



DOI: 10.26898/0370-8799-2019-1-9

УДК: 631.17

ВЫБОР И АДАПТАЦИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

Каличкин В.К., Задков А.П.

*Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия*

Для цитирования: Каличкин В.К., Задков А.П. Выбор и адаптация агротехнологий // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 1. С. 68–79. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-1-9

For citation: Kalichkin V.K., Zadkov A.P. Vybora i adaptatsiya agrotekhnologii [Choice and adaptation of agrotechnologies] *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 1, pp. 68–79. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-1-9

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Методологическим основанием исследований служит признание того факта, что природа явления находится в сложном информационном пространстве, характеризующемся разнообразием, сложностью и неопределенностью. Освещены исследования по автоматизированному выбору агротехнологий, проводимых в России. В части работ при создании программ по автоматизированному (компьютерному) выбору агротехнологий преобладает детерминированный подход на основе регрессионных моделей и учета средне-статистической изменчивости ресурсов. Задача оперативного управления агроприемами при реализации агротехнологий в этих работах не ставится: фактически осуществляется лишь частичная адаптация. Агротехнологии реализуются в системе «человек – машина – растение» с независимым, активно действующим агентом – растением, поэтому вся система является вероятностной (стохастической). Это положение дает основание считать, что детерминированный подход, основанный на регрессионных моделях, не отвечает современным требованиям и не реализует в полной мере агротехнологическую адаптацию. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть имитационное моделирование, в котором возможна реализация динамического подхода. Достигнутый уровень мощности ком-

CHOICE AND ADAPTATION OF AGROTECHNOLOGIES

Kalichkin V.K., Zadkov A.P.

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia*

Methodological rationale for the research is the acknowledgement of the fact that the nature of things is located in the complex informational space characterized by diversity, complexity and uncertainty. The paper presents the study into the automated choice of agrotechnologies conducted in Russia. It is shown that deterministic approach on the basis of the regressive models and the account of the average resource changeability prevails in the part of work related to the creation of the software on automated (computerized) choice of agrotechnologies. The task of operational control of agro-approaches during implementation of agrotechnologies is not set in this work: only partial adaption is carried out. Agrotechnologies are implemented in the system “human being – piece of machinery – plant”, whereby “plant” is an independent, actively operating agent, so the whole system is probabilistic (stochastic). This statement gives reason to consider that deterministic approach based on the regressive models does not meet current requirements and does not implement agrotechnological adaptation to the full extent. One of the options of solving this problem is imitational modelling which involves implementation of the dynamic approach. The present capacity level of computers and software removes technical limitations. Requirements to conceptualizing

пьютеров и программного обеспечения снимают ограничения технического характера. На первый план выдвигаются требования к концептуализации предметной области, выбора моделей представления знаний и оболочкам их исполнения. С развитием цифровых технологий в сельском хозяйстве открываются новые возможности для получения дополнительных информационных ресурсов, которые необходимо максимально эффективно применять в процессе разработки и реализации управленческих решений. Предстоит значительно изменить структуру и содержание информационного обслуживания сельского хозяйства, шире использовать возможности интеллектуального анализа.

Ключевые слова: агротехнологии, детерминированный подход, информационные технологии, имитационное моделирование

В настоящее время в мире широкое распространение получили информационные технологии, моделирование различных объектов и процессов, в том числе агротехнологий, и разработка программ для этих целей [1–4]. Их использование дает возможность анализировать и рассчитывать разнообразные ситуации, связанные с конечным результатом. В России освоение в сельскохозяйственном производстве информационных (цифровых) технологий идет медленно, что обусловлено разными причинами. В этой ситуации задача аграрной науки заключается в разработке программных продуктов для широкого применения на основе использования как отечественного, так и зарубежного опыта, причем достаточно простых в применении. Для решения этой задачи необходимо более глубокое осмысление получаемых в экспериментах данных, математическом анализе и установлении закономерностей влияния агротехнических приемов на возделываемые культуры, ответных реакций растений, построении моделей взаимоотношений их с внешней средой. Обеспечение сельских товаропроизводителей примерными рекомендациями на основе полученных экспериментальных данных в бумажном виде в настоящее время уже недостаточно.

of the subject area, the choice of models for knowledge presentation and the framework of their implementation are placed in the forefront. With the development of digital technologies in agriculture, new opportunities arise for obtaining extra informational resources necessary to be effectively applied in the process of development and implementation of managerial decisions. The significant change in the structure and content of informational service of agriculture and a wider application of intellectual analysis are expected.

Keywords: agrotechnology, deterministic approach, informational technologies, imitational modelling

Цель исследования – провести анализ теоретических положений, подходов и методов, применяемых для автоматизированного выбора и адаптации агротехнологий в России, в рамках развития информационного обслуживания сельского хозяйства.

Методологическим основанием исследований является признание того факта, что природа явлений в окружающем нас мире находится не столько в привычной декартовой системе координат, сколько в более сложном информационном пространстве, характеризующемся разнообразием, сложностью и неопределенностью.

