулометрический состав, содержание гумуса в почве, %; глубина пахотного слоя, см; плотность почвы, г/см ³ ; значение кислотности почвы, наличие эрозийных процессов)	Определение целесообразности внесения удобрений (органических и макроудобрений), а также мелиорантов, рекомендации по необходимым дозам и срокам внесения (с использованием расчетного метода элементного баланса), по наиболее рациональному способу основной обработки почвы и нормам высева семян
Заполнение фитосанитарной характеристики рабочего участка (способ обработки под предшественник, сорняки, болезни и вредители, численно превышающие экономический порог вредности)	Определение целесообразности применения средств защиты растений, рекомендации по необходимым дозам и срокам внесения
Заполнение климатической характеристики рабочего участка в период, предшествующий уборке	Определение наиболее целесообразного способа уборки возделываемой культуры (включая возможность десикации посевов)

В качестве аналогов использования разработанного комплекса приложений является применение следующих методов: неавтоматизированный анализ электронной версии Государственного реестра селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России; анализ с привлечением экспертов-агрономов; анализ информа-

ции соответствующих научно-практических семинаров Министерства сельского хозяйства России и подведомственных организаций; анализ на основе рекомендаций, разработанных профильными научно-исследовательскими организациями. Частичным аналогом являются разработки Департамента первичной промышленности и региональ-

ного развития правительства Западной Австралии – программы для операционной системы Android «MyCrop Wheat», «MyCrop Barley» и др.

В то же время указанные программы носят в большей степени справочный и информационный характер, не содержат инструментов для автоматизи-

зированной поддержки принятия решений. Сопоставление разработанного программного комплекса с используемыми для достижения аналогичных результатов методами рационального подбора высокорентабельных адаптивных технологий возделывания зерновых культур представлено в табл. 2.

Пожалуйста, выберите планируемую к возделыванию культуру

Варианты ответа

Горох

Горох

Гречиха

Кукуруза (на зерно)

Овес

Просо

Пшеница (озимая мягкая)

Пшеница (озимая твердая)

Пшеница (яровая мягкая)

Пшеница (яровая твердая)

Рожь озимая

Ячмень (озимый)

Ячмень (яровой)

Введите значения

Содержание гумуса в почве

7

Глубина пахотного слоя

в см

Плотность почвы

в г/см³

Далее

Какие удобрения/мелиоранты планируется вносить?

☒ Органические

доза вносимых удобрений в т/га

☒ Макроудобрения

20

Р в кг.д.в

К в кг.д.в

☒ Мелиоранты

доза вносимых мелиорантов в т/га

Далее

Для восполнения вышеуказанного органического вещества, выберите планируемый источник повышения органического вещества почвы

☒ Пожнивno-корневые остатки

☒ Использование соломы

☒ Сидеральные культуры

Далее

Рис.5. Примеры интерфейсов прототипа программного комплекса

Fig. 5. Examples of software prototype interfaces

В настоящее время разработанное программное обеспечение апробировано в ряде фермерских хозяйств Курской области, получены положительные заключения.

Рассматривается вопрос о коммерциализации программного комплекса как путем платного предоставления доступа к полному функционалу про-

граммы, так и за счет размещения в системе рекламных материалов организаций, занимающихся производством и реализацией оригинальных семян и сельскохозяйственной продукции, в т.ч. удобрений, и (или) техники, а также за счет получения небольшой доли процента с продаж сельскохозяйственной продукции через платформу.

Таблица 2. Сопоставление разработанного программного комплекса с аналогами**Table 2.** Comparison of the developed software complex with analogues

Параметр для сравнения	Разработанное программное обеспечение	Конкуренты				
		Государственный реестр селекционных достижений	Использование экспертной оценки привлечённым специалистом	Посещение семинаров Минсельхоза России и подчиненных организаций	Использование рекомендаций профильных НИИ	Разработка Департамента первичной промышленности и регионального развития правительства Западной Австралии
Возможность ознакомления с описанием элементов агротехнологий	+	+	+/- (как правило, эксперты не знают всех тонкостей, разбираются только в отдельных элементах агротехнологии)	+	+/- (рекомендации обновляются редко)	-/+ (только для избранных культур и сортов)
Возможность выбора оптимальной агротехнологии	+	-	-/+ (как правило, эксперты не знают всех тонкостей, разбираются только в отдельных элементах агротехнологии)	-/+ (только среди агротехнологий, рассматриваемых на семинаре)	-/+ (рекомендации обновляются редко)	-
Возможность дистанционного выбора агротехнологии	+	+ (только в части сортов и гибридов)	+/-	-	+	+ (только в части сортов и гибридов)
Оценка вероятности получения «предвзятого» результата	низкая	средняя	высокая	средняя	низкая	средняя
Среднее время принятия решения	15 мин	2 часа	2 часа	6 часов	2 часа	15 мин
Наличие адаптированной версии для мобильных устройств	+	-	-	-	-	+

