

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЫНКОВ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА¹

Н. М. Светлов

Всероссийский институт аграрных проблем и информатики
им. А. А. Никонова – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ,
Москва, Россия

Изменение климата – долгосрочный динамический процесс, поэтому выводы о его последствиях для сельского хозяйства, полученные с помощью статических инструментов моделирования вкуче с экстраполяцией, могут оказаться неточными. В связи с этим разработаны концептуальный облик и методика формирования базового сценария динамической пространственной модели сельскохозяйственных рынков регионов Российской Федерации. Такую модель предлагается создать на основе архитектуры, аналогичной примененной в модели ВИАПИ, разработанной в 2019 г. и с тех пор активно применяемой в исследованиях сельскохозяйственных рынков. На основе проведенных исследований был сделан вывод, что создание новой модели обеспечено существующими научными разработками, позволяющими перейти к этапу технической реализации проекта. Автором подчеркивается необходимость поддержки проекта со стороны государственной власти в форме снятия существующих барьеров доступа к необходимым данным. Создаваемая модель, подобно модели ВИАПИ, может моделировать реакцию региональных сельскохозяйственных рынков всей страны на изменения климата, на предлагаемые меры по борьбе с эмиссией парниковых газов и на другие внешние воздействия, но, в отличие от нее, способна отображать динамику этой реакции, представлять процесс адаптации рынков к изменившимся условиям в их развитии.

Ключевые слова: последствия изменения климата, экономико-математическое моделирование, сельскохозяйственные рынки, пространственная модель, частичное равновесие, PF+PE+ED-архитектура.

ELABORATING THE DYNAMIC MODEL OF RUSSIAN AGRICULTURAL MARKET DEVELOPMENT IN CONDITIONS OF CLIMATE CHANGES

Nikolai M. Svetlov

All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics
named after A. A. Nikonov – branch of FSBSI FRC AESDRA VNIIESH,
Moscow, Russia

Climate change is a long-term dynamic process thus conclusions concerning its after-effects for agriculture obtained through statistic tools of modeling combined with extrapolation can be rather inaccurate. In view of this the conceptual outlook and methodology of shaping the basic scenario for the dynamic space model of agricultural markets in Russian Federation regions were elaborated. This model could be developed on the basis of architecture similar to that used in VIAPI that was worked out in 2019 and since then has been used in agricultural market researching. As a result a conclusion was drawn that elaboration of a new model was supported by effective academic research, which provided an opportunity to pass to the stage of technical implementation of the project. The author underlined the necessity to support the project on the part of the government, which is possible in the

¹ Статья подготовлена на основе доклада в рамках круглого стола «Новое качество аграрного роста России в условиях геополитических и геоэкономических противостояний» 4-го Ежегодного международного научного форума «Общество. Доверие. Риски». Исследования, представленные в статье, проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-55-76005.

form of eliminating barriers to adequate data. This model, like VIAPI one will be able to forecast a response of regional agricultural market all over the country to climate changes, to advanced steps for struggling with green house gas emission and to other external effects. But in contrast to it the model can show dynamics of the response and the process of market adjustment to new conditions in their development.

Keywords: climate change after-effects, economic and mathematic modeling, agricultural markets, space model, partial balance, PF+PE+ED-architecture.

Введение

В настоящее время тематика влияния изменения климата на территории России на экономическую географию сельского хозяйства [2] обеспечена модельным инструментарием лишь отчасти. Используемая сегодня для этой цели математическая модель [10] способна описывать инвестиции и технологическое обновление лишь экзогенно. Исследование долгосрочной перспективы с применением данного инструмента требует формирования сценарных условий с использованием особых моделей, разработанных специально для этого [12]. Такой подход, в частности, уже применяется [5; 24]. Нерешенная проблема, связанная с этим подходом, состоит в том, что модели формирования сценариев будущего, существующие в настоящее время, не в полной мере учитывают межрегиональное взаимодействие, в частности, конкуренцию между регионами России за инвестиции в сельское хозяйство.

Как следствие, актуальной остается задача создания пространственной модели эволюции рынков сельскохозяйственной продукции России (в рамках тех или иных сценарных условий) в горизонте времени, охватывающем по крайней мере перспективу 10–15 лет.

Минимальные требования к такой модели – способность:

- отражать сценарии изменения климата;
- описывать реакцию рынков на меры природоохранной, в том числе климатической, и социальной политики;
- воспроизводить процессы межрегиональной конкуренции, в том числе за инвестиционные и трудовые ресурсы;
- воспроизводить процессы привлечения капитала сельским хозяйством как на рыночных, так и на нерыночных условиях;

– учитывать взаимодействие сельского хозяйства России и ее регионов с мировой экономикой;

– принимать во внимание факторы неопределенности результатов сельскохозяйственного производства.

Модели, способные решать подобные задачи, существуют. В их числе такие зарубежные модели частичного равновесия, как AGLINK/COSIMO [13], Agmemod [26], GLOBIOM [18], CAPRI [16], IMPACT-3 [21]. Однако они, за исключением GLOBIOM, в настоящее время не подготовлены к задачам пространственного моделирования сельского хозяйства России. С технической точки зрения их использование для этой цели возможно, но в плане доступа к их программному коду имеются не только финансовые, но и политические препятствия, а система статистического наблюдения России не вполне готова к формированию требуемых для этих моделей наборов исходных данных. К тому же специфика этих моделей такова, что для их своевременного обновления в соответствии с поступающими данными требуется работа многочисленных коллективов. В условиях имеющегося в России острого дефицита специалистов с нужными компетенциями это очень серьезная преграда.

В отличие от прочих с моделью GLOBIOM ведется многолетняя работа по ее адаптации и калибровке применительно к России. Ее результаты отражены в ряде публикаций [6; 14; 15]. Наряду с важным преимуществом – представлением мировой экономики в разрезе отдельных государств и их групп, что дает картину возможных изменений в направлениях и структуре торговли сельхозпродукцией между Россией и ее зарубежными партнерами – у нее есть существенные ограниче-

ния. Ее возможности пространственного моделирования внутри России ограничены лишь производственной сферой, главным образом землепользованием. Что же касается внутреннего рынка, то он в существующих версиях модели охватывает всю Россию целиком, т. е. цены сельхозпродукции на всей ее территории принимаются одинаковыми, а спрос балансируется с предложением в сумме по всей стране. Возможность представления региональных рынков и транспортных связей между ними модель допускает, но ее использование сталкивается с теми же труднопреодолимыми проблемами, которые свойственны другим моделям.

В статье представлены результаты, полученные при проработке создания пространственной математической модели развития сельского хозяйства России и ее регионов на основе архитектурных решений модели ВИАПИ – пространственной модели частичного равновесия на оптовых рынках сельскохозяйственной продукции субъектов Российской Федерации. Эта модель создана в 2019 г. и с тех пор нашла применение при решении ряда актуальных задач, требующих сравнительного анализа различных сценариев экономической политики и внешних условий функционирования сельского хозяйства. В их числе изучение роли государства в способности сельского хозяйства удовлетворять потребности населения регионов в сельхозпродукции [1]; анализ направлений улучшения федерального проекта «Экспорт продукции АПК» [8]; моделирование последствий изменения климата [10], различных вариантов мер борьбы с эмиссией парниковых газов [11], изменений в регулировании внешней торговли [23], включая внешнеторговые ограничения [7]. Подобно GLOBIOM и CAPRI, модель относится к классу моделей частичного равновесия с явным представлением технологий (technology explicit partial equilibrium model); но, в отличие от них, в ее основу положена инновационная PF+PE+ED-архитектура (non-parametric production

frontier + partial equilibrium + empirical probability distribution – непараметрическая граница производственных возможностей + частичное равновесие + эмпирическое распределение вероятностей). Эта архитектура многократно снижает трудоемкость актуализации модели и расширяет ее аналитические возможности.

Конечная цель проводимого исследования – «научить» модель-преемницу ныне существующей модели ВИАПИ описывать не только статические сценарии, относящиеся к *моменту* времени в более или менее отдаленном будущем (как это происходит в вышеупомянутых исследованиях), но и динамические. Таким образом, решение модели будет представлять собой частичное динамическое равновесие на заданном *интервале* времени при заданных сценарных условиях. На первом этапе предполагается охват моделью периода длительностью 15 лет.

Краткое описание статической модели ВИАПИ

Вначале приведем минимум сведений о модели ВИАПИ, необходимых для понимания дальнейшего изложения. Подобно любой модели частичного равновесия, модель ВИАПИ содержит условия равенства спроса и предложения. Общее число условий равновесия составляет

$$(\#R + 2) \cdot \#I \cdot \#Y,$$

где $\#R$ – число субъектов Федерации;

$\#I$ – число продуктов (их число в разных приложениях составляло от 4 до 10);

$\#Y$ – число учтенных в модели исходов случайных условий¹ (обычно 5).

В первом множителе учтены, наряду с условиями равновесия на рынках субъектов Федерации, условия равновесия для импорта и для экспорта: мировой рынок каждого продукта упрощенно представлен в модели ВИАПИ как единое целое. Им-

¹ Как правило, информационную базу модели образует статистика за пятилетний период, и каждый год этого периода служит образцом (примером) для одного исхода случайных условий. Подробнее см.: [4. – С. 108–129.].

порт и экспорт не считаются совершенными субститутами: допускается (как это происходит и в реальности) ненулевое значение как экспорта, так и импорта одного и того же продукта при одном и том же исходе случайных условий.

Условия равновесия связывают $(\#R + 1) \cdot \#Y$ многомерных (векторных) функций спроса с $\#R$ задачами оптимального планирования сельского хозяйства субъекта Федерации и $\#Y$ многомерными функциями предложения продукции, закупаемой на мировом рынке. Дисбалансы покрываются отысканием равновесных цен с учетом межрегиональных перевозок продукции по наиболее экономичным маршрутам, для чего в модель встроено в качестве субмоделей $\#I \cdot \#Y$ оптимизационных транспортных задач.

Функции спроса заданы в параметрической форме (степенными функциями). Каждая из них получает в качестве аргументов $\#I$ значений цен и возвращает $\#I$ значений спроса. Аналогичным образом заданы функции предложения продукции, закупаемой на мировом рынке. Каждая задача оптимального планирования сельского хозяйства (математически представленная парой взаимно двойственных задач, что «запрещает» производителю оптимизировать цены в своих интересах и, следовательно, позволяет вычислить план, оптимальный именно при равновесных ценах) – это двухэтапная задача стохастического программирования с $\#Y$ равновероятными исходами случайных условий, определяющая объемы производства $\#I$ видов продукции таким образом, чтобы они в границах, обусловленных доступными ресурсами¹, доставляли производителям максимум маржинального дохода (выручка в ценах у ворот оптового покупателя для продукции, продаваемой внутри страны, или в ценах FOB, переведенных в рубли, для вывозимой за рубеж, за выче-

том переменных производственных издержек и транспортных затрат).

Для отображения вектора доступных ресурсов на допустимые объемы выпуска в задачах оптимального планирования используется непараметрическая граничная производственная функция, аналогичная применяемой при анализе технологической эффективности методом оболочки данных (DEA) [17]. Таких функций в модели $12 \cdot \#Y$, где 12 – это число природно-сельскохозяйственных групп регионов. Все субъекты Федерации, входящие в одну и ту же группу, при одном и том же исходе случайных условий используют одну и ту же производственную функцию, но с разными объемами ресурсов.

В целом модель ВИАПИ содержит, в зависимости от значений $\#R$, $\#I$ и $\#Y$, а также от числа учитываемых ресурсов, от полутора до трех сотен тысяч переменных (примерно по две на одно ограничение). Для ее решения используется модуль поиска оптимума CONOPT4 инструментального средства GAMS.

Концептуальный облик разрабатываемой динамической модели

В теоретическом отношении разрабатываемая модель наследует уже существующую [22]. Ее можно представить как модификацию динамической непараметрической модели аналитического назначения, описанную в указанном источнике, дополненную стоимостной целевой функцией, вписанную в PF+PE+ED-архитектуру и переориентированную на перспективу. Последнее означает, что описание в ней технологий является не эмпирическим, а сценарным. Как следствие, наиболее сложная часть разработки заключается в проработке условий базового сценария.

Обозначим последний год, за который в полном объеме доступны необходимые для построения модели статистические данные, через t^* . Тогда *моделируемый период* охватывает годы с $t^* + 1$ по $t^* + 15$. Годы с $t^* - 4$ по t^* назовем *базовым периодом* – данные этого периода используются для по-

¹ Некоторые ресурсы могут пополняться займами (например, оборотные средства) или за счет производства либо ввоза (зернофураж).

строения границ производственных возможностей и расчета цен. Период с $t^* - 9$ по $t^* - 5$ назовем *предбазовым периодом*. Данные этого периода совместно с данными базового периода используются для формирования базового сценария технологического прогресса. В целом информационная база модели охватывает статистические данные двух последовательных пятилетий начиная с года $t^* - 9$ и до года t^* .

Моделируемый период разбивается на три пятилетия, каждое из которых описывается одним блоком (субмоделью) разрабатываемой модели, структурно схожим с существующей моделью ВИАПИ. Таким образом, шаг времени в разрабатываемой динамической модели составит пять лет. В пределах каждого пятилетия изменения условий, формирующих спрос и предложение (за исключением случайных), считаются несущественными и моделью не воспроизводятся.

Блоки связаны между собой общей целевой функцией (максимум приведенной стоимости совокупного денежного потока), а также переходящими балансами основных и (если они учтены в модели) оборотных средств сельскохозяйственного производства. В каждом моделируемом периоде допускается пополнение этих балансов за счет инвестиций.

Инфляция исключается путем приведения всех стоимостных показателей к масштабу цен года t^* .

Считается, что спрос на сельхозпродукцию на внутренних рынках субъектов Федерации покрывает внутреннее потребление, чистый вывоз и изменение запасов.

При наличии необходимых данных возможно включение в модель ограничений максимального объема перевозок сельхозпродукции по каждому маршруту, как внутреннему, так и внешнеторговому.

Использование модели ВИАПИ в ее оригинальном виде в качестве субмодели для каждого пятилетия приведет к тому, что число переменных разрабатываемой модели приблизится к 1 млн, а ограничений – к 500 тыс. Заранее не известно,

удастся ли находить равновесные решения модели такого размера, содержащей не только линейные, но и нелинейные ограничения, иногда довольно сложной топологии. В случае возникновения этой проблемы можно будет применить следующие упрощения:

- агрегировать некоторые субъекты Федерации (в пределах одной природно-сельскохозяйственной группы регионов) с соответствующим упрощением сети транспортных связей;

- сократить перечень ресурсов, учтенных в модели. Минимально необходимы площадь сельхозугодий; численность работников, занятых в сельском хозяйстве; стоимость основных средств производства сельскохозяйственного назначения;

- сократить перечень продукции. Минимально необходимы зерно, скот и птица, молоко, остальная продукция сельского хозяйства. При этом (в крайнем случае) можно ограничиться отражением в модели перевозок и внешней торговли только для двух первых видов продукции;

- еще более сократить перечень продуктов, для которых моделируются перевозки.

Подходы к формулированию условий базового сценария динамической модели

При создании новой модели самой сложной стала проблема разработки базового сценария, описывающего предполагаемые условия эндогенного (в отсутствие внешних воздействий) развития моделируемых рынков. Он должен включать сценарии технического прогресса, численности населения, трудовых ресурсов сельского хозяйства, земельных ресурсов, внешне-торговых цен, климата, производственных издержек, транспортных издержек, базовых цен на внутренних рынках, инвестиций.

Сценарий технического прогресса основан на предположении, что объемы выпусков (в ассортименте) в расчете на заданные объемы ресурсов будут линейно возрастать с темпом, в среднем имевшем место в

период между предбазовым и базовым периодами. О наличии резервов роста продуктивности говорит тот факт, что сельское хозяйство России еще не достигло технологического уровня наиболее передовых зарубежных конкурентов. Представляется, что наиболее адекватной теоретической моделью этого процесса является сумма большого числа функций Ферхюльста, отражающих рост продуктивности в отдельных производственных процессах [3], инициируемый локальными новшествами, возникающими через экспоненциально распределенные промежутки времени с постоянным математическим ожиданием [19]. На больших горизонтах времени такая сумма дает приблизительно линейную динамику.

Для расчета сценарного темпа роста объемов выпусков при неизменных объемах ресурсов предлагается процедура, основанная на подходе, представленном в статье «Количественная оценка инновационной активности на микроуровне: непараметрический подход» [9], но более простая. Суть ее состоит в сравнении потенциалов приращения выпусков при технологиях предбазового и базового периодов. Сравнение выполняется применительно к объемам ресурсов каждого из двух периодов, затем результаты усредняются.

1. Решаются задачи вида

$$k_{ij}^* = \max_{k, \lambda} (k \mid A_i \lambda \leq A_j u; B_i \lambda \geq k B_j u; 0 \leq \lambda \leq \delta) \forall (i, j),$$

где i и j – индексы периодов (0 – предбазовый, 1 – базовый);

u – вектор порядка $\#S$, состоящий из единиц;

δ – скалярная граница области уверенности, которую рекомендуется устанавливать на уровне 0,1.

Матрица A_i (A_j) содержит $(\#R) \cdot (\#T_i)$ строк и $\#S$ столбцов, а ее компонент $a_{rt,s}$ равен затратам ресурса $r \in R$ в году $t \in T_i$ в субъекте Федерации $s \in S$ (здесь R – множество ресурсов; T_i – множество лет, входящих в период i ; S – множество регионов; $\#$ – префиксный оператор числа элементов множества).

Матрица B_i (B_j) содержит $(\#C) \cdot (\#T_i)$ строк и $\#S$ столбцов, а ее компонент $b_{ct,s}$ равен продажам продукции $c \in C$ в году $t \in T_i$ в субъекте Федерации $s \in S$ (здесь в дополнение к ранее введенным обозначениям C – множество видов продукции).

Неотрицательная безразмерная переменная λ_s (множитель Фаррелла) – компонент вектора λ порядка $\#S$ – интерпретируется как интенсивность использования технологии, реализуемой субъектом Федерации s (в периоде i) в оптимальном плане.

Переменная k выражает прирост выпуска продукции (в ассортименте), достижимый при технологии $(A_i; B_i)$ в пределах заданной области уверенности в течение пятилетнего периода.

Множества ресурсов, видов продукции и регионов должны совпадать с аналогичными множествами разрабатываемой модели.

2. На основе пятилетнего темпа роста продуктивности между предбазовым и базовым периодами рассчитывается в предположении необратимости технологического прогресса сценарный пятилетний темп прироста выпусков:

$$k^* = \max \left(1, \sqrt{(k_{12}^*/k_{11}^*) \cdot (k_{22}^*/k_{21}^*)} \right).$$

Сценарий технического прогресса отражается в разрабатываемой модели следующими парами матриц, задающих технологические возможности: для первого моделируемого периода – A_1 и $k^* B_1$; для второго – A_1 и $(2(k^* - 1) + 1) B_1$; для третьего – A_1 и $(3(k^* - 1) + 1) B_1$.

Для формирования сценария численности населения целесообразно (с позиций методологического единообразия формирования сценарных условий) принять предположение, что в каждом субъекте Федерации сохранится относительный темп прироста населения, имевший место между среднегодовой численностью населения предбазового и базового периодов. При этом в качестве сценарной принимается наибольшая численность населения, возможная в соответствующем периоде при данном темпе прироста. Итак, если v_{0s}

и v_{1s} – среднегодовая численность населения региона s соответственно в предбазовом и базовом периодах, то для первого моделируемого периода она предполагается равной $\max(v_{1s}(v_{1s}/v_{0s})^3, v_{1s}(v_{1s}/v_{0s})^{7/5})$, для второго – $\max(v_{1s}(v_{1s}/v_{0s})^{8/5}, v_{1s}(v_{1s}/v_{0s})^{12/5})$, для третьего – $\max(v_{1s}(v_{1s}/v_{0s})^{13/5}, v_{1s}(v_{1s}/v_{0s})^{17/5})$. Константы (кроме 5 – длительности периодов в годах) означают число лет между средним годом базового периода и началом (концом) соответствующего моделируемого периода.

Сценарий трудовых ресурсов сельского хозяйства также предлагается формировать, основываясь на их динамике между предбазовым и базовым периодами, но с теми отличиями от демографического сценария, что если в том или ином субъекте Федерации наличие этих ресурсов в базовом периоде возросло по сравнению с предбазовым, то для всех трех моделируемых периодов их наличие будет приравнено к базовому периоду, поскольку предпосылки для долгосрочного устойчивого роста численности занятых в сельскохозяйственном производстве отсутствуют. Отсюда имеем для первого моделируемого периода $\max(w_{1s}(w_{1s}/w_{0s})^{7/5}, 0)$, для второго – $\max(w_{1s}(w_{1s}/w_{0s})^{12/5}, 0)$, для третьего – $\max(w_{1s}(w_{1s}/w_{0s})^{17/5}, 0)$, где w_{0s} и w_{1s} – среднегодовая численность работников, занятых в сельском хозяйстве региона s , соответственно в предбазовом и базовом периодах

Как и в случае трудовых ресурсов, основания предполагать устойчивый, длительный рост площади сельхозугодий в целом, равно как и рост площади непахотных угодий, отсутствуют. Поэтому с целью формирования *сценария земельных ресурсов* предполагается для сельхозугодий использовать формулы, аналогичные формулам для трудовых ресурсов; для пашни – применять такие же формулы к площади непахотных угодий, после чего определять сценарную площадь пашни в каждом моделируемом периоде как разницу между соответствующими сценарными значениями площади сельхозугодий и непахотных угодий.

Сценарий внешнеторговых цен определяется объемами мировой торговли каждым продуктом, учтенным в разрабатываемой модели, и базовыми ценами на границе России (FOB – для экспорта, CIF – для импорта), т. е. ценами, которые ставятся в соответствие объемам поставок базового периода. Темпы прироста объемов мирового экспорта и импорта каждого из продуктов, для которых намечено моделирование перевозок и внешней торговли, предлагается зафиксировать на уровне относительных приростов базового периода к предбазовому. Принятие такого предположения подразумевает, что мы не ожидаем сокращения сельскохозяйственного производства и мировой торговли продовольствием из-за предстоящих изменений климата, предполагая, что связанные с ними негативные эффекты будут компенсироваться опережающим ростом издержек производства.

По этой причине базовые внешнеторговые цены будут расти¹, и это единственное, что известно о них. В качестве умеренного сценария роста базовых пограничных цен к 2050 г. в сравнении с периодом 2015–2019 гг. нами принят рост на 25%, т. е. в предположении его линейности примерно на 0,76% от уровней 2015–2019 гг. в год [24]. До появления более обоснованных оценок предлагается распространить это предположение на разрабатываемый сценарий и увеличить базовые внешнеторговые цены первого моделируемого периода на 3,79% в сравнении с базовым периодом, второго – на 7,58%, третьего – на 11,36%. Это касается только базовых цен: если импорт или экспорт превысят объемы базового периода (что вполне вероятно), то рассчитанные с использованием модели цены на границах России вырастут еще больше.

Климатический сценарий основан на прогнозных расчетах до 2050 г. [20]. Согласно этим расчетам можно ожидать смещения равнинных природно-сельскохозяйствен-

¹ Напомним, что модель оперирует ценами, приведенными к масштабу года t^* . Здесь и далее речь идет о росте цен (и других стоимостных показателей), превосходящем темп инфляции.

ных зон с достаточным увлажнением в направлении снижения температур примерно на 30% их площади в сравнении с базовым периодом, или на 1% первоначальной площади в год [25]. В таком случае для первого моделируемого периода смещение должно составить 6%, для второго – 11%, для третьего – 16%. Кроме того, предстоит обосновать параметры роста контрастности климата в пределах каждой природно-сельскохозяйственной зоны. В сценарий намечено заложить линейное возрастание контрастности, но с каким темпом – вопрос пока остается открытым.

Сценарий производственных издержек согласован со сценарием роста пограничных цен, поскольку динамика производственных издержек и пограничных цен обусловлена тем же фактором – дополнительными затратами, связанными с необходимостью компенсации изменений климата. Поскольку в модели ВИАПИ – прототипе разрабатываемой модели – производственные издержки исчисляются в расчете на совокупный технологический процесс субъекта Федерации, их корректировка по формуле $(2(k^* - 1) + 1) z_{1s}$ (на примере второго моделируемого периода), где z_{1s} – производственные издержки в субъекте Федерации s в базовом периоде, оставила бы неизменной себестоимость единицы продукции, ведь сценарный объем выпуска рассчитан по формуле $(2(k^* - 1) + 1) B_1$. Однако в принятый сценарий пограничных цен ко второму моделируемому периоду заложен рост пограничных цен (и производственных издержек по всему миру) на 7,58%, в связи с чем окончательная формула расчета сценарных производственных издержек во втором моделируемом периоде следующая:

$$(100 + 7,58/100) (2(k^* - 1) + 1) z_{1s}.$$

Формулы для первого и третьего моделируемых периодов выводятся по аналогичному принципу.

Сценарий транспортных издержек предполагает их сохранение на уровне базового периода, поскольку в настоящее время отсутствуют фундаментальные причины для

их длительного изменения в определенном направлении (речь идет об издержках, приведенных к масштабу цен года t^*). Давлению на транспортные цены со стороны удорожания энергоносителей (очищенного от инфляции) по причинам борьбы с глобальным потеплением вкупе с истощением месторождений противостоят возможности улучшения транспортной логистики благодаря цифровизации, в частности сокращению расходов на заработную плату вследствие вытеснения живого труда искусственным интеллектом.

Сценарий базовых цен на внутренних рынках отражает предположение, что население признает рост издержек сельскохозяйственного производства, обусловленный климатическим фактором, и будет готово их профинансировать, а источником дополнительных расходов станет рост доходов. Таким образом, сценарий базовых цен на внутренних рынках формируется по тому же алгоритму, что и внешнеторговые цены.

Сценарий инвестиций предполагает, что инвестиционные ресурсы привлекаются в сельское хозяйство региона в том случае, если их ожидаемый приведенный доход превосходит альтернативную стоимость, задаваемую наиболее привлекательными вложениями вне сельского хозяйства при сопоставимом уровне риска. Подходящий аппроксиматор альтернативной стоимости инвестиций – средневзвешенная процентная ставка по долгосрочным кредитам, привлекаемым для финансирования инвестиционных проектов в сельском хозяйстве. В модели эта ставка может быть дифференцирована по регионам. Информационный источник для определения данного сценарного параметра пока не определен. Не исключено, что его придется обосновывать опросом экспертов.

Заключение

Главный результат исследования, представленного в настоящей статье, – научное обоснование реализуемости проекта создания национальной динамической про-

странственной модели сельскохозