

УДК 338.43:004
doi:10.35853/vestnik.gu.2025.13-1.03
5.2.3.

Цифровые технологии анализа сценариев землепользования в полеводстве: осмысление опыта

Николай Михайлович Светлов

Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия,
nikolai.svetlov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6906-6129>

Аннотация. На примере цифровизации проектов технологического обновления производства продукции полеводства аргументируется тезис о том, что развитие цифровых технологий, как правило, приносит наибольший эффект в тех случаях, когда оно связано с более совершенными, в смысле лучшего соответствия решаемой прикладной задаче, методами обработки массивов данных, созданных ранее либо актуализируемых по ранее отработанным процедурам. Приведены две задачи числового моделирования, постановки которых ориентированы на использование массивов технологических и географических данных, формируемых в процессе технико-экономического обоснования крупномасштабных полеводческих проектов: о закреплении участков за технологиями полеводства и о сценарном прогнозировании результатов перспективных полеводческих проектов. С опорой на опыт применения соответствующих числовых моделей разъясняется, как их результаты могут быть использованы не только непосредственно при проработке проектов либо прогнозировании перспектив их распространения на большие территории, но и в целях анализа аграрной политики, включая ее эколого-климатические аспекты – в частности, для обоснования выводов о низкой технологической готовности отечественного полеводства к вызовам, обусловленным необходимостью сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу и о преобладании тех резервов сокращения выбросов, которые связаны со снижением доз внесения в почву азотсодержащих минеральных удобрений. Потенциальная практическая значимость исследования, представленного в статье, связана с целесообразностью корректировки парадигмы цифровизации национальной экономики, с учетом особенностей проявления закона необходимого разнообразия в специфических условиях становления шестого технологического уклада.

Ключевые слова: цифровизация, числовое моделирование, технологическое обновление, полеводство, землепользование, технологический уклад, закон необходимого разнообразия

Для цитирования: Светлов Н. М. Цифровые технологии анализа сценариев землепользования в полеводстве: осмысление опыта // Вестник Гуманитарного университета. 2025. Т. 13, № 1. С. 40–52. DOI 10.35853/vestnik.gu.2025.13-1.03.

Digital Technologies for Land Use Scenario Analysis in Field Farming: A Reflection on Experience

Nikolay M. Svetlov

the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
nikolai.svetlov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6906-6129>

Abstract. Using the example of digitalization in projects for the technological modernization of crop production, the paper argues that the development of digital technologies typically yields the greatest impact when it is tied to more advanced methods of processing datasets – methods that are better suited to the specific applied task at hand. These datasets are either created beforehand or updated using previously established procedures. The paper sets out two digital modeling tasks. These are designed to utilize sets of technological and geographical data composed during the technical and economic justification of large-scale crop production projects. The first task is the allocation of land plots to specific crop production technologies. The second is scenario-based forecasting of the outcomes of prospective crop production projects. Drawing on the experience of applying these digital models, the paper explains how their results can be used not only directly in project development or in forecasting the expansion of these projects to larger territories, but also for analyzing agricultural policy, including its ecological and climatic aspects. Specifically, the models help substantiate conclusions about the low technological readiness of domestic crop production to address challenges posed by the need to reduce greenhouse gas emissions, as well as the predominance of emission reduction potential tied to lowering the application rates of nitrogen-containing mineral fertilizers. The potential practical significance of the research presented in the article lies in the need to adjust the paradigm of digitalization in the national economy, taking into account the specific manifestations of the law of requisite variety under the unique conditions of the emerging sixth technological paradigm.

Keywords: digitalization, digital modeling, technological modernization, crop production, land use, technological paradigm, the law of requisite variety

For citation: Svetlov NM. Digital Technologies for Land Use Scenario Analysis in Field Farming: A Reflection on Experience. *Vestnik Gumanitarnogo universiteta = Bulletin of Liberal Arts University*. 2025;13(1):40-52. (In Russ.). DOI:10.35853/vestnik.gu.2025.13-1.03.

Введение

Можно считать установленным, что к числу наиболее существенных факторов, определяющих институциональные и структурные условия приспособления бизнеса к конкуренции в период формирования нового технологического уклада в экономике России, относятся цифровые технологии [Цифровое предприятие ... 2018; Козырев 2019; Макаров, Лугачев 2019; Дементьев 2021]. Это относится и к тем из цифровых технологий, которые относятся к пятому технологическому укладу (большие данные, интернет вещей и т. п.), и к тем, которые, как элемент новой системы технологий широкого применения, закладывают основу шестого (большие языковые модели, генеративный искусственный интеллект, компьютерная фотоника). Научные труды, направленные на изучение этой связи, уделяют большое внимание возможностям цифровых технологий [Lee, Berente 2012; Service Innovation in the Digital Age ... 2015; Matraeva, Vasiutina, Belyak 2020; Gautié, Jaehrling, Perez 2020; Цифровая трансформация ... 2022; Zhang, Zhao, Meng 2024], тогда как многие свойственные им ограничения, как это ни удивительно, практически не изучены¹.