Результаты работы заложенного в программу алгоритма были сопоставлены с результатами, получаемыми с помощью классифицирующих нейронных сетей (многослойных персептронов, обучаемых по алгоритму Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно с различными функциями активации скрытого слоя и слоя выходных нейронов), на вход которых подается вектор рассчитанных значений параметров агротехнологии $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{N_p})$, а на вы-

ходах – признаки рекомендуемых агротехнологий. Обучающая выборка сформирована на основе обобщения «очевидных» вариантов, т.е. вариантов, по которым решение человека-эксперта по выбору агротехнологии однозначно. Объем обучающей выборки составил 6567 вариантов. Сравнение результатов предложенного алгоритма с наиболее точными из полученных нейронных сетей представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнение матриц ошибок 5 наиболее точных классифицирующих нейронных сетей и предлагаемого алгоритма

Table 3. Comparison of error matrices of the 5 most accurate classifying neural networks and the proposed algorithm

Алгоритм	Показатель	Агротехнология 1	Агротехнология 2	Агротехнология 3	Все вместе
Многослойный персептрон 752-7-3 Алгоритм обучения BFGS-122	Все	2217,000	2811,000	1539,000	6567,000
	Правильно	1807,000	2654,000	1138,000	5599,000
	Неправильно	410,000	157,000	401,000	968,000
	Правильно (%)	81,507	94,415	73,944	85,260
	Неправильно (%)	18,493	5,585	26,056	14,740
Многослойный персептрон 752-9-3 Алгоритм обучения BFGS-148	Все	2217,000	2811,000	1539,000	6567,000
	Правильно	1954,000	2592,000	1286,000	5832,000
	Неправильно	263,000	219,000	253,000	735,000
	Правильно (%)	88,137	92,209	83,561	88,808
	Неправильно (%)	11,863	7,791	16,439	11,192
Многослойный персептрон 752-9-3 Алгоритм обучения BFGS-163	Все	2217,000	2811,000	1539,000	6567,000
	Правильно	1598,000	2590,000	1055,000	5243,000
	Неправильно	619,000	221,000	484,000	1324,000
	Правильно (%)	72,079	92,138	68,551	79,839
	Неправильно (%)	27,921	7,862	31,449	20,161
Многослойный персептрон 752-7-3 Алгоритм обучения BFGS-126	Все	2217,000	2811,000	1539,000	6567,000
	Правильно	1919,000	2588,000	1177,000	5684,000
	Неправильно	298,000	223,000	362,000	883,000
	Правильно (%)	86,558	92,067	76,478	86,554
	Неправильно (%)	13,442	7,933	23,522	13,446
Многослойный персептрон 752-10-3 Алгоритм обучения BFGS-91	Все	2217,000	2811,000	1539,000	6567,000
	Правильно	1838,000	2630,000	1188,000	5656,000
	Неправильно	379,000	181,000	351,000	911,000
	Правильно (%)	82,905	93,561	77,193	86,128
	Неправильно (%)	17,095	6,439	22,807	13,872
Разработанное программное обеспечение	Все	2217,000	2811,000	1539,000	6567,000
	Правильно	1984,000	2711,000	1297,000	5992,000
	Неправильно	233,000	100,000	242,000	575,000
	Правильно (%)	89,490	96,443	84,276	270,208
	Неправильно (%)	10,510	3,557	15,724	29,792

Предложенный алгоритм демонстрирует в среднем на 5% (по трем агротехнологиям) более высокую точность, чем модели на нейронных сетях. Преимущество алгоритма обусловлено применением функций совместимости значения параметра агротехнологии для выбранной культуры, которые отсеивают непригодные варианты классификации.

Следующими этапами развития программного комплекса станут:

- Совершенствование функционала личного кабинета пользователя.
- Внедрение системы прямого заказа сельскохозяйственной продукции.
- Перевод приложения на другие языки (как стран СНГ, так и других государств), наполнение базы данных соответствующими зарубежными культурами и сортами (гибридами).