Важнейшими особенностями растениеводства являются, во-первых, технологическое разнообразие при производстве одноименных видов продукции; во-вторых, широкое использование технологических адаптаций к особенностям хозяйственных ситуаций отдельных лет. Погодная изменчивость может рассматриваться в качестве одного из главных факторов, определяющих необходимость широкого применения технологических адаптаций. Причем, выбор способов адаптации к погодным изменениям в основном приходится проводить в оперативном режиме в зависимости от складывающейся ситуации.

Сущность агротехнологий (будем считать агротехнологию объектом) – это их внутреннее содержание, выражающееся в единстве всех многообразных и противоречивых форм их реализации на практике. Явление – это обнаружение объекта и выражение внешних форм его существования. В мышлении человека, как известно, категории «сущность» и «явление» выражают переход от многообразия форм объекта к его внутреннему содержанию и единству – к «понятию». Постигание сущности объекта и формулирование понятия составляют задачу науки.

Не претендуя на полноту формулировки, под технологией будем понимать последовательность производственных процессов, способов использования материалов и машин (оборудования), а также конкретных действий, посредством которых производится конечный продукт. В отличие от промышленных технологий, агротехнологии характеризуются (в дополнение) использованием возобновляемых природных ресурсов, которые слабо поддаются управлению, но являются необходимым базисом. Следовательно, агротехнологии – это особый вид технологий, при реализации которых принцип «действуй по прописи» не всегда приводит к планируемым результатам. Кроме того, агротехнологии реализуются в системе «человек – машина – растение» с независимым, активно действующим агентом. Управляющим звеном в этой системе является человек, но наличие в ней второго биологического агента – растения – преобразует всю систему в вероятностную, так как растения подчинены своим внутренним биологическим законам [5].

Анализ практики показывает, что разнообразие агротехнологий, применяемых при производстве одноименных видов продукции растениеводства в разных предприятиях, в том числе и тех, которые расположены в непосредственной близости друг от друга, имеют сходные характеристики почв, общий режим тепло- и влагообеспеченности и дру-

гое, довольно велико. Особо следует отметить, что в отличие от ряда других отраслей, где новые, более эффективные технологии достаточно быстро осваиваются основной массой производителей, вытесняя применяемые ранее, в сельском хозяйстве конкурирующие агротехнологии длительное время используются одновременно, причем, даже на одном предприятии.

На первый взгляд, это можно объяснить вполне очевидными материально-вещественными и экономическими причинами: разной степенью технической оснащенности предприятий, отсутствием во многих из них необходимых специалистов и квалифицированных рабочих кадров, а самое главное, – низким уровнем рентабельности сельскохозяйственного производства, который во многих регионах не позволяет нормально вести не только расширенное, но и простое воспроизводство [6–8], что существенно сдерживает возможности быстрого технического и технологического обновления¹ [9]. Все перечисленное, безусловно, имеет место. Однако связь техники и технологий более сложна. На наш взгляд, различный уровень технической оснащенности сельскохозяйственных предприятий является не только причиной технологического разнообразия, но отчасти и его следствием.

Имеются и другие объективные основания для сохранения и культивирования технологического разнообразия, уменьшения унификации сельскохозяйственных производственных процессов в отличие от промышленности, особенно ее современных высокотехнологизированных производств. По этой же причине для сельского хозяйства характерно наличие предприятий самых разных размеров, типов и форм, что на первый взгляд не вполне согласуется с требованием отбора наиболее эффективных производителей в результате рыночной конкуренции [10].

Также в качестве причины технологического разнообразия следует назвать высокую

¹Тарасова Т.В. Основные направления повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники // Гуманитарные научные исследования. 2016. № 10. [Электронный ресурс]: <http://human.snauka.ru/2016/10/16720>

степень зависимости условий и результатов сельскохозяйственного производства от множества случайных факторов – погодных, биологических, экономических и иных. Это обстоятельство делает практически каждый сельскохозяйственный год и его отдельные периоды (весенне-полевые работы, уход за посевами, уборка урожая) в известном смысле уникальными и требует разработки и реализации специальных хозяйственных решений, прежде всего технологического характера.

В связи с целесообразностью сохранения разнообразия как фундаментального свойства природы на первое место в сложных природных и социально-экономических условиях при выборе и реализации агротехнологий выдвигается проблема их адаптации. Адаптация как способ управления объектом чаще всего связывается с неопределенностью среды, а также самого объекта. Последняя неопределенность обусловлена сложностью объекта и невозможностью получения его адекватной модели. В этом случае адаптация выступает в качестве средства управления объектом и эквивалентна поисковой оптимизации в обстановке помех, связанных со средой.

Неопределенность – это неполнота или недостоверность информации об условиях реализации решения, наличие фактора случайности или противодействия, с которыми все формы жизни вынуждены бороться [11]. На всех уровнях биологической сложности существует неопределенность относительно возможных последствий событий и действий. Однако самое главное – на всех уровнях действие должно предприниматься до того, как прояснена неопределенность. Принятие решений в условиях неопределенности всегда означает выбор такого варианта, когда одно или несколько действий имеют своим следствием множество частных исходов, но их вероятности известны слабо, а в экстремальных случаях не имеют смысла.

