

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРОГНОЗА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА И ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДАННЫХ ДЗЗ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

**Кульба В.В.<sup>1</sup>, Меденников В.И.<sup>2</sup>, Бутрова Е.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

<sup>2</sup>*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, ФИЦ ИУ РАН*

<sup>3</sup>*Российский университет дружбы народов*

*kulba@ipu.ru, dommed@mail.ru, evbutrova@gmail.com*

*Аннотация: в работе рассматриваются проблемы эффективности применения технологий дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве и связанные с этим проблемы оценки рисков при цифровой трансформации агропромышленного производства.*

**Ключевые слова:** дистанционного зондирования Земли, оценка рисков, сельское хозяйство.

### **Введение**

Цифровизация экономики и общества, основанная на достижениях в области микроэлектроники, информационно-коммуникационной техники и в области создания новых материалов, технических средств и оборудования, вывела пространственные данные в ряд наиболее используемых информационных ресурсов в социально-экономической, научной и общественной деятельности современности, особенно, оборонной сфере. Данные виды ресурсов более наглядно и информативно описывают многие природные явления, динамику и местоположение подвижных объектов, характер состояния неподвижных и т.д.

Технология получения, хранения, передачи и обработки этих данных получила название дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). К ДЗЗ относятся съемки, осуществляемые из космоса, с самолетов, морских и речных судов, с беспилотных летательных аппаратов (БЛА), наземных комплексов, с помощью различных оптико-радио-электронных приборов. До последнего времени к ДЗЗ относили лишь космическую съемку земной поверхности, которой насчитывается свыше 70 лет. Космические съемки наиболее развиты в мире к данному времени, нашли широкое применение во многих сферах деятельности. Непрерывно возрастает ассортимент и количество запускаемых видов космических аппаратов (КА) с существенным изменением их технического, организационного, маркетингового характера. Также большими темпами растет и количество задач, в которых используются данные космического ДЗЗ.

В последнее время огромный интерес проявляется к БЛА вследствие их способности производить съемки в условиях, когда их производить с помощью КА или пилотируемой авиации невозможно физически, например, из-за погодных ограничений (в основном облачности), в силу недостаточной разрешающей способности аппаратуры, либо в силу более значительной стоимости. Нарастающее использование БЛА для ДЗЗ продиктовано следующими преимуществами по сравнению с космическими ДЗЗ: проведение съемок на низких высотах, в результате чего получают съемки сантиметровой точности, потребность в которых велика, съемки в реальном масштабе времени, значительное снижение затрат для некоторых задач, в том числе за счет приобретения непосредственно самими пользователями летательных аппаратов. На военные цели в 2014 г. приходилось около 60% всего мирового рынка БЛА (\$6,76 млрд.). Доминировали на рынке фирмы США (65% рынка), из них лидеры General Atomics Aeronautical Systems (19%), Nortop Grumman Corporation (17%), и Израиля Elbit Systems (8%). Европейский Союз занимал нишу в 6% [1]. Россия довольствуется своими 2%, приходящимися в основном на оборонные цели.

Предполагается, что к 2023 г. объем мирового рынка ДЗЗ на основе КА возрастет на 85% и достигнет величины \$3,6 млрд., из которых около \$3 млрд. составят данные, получаемые с помощью съемок сверхвысокого разрешения.

Наземные способы получения разнородной информации нашли применение в беспилотных транспортных средствах. Самые же значительные из них — в точном земледелии, переживающим сейчас настоящий бум.

Все эти методы ДЗЗ в чем-то конкурируют, в чем-то дополняют друг друга, постоянно совершенствуясь. Какую нишу займут эти основные методы в целях управления общественным развитием и экономикой покажет ближайшее будущее, исходя из образуемой в результате их эффективности. Например, в системах управления транспортными средствами прослеживаются три основные тенденции. Первая — все датчики, средства обработки данных, система управления находятся на транспортном средстве (ТС). Пока данный вариант проходит испытания в разных странах. Вторая — на основе данных космического позиционирования всех движущихся предметов, как живых, так и неживых (датчики должны быть у всех) и карты местности управление ТС осуществляется через космические спутники. Третья — на основе датчиков, установленных на всевозможных объектах вдоль дороги и на транспортном средстве, управление ТС осуществляется неким электронным полицейским и системой управления ТС.

## **1 Применение ДЗЗ в сельском хозяйстве России**

Технологии ДЗЗ в настоящее время становятся одним из необходимых элементов информационной инфраструктуры многих стран благодаря применению их для решения многих задач в сфере обороны, науки, социологии, экономики, защиты окружающей природы с постоянным расширением прикладных областей применения. Об этом говорят темпы роста услуг ДЗЗ — около 20% в год. Усиленно разрабатываются перспективные технологии съемок и обработки данных. За период с 1990 г. по настоящее время количество стран, эксплуатирующих КС ДЗЗ, возросло с семи до 20.