Извлечение конкурентных преимуществ из распространения цифровых технологий – отнюдь не легкая прогулка. Опыт, накопленный автором и его коллегами, свидетельствует о том, что главное препятствие на этом пути – рассогласованность между актуальными задачами, имеющимся алгоритмическим обеспечением и доступными

¹ К числу ограничений, которые всё же изучены, относятся нежелание либо неспособность овладеть цифровыми технологиями и неадекватность нормативно-правовой базы (см.: [Митяева, Заводило 2019; Сельское хозяйство в цифровую эпоху ... 2020; Воскресенская 2022]).

данными. За рядом исключений (которые, как правило, характерны для крупного и крупнейшего бизнеса), наибольшие успехи при использовании цифровых технологий приносит не постановка новых задач и не формирование новых массивов данных, а разработка приемов и методов обработки тех данных, которые уже накоплены и систематически обновляются, с целью решения актуальных задач – решения более достоверного, оперативного, экономного, чем это возможно с использованием альтернативных подходов. Следует стремиться наилучшим образом использовать существующую информационную инфраструктуру, образуемую бурно развивающимся программным и аппаратным обеспечением; ориентироваться на данные, которые уже накоплены или могут быть собраны ценой затрат, приемлемых для каждого участника этого процесса; определять очередность решения задач, отдавая приоритет тем, решение которых обеспечено информационными ресурсами уже сейчас.

В пользу данной рекомендации свидетельствуют исследования, отраженные в работах [Светлов 2021; Эпштейн 2023; Светлов 2024; Светлов, Сиптиц, Евдокимова 2022]. Ее фундаментальное основание – закон необходимого разнообразия [Ashby 1957, p. 202–218], который ограничивает эффективность управления наиболее узким (обладающим наименьшим разнообразием возможных состояний) звеном в цепочке обработки данных. Таковым обычно оказывается интерфейс между людьми, вовлеченными в процессы сбора, верификации и упорядочения исходных данных, и компьютером. В этом звене разнообразие ограничено не только интерфейсами инструментальных средств, но и регламентами, инструкциями, технической документацией, недостатком компетенций.

Цель данной статьи – поделиться опытом совершенствования цифровой технологии, применяемой в рамках научно-исследовательской работы, относящейся к проблематике землеустройства и направленной на поддержку принятия решений, касающихся полеводческих проектов. В статье представлены только два аспекта полученной научной новизны: во-первых, предложенные постановки задач для двух числовых моделей, полезных в принятии решений, относящихся к данной сфере; во-вторых, эмпирическое подкрепление сформулированной выше рекомендации, следование которой решающим образом содействовало успеху исследования².

Статья написана с использованием материалов, представленных в докладе автора на межрегиональном IT-форуме «Цифровизация реального сектора экономики» (Курган, 11–12 декабря 2024 г.). Автор выражает признательность за обсуждение этих материалов и за участие в их подготовке канд. геогр. наук Н. М. Дронину (геофак МГУ) и Д. И. Ковбашину (Serera.ai).

Постановки задач числового моделирования

Современное высокоинтенсивное полеводство, как правило, начинается с планирования использования земельных угодий, решения вопросов землеустройства. Так происходит в тех случаях, когда в полеводство вовлекаются:

- участки, переведенные в категорию земель сельскохозяйственного назначения из других категорий;
- залежь – земли сельскохозяйственного назначения, которые ранее не обрабатывались или заброшены много лет назад;
- участки пашни, ранее использовавшиеся для выращивания сельскохозяйственных культур по устаревшим технологиям.

Новые технологии, которые предстоит применять на земельном массиве, вовлеченном в полеводческий проект, – это, как правило, компромисс между потенциалом рынков; предписаниями агрономической науки (культурооборот, система удобрения почвы, система защиты растений и т. д.); компетенциями, деловыми связями и финансовыми

² Успешной разработке предшествовали неудачные попытки практического применения ранее разработанной числовой модели [Svetlov 2020]. Неудача была предопределена потребностью в сборе новых данных и в трудоемкой реорганизации уже имеющихся для нужд единственной задачи.

возможностями инвесторов. Если земельный массив неоднороден и (или) ограничена емкость рынков некоторых видов продукции, запланированной к производству, то вместо какой-либо одной технологии полеводства в его границах применяется набор различных технологий. Поскольку полеводство, с учетом требований культурооборота, предполагает многолетнюю продолжительность производственного цикла, чередовать на одном и том же участке разные технологии (в отличие от культур) обычно не имеет смысла. Поэтому каждый участок закрепляется за определенной технологией производства, отвечающей его природным качествам. Технология подразумевает заданный севооборот и заданный уровень интенсивности производства, который, в первом приближении, измеряется величиной технологически обусловленных затрат, приходящихся на единицу площади.

Ответственное ведение агробизнеса предполагает, что состояние окружающей среды не должно ухудшаться в результате производственных процессов. Если бизнес следует данному принципу, то на каждый участок назначается технология, которая по завершении своего многолетнего производственного цикла не наносит ущерба запасам гумуса в почве; а на весь земельный массив – совокупность технологий, которая, в идеале, изымает парниковые газы из атмосферы, а в реальной практике – хотя бы сокращает их эмиссию в сравнении с технологиями, которые применялись здесь в прошлом. До некоторой степени оба эти условия согласованы одно с другим, поскольку диоксид углерода и, отчасти, летучие соединения азота могут быть переработаны растениями и почвенной микрофлорой в органические вещества, входящие в состав гумуса. Однако вполне возможна ситуация, когда при внедрении новой технологии одновременно растут запасы гумуса в почве и выбросы парниковых газов в атмосферу, поэтому в контроле нуждаются оба баланса.