Сущность агротехнологий состоит в их сложности и дуалистичности: с одной стороны – это статическая категория, с другой – динамическая. В настоящее время в

проектировании агротехнологий (составлении технологических карт) используются статические (статистические) подходы, как правило, полностью детерминированные (ориентированные на среднестатистическую изменчивость ресурсов). Целесообразно применять в дополнение к первому подходу также вероятностные (стохастические), когда при реализации агротехнологий ведется перманентный эксперимент, дающий информацию о непрерывно и неконтролируемо изменяющихся условиях. Второй аспект более важен, поскольку через него реализуется истинное содержание агротехнологий. Следует также добавить, что ключевым словом в различных определениях понятия «технология» является «процесс» [12, 13].

Понятие «сложный объект» до настоящего времени не имеет строгого определения. Тем не менее, интуитивное представление о сложном объекте довольно точно соответствует тому, которое используется в теории управления. Л.А. Растрин приводит следующие основные характеристики сложного объекта (системы) [14]:

- отсутствие необходимого математического описания. Под математическим описанием подразумевается наличие алгоритма F вычисления состояния объекта Y по наблюдениям его входов – управляемого U и неуправляемого X , т.е. $Y = F(X, U)$;

- нестационарность объекта, которая проявляется в «дрейфе» его характеристик, изменении параметров и эволюции во времени;

- невозпроизводимость объекта, которая связана с зашумленностью и нестационарностью и проявляется в различной реакции на управление в определенные моменты времени – объект как бы все время перестает быть самим собой.

Управление, как известно, основывается на первом фундаментальном законе кибернетики – законе необходимого разнообразия (принцип У. Росса Эшби). У.Р. Эшби так сформулировал этот принцип (закон): «...разнообразие исходов, если оно минимально, может быть еще более уменьшено лишь за счет соответствующего увеличения

разнообразия, которым располагает R ... Это и есть закон необходимого разнообразия. Говоря более образно, только разнообразие в R может уменьшить разнообразие, создаваемое D ; только разнообразие может уничтожить разнообразие» [15, с. 294]. Е.В. Луценко предложил формулировку системного обобщения принципа Эшби: «Чем больше различных сочетаний значений факторов действует на объект управления, тем выше степень детерминированности управления им» [16, с. 3]. Принцип предполагает также, что для обеспечения эффективного управления требуется, чтобы разнообразие возможных воздействий субъекта управления соответствовало разнообразию поведения управляемого объекта.

Следует отметить, что кажущееся противоречие между необходимым разнообразием и адаптацией агротехнологий на самом деле не является непреодолимым. Как только из множества разнообразных агротехнологий выбрана та, которая приемлема в конкретных производственных условиях, наступает момент проведения действий по ее адаптации.

Из теории следует, что при изучении и описании адаптаций агротехнологий в процессе производства растениеводческой продукции прежде всего необходимо выделить факторы, влияющие на изменение условий производства, поскольку сами технологические адаптации можно рассматривать как реакцию производителей на данные изменения. При этом важно понять степень воздействия выделенных факторов на условия и результаты производства, особенности их проявления (детерминированные, случайные, сезонные и др.). Причем, для показателей, характеризующих случайные факторы, желательно указать основные стохастические параметры – математическое ожидание, дисперсию, функцию распределения.

Необходимо также учесть то обстоятельство, что по мере реализации тех или иных производственных процессов обычно появляется дополнительная информация, которая должна находить отражение в соответствующих хозяйственных решениях, обеспечивая гибкость системы управления.

Главным фактором, определяющим особенности условий и результатов сельскохозяйственного производства отдельных лет, принято считать погодную изменчивость, поэтому именно ее в первую очередь необходимо изучать и оценивать.

В управлении сельскохозяйственным производством в России расширяется сфера применения информационных технологий, осуществляются попытки создания интегрированных систем цифровизации аграрных объектов и процессов для реализации интеллектуального сельского хозяйства (Smart farming). Пока это ограничивается системами параллельного вождения, мониторингом техники, созданием цифровых карт полей с помощью ГИС, аэро- и космическим контролем агроценозов, применением роботов различного назначения и др. Однако цифровизация пока не стала массовой и комплексной, слабо затронула процессы выбора и последующей адаптации агротехнологий.

В исследованиях по автоматизированному (компьютерному) выбору агротехнологий в основном преобладает детерминированный подход. Об оперативном управлении агроприемами в этих работах не упоминается, а значит, фактически осуществляется лишь частичная адаптация (на основе учета среднестатистической изменчивости ресурсов). Кроме того, показанные ниже подходы в своей основе имеют регрессионные модели. Такие модели строятся непосредственно по данным наблюдений и экспериментов и позволяют решать задачи поддержки принятия решений путем интерполяции. Интерполяция в силу сложности и неопределенности среды и объектов имеет крайне ограниченное значение.