Поскольку технологии ДЗЗ начали активно применяться во многих отраслях экономики, таких как картография, экология, лесное и сельское хозяйство, обустройство земель, геология, логистика, строительство, нефте и газотранспортные системы, погода и климат, океанология и т.д., то они должны постепенно приобрести статус инфраструктурных технологий. В этом случае ДЗЗ в ближайшем будущем должны будут играть в мировой экономике ту же ключевую роль, которую в свое время сыграли железные дороги, телеграфная и телефонная связи, а также электрические сети. Идею технологии общего назначения впервые выдвинул Пол Дэвид в работе [2]. При этом каждой технологии общего назначения должен соответствовать свой технический и экономический уровень функционирования, включающий в себя физические сети с соответствующими характерными эффективными сетевыми эффектами.

Современный уровень технологий ДЗЗ, позволяет также использовать данные, получаемые от съемочной аппаратуры различных КА, и в интересах агропромышленного производства. Эти данные имеют уже такой широкий спектр тематических характеристик, что позволяют решать довольно значительный комплекс задач в этой сфере — от оформления границ полей на картах до прогноза урожайности культур на площадях целых регионов. Это связано с возможностью широкого пространственного охвата съемочной аппаратуры космических спутников, появлению новых спектральных характеристик этой аппаратуры в диапазонах, позволяющих распознавать спектральные характеристики растительности с последующим расчетом различных вегетационных индексов, характеризующих различные параметры состояния некоторых видов растений. Использование динамического ряда наблюдений дает возможность также отследить тенденции изменений роста и развития растений, временные характеристики проведения агротехнологических мероприятий, провести мониторинговые исследования посадок, пострадавших в результате неблагоприятных воздействий природы и человека, а также осуществить множество других задач. Задачи могут быть разбиты на такие группы: свойства и состав почвенного слоя, сезонные динамические характеристики растительности, картографические параметры и состояние угодий, прогнозные задачи урожайности различных культур, атмосферноклиматические условия.

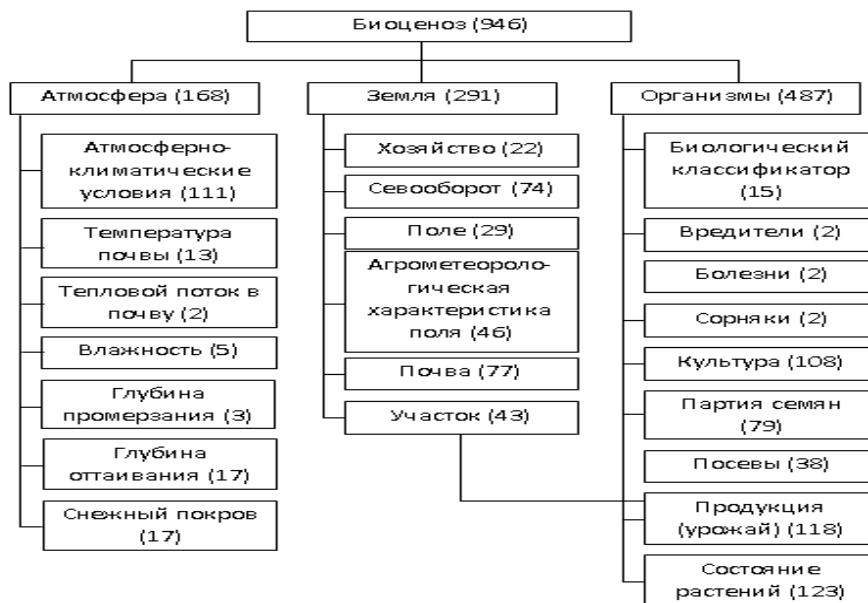
Сравним плюсы и минусы технологий ДЗЗ на основе КА и БЛА. Сторонники БЛА, например, утверждают, что их технологии могут заменить космические технологии и при формировании карт сельхозугодий, и при расчетах различных вегетационных индексов, в частности индекс NDVI (характеристика биомассы, с использованием которой можно дозированно вносить удобрения, пестициды и гербициды), и при проведении мониторинговых исследований и обработки

растительности, и контроля выполнения сельхозработ, и отслеживанию состояния угодий при нестандартных ситуациях. В то же время к существенным недостаткам космического ДЗЗ относят очень низкое пространственное разрешение, которое сводит на нет материалы ДЗЗ КА в части мониторинга на уровне отдельного хозяйства. Низкое пространственное разрешение искажает информацию на уровне отдельного поля вследствие влияния посторонних объектов в виде дорог, лесополос, водоемов, построек и т.д.

Поскольку технологии ДЗЗ, как отмечено выше, должны стать одним из необходимых элементов инфраструктурных технологий, оба этих метода ДЗЗ КА и БЛА должны удовлетворять ряду требований относительно исходных данных для использования в аграрной сфере. Прежде всего, это требование комплексного использования как данных космического ДЗЗ, так и наземных данных, определяемых спецификой решаемых проблем. Например, задачи по прогнозу урожайности культур в рамках заданного севооборота с соответствующим аналитическим сопровождением расчетов требуют для решения много другой дополнительной наземной информации, в частности, многолетнего ряда статистических показателей корреляционной зависимости спектральных характеристик агрокультур от метеорологических и климатических характеристик. Некоторым задачам могут потребоваться результаты высокоточного моделирования рельефов полей, почвенных агрохимических карт, информация о балансах и нормах внесения удобрений и т.п. Подводя итог, можно сделать вывод, что данные ДЗЗ обеспечивают решение большого количества разнообразных задач, но в комплексе с наземной информацией, что требует соблюдения соответствующих компетенций и знаний методов и методик их тематической обработки. При этом необходимо учитывать, что передача данных ДЗЗ потребителю в силу большого их числа должна происходить в определенном стандартном формате (интерфейсе) для значительного снижения стоимости передачи данных, что диктует необходимость проектирования концептуальной информационной схемы растениеводства в рамках единой геоинформационной системы. Вторым подходом является отработка облачного сервиса ДЗЗ, куда бы, наоборот, передавалась наземная информация потребителей для решения актуальных задач в интересах сельскохозяйственных производителей. Но это опять требует проектирования концептуальной информационной схемы растениеводства в рамках единой геоинформационной системы. Задачи актуализации такой схемы должны постоянно совершенствоваться по мере развития сбора, хранения данных ДЗЗ и специализированных методик их обработки.