Выводы

«Программа для рационального выбора высокорентабельных адаптивных технологий возделывания зерновых культур для различных условий Европейской части Российской Федерации» позволяет специалистам сельскохозяйственных предприятий, фермерских хозяйств, экспертами обучающимся вузов и сузов сельскохозяйственного направления на основе диалоговых запросов в автоматизированной форме как удален-

но, так и в режиме Online в кратчайшие сроки ознакомиться с перечнем сортов/гибридов ведущих колосовых, крупяных и зернобобовых культур (на текущий момент база данных включает более 600 наименований), допущенных к возделыванию на территории Европейской части Российской Федерации, произвести научно-обоснованный подбор сортов/гибридов зерновых культур по заданным параметрам, а также сформировать адаптивные технологии (либо отдельно ведущие агроприемы) их возделывания на основе анализа соответствия имеющихся почвенно-климатических и агротехнических условий сельскохозяйственных территорий нормативно-справочным данным. Использование базы данных сельскохозяйственных машин, орудий и агрегатов отечественного и импортного производства (более 240 наименований) поможет сформировать технологическую карту, а также позволит экономически и энергетически оценить эффективность данного мероприятия. В программе предусмотрена корректировка нормативной базы данных с возможностью ее модификации не только применительно к условиям Европейской части России, но и для других регионов РФ, а также ближнего и дальнего зарубежья без существенных изменений программного кода.

Список литературы

1. Цифровизация сельского хозяйства. URL: http://polit.ru/article/2018/02/21/sk_digital_farming/ (дата обращения: 11.05.2018).
2. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 80 с.
3. Щербина Т.А. Цифровая трансформация сельского хозяйства РФ: опыт и перспективы // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. М., 2019. Вып. 14. С. 450-453.
4. Цифровизация сельскохозяйственного производства России на период 2018-2025 гг. // Исследование кооперационного проекта «Германо-Российский аграрно-политический диалог». Москва/Берлин, 2018. 33с.
5. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. М., 2016. 39 с.
6. Якушев В.В., Якушев В.П. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 9. С. 773–784.
7. Степных Н.В., Заргарян А.М., Жукова О.А. Компьютерная программа по проектированию технологий выращивания сельхозкультур // Аграрный вестник Урала. 2017. № 3 (157). С.54–58.
8. Исакова С.П., Лапченко Е.А. Web-комплекс на базе математической модели формирования оптимального машинно-тракторного парка // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 5 (252). С. 76–82.
9. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models / R. Anderson, D. Keshwani, A. Guru etc. // Enviromental modeling and Software. 2018. Vol. 108. P. 40–50.
10. Dzotsi K.A., Basso B., Jones J.W. Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT // Ecological Modelling. 2013. No. 260. P. 62–76.
11. Lopez-Requelme J., Pavon-Pulido N., Navarro-Hellin H. A software architecture based on FIWARE cloud for precision agriculture // Agricultural water management. 2017. T. 183. С. 123–135.
12. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: в 8 т. / Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. Т. 1. 458 с.
13. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 504 с.
14. Пыхтин А.И., Гостев А.В., Алимли Д.А. Модель, алгоритм и программное обеспечение для автоматизированного подбора сортов и гибридов зерновых культур /

// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8. № 3 (28). С. 25-34.

15. Методические указания по определению баланса питательных веществ: азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: Изд-во ЦИНАО, 2000. 40 с.

16. Пыхтин И.Г., Гостев А.В., Нитченко Л.Б. Теоретические основы систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения // Земледелие. 2015. № 5. С. 13-15.

17. Гостев А.В., Пыхтин А.И. Современные подходы к автоматизации рационального выбора адаптивных агротехнологий // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 71-74.

References

1. Tsifrovizatsiya sel'skogo khozyaistva [Digitalization of agriculture]. Available at: http://polit.ru/article/2018/02/21/sk_digital_farming/ (accessed 11.05.2018) (In Russ.).

2. *Tsifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaistva Rossii* [Digital transformation of agriculture in Russia]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 2019, 80 p. (In Russ.).

3. Shcherbina T.A. Tsifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaistva RF: opyt i perspektivy [Digital transformation of agriculture of the Russian Federation: experience and prospects]. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya. Ezhegodnik* [Russia: trends and prospects of development. Yearbook]. Moscow, 2019, is. 14, pp. 450-453 (In Russ.).