Если имеется земельный массив, состоящий из десятков или сотен участков, пригодных к обработке, то существует много вариантов закрепления участков за технологиями. В немалой степени выбор варианта зависит от того, какими данными располагает лицо, принимающее решение, и какие методы применяются для обработки этих данных. Первая из двух взаимосвязанных задач, постановки которых излагаются в статье, – это как раз **задача выбора варианта закрепления участков за технологиями** (или, иначе, назначения технологий на участки).

Поставить эту задачу можно многими способами, из числа которых предлагается выбрать тот, который порождает как можно меньшую информационную потребность – то есть, по возможности, не требует данных помимо тех, которые уже использованы на этапе технико-экономического обоснования проекта. В свою очередь, эти данные могут быть результатом обработки гораздо больших объемов более детальных данных, но, как правило, лишь в том случае, если существуют устоявшиеся, отлаженные, рутинные процедуры их сбора и обработки, примерами которых могут служить бухгалтерский учет или метеорологические наблюдения.

В данном исследовании эта задача ставится следующим образом.

Даны: множество классов земельных участков – таких, что участки, входящие в один и тот же класс, можно объединять в один севооборот³; множество земельных участков, каждый из которых отнесен к единственному классу; множество технологий; множество агрономически допустимых пар «класс участков: технология»; множество видов продукции полеводства; опционально – установленные лимиты ЭПГ;

для каждой технологии – длительность предусмотренного ею севооборота;

для каждой пары «класс участков: технология» – годовой выход каждого вида продукции, производимой по данной технологии, в расчете на 1 га пашни; денежные технологически обусловленные затраты на 1 га в годовом исчислении; среднегодовая эмиссия парниковых газов в атмосферу в эквиваленте диоксида углерода (далее ЭПГ) в расчете на 1 га; приращение (сокращение) запасов гумуса в почве за полный цикл

³ Это подразумевает приблизительное равенство площадей участков одного и того же класса и схожесть их характеристик, существенных для применения предлагаемых технологий.

технологии (равный длительности севооборота) в пересчете на год; цены продукции каждого вида; опционально – стоимостная оценка ЭПГ в расчете на 1 т и (или) стоимостная оценка накопления 1 т гумуса в почве.

Найти: план закрепления участков за технологиями, максимизирующий чистый денежный поток⁴ полеводческого проекта (в пересчете на эквивалентный ежегодный доход) при соблюдении требований к максимально допустимой ЭПГ, если таковые заданы.

Задача в данной постановке допускает двоякое использование: во-первых, в интересах инвестора, способствуя достижению высокой отдачи с земельного массива, вовлеченного в проект технологического обновления полеводства; во-вторых, в интересах органов государственного и муниципального управления, давая им возможность прогнозировать возможные варианты использования земельных угодий. Прогноз нужен для анализа влияния разрабатываемых мер госрегулирования на землепользование и на отрасли полеводства, а также для предынвестиционного анализа и переговоров с потенциальными инвесторами в контексте активизации инвестиций в полеводство.

Далеко не всегда органы государственного или муниципального управления могут получить в свое распоряжение числовую модель, основанную на вышеприведенной постановке, которая бы охватывала целиком земельный массив, который интересен с точки зрения использования в передовых полеводческих проектах. Во-первых, как правило, не эти органы обладают нужной информацией о технологиях и важных для их применения свойствах земельных участков. Во-вторых, многие земельные массивы не разбиты на участки, а данные об их состоянии неполны. В связи с этим возникает приведенная ниже постановка **задачи сценарного прогнозирования результатов перспективных полеводческих проектов** на земельных массивах, схожих с теми, где такие проекты уже осуществляются.

Даны: множество пар муниципальных районов «прототип: аналог»⁵ – таких, что для некоторых участков каждого района-прототипа имеются результаты решения задач в предыдущей постановке, а район-аналог обладает почвенными и климатическими условиями, схожими с прототипом; опционально – лимиты ЭПГ, требования по объему накопления гумуса в почве, стоимость ЭПГ (за тонну эквивалента двуокиси углерода), стоимость дополнительного гумуса (за тонну);

для каждого района-прототипа – множество векторов⁶ объемов производства продукции полеводства (компоненты каждого вектора соответствуют видам продукции); множество соответствующих значений технологически обусловленных издержек; суммарная площадь участков, охваченных полеводческими проектами;

для каждого района-аналога – площадь земельного массива, потенциально пригодного (с учетом землеустроительных, юридических и агрономических требований) к осуществлению проектов того же типа, которые выполняются в каждом из его районов-прототипов; цены продукции при ее реализации у ворот предприятий.