Так, во Всероссийском научно-исследовательском институте земледелия и защиты почв от эрозии разработана автоматизированная программа по выбору типа технологии возделывания зерновых культур. Выбор осуществляется в три этапа. Определяют: 1) состояние природного ресурса; 2) наличие материальных ресурсов; 3) оптимальную технологию по общей оценке природных и материальных ресурсов хозяйства. В основу программы положен регистр техно-

логий возделывания яровых и озимых зерновых культур Центрального Черноземья [17], которые фактически являются типовыми агротехнологиями. Регистр включает выходные показатели продуктивности и качества продукции с указанием затратных статей; список технологических приемов с указанием конкретных особенностей, обеспечивающих наибольшую эффективность их применения и перечнем рекомендуемой техники; потребность в ресурсах для успешного выполнения как отдельных приемов, так и технологии в целом (количество семян, горюче-смазочные материалы, пестициды, удобрения, электроэнергия, рабочая сила); ориентировочные экономические показатели для оценки технологии [18].

К этому же типу относится работа, проведенная в Новгородском научно-исследовательском институте сельского хозяйства [19, 20]. Авторы предлагают формировать базы данных, которые позволят осуществить выбор оптимального типа технологии по оценке природных и материальных ресурсов по таблицам, используя макросы, которые путем сравнения автоматически выбирают оптимальную технологию, а также определить прогнозируемую себестоимость единицы продукции, прибыль и рентабельность, выбранной технологии. Аналогичные исследования проводят в Курганском научно-исследовательском институте сельского хозяйства, но с использованием геоинформационных систем [21, 22]. По утверждению авторов «...база типовых технологических карт служит информационной базой для проектирования технологий выращивания сельхозкультур, является составной частью информационно-аналитической системы земледелия...» [23, с. 12].

Исследования, проведенные в Кубанском государственном аграрном университете, основаны на использовании экономико-математического моделирования²⁻⁵. Для выбора лучшей технологии из числа альтернативных разработана методика состоящая из трех этапов. На первом этапе осуществляется выбор технологий с использованием метода бинарных решающих матриц, далее следует этап сравнения выбранных технологий с использованием многокритериальной экономико-математической модели и графика-паутины. На заключительном этапе происходит анализ и выбор экономически эффективной технологии с помощью матричной модели.

Предполагается, что в базе данных информационной системы предприятия для каждого критерия выбора технологии уже существуют бинарные матрицы решения. Матрица заполняется нулями и единицами (отсюда их название – бинарные). Нуль означает, что данный способ не подходит, единица, напротив, что технология подходит и вполне применима в данных условиях. Целевой функцией выступает нахождение максимальной суммы бинарных показателей технологии (см. сноску 4). Под процессом принятия решений авторы методики понимают следующее: «...исследование проблемы, разработка и утверждение севооборота, формирование возможных вариантов технологий возделывания сельскохозяйственных культур, описание каждой из технологий, оценка технологии по экономическим, биоэнергетическим и агроэкологическим показателям, выбор технологического приема, расчет экономической эффективности производства, обобщение накопленного опыта» (см. сноску 2).

²Ткаченко В.В. Предпосылки создания системы моделей и методики многокритериальной оценки и выбора технологий возделывания сельскохозяйственных культур // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 113 (09). [Электронный ресурс]: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/119.pdf>

³Ткаченко В.В., Ткаченко Н.А. Методика многокритериальной комплексной оценки и выбора технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 123 (9). [Электронный ресурс]: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/112.pdf>

⁴Лойко В.И., Ткаченко В.В. Адаптация модели бинарных решающих матриц к задаче выбора технологий возделывания сельскохозяйственных культур // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 114 (10). [Электронный ресурс]: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/115.pdf>

⁵Лойко В.И., Ткаченко В.В., Курносоев С.А. Исследования и разработка многокритериальной экономико-математической модели комплексной оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 122 (80). [Электронный ресурс]: <http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/80.pdf>

Е.В. Луценко с соавторами в Кубанском ГАУ для выбора агротехнологий использовали системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) и интеллектуальную систему «ЭЙДОС-Х++»⁶. АСК-анализ представляет собой математический и инструментальный метод, характеризующийся универсальной непараметрической математической моделью, основанной на семантической теории информации, наличием методики численных расчетов и реализующего их программного инструментария («ЭЙДОС-Х++»). АСК-анализ позволяет выявить и исследовать виды причинно-следственных зависимостей между составом, внутренней структурой и эмерджентными свойствами объекта (системы). На основе эмпирических данных строятся формальные модели (модель обеспечивает выявление знаний непосредственно из эмпирических фактов), количественно отражающие силу и направления влияния значений факторов на поведение моделируемого объекта, в частности, на переход его в различные будущие состояния. На основании полученных результатов можно выбрать рекомендации по формированию таких управляющих воздействий, которые с большой степенью детерминированности переводят объект (систему) в заданное целевое состояние [24, 25].