4. Tsifrovizatsiya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva Rossii na period 2018-2025gg. [Digitalization of agricultural production in Russia for the period 2018-2025]. *Issledovanie kooperatsionnogo proekta "Germano-Rossiiskii agrarno-politicheskii dialog"* [Study of the cooperation project "German-Russian agrarian-political dialogue"]. Moscow – Berlin, 2018, 33 p. (In Russ.).

5. *Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii* [Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation]. Moscow, 2016, 39 p. (In Russ.).

6. Yakushev V.V., Yakushev V.P. Perspektivy «umnogo sel'skogo khozyaistva» v Rossii [Prospects of "smart agriculture" in Russia]. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2018, vol. 88, no. 9, pp. 773-784 (In Russ.).

7. Steppe N.V., Zargaryan A.M., Zhukova O.A. Komp'yuternaya programma po proektirovaniyu tekhnologii vyrashchivaniya sel'khozkul'tur [A computer program for the design of technologies of cultivation of agricultural crops]. *Agrarnyi vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2017, no. 3 (157), pp. 54-58 (In Russ.).

8. Isakova S.P., Lapchenko E.A. Web-kompleks na baze matematicheskoi modeli formirovaniya optimal'nogo mashinno-traktornogo parka [Web-complex on the basis of mathematical model of optimal machine-tractor park formation]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Bulletin of agricultural science*, 2016, no. 5 (252), pp. 76-82 (In Russ.).

9. Anderson R., Keshwani D., Guru A. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. *Environmental modeling and Software*, 2018, vol. 108, pp. 40-50.

10. Dzotsi K.A., Basso B., Jones J.W. Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT. *Ecological Modelling*, 2013, no. 260, pp. 62-76.

11. Lopez-Requelme, J., Pavon-Pulido N., Navarro-Hellin H. A software architecture based on FIWARE cloud for precision agriculture. *Agricultural water management*, 2017, vol. 183, pp. 123-135.

12. Itogi Vserossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi perepisi 2016 goda [Results of the All-Russian agricultural census of 2016]. Moscow, *IITS "Statistics of Russia" Publ.*, 2018, vol. 1, 458 p. (In Russ.).

13. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu [State register of breeding achievements approved for use. Vol. "Varieties of plants" (official edition)]. Moscow, *Rosinformagrotech Publ.*, 2019, 504 p. (In Russ.).

14. Pykhtin A.I., Gostev A.V., Alimli D.A. Model', algoritm i programmnoe obespechenie dlya avtomatizirovannogo podbora sortov i gibridov zernovykh kul'tur [Model, algorithm and software for automated selection of varieties and hybrids of grain crops]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2018, vol. 8, no. 3 (28), pp. 25-34 (In Russ.).

15. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu balansa pitatel'nykh veshchestv: azota, fosfora, kaliya, gumusa, kal'tsiya* [Guidelines for determining the balance of nutrients: nitrogen, phosphorus, potassium, humus, calcium]. Moscow, *TsINA O Publ.*, 2000, 40 p. (In Russ.).

16. Pykhtin I.G., Gostev A.V., Nitchenko L.B. Teoreticheskie osnovy sistematizatsii obrabotok pochvy v agrotekhnologiyakh novogo pokoleniya [Theoretical bases of systematization of soil treatments in agrotechnologies of new generation]. *Zemledelie = Agriculture*, 2015, no. 5, pp. 13-15 (In Russ.).

17. Gostev A.V., Pykhtin A. I. Sovremennye podkhody k avtomatizatsii ratsional'nogo vybora adaptivnykh agrotekhnologii [Modern approaches to automation of rational choice of adaptive agrotechnologies]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of Agriculture*, 2018, vol. 32, no. 11, pp. 71-74 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Гостев Андрей Валерьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии – структурного подразделения ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: gav33@list.ru

Пыхтин Алексей Иванович, кандидат технических наук, директор департамента информационных технологий и нового набора, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: aipykhtin@swsu.ru

Любичкий Никита Игоревич, магистрант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: nlold@ya.ru

Andrey V. Gostev, Cand. of Sci. (Agricultural) Sciences, Leading Researcher of the All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion - Department of the Kursk Federal Agrarian Research Center, Kursk, Russian Federation
e-mail: gav33@list.ru

Alexey I. Pykhtin, Cand. of Sci. (Engineering), Director of the Department of Information Technology and New Recruitment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: aipykhtin@swsu.ru

Nikita I. Lyubitsky, Master Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: nlold@ya.ru