Найти: такие векторы выпусков продукции полеводства в районах-аналогах, представляющие собой выпуклую линейную комбинацию векторов выпусков районов-прототипов каждого района-аналога, которые максимизируют суммарный чистый денежный поток (в годовом эквиваленте) проектов технологического обновления полеводства всех районов-аналогов при условиях задействования для этой цели земельных массивов заданных площадей, а также соблюдения (если заданы) требований по ограничению ЭПГ и накоплению гумуса в почвах.

⁴ Для отыскания плана, максимизирующего чистый денежный поток, достаточно учитывать только те денежные притоки и оттоки, которые зависят от искомым переменных. Собирать данные об остальных притоках и оттоках для постановки и решения данной задачи не требуется.

⁵ У одного района-прототипа может быть сколько угодно районов-аналогов, и наоборот. Может быть принято (и обычно принимается), что каждый район-прототип является аналогом самого себя.

⁶ Число таких векторов равно числу сценариев, для которых были получены оптимальные решения числовой модели в первой постановке.

за нарушение установленных лимитов эмиссии и т. п. Схожим образом обстоит дело со стоимостной оценкой приращения запасов гумуса в почве. Она может отражать сценарный размер субсидии за улучшение плодородия почвы плюс годовой эквивалент будущих доходов от роста цены земли вследствие повышения ее плодородия, обусловленного приращением содержания гумуса.

Схематично информационные потоки, возникающие в связи с постановкой задачи закрепления участков за технологиями полеводства, представлены на рис. 1.

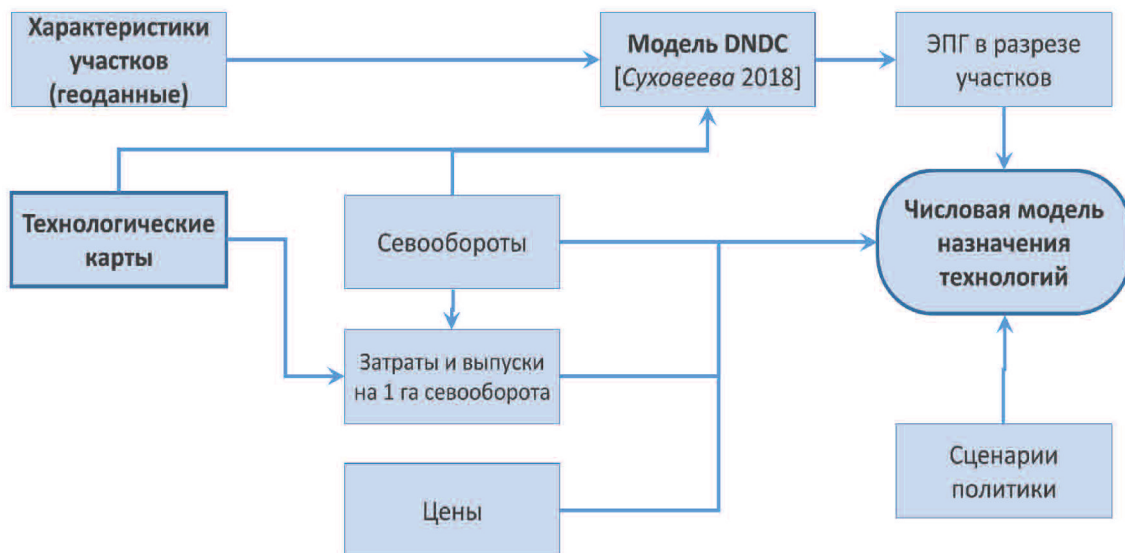


Рис. 1. Информационная база числовой модели закрепления земельных участков за технологиями полеводства⁹

Fig. 1. The Information Base of the Numerical Model of Land Plot Assignment to Field Production Technologies

Главные источники данных для постановки и решения второй задачи – это оптимальные решения первой (одно или более), желательно при разных сценарных условиях; база данных муниципальных образований [База данных показателей муниципальных образований ... 2022]; данные о климате в разрезе муниципальных районов, извлекаемые из соответствующих ГИС. Кроме того, требуются геоданные, позволяющие определить, на территории какого муниципального района-прототипа расположены участки из первой задачи.

Рекомендуемые правила подбора районов-аналогов для каждого района-прототипа следующие:

- преобладающий тип почвенного покрова в районе-аналоге должен быть таким же, как и в районе-прототипе;
- сходство климата рекомендуется оценивать набором показателей, включающим: среднегодовую температуру воздуха, сумму активных температур, среднегодовое количество осадков, среднее многолетнее количество осадков с мая по август, среднее многолетнее количество осадков за теплый период года, среднее многолетнее количество осадков за холодный период года, гидротермический коэффициент [Селянинов 1928];
- чтобы установить допустимые отклонения перечисленных показателей от региона-прототипа, в качестве ориентира используется разброс их значений между районами-прототипами, где расположены участки, включенные в один и тот же проект.

На основе сценарных решений первой задачи рассчитываются проектные векторы выпусков в разрезе районов-прототипов, которые затем используются для построения непараметрических границ производственных возможностей [Farrell 1957] для районов-аналогов. Подобным же образом рассчитываются технологически обусловленные денежные затраты.

⁹ Источник: составлено автором.