Наиболее перспективным направлением в исследованиях по автоматизированному выбору агротехнологий и их адаптации к природным и производственным условиям следует считать имитационное моделирование. Работы Р.А. Полуэктова и его учеников, проводимые в Агрофизическом научно-исследовательском институте (Санкт-Петербург) по имитационному моделированию продукционного процесса посевов сельскохозяйственных культур, оформились в виде самостоятельной научной дисциплины со своей методологией и сферой применения [26–28]. Как указано на сайте <http://agrootool.ru>, «...система имитационного моделирования AGROTOOL представляет собой

компьютерную динамическую модель продукционного процесса сельскохозяйственного посева. Используя в качестве входных данных метеорологическую информацию, сведения о применяемой агротехнике, параметрах почвы и возделываемой культуре модель AGROTOOL позволяет в динамике с суточным шагом рассчитать основные характеристики состояния системы «почва – растение – атмосфера» в течение всего сезона вегетации – от посева до уборки. Модель можно использовать для решения практических задач агрономического мониторинга (прогноз урожайности, оценка темпов фенологического развития, исследование и выбор наилучших агротехнических решений)...».

Для работы модели требуется информация о возможных суточных погодных метеоданных за весь вегетационный период, что является препятствием для широкого внедрения модели в сельскохозяйственное производство [29]. По мнению разработчиков, решение этой проблемы состоит в том, чтобы по определенным агроклиматическим характеристикам в данной местности с помощью метода Монте-Карло получать неограниченное количество «синтетических» погодных реализаций («генератор погоды») и статистически обрабатывать результаты модельных расчетов, полученных на основе этих данных [30]. Разработчики подчеркивают также, что модель применяется для решения задач оптимизации агротехнологий и управления агротехническими воздействиями, в том числе с учетом неоднородности почвенного покрова [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткий анализ теоретических представлений о разнообразии, сложности и неопределенности среды и объекта при выборе и адаптации агротехнологий дает основание считать, что детерминированный подход, основанный на регрессионных моделях, не отвечает современным требованиям. На

⁶Луценко Е.В., Лойко В.И., Великанова Л.О. Постановка задачи и синтез модели прогнозирования урожайности зерновых колосовых и поддержки принятия решений по рациональному выбору агротехнологий // Научный журнал КубГАУ. 2008. № 38 (4). [Электронный ресурс]: <http://ej.kubagro.ru/2008/04/pdf/06.pdf>

данном этапе развития информационного анализа сельскохозяйственных процессов и объектов наиболее перспективным направлением исследований является динамическое имитационное моделирование. Преимущества динамического подхода по сравнению со статическими моделями можно проиллюстрировать следующим [32]: повышение точности и адекватности принятия решений; мультивариантность расчетов, обуславливаемая широким набором возможностей по варьированию входными данными; получение результатов в виде распределений показателей на вероятностных выборках внешних условий и возможность анализа рисков; неограниченное расширение числа отслеживаемых в модели показателей; снижение степени неопределенности модельных расчетов.

Имитационное моделирование требует более объемного информационного обеспечения и вычислительных ресурсов, чем статическое. В настоящее время достигнутый уровень мощности компьютеров и программного обеспечения практически снимает ограничения технического характера. На первый план выдвигаются требования к концептуализации предметной области, выбора моделей представления знаний и оболочкам их исполнения.

С развитием цифровых технологий, увеличения доступности аэро- и космических снимков и другое открываются новые возможности для получения дополнительных информационных ресурсов, которые необходимо максимально эффективно применять в процессе разработки и реализации управленческих решений в аграрной сфере. В связи с этим предстоит значительно изменить структуру и содержание информационного обслуживания сельского хозяйства, шире использовать возможности интеллектуального анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Eitzinger A., Løderach P., Rodriguez B., Fisher M., Beebe S., Sonder K., Schmidt A.* Assessing high-impact spots of climate change: spatial yield simulations with Decision Support System // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2017. Vol. 22. N 5. P. 743–760. (DOI: 10.1007/s11027-015-9696-2).
2. *Fry J., Guber A.K., Ladoni M., Munoz J.D., Kravchenko A.N.* The effect of up-scaling soil properties and model parameters on predictive accuracy of DSSAT crop simulation model under variable weather conditions // *Geoderma*. 2017. Vol. 287. P. 105–115. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.08.012.
3. *Anderson R., Keshwani D., Guru A., Yang H., Irmak S., Subbiah J.* An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models // *Environmental Modelling & Software*. 2018. Vol. 108. P. 40–50. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.07.004.
4. *De Wit A., Boogaard H., Fumagalli D., Jansen S., Knapen R., van Kraalingen D., Supit I., van der Wijngaart R., van Diepen K.* 25 years of the WOFOST cropping systems model // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 168. P. 154–167. DOI: 10.1016/j.agry.2018.06.018.
5. *Тюпаков К.Э.* Особенности эффективного формирования и воспроизводства технико-технологической базы растениеводства: монография. Краснодар: Издательство Кубанского государственного университета. 2016. 274 с.
6. *Крутова И.Н., Клименко А.С., Шведова М.В.* Анализ рентабельности и стратегии развития сельского хозяйства России // *Системное управление*. 2011. № 4. С. 1–10.
7. *Алтухов А.И.* Основные проблемы развития АПК и пути их решения // *Вестник Курской ГСХА*. 2014. № 2. С. 2–6.
8. *Морозюк Ю.В., Горбатенко А.П.* Сельскохозяйственные предприятия на современном этапе развития экономики Российской Федерации // *ТДР*. 2014. № 2. С. 3–4.
9. *Полухин А.А.* Техническая модернизация сельского хозяйства России в условиях международной интеграции и экономических санкций // *RJOAS*. 2015. № 6. С. 41–51.
10. *Ворожейкина Т.М.* Особенности конкуренции в сельском хозяйстве // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2012. № 2. С. 12–15.
11. *Канеман Д., Словик П., Тверски А.* Принятие решений в неопределенности: правила и предубеждения: монография. Харьков: Изд-во Института прикладной психологии «Гуманитарный Центр», 2005. 632 с.

12. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. 7 изд-е, перераб. и доп. М.: Республика, 2001. 719 с.
13. *Ожегов С.И., Шведова Н.Ю.* Толковый словарь русского языка; 4-е изд., доп. М.: ООО «А ТЕМП», 2006. 944 с.
14. *Растргин Л.А.* Адаптация сложных систем: монография. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.
15. *Эшби У.Р.* Введение в кибернетику: монография / под ред. В.А. Успенского. М.: Издательство иностранной литературы, 1959. 428 с.
16. *Луценко Е.В.* Моделирование сложных многофакторных нелинейных объектов управления на основе фрагментированных зашумленных эмпирических данных большой размерности в системно-когнитивном анализе и интеллектуальной системе «ЭЙДОС-Х++» // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 91 (07). С. 1–25.
17. *Гостев А.В.* Автоматизированные программы выбора технологии возделывания яровых и озимых зерновых культур в ЦЧР // Земледелие. 2013. № 1. С. 8–11.
18. *Пыхтин И.Г., Гостев А.В., Пыхтин А.И.* Совершенствование систем земледелия и агротехнологий в современных условиях ведения сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 79–80.
19. *Тиранова Л.В., Тиранов А.Б.* Базы данных для разработки технологий возделывания яровых зерновых культур в условиях Новгородской области // Никоновские чтения. 2015. № 20-1 (20). С. 229–232.
20. *Тиранова Л.В., Тиранов А.Б.* Базы данных для разработки технологий возделывания зернобобовых культур в условиях Новгородской области // Никоновские чтения. 2016. № 21. С. 222–225.
21. *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
22. *Степных Н.В., Жукова О.А., Заргарян А.М.* Разработка базы данных типовых техкарт для информационно-аналитического комплекса по земледелию // Вестник НГИЭИ. 2018. № 4 (83). С. 5–15.
23. *Луценко Е.В., Лойко В.И., Великанова Л.О.* Прогнозирование и принятие решений в растениеводстве с применением технологий искусственного интеллекта: монография. Краснодар: Издательство Кубанского государственного аграрного университета, 2008. 257 с.
24. *Горпинченко К.Н., Луценко Е.В.* Прогнозирование и принятие решений по выбору агротехнологий в зерновом производстве с применением методов искусственного интеллекта (на примере СК-анализа): монография. Краснодар: Издательство Кубанского государственного аграрного университета, 2013. 168 с.
25. *Полуэктов Р.А.* Динамические модели агроэкосистемы: монография. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 312 с.
26. *Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г.* Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур: монография. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2006. 396 с.
27. *Полуэктов Р.А., Топаж А.Г., Кобылянский С.Г.* Автоматизация компьютерного эксперимента с математическими моделями / Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 61–63.
28. *Топаж А.Г., Медведев С.А., Захарова Е.Т.* Проактивное управление в компьютерных системах поддержки агротехнологических решений на примере управления азотными подкормками // АгроЭкоИнфо. 2016. № 4. С. 12–27.
29. *Полуэктов Р.А., Топаж А.Г., Якушев В.П., Медведев С.А.* Использование динамической модели агроэкосистемы для оценки влияния климатических изменений на продуктивность посевов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 2. С. 7–12.
30. *Баденко В.Л., Гарманов В.В., Иванов Д.А., Савченко А.Н., Топаж А.Г.* Перспективы использования динамических моделей агроэкосистем в задачах средне- и долгосрочного планирования сельскохозяйственного производства и землеустройства // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 1-2. С. 72–76.
31. *Медведев С.А.* Методические основы поливариантного расчёта динамических моделей продукционного процесса сельскохозяйственных культур // АгроЭкоИнфо. 2015. № 4. С. 2–17.