На рис. 1 отображена как раз такая укрупненная универсальная для большинства сельскохозяйственных производителей страны концептуальная информационная схема растениеводства с указанием величин информационных элементов в соответствующих блоках [2]. Данная схема получена с использованием онтологического моделирования предметной области. Данная схема явилась результатом совместного творчества сотрудников из ведущих отраслевых сельскохозяйственных НИУ (специалисты в области агрохимии, почв, удобрений, защиты растений, роста растений и пр.) и института кибернетики АПК. Работа была апробирована на одном эталонном объекте — агрокомбинате «Кубань» в условиях выполнения подпрограммы «Электронизация сельского хозяйства» КП НТП стран-членов СЭВ. Комплексность решения задач и интегрированность информации для их решения, требование функциональной их полноты привело к формированию унифицированного списка решаемых задач в составе 240 задач.

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАСТЕНИЕВОДСТВА



*Рис. 1. Укрупненная концептуальная информационная схема растениеводства*

Представленная концептуальная информационная схема растениеводства приобретает особенное значение в настоящее время, когда технологии ДЗЗ начинают активно внедряться в такой относительно молодой сфере аграрного производства как «точное земледелие», требующего сочетания большого количества данных и технологий. Точное земледелие представляет собой интеграцию принципиально новых высокоэффективных и экологически безопасных технологий производства продукции растениеводства на базе высокоточного позиционирования проведения технологических работ и соответствующих этим требованиям комплекса технических и агрохимических средств. Считается, что таким образом создается оптимальная среда для выращивания сельскохозяйственных культур с сохранением норм технологической и экологической безопасности как самих культур, так и почвы. При этом прогнозные расчеты показывают, что технологии точного земледелия (ТЧЗ) увеличат урожайность культур до 30% с существенной экономией (до 100-150 €/га) применяемых средств. Одним из важнейших индикаторов для грамотного применения ТЧЗ является своевременный контроль за состоянием культур и почвы. При этом строго соблюдаются научно разработанные дифференцированные технологии земледелия на каждом поле с учетом неоднородности его по рельефу, почвенному составу (содержанию питательных веществ, влаги физико-химическому состоянию и т.д.). Соблюдение этих требований ТЧЗ позволяют вовремя обнаружить и нейтрализовать участки с незапланированным состоянием агрокультур в пределах даже небольшого участка, вызванным влиянием на растения вредителей, сорняков, погодных катаклизмов и т.д. ТЧЗ в этом случае становятся важным элементом оперативного управления производством продукции растениеводства, да и, опосредованно, всего сельского хозяйства.

Например, в Германии в настоящее время проходит испытание продукт Atfarm. Atfarm - это веб-сервис, разработанный на основе многолетнего опыта норвежского производителя Yara в области питания и удобрения растений и данных, собранных с помощью оборудования Yara N-Sensor [3]. Он позволяет фермерам вносить азотные удобрения на конкретных участках с использованием спутниковых данных. В свою очередь, Yara N-Sensor - оборудование, которое устанавливается на трактор и позволяет фермерам измерять требования культуры к азоту при движении трактора по полю, а также варьировать дозу внесения удобрения на клетке 20x20 метров. Хотя это оборудование очень дорогое (от 25000 евро), но дает самые точные рекомендации и не зависит от погодных условий (облачности) региона.

## 2 Экономический эффект применения данных ДЗЗ в сельском хозяйстве

К настоящему времени накоплены значительные исследования по изучению способов использования данных ДДЗ в сельском хозяйстве, в которых подтвержден мировой и российский опыт о положительное влияние технологий ДЗЗ на сельскохозяйственное производство. Общеизвестно, например, что данные ДЗЗ с КА позволяют: увеличить точность, информативность, объективность и частоту видеонаблюдений в более удобном виде, что, наряду с формированием соответствующей наземной инфраструктуры, перейти к новым методам прогноза и оперативного управления производством растениеводческой продукции на основе совершенствования контроллинга за состоянием посевов, что, в свою очередь, позволит улучшить сбор всей учетной и статистической информации. Однако, наряду с массой положительного от внедрения ДЗЗ, много и причин, препятствующих комплексному подходу к внедрению ТЧЗ с использованием данных ДЗЗ с КА у нас в стране, например, указанному выше продукту Atfarm. В их числе высокая цена всего комплекса из оборудования и услуг, поставляемых в страну в основном монополично из-за рубежа. На это влияет и почти полное отсутствие отечественных производителей прямо-передающих устройств, датчиков, исполнительных механизмов и другой аппаратуры, необходимых для применения технологий автоматического управления технологическими процессами сельскохозяйственной техники. Порой стоимость только оборудования превышает стоимость отечественной техники. Например, Yara N-Sensor стоит от 1875000 рублей, а трактор МТЗ 80.1 — от 800000 рублей. Производители тракторов «Кировец» испытывают большие проблемы со сбытом своей продукции в силу большой цены (6-7 млн. рублей) даже без «умной» электроники.