Источником данных о ценах продукции может служить межведомственная база открытых статистических данных ЕМИСС. В качестве аппроксиматоров цен продукции рекомендуется использовать публикуемый в ней показатель «Средние цены производителей сельскохозяйственной продукции, реализуемой сельскохозяйственными организациями»¹⁰ на уровне того субъекта Федерации, в который входит данный муниципальный район. Этот показатель, взятый за пять лет подряд, приводится при посредстве дефляторов ВВП к тому же году, для которого исчислены технологически обусловленные затраты, а затем осредняется.

Так же как и в первой постановке, во второй параметры, относящиеся к ЭПГ и к накоплению гумуса, относятся к сценариям политики.

Схема информационных потоков для постановки и решения второй задачи приведена на рис. 2. На ней цены продукции отнесены к числу сценарных условий.



Рис. 2. Информационная база числовой модели распространения систем ведения полеводства¹¹
 Fig. 2. The Information Base for a Numerical Model of the Spread of Field Management Systems

Опыт применения моделей

Первая постановка задачи апробирована на материалах трех полеводческих проектов, находящихся на стадии разработки. Первый из них охватывает земельный массив, расположенный на территориях Ставропольского края и Республики Калмыкия. Результаты, полученные на материалах этого проекта, опубликованы [Ковбашин, Светлов, Дронин 2024]. Земельные участки второго проекта находятся в Пензенской и частично в Саратовской областях. Выводы, полученные в результате численного моделирования назначения технологий на участки этого проекта, подготовлены к опубликованию. Участки третьего проекта расположены в Ульяновской области. Часть результатов, полученных при моделировании всех трех проектов, отражена в статье [Светлов, Ковбашин, Дронин 2024].

Числовая модель второй постановки задачи построена и решена с использованием в качестве исходных данных ответов на задачи о назначении технологий на участки для первого и второго проектов. Проект, относящийся к Ульяновской области, на тот момент еще нуждался в продолжении анализа результатов моделирования. Подбор му-

¹⁰ URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/57693>.

¹¹ Источник: составлено автором.

ниципальных районов-аналогов к результатам решения задач в первой постановке по двум полеводческим проектам из трех дал возможность включить в объект моделирования 2,809 млн га земель, потенциально пригодных для подобных проектов. Обработка полученных результатов моделирования в основном завершена, материалы готовятся к опубликованию. Сводные данные по трем сценариям, которые были представлены на межрегиональном IT-форуме «Цифровизация реального сектора экономики» в г. Кургане в декабре 2024 г., приводятся ниже. Это базовый сценарий, не предусматривающий ограничений и издержек в связи с эмиссией парниковых газов; сценарий сокращения ЭПГ не менее чем на 20 % к уровню базового сценария; сценарий, предусматривающий издержки в связи с ЭПГ в размене €160/т. Стимулирование либо иное регулирование накопления гумуса в почве этими сценариями не предусматриваются. Переменная часть денежного потока в годовом исчислении для этих сценариев, согласно результатам моделирования, составляет соответственно 86,9, 85,9 и 14,2 млрд руб., а объем ЭПГ – 594, 475 и 416 тыс. т. Сценарные объемы производства основных видов продукции полеводства приведены на рис. 3. Согласно оптимальным планам, в небольших объемах, порядка десятков тысяч тонн и менее, на этих угодьях предполагается также производство кукурузы на зерно, ячменя, гороха и льна-кудряша на масло.

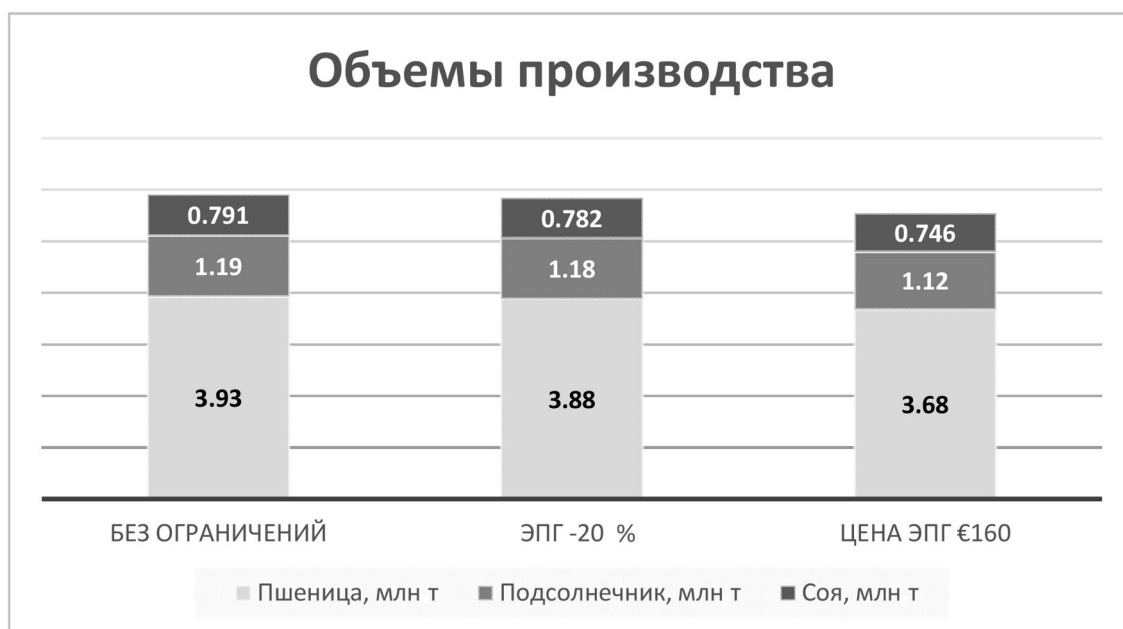


Рис. 3. Сценарные объемы производства продукции полеводства на моделируемом земельном массиве площадью 2,809 млн га¹²