REFERENCES

- Eitzinger A., Läderach P., Rodriguez B., Fisher M., Beebe S., Sonder K., Schmidt A. Assessing high-impact spots of climate change: spatial yield simulations with Decision Support System. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 743–760. (DOI: 10.1007/s11027-015-9696-2).
- Fry J., Guber A.K., Ladoni M., Munoz J.D., Kravchenko A.N. The effect of up-scaling soil properties and model parameters on predictive accuracy of DSSAT crop simulation model under variable weather conditions. *Geoderma*, 2017, vol. 287, pp. 105–115. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.08.012.
- Anderson R., Keshwani D., Guru A., Yang H., Irmak S., Subbiah J. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. *Environmental Modelling & Software*, 2018, vol. 108, pp. 40–50. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.07.004.
- De Wit A., Boogaard H., Fumagalli D., Jansen S., Knapen R., van Kraalingen D., Supit I., van der Wijngaart R., van Diepen K. 25 years of the WOFOST cropping systems model // *Agricultural Systems*, 2019, vol. 168, pp. 154–167. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.06.018.
- Tyupakov K.E. *Osobennosti effektivnogo formirovaniya i vosproizvodstva tekhniko-tekhnologicheskoi bazy rastenievodstva* [Features of effective formation and reproduction of the technical and technological base of crop science]. Krasnodar: Izdatel'stvo Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta [Printing house of Kuban State University], 2016, 274 p. (In Russian).
- Krutova I.N., Klimenko A.S., Shvedova M.V. Analiz rentabel'nosti i strategii razvitiya sel'skogo khozyaistva Rossii [Analysis of profitability and development strategy of agriculture of Russia]. *Sistemnoe upravlenie* [System management], 2011, no. 4, pp. 1–10. (In Russian).
- Altukhov A.I. Osnovnye problemy razvitiya APK i puti ikh resheniya [The main problems of AIC development and ways of their solution]. *Vestnik Kurskoi GSKhA* [Vestnik of Kursk State Agricultural Academy], 2014, no. 2, pp. 2–6. (In Russian).
- Morozyuk Yu.V., Gorbatenko A.P. Sel'skokozyaistvennye predpriyatiya na sovremenom etape razvitiya ekonomiki Rossiiskoi Federatsii [Agricultural enterprises on the present stage of development of the Russian economy]. *TDR* [Transport business of Russia], 2014, no. 2, pp. 3–4. (Russian).
- Polukhin A.A. Tekhnicheskaya modernizatsiya sel'skogo khozyaistva Rossii v usloviyakh mezhduнародnoi integratsii i ekonomicheskikh sanktsii [Technical modernization of agriculture of Russia under conditions of international integration and economic sanctions]. *RJOAS* [Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences], 2015, no. 6, pp. 41–51. (In Russian).
- Vorozheikina T.M. Osobennosti konkurentsii v sel'skom khozyaistve [Features of competition in agriculture]. *Ekonomika sel'skokhozyaistvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii* [Economy of agricultural and processing enterprises], 2012, no. 2, pp. 12–15. (In Russian).
- Kaneman D., Slovik P., Tverski A. *Prinyatie reshenii v neopredelennosti: pravila i preduzbezhdeniya* [Decision-making in uncertainty: rules and prejudices]. Khar'kov: Izdatel'stvo Instituta prikladnoi psikhologii «Gumanitarnyi Tsentr» [Publishing house of the Institute of Applied Psychology “Humanitarian center”], 2005, 632 p. (In Russian).
- Filosofskii slovar'* [Dictionary of Philosophy], pod red. I.T. Frolova. 7 izd.-e, pererab. i dop. M., Respublika Publ., 2001, 719 p. (In Russian).
- Ozhegov S.I., Shvedova N.Yu. *Tolkovyi slovar' russkogo yazyka* [Definition dictionary of the Russian language], 4-e izd., dop. M., OOO «A TEMP» Publ., 2006. 944 p. (In Russian).
- Rastrigin L.A. *Adaptatsiya slozhnykh sistem* [Adaptation of complex systems], Riga, Zinatne Publ., 1981, 375 p. (In Russian).
- Eshbi U.R. *Vvedenie v kibernetiku* [Introduction into cybernetics], / pod red. V.A. Uspenskogo. M., Izdatel'stvo inostrannoi literatury [Printing house of Foreign Literature], 1959, 428 p. (In Russian).
- Lutsenko E.V. Modelirovanie slozhnykh mnogofaktornykh nelineinykh ob'ektov upravleniya na osnove fragmentirovannykh zashumlennykh empiricheskikh dannykh bol'shoi razmernosti v sistemno-kognitivnom analize i intellektual'noi sisteme «EIDOS-Kh++» [Modelling of complex multifactor nonlinear control objects based on a fragmented noisy empirical high-dimensional data in a system cognitive analysis and in the intellectual EIDOS-Kh++ system]. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific Journal

- nal of Kuban State Agrarian University], 2013, no. 91 (07), pp. 1–25. (In Russian).
17. Gostev A.V. Avtomatizirovannye programmy vybora tekhnologii vzdelyvaniya yarovykh i ozimyykh zernovykh kul'tur v TsChR [Automated software for choosing grain crop cultivation technology in Central-chernozem region]. *Zemledelie* [Zemledelie], 2013, no. 1, pp. 8–11. (In Russian).
 18. Pykhtin I.G., Gostev A.V., Pykhtin A.I. Sovershenstvovanie sistem zemledeliya i agrotekhnologii v sovremennykh usloviyakh vedeniya sel'skogo khozyaistva [Improving of farming conditions and agrotechnologies in the conditions of modern agriculture]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2014, no. 4, pp. 79–80. (In Russian).
 19. Tiranova L.V., Tiranov A.B. Bazy dannykh dlya razrabotki tekhnologii vzdelyvaniya yarovykh zernovykh kul'tur v usloviyakh Novgorodskoi oblasti [Database for development of spring grain crop cultivation technologies in the conditions of Novgorod region]. *Nikonovskie chteniya* [Nikonovskie chteniya], 2015, no. 20-1 (20), pp. 229–232. (In Russian).
 20. Tiranova L.V., Tiranov A.B. Bazy dannykh dlya razrabotki tekhnologii vzdelyvaniya zernobobovykh kul'tur v usloviyakh Novgorodskoi oblasti [Database for development of leguminous crop cultivation technologies in the conditions of Novgorod region]. *Nikonovskie chteniya* [Nikonovskie chteniya], 2016, no. 21, pp. 222–225. (In Russian).
 21. Stepnykh N.V., Zargaryan A.M., Zhukova O.A. Komp'yuternaya programma po proektirovaniyu tekhnologii vyrashchivaniya sel'khozkul'tur [Software for designing crop cultivation technology]. *Agrarnyi vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 3 (157), pp. 54–58. (In Russian).
 22. Stepnykh N.V., Zhukova O.A., Zargaryan A.M. Razrabotka bazy dannykh tipovykh tekhnologicheskikh kompleksov dlya informatsionno-analiticheskogo kompleksa po zemledeliyu [Development of a database of standard task list for informational and analytical complex for agriculture]. *Vestnik NGIEI* [Herald NGIEI], 2018, no. 4 (83), pp. 5–15. (In Russian).
 23. Lutsenko E.V., Loiko V.I., Velikanova L.O. *Prognozirovanie i prinyatie reshenii v rasstvenovodstve s primeneniem tekhnologii iskusstvennogo intellekta* [Forecasting and decision making on the choice of agricultural technologies in grain production using artificial intelligence]. Krasnodar, Izdatel'stvo Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Printing house of Kuban State Agrarian University], 2008, 257 p. (In Russian).
 24. Gorpinchenko K.N., Lutsenko E.V. *Prognozirovanie i prinyatie reshenii po vyboru agrotekhnologii v zernovom proizvodstve s primeneniem metodov iskusstvennogo intellekta (na primere SK-analiza)* [Forecasting and decision making on the choice of agricultural technologies in grain production using artificial intelligence (for example, the SC-analysis)]. Krasnodar, Izdatel'stvo Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Printing house of Kuban State Agrarian University], 2013, 168 p. (In Russian).
 25. Poluektov R.A. *Dinamicheskie modeli agroekosistemy* [Dynamic models agro-ecological system]. L., Gidrometeoizdat [Hydro-meteorological press], 1991, 312 p. (In Russian).
 26. Poluektov R.A., Smolyar E.I., Terleev V.V., Topazh A.G. *Modeli produktsionnogo protsesa sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Models of production process of grain crops: monograph]. St. Peterburg, Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta [Printing house of St.-Peterburg University], 2006, 396 p. (In Russian).
 27. Poluektov R.A., Topazh A.G., Kobylanskii S.G. Avtomatizatsiya komp'yuternogo eksperimenta s matematicheskimi modelyami [Automating computer experiment with mathematical models]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2011, no. 2, pp. 61–63. (In Russian).
 28. Topazh A.G., Medvedev S.A., Zakharova E.T. Proaktivnoe upravlenie v komp'yuternykh sistemakh podderzhki agrotekhnologicheskikh reshenii na primere upravleniya azotnymi podkormkami [Proactive control in computer support systems of agro-technological decisions on the example of nitrogen dressing control]. *AgroEkoInfo* [AgroEcoInfo], 2016, no. 4, pp. 12–27. (In Russian).
 29. Poluektov R.A., Topazh A.G., Yakushev V.P., Medvedev S.A. Ispol'zovanie dinamicheskoi modeli agroekosistemy dlya otsenki vliyaniya klimaticheskikh izmenenii na produktivnost' posevov [Using the dynamic model of the agro-ecosystem for estimating the influence of climatic changes on productivity of crops]. *Vestnik*

- Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Vestnik of the Russian agricultural science], 2012, no. 2, pp. 7–12. (In Russian).
30. Badenko V.L., Garmanov V.V., Ivanov D.A., Savchenko A.N., Topazh A.G. Perspektivy ispol'zovaniya dinamicheskikh modelei agroekosistemv zadachakh sredne- i dolgosrochnogo planirovaniya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva i zemleustroistva [Prospects of using dynamic models of agrosystems within the framework of medium- and long-term planning of agricultural production and land management]. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2015, no. 1-2, pp. 72–76. (In Russian).
31. Medvedev S.A. Metodicheskie osnovy polivariantnogo rascheta dinamicheskikh modelei produktsionnogo protsessa sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodological basis of polyvariant calculation of dynamic models of agricultural crop production process]. *AgroEkoInfo* [AgroEcoInfo], 2015, no. 4, pp. 2–17. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Каличкин В.К.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: kvk@ngs.ru

Задков А.П., доктор экономических наук, главный научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Kalichkin V.K.**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher, **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: kvk@ngs.ru

Zadkov A.P., Doctor of Science in Economics, Head Researcher

*Дата поступления статьи 02.12.2018
Received by the editors 02.12.2018*