Следующей причиной является отсутствие промышленного изготовления в серии российской сельскохозяйственной техники, приспособленной к монтажу необходимого оборудования и программного обеспечения (ПО) ДЗЗ и работе с современными технологиями ТЧЗ. На отечественном рынке нет и комплексного ПО, предназначенного для планирования, проектирования интегрированных агротехнологий и оперативного управления всем производственным процессом выращивания сельскохозяйственных культур. Отсутствуют также аналитические исследования по анализу экономического эффекта по фактическим результатам применения агротехнологий в целом, а не только отдельных элементов ТЧЗ, с последующими предложениями о вариантах использования экономически обоснованных технологий ДЗЗ на ближайшую перспективу [4]. При формировании ВНИИ Кибернетики АПК ему досталось подразделение дистанционного зондирования земли на базе трех самолетов ТУ-134 с новейшим французским оборудованием. Анализ его деятельности показал, что подача аэрофоснимков полей руководству регионов, районов, хозяйств не вызвала особого интереса, поскольку требовала дешифровки, пояснений высококлассными специалистами. Связано это было с тем, что руководству нужны были варианты принимаемых решений, ретроспектива, динамика, прогноз, а для этого данные съемок нужно было накапливать в некоторой ГИС со структурой БД, аналогичной приведенной на рис. 1.

Основная проблема, как нам видится, заключается в том, что Минсельхоз РФ не хочет, да и не может заниматься комплексным решением этих проблем. За последние годы произошла уже десятая смена ответственных за информатизацию АПК. Минсельхоз все годы перестройки полагался на рыночный подход в области информатизации. Как твердил, что рынок все лучше сделает в части внедрения ИС, так и продолжает твердить в эпоху цифровой экономики. Например, анализ различных информационных систем в растениеводстве показывает, что в стране продолжается эпоха «позадачного» проектирования и разработки их с формированием собственных концептуальных логических моделей растениеводства, являющихся онтологически несовместимым подмножеством единой концептуальной информационной модели растениеводства, рассмотренной выше. Следуя позадачному подходу (еще называют островной, лоскутной информатизацией) и, оценивая количество задач, решаемых в растениеводстве, в размере 150, различных технологических операций — около 20, регионов — 80, культур — 20, получим потенциально 4800000 информационных систем [2, 5]. Такой подход ведет к значительному удорожанию внедрения ДЗЗ и неэффективному использованию их данных. В [2, 5] предлагается научный подход к формированию единого информационного Интернет-пространства цифрового взаимодействия АПК, включающего цифровую платформу, которая, в свою очередь, представляет из себя интеграцию в единой облачной БД информации первичного учета и технологических БД на основе унифицированной системы сбора, хранения и анализа первичной учетной, технологической, статистической информации, сопряженной как между собой, так и с единой системой классификаторов, справочников, нормативов, представляющих реестры практически всех

материальных, интеллектуальных и человеческих ресурсов страны на основе онтологического моделирования данных видов информационных ресурсов.

Такая цифровая платформа позволит разработать типовые информационно-управляющие системы (ИУС), а также типовые сайты с уменьшением затрат на цифровую экономику в десятки-сотни раз. Данная платформа могла бы служить и основой для интеграции данных ДЗЗ и управленческих решений на их основе, в том числе, и основой интеграции и согласованного функционирования в агропромышленном секторе всех имеющихся в разных ведомствах наземных станций, центров приема, хранения, обработки и данных ДЗЗ. В этом направлении появились определенные организационные мероприятия. Так, предлагается создать Единую территориально-распределенную информационную систему ДЗЗ (ЕТРИС ДЗ). Это предполагается «Концепцией развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года». По планам ЕТРИС ДЗ должна интегрировать все информационные ресурсы ДЗЗ в единое геоинформационное пространство на основе объединения указанных выше наземных комплексов и центров. Данная система существенно облегчит и удешевит доступ различных потребителей ДЗЗ. Конечно, в ЕТРИС ДЗ необходимо было бы включить и информационные ресурсы, получаемые с БЛА и наземных комплексов с единых научно-методических позиций. А также провести интеграцию информационных ресурсов ЕТРИС ДЗ с отраслевыми информационными ресурсами, которые также должны быть интегрированы, о чем уже написано выше.

В [6] рассматриваются результаты математического моделирования сценариев вариантов развития компьютеризации АПК. Из расчетов следует, что на данном этапе развития сельского хозяйства без государственной поддержки максимальный уровень компьютеризации, который может быть достигнут даже при оптимальных сценариях, не превысит 21%. При этом в расчет брались лишь прибыльные хозяйства, доля которых составляет, по разным оценкам от 74% до 83%. Это означает, что даже из прибыльных не могут себе позволить приобрести хотя бы один компьютер и одну компьютерную программу 76% хозяйств. Только переход к единому информационному Интернет-пространству цифрового взаимодействия АПК при поддержке государства можно говорить о полноценном использовании технологий ДЗЗ в АПК. Пока их преимуществами могут воспользоваться незначительное количество хозяйств.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что в настоящее время в исследованиях по использованию данных ДЗЗ в сельском хозяйстве нет результатов исследований экономической окупаемости необходимых мероприятий внедрения этих технологий. Данный вывод касается и других отраслей.

### **3 Методические подходы к оценке рисков сельского хозяйства при прогнозе экономического эффекта применения данных ДЗЗ**

Хотя во всем мире производство сельскохозяйственной продукции осуществляется в условиях риска, проблеме оценки и управления рисками в России не придается должного внимания, невзирая на тот факт, что почти вся страна располагается в зоне рискованного земледелия. Делая выбор между прибылью и риском, западные экономисты большее внимание придают задаче управления рисками, а не управлению прибылью.

В условиях формирования рыночных отношений в нашем сельскохозяйственном секторе в условиях предстоящих кардинальных изменений в технологиях производства и управления производством обостряются противоречия между эффективностью процесса управления производством и эффективностью управления рисками. Управляющим предстоит научиться находить необходимый баланс в этом пространстве решений, подобно западным экономистам. При принятии решений приходится учитывать не только природные, но и экономические риски, поскольку они определяются потерями, связанными с дополнительным, непредвиденным расходом ресурсов. Из множества различных классификационных видов рисков в данной работе, исходя из оценки влияния одного из факторов — данных ДЗЗ на производство сельскохозяйственной продукции, будем рассматривать микроэкономические риски — риски отдельных предпринимательских единиц [7], поскольку только на этом уровне наиболее разработаны методы факторного анализа. С другой стороны, как следует из раздела 2, на региональном и федеральном уровне проявление влияния ДЗЗ отследить сложно, поскольку в настоящее время эксперименты с ДЗЗ в сельском хозяйстве незначительны, некомплексны и фрагментарны, идут лишь с отдельными компонентами технологии.

Оценка риска — это набор методов и моделей по идентификации риска, по определению набора основных качественных и количественных показателей, факторов, описывающих рисковую

ситуацию, влияющих на критерий уровня риска, как по отдельности, так и в совокупности. Оценка опирается на системный подход, при котором рассматривается деятельность системы (предприятия) в комплексе со средой его функционирования, с анализом и классификацией (разделением) показателей на внешние и внутренние факторы риска и показателей критериев оценки уровня риска. Методов, как количественных, так и качественных, оценки довольно много. Рассмотрим возможность использования следующих: статистические методы, метод экспертных оценок, метод аналогов.

Основным фактором риска для осуществления сельскохозяйственной деятельности принято считать погодно-климатические условия. Данный фактор проявляется в неустойчивости значений урожайности растений, влияющей на все социально-экономические показатели хозяйств, регионов, зачастую, и страны. Человечество пока не нашло способов полностью нейтрализовать негативное воздействие погоды и климата на аграрный сектор. Например, обширные статистические исследования сельскохозяйственного производства Ставропольского края в 90-ых годах прошлого столетия показали, что колебания объемов производства на 70% зависят от погоды и на 30% от экономического и технологического факторов производства. При этом экономические и технологические риски могут увеличивать погодный риск, и наоборот.

С позиции производственного процесса сельское хозяйство представляется как система составляющих ее взаимосвязанных производственных ресурсов. Для производства определенного качества и количества продукции необходимо соблюдение строгих пропорций между ресурсами, обусловленных технологическими требованиями и спецификой производимой продукции. Изменение качества и количества одного вида ресурса влечет за собой изменение структурных характеристик других ресурсов, что в итоге отражается на качестве и количестве производимой продукции. В результате факторы производства образуют целостную систему сельскохозяйственного производства. Для анализа зависимости «ресурсы - выпуск» широко применяется производственная функция Кобба–Дугласа, устанавливающая зависимость количества произведенной продукции от объемов и пропорций применяемых ресурсов.

Зависимость ищется в виде уравнения регрессии на достаточно представительной выборке статистической информации, в результате решения которого определяются параметры производственной функции. На вводимую в расчетную модель информацию накладываются достаточно жесткие требования — информация должна отражать собой результаты, либо единовременного обследования достаточного множества однородных объектов, либо результаты обследования за одним и тем же объектом в течение больших периодов времени. При этом объекты (объект) должны пребывать в достаточно одинаковых условиях во времена обследований.

В общем виде функция Кобба–Дугласа записывается в следующем виде

$$y_j = A_j \prod_{i=1}^I x_{ij}^{\alpha_i} \text{ (степенная зависимость), либо } y_j = A_j \sum_{i=1}^I x_{ij}^{\alpha_i} \text{ (линейная зависимость), где } j$$

— вид продукции,  $j \in J$ ,  $i \in I$ ,  $y_j$  — результативный показатель, по отношению к которому определяется ресурсный потенциал (например, урожайность),  $x_{ij}$  — объем  $i$  — го фактора, используемого для  $j$  — го вида продукции,  $A_j$  — технологический коэффициент,  $\alpha^i$  — коэффициенты эластичности, показывающие, величину роста в % результативного показателя при повышении  $i$  — го фактора на 1%. Принято, зачастую, считать, что выполняется соотношение  $\sum_{i=1}^I \alpha^i = 1$ ,  $0 \leq \alpha^i$ . В итоге, функция Кобба–Дугласа дает представление о возможных факторах роста результативного показателя (экономического роста) и степень влияния каждого источника роста на результативный показатель.

Выбор факторов определяется целью исследования. Например, в 1990-ых годах усилиями Украинского НИИЭОСХ и института кибернетики АПК была разработана информационная система для равнонапряженного планирования госзадач хозяйств с помощью функция Кобба–Дугласа производственного потенциала предприятий и эффективности его использования по 6 факторам:

$$(1) \text{ III} = \alpha G^{\alpha_1} Z^{\alpha_2} B^{\alpha_3} T^{\alpha_4} F^{\alpha_5} L^{\alpha_6}, \text{ где } \alpha^i \text{ - параметры модели, } i = (1, \dots, 6);$$

$G$  – величина воды для полива;

$Z$  – бонитет пашни;

$B$  – объем вносимых удобрений;

$T$  – численность работников;

$F$  – стоимость основных фондов;

$L$  – объем кормовой базы,

Для каждого типа хозяйств, определяемого по основной выращиваемой культуре (томаты, сахарная свекла и т.д.), определялись параметры модели на основе статистических данных за 15 лет произведенной продукции и осуществленных затрат в 30-ти хозяйствах, одинаковых по размерам и находящихся в одних природно-климатических зонах.

Для разработки методических подходов к оценке рисков сельского хозяйства при прогнозе экономического эффекта применения данных ДЗЗ будем использовать следующие четыре ресурса: земельные, трудовые, основные и оборотные фонды. В качестве результативного показателя возьмем урожайность культур, как наиболее применяемого для этих целей.

При количественной оценке риска в экономической литературе и в работах о риске производства сельскохозяйственной продукции [8] наиболее часто для измерения величины риска используется показатель колеблемости в виде среднего квадратического отклонения:

$$(3) \quad S_{nj} = \sqrt{\sum_{t=1}^T (y_{njt} - y_{nj}^0)^2 / T} \text{ для } j - \text{ой культуры хозяйства } n \text{ за период наблюдений } T.$$

$y_{njt}$  - соответственно, урожайности в момент  $t$ ,  $t \in T$ ,  $y_{nj}^0$  - их средние значения. Тогда коэффициент вариации  $V_{nj} = S_{nj} / y_{nj}^0$  может служить мерой риска. В предпринимательской деятельности выделяют несколько уровней (зон) риска [8]:

- минимальный (потери до 25%);
- повышенный (потери от 25 до 50%);
- критический (потери от 50 до 75%);
- недопустимый (потери от 75 до 100%).

Рассмотрим теперь случай, когда какое-либо предприятие инвестирует в основные средства, использующие ДЗЗ. Очевидно, что, исходя из функции Кобба–Дугласа, урожайность (эффективность) вырастет, но степень риска не изменится. Для измерения степени риска при инновациях разрабатываются уравнения и вычисления, отражающие наиболее правдоподобно сложившуюся тенденцию. Например, в методике А. Кабата и Л. Найкена учитывается коэффициент автокорреляции для расчета показателя, характеризующего относительную колеблемость [7]. Однако, во всех этих методиках необходим достаточно большой ряд наблюдений, которого еще в принципе нет в силу небольшого срока использования данных ДЗЗ и причин, указанных в разделе 2.

По этим же причинам метод аналогов, когда можно было бы воспользоваться накопленными данными в разных странах, не годится. Рассмотрим, например, состояние дел в Германии и Китае [9]. Сельское хозяйство Германии путем научного подхода, проведения экспериментов на опытных хозяйствах подготовлено к внедрению новых технологий.

Так, уже свыше 60% фермерских хозяйств разного размера применяют данные новые технологии. Для поиска и отработки наиболее пригодных технологий ТЧЗ сформирован междисциплинарный проект «Preagro», финансируемый Министерством науки и высшего образования РФ, на основе разработанной концепции ТЧЗ с соответствующей оснасткой и техническим оснащением сельскохозяйственных агрегатов, орудий и машин. Проект предназначен для разработки новых агротехнологий в растениеводстве с учетом локальных характеристик (микроусловий) небольших участков полей на основе данных ДЗЗ с целью повышения экономической эффективности производства. В проекте задействовано ряд научных, финансовых, промышленных организаций, обеспечивающих все необходимые средства и ресурсы. В соответствии с разработанной концепцией и оценкам специалистов, использование ТЧЗ должно увеличить урожайность культур на 30% со значительной экономией ресурсов в объеме 100-150 €/га. Основное направление исследований и экспериментов — отработка технологий внесения удобрений, дифференцированных по небольшим участкам полей, с использованием и данных ДЗЗ, GPS, и современных ГИС — технологий. Большинство фермерских хозяйств Германии имеют передовую сельскохозяйственную технику, вычислительную технику, дающую возможность доступа к базам данных почвенных карт, цифровым данным и снимкам ДЗЗ. Хорошо налажена сервисная и информационно-консультационная деятельность по оказанию необходимой помощи в организации внедрения новых агротехнологий, по забору почвенных проб, формированию цифровых карт полей, по оснащению техники оборудованием ТЧЗ.

Для сравнения, у нас в стране технология проведения агрохимического анализа почв в большинстве случаев осталась неизменной с советских времен (это подтвердили специалисты бывшей агрохимслужбы на форуме Цифровизация-2019 в МГУ): раз в пять лет агроном идет по



диагонали поля и через каждые несколько метров берет горсть земли и бросает в пакетик. После этого смесь перемешивает и сдает по каждому полю в агрохимлабораторию. На основании этих данных каждый год агроном строит таблицу потребности в удобрениях с коррекцией начальных данных на каждые следующие годы в соответствии с планом урожайности культур и фактической урожайностью (вынос удобрений), т.е. составляет баланс питательных веществ.

В Китае также проводятся первые опыты по внедрению ТЧЗ в полеводство под руководством Академии сельскохозяйственных наук Китая. Опыты идут недалеко от Шанхая с целью доведения до промышленной технологии сбалансированное питание культур. Участок опытного поля площадью 247 га разделен на маленькие участки земли, на них отрабатывается технология точного внесения удобрений в зависимости от потребности сельскохозяйственных культур. Проверяются 11 типов питательных элементов на 460 опытных участках. Все делается для того, чтобы выращивать урожай максимально экономичным способом, который затем будут сравнивать с обычными урожаями в данных местах. Уже можно констатировать, что урожайность арбузов возросла с 14 до 27%, а концентрация сахара — в три раза, сбор риса — на 9-13%, пшеницы — на 18%. Ещё в двух местах, также недалеко от Шанхая, но уже на крупных полях, отрабатывается технология точного позиционирования на местности и дистанционного получения данных.

Для учета снижения рисков сельского хозяйства и экономического эффекта от применения данных ДЗЗ необходимо дополнить статистический метод на основе функции Кобба–Дугласа методом экспертных оценок (Таблица 1).

*Таблица 1. Экспертные оценки снижения рисков сельского хозяйства и экономического эффекта от применения данных ДЗЗ: эксперт (данные эксперта), регион (наименование), район (наименование), хозяйство (наименование)*

Наименование культуры	Средняя урожайность	Вид ДЗЗ (БЛА, спутниковый, наземный)	Стоимость ДЗЗ на гектар	Повышение урожайности (%)	Снижение (%) риска потери урожайности
-----------------------	---------------------	--------------------------------------	-------------------------	---------------------------	---------------------------------------

Данный подход [10] заключается в грамотном сборе и обработке адекватными математическими способами мнений представительной группы экспертов из специалистов в данной области знаний о вероятностях риска и разнообразных эффектах по заданной тематике. Порой их интуитивные мнения, усиленные хорошими знаниями и опытом, дают довольно точные оценки. Экспертные методы часто применяют в технологиях мозгового штурма, когда нужно довольно быстро выработать информацию, на основании которой осуществляется выработка управленческих решений. Данный подход часто используется в тех случаях, когда:

- 1) Выборка статистических данных мала для применения методов математической статистики;
- 2) Статистическими методами невозможно определить зависимость между исследуемыми явлениями в силу их принадлежности к неколичественной шкале измерений (качественный, интервальный, ранжированный характер);
- 3) Разрозненный характер информации, либо по времени, либо в силу неполноты, либо отсутствие явной связи между исследуемыми явлениями.

Важная деталь экспертных методов состоит в адекватности подхода к обработке полученных ответов и интерпретации результатов.

В результате обработки полученных ответов и с учетом расчетов производственной функции Кобба-Дугласа методика оценки рисков сельского хозяйства при прогнозе экономического эффекта применения данных ДЗЗ факторов в итоге должна быть основана на таком смешанном методе. Результаты расчетов будут представлены в виде таблице 2.

*Таблица 2. Итоговые оценки снижения рисков сельского хозяйства и экономического эффекта от применения данных ДЗЗ: регион (наименование), район (наименование), хозяйство (наименование)*

Наименование культуры	Средняя урожайность	Уровень риска (%)	Прирост эффективности (эксперт)	Прирост эффективности (Кобба – Дугласа)	Средний прирост эффективности	Снижение риска потери урожайности (%)	Итоговый уровень риска (%)
-----------------------	---------------------	-------------------	---------------------------------	---	-------------------------------	---------------------------------------	----------------------------

Формализуем результаты расчетов. Пусть  $r^{kjnm}$  — оценка  $k$ -го эксперта о снижении риска  $j$  — й культуры хозяйства  $n$  при использовании  $m$ -ой технологии ДЗЗ,  $r^{ojnm}$  — средняя оценка экспертов,  $y^{kjnm}$  — оценка  $k$ -го эксперта о приросте урожайности (эффективности)  $j$  — й культуры хозяйства  $n$  при использовании  $m$ -ой технологии ДЗЗ,  $y^{ojnm}$  — соответственно, средняя оценка экспертов. Тогда получим обобщенную оценку риска  $r^{ijnm} = V_{nj} \pm r^{ojnm}$  и обобщенную среднюю урожайность (эффективность)  $y^{ijnm} = y_{nj}^0 \pm y^{ojnm}$ . При наличии достаточного количества экспертов можно ставить задачу поиска выбора оптимального вида технологии ДЗЗ в пространстве состояний рисков и эффективностей.

Отсюда видно, что выбор наилучшей технологии ДЗЗ будет следствием решения оптимизационной двухкритериальной задачи. В общем случае при процедуре многокритериальной оптимизации ориентируются на приоритетное понятие оптимальности по Парето, в котором под оптимальным решением понимается улучшение некоторых критериев на определенном множестве аргументов, на котором другие критерии при этом не уменьшаются.

Сведем нашу задачу к виду, удобному для рассуждений в терминах оптимизационной двухкритериальной задачи. Для чего введем новые выражения.

$f(x)$  — функция эффективности  $x$  — ой технологии ДЗЗ,

$z(x)$  — функция риска (оценка риска)  $x$  — ой технологии ДЗЗ,  $x \in N$ , где  $N$  — дискретное множество этих технологий.

При оптимизации по Парето некоторый орган (лицо), принимающий решение, стремится к увеличению функции  $f(x)$ , и к уменьшению функции  $z(x)$ .

Из доказанной справедливости утверждения для множества Парето о том, что функции  $f(x)$  и  $z(x)$  являются однозначными функциями, а также конечности множества  $N$ , следует, что будет и конечное множество точек Парето  $N^1$ , где  $x \in N^1 \subset N$ , которые можно найти простым перебором. Для поиска приемлемого решения обычно используют так называемую свертку критериев путем сведения многокритериальной задачи к скалярной. Свертку критериев используют в случае сопоставимости значений всех критериев, иначе, выражены в одной единице измерения, в противном случае осуществляют процедуру нормализации, например, логарифмирования некоторых критериев. Будем считать, что в нашем случае такая процедура осуществлена. Опишем наиболее популярные из них и, имеющие отношение к нашей постановке задачи.

Свертка методом взвешивания. В этом случае общий критерий  $W$  выглядит так  $W = \max(\alpha^1 f(x) - \alpha^2 z(x))$  по  $x$  при  $x \in N^1 \subset N$ . То есть функции  $f(x)$  и  $z(x)$  в общий критерий входят с определенными весами  $\alpha^1$  и  $\alpha^2$ , при этом  $\alpha^1 + \alpha^2 = 1$ ,  $0 \leq \alpha^i$ ,  $i = 1, 2$ . Данная свертка обычно применяется при непрерывных функциях  $f(x)$  и  $z(x)$ , хотя, введя некоторую меру расстояния между точками Парето, данный метод годится и для дискретного случая.

Свертка методом наложения ограничений. В нашем случае общий критерий  $W$  выглядит так  $W = \max f(x)$  по  $x$  при  $z(x) \leq \beta$  и  $x \in N^1 \subset N$ . То есть функции риска  $z(x)$  не должна быть больше некоторого порогового значения  $\beta$ .

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

## Выводы

Поскольку основные условия для успешной реализации в России технологий ДЗЗ в сельском хозяйстве не вполне обеспечиваются, выход видится в отработанной столетиями технологии: комплексная отработка самых совершенных указанных технологий на нескольких эталонных объектах с поставкой современных программно-технических средств в комплексе с разнообразным технологическим оборудованием и машинами с последующим массовым внедрением по всей стране.

## Литература

1. Путина просят помочь беспилотной авиации, чтобы она не повторила судьбу российских ПК [Электронный ресурс]. – URL: [http:// www.cnews.ru/news/top/2016-11-14\\_putina\\_prosyat\\_pomoch\\_bespilotnoj\\_aviatsiichtoby](http://www.cnews.ru/news/top/2016-11-14_putina_prosyat_pomoch_bespilotnoj_aviatsiichtoby) (дата обращения 22.02.2019).
2. Меденников В.И. Единое информационное Интернет-пространство АПК на основе идей А.И. Китова и В.М. Глушкова об ОГАС // Цифровая экономика, 2018, № 1. – С. 69-74.

3. [Электронный ресурс]. – URL: [www.at.farm](http://www.at.farm) (дата обращения 22.02.2019).
4. Точное земледелие повысит урожаи [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gisa.ru/55612.html> (дата обращения 22.02.2019).
5. *Ерешко Ф.И., Кульба В.В., Меденников В.И.* Интеграция цифровой платформы АПК с цифровыми платформами смежных отраслей // АПК: экономика, управление, 2018, № 10. – С. 34-46.
6. *Меденников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г., Горбачев М.И.* Экономико-математическое моделирование сценариев информатизации сельского хозяйства // Международный сельскохозяйственный журнал, 2017, № 4. – С. 23-27.
7. *Беньковская Л.В.* Совершенствование статистического анализа рисков производства зерна и их страхования [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dslib.net/bux-uchet/sovershenstvovanie-statisticheskogo-analiza-riskov-proizvodstva-zerna-i-ih.html> (дата обращения 22.02.2019).
8. *Ушвицкий Л. И., Кулаговская Т.А., Тер-Григорьянц А.А.* Риски сельскохозяйственного производства: сущность, содержание и методы оценки // Успехи современной науки и образования, 2015, №1. – С. 23-30.
9. Зарубежный опыт применения технологии точного земледелия [Электронный ресурс]. – URL: <http://svetich.info/zarubezhnyi-opyt-primeneniya-tehnologii-.html> (дата обращения 22.02.2019).
10. Количественная и качественная оценка рисков [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/3102588/page:4/> (дата обращения 22.02.2019).