Fig. 3. Scenario Volumes of Field Production on The Modeled Land Mass of 2,809 mln ha

Согласно полученным результатам, директивное регулирование ЭПГ в большей степени отвечает как интересам производителей продукции полеводства, поскольку поддерживает денежный поток, сопоставимый с ситуацией «без регулирования» (а значит, не порождает сопротивления изменениям), так и интересам потребителей в связи с меньшим снижением объемов производства в сравнении со сценарием, в котором ЭПГ оплачивается. Разумеется, в таком случае межотраслевой фонд поддержки проектов и производств, направленных на сокращение ЭПГ, вопрос о создании которого периодически поднимается в СМИ, лишается одного из источников формирования – поступлений от платежей за эмиссию.

Проведенные исследования показали, что технологии полеводства, которые на сегодняшний день внедряются российским агробизнесом в качестве передовых и поддерживаются российскими инвесторами, не способны обеспечить существенное снижение ЭПГ (не говоря о достижении ее отрицательных величин) без фактической консерва-

¹² Источник: расчеты автора по результатам числового моделирования.

ции земель, пригодных к обработке, и соответствующего сокращения объемов производства сельхозпродукции. Конкурентоспособными технологиями, обеспечивающими достижение этой цели без ущерба потребителям продукции полеводства, российский агробизнес пока не обладает. Задача их разработки и внедрения остается, ввиду действующих международных обязательств России по сокращению ЭПГ, весьма актуальной [Светлов, Ковбашин, Дронин 2024]. Еще более актуальна задача накопления гумуса в почве, поскольку это одна из предпосылок роста капитализации земельных угодий – шанса на рост благосостояния крестьян за счет дохода от роста цены земли, которой они владеют [Светлов 2023].

Еще один заслуживающий внимания результат заключается в том, что сегодня наиболее выгодный для агробизнеса способ снизить ЭПГ – это вовсе не захоронение углерода в гумусе, а сокращение внесения в почву соединений азота в составе минеральных удобрений [Светлов, Ковбашин, Дронин 2024]. Кроме прочего, это означает, что существующие технологии предусматривают внесение в почву соединений азота в значительно бóльших объемах, чем культурные растения могут усвоить. Безусловно, добиться равенства этих значений невозможно, но резервы повышения уровня использования внесенного в почву азота культурными растениями существуют, и будущие технологии полеводства должны отличаться от существующих максимально полным их использованием.

Заключение

Урок, который дает описанное выше исследование, заключается в том, что максимально полное раскрытие потенциала цифровых технологий требует гибкости от разработчиков числовых моделей и алгоритмов. Это означает, прежде всего, готовность предложить математические и инструментальные методы решения прикладных задач на основе тех данных, которые имеются в наличии. Практика показывает, что формирование новых, ранее не создававшихся, массивов исходных данных в интересах решения какой-либо одной прикладной задачи – в особенности такой, которая не повторяется регулярно и не грозит в случае неправильного решения потерями, которые существенно превзойдут издержки сбора данных, лежащие на плечи *всех* участников этого процесса, – это почти всегда затея, лишённая экономического смысла. Ситуация со сбором новых данных усугубляется тем, что этот процесс требует времени – как правило, гораздо большего, чем может показаться неспециалисту. Как следствие, информация, когда она наконец-то получена и приведена в порядок, зачастую оказывается уже устаревшей и непригодной для решения задачи, ради которой добывалась.

Расширять сферу учета и статистического наблюдения следует только с ясным пониманием того, в силу чего и каким образом нужные для этого затраты окупятся. Необходимо также отслеживать, чтобы каждый, кто несет издержки в процессе сбора, упорядочения и проверки данных, получил справедливую долю полученной выгоды.

В остальных случаях решать прикладные задачи следует с опорой на массивы тех данных, которые уже собраны, упорядочены, проверены. Как правило, заинтересованный заказчик уже владеет данными, которые ему действительно необходимы для принятия решения, и задача специалиста по моделированию заключается в том, чтобы, обработав *эти* данные, разумным образом уменьшить размерность пространства принятия решений – в частности, помочь исключить из рассмотрения заведомо неэффективные варианты.

Наметим перспективы дальнейшего развития предложенных постановок задач числового моделирования. Во-первых, эти постановки неявно подразумевают идеальную ликвидность всех ресурсов, игнорируют вопросы логистики. Однако обе они открыты для дополнения более детальными балансами ресурсов: например, определенных видов сельхозтехники, минеральных удобрений, средств защиты растений и т. п. В математическом отношении не составляет труда также дополнение задачи о назначении технологий на земельные участки данными о расположении каждого участка по отношению

к местам складирования ресурсов, произведенной продукции и к машинно-тракторным паркам, если такие данные имеются в ГИС заказчика. Это дает возможность извлекать из данных те конкурентные преимущества, которые остаются незамеченными, если потребность в ресурсах отражается обобщенно, в стоимостном выражении.

Существует возможность модифицировать первую постановку задачи, дополнив ее аналитической зависимостью объемов производства продукции от внесения удобрений. Приближенно такую зависимость можно описать и без этого, вводя альтернативные технологии с разным уровнем внесения удобрений (как и делалось при практическом применении этой постановки). Тем не менее со стороны производителей имеется запрос именно на такой вариант. Однако его осуществление сталкивается с той трудностью, что количественные зависимости такого рода вообще недостаточно изучены¹³; к тому же они могут оказаться различными для разных участков, даже если те относятся к одному и тому же классу. Преодоление этого ограничивающего обстоятельства требует большой исследовательской работы ученых-агрохимиков, причем с опорой не только и даже не столько на полевые опыты, сколько на более современные версии математических моделей, подобных приведенным в главе 10 монографии [Thournley, France 2007].

Кроме того, в случаях, когда в рамках полеводческого проекта имеются возможности по-разному распределять участки между классами, объединять соседние участки или разделять самые крупные из них, постановке первой задачи может предшествовать применение генеративного искусственного интеллекта затем, чтобы добиться такой классификации участков, которая приведет к лучшему использованию их плодородия.

Полезное направление развития второй постановки – учет фактора случайности. Для этого можно переформулировать соответствующую числовую модель в стохастическую двухэтапную задачу математического программирования, используя эмпирические распределения вероятностей исходов случайных условий. Этот прием изложен в главе 10 монографии [Применение математических методов ... 2020].

Осуществление этих перспектив будет зависеть от того, имеются ли соответствующие исходные данные в распоряжении лиц, принимающих решения об осуществлении полеводческих проектов. Речь, как уже подчеркивалось выше, не идет о том, чтобы собирать эти данные для того лишь, чтобы построить числовые модели с перечисленными улучшениями. Но если нужные данные собраны для каких-либо иных целей, оправдывающих затраты на их сбор, ввод, упорядочение, проверку, то во многих случаях экономисты-математики смогут предложить решения, направленные на извлечение из них дополнительной пользы, связанной с углубленной проработкой принимаемых хозяйственных решений, в том числе инвестиционных.

Список источников

- База данных показателей муниципальных образований: объединенные и обработанные данные за 2006–2020 гг. / Росстат ; обработка: М. В. Веденьков, М. О. Комин, М. В. Цыганков ; Инфраструктура научно-исследовательских данных. АНО «ЦПУР», 2022. URL: <https://data-in.ru/data-catalog/datasets/115/> (дата обращения: 20.01.2025).
- Воскресенская Н. Г. Цифровизация глазами студенческой молодежи: перспективы, риски, препятствия // Вестник Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова. Серия «Гуманитарные науки». 2022. Т. 16, № 1 (59). С. 148–153. DOI 10.18255/1996-5648-2022-1-148-153.
- Дементьев В. Е. Цепочки создания ценности перед вызовами цифровизации и экономического спада // Вопросы экономики. 2021. № 3. С. 68–83. DOI 10.32609/0042-8736-2021-3-68-83.

¹³ Автор столкнулся с этим, пытаясь довести до практического использования математическую модель [Svetlov 2020], в которой одна из возможных форм такой зависимости предусмотрена.

- Ковбашин Д. И., Светлов Н. М., Дронин Н. М. Адаптация земельного проекта к регулированию выбросов парниковых газов // Вестник Московского университета. Серия 5 : География. 2024. Т. 79, № 3. С. 32–42. DOI 10.55959/MSU0579-9414.5.79.3.3.
- Козырев А. Н. Цифровизация, математические методы и системный кризис экономической науки // Цифровая экономика. 2019. № 4 (8). С. 5–20. DOI 10.34706/DE-2019-04-01.
- Макаров В. Л., Лугачев М. И. По волнам цифровизации // Вестник Московского университета. Серия 6 : Экономика. 2019. № 6. С. 3–8.
- Митяева Н. В., Заводилов О. В. Барьеры цифровой трансформации и пути их преодоления // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2019. № 3 (77). С. 20–24.
- Применение математических методов в управлении АПК Беларуси и России : монография / Н. М. Светлов, В. И. Буць, Е. В. Карачевская [и др.] ; под науч. ред. Н. М. Светлова, В. И. Буць. М. : Центральный экономико-математический институт РАН, 2020. 177 с. DOI 10.33276/978-5-8211-0782-4.
- Светлов Н. М. Недооценка информационных издержек: причины и следствия // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 6. С. 148–162. DOI 10.26897/0021-342X-2021-6-148-162.
- Светлов Н. М. Цена земли – ключ к устойчивому развитию села // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 9 (103). С. 75–85. DOI 10.33938/239-75.
- Светлов Н. М. Цифровая эпоха: вызовы и возможности для моделирования продуктовых рынков // Вестник Гуманитарного университета. 2024. Т. 12, № 1. С. 23–34. DOI 10.35853/vestnik.gu.2024.12-1.02.
- Светлов Н. М., Ковбашин Д. И., Дронин Н. М. Устойчивость сельского хозяйства к регулированию выбросов парниковых газов: экономико-географический аспект // Устойчивое развитие АПК и сельских территорий России в современных геоэкономических условиях : сб. ст. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. / отв. за вып. А. С. Усенко. Краснодар : КубГАУ, 2024. С. 135–142.
- Светлов Н. М., Сиптиц С. О., Евдокимова Н. Е. Риски цифровых управленческих решений для снижения низкоуглеродной трансформации сельского хозяйства // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 7. С. 101–108. DOI 10.32651/227-101.
- Сельское хозяйство в цифровую эпоху: вызовы и решения / В. В. Годин, М. Н. Белоусова, В. А. Белоусов, А. Е. Терехова // E-Management. 2020. Т. 3, № 1. С. 4–15. DOI 10.26425/2658-3445-2020-1-4-15.
- Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Вып. 20 / Изд. отд. сельскохоз. метеорологии Гос. ин-та опытно-агрономии ; под ред. С. И. Савинова. Ленинград : [б. и.], 1928. С. 165–177.
- Сухошеева О. Э. Приложение модели DNDC к оценке параметров углеродного и азотного обмена в пахотных почвах Нечерноземья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 2. С. 74–85. DOI 10.7868/S2587556618020073.
- Цифровая трансформация: ожидания и реальность : доклад НИУ ВШЭ : к XXIII Ясинской (Апрельской) международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2022 г. / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишневский и др. ; рук. авт. кол. П. Б. Рудник ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. 221 с.
- Цифровое предприятие: трансформация в новую реальность / В. И. Ананьин, К. В. Зимин, М. И. Лугачев, Р. Д. Гимранов, К. Г. Скрипкин // Бизнес-информатика. 2018. № 2 (44). С. 45–54.
- Эпштейн Д. Б. О цифровой трансформации в условиях информационной асимметрии как факторе повышения национальной конкурентоспособности // Теоретические и практические аспекты цифровизации российской экономики : сборник трудов VI Междунар. науч.-практ. конф. (Ярославль, 29–30 ноября 2023 г.) / под общ. ред. С. В. Шкиотова, В. А. Гордеева. Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2023. С. 23–32.
- Ashby W. R. An introduction to Cybernetics. 2nd impression. London : Chapman and Hall, 1957. 295 p.

- Farrell M. J. The Measurement of Productive Efficiency // *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*. 1957. Vol. 120, no. 3. P. 253–290. DOI 10.2307/2343100.
- Gautié J., Jaehrling K., Perez C. Neo-Taylorism in the Digital Age: Workplace Transformations in French and German Retail Warehouses // *Relations Industrielles*. 2020. Vol. 75, no. 4. P. 774–795.
- Lee J., Berente N. Digital Innovation and the Division of Innovative Labor: Digital Controls in the Automotive Industry // *Organization Science*. 2012. Vol. 23, no. 5. P. 1428–1447. DOI 10.1287/orsc.1110.0707.
- Matraeva L., Vasiutina E., Belyak A. The Effects of Digitalisation on the Labour Market: The Case of Russia // *Work Organisation, Labour & Globalisation*. 2020. Vol. 14, no. 2. P. 31–45. DOI 10.13169/workorglaboglob.14.2.0031.
- Service Innovation in the Digital Age: Key Contributions and Future Directions / M. Barrett, E. Davidson, J. C. Prabhu, S. L. Vargo // *MIS Quarterly*. 2015. Vol. 39, no. 1. P. 135–154. DOI 10.25300/MISQ/2015/39:1.03.
- Svetlov N. M. Decision-making on the use of arable land considering the factors of field crops yield // *E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference “From Inertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture” (IDSISA 2020)*. 2020. Vol. 176. Article Number 04003. 6 p. DOI 10.1051/e3sconf/202017604003.
- Thournley J. H. M., France J. *Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Sciences*. 2nd ed. Wallingford, UK : CABI, 2007. 906 p.
- Zhang K., Zhao J., Meng T. Governing China in Digit: A Framework for Assessing the Development of Digital Government in 101 Chinese Municipalities // *China Review*. 2024. Vol. 24, no. 3. P. 207–240.

Информация об авторе

Николай Михайлович Светлов, д-р экон. наук, профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник отделения макроэкономики и моделирования региональных систем, Центральный экономико-математический институт РАН (ЦЭМИ РАН) (Москва, Россия).

Information about the author

Nikolay M. Svetlov, Dr. Sci. (Economics), Prof., corresponding member of RAS, Chief Researcher at the Department of Macroeconomics and Regional Systems Modeling, the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (the CEMI, RAS) (Moscow, Russia).

Статья поступила в редакцию | Submitted 30.01.2025.

Одобрена после рецензирования | Revised 13.02.2025.

Принята к публикации | Accepted 14.02.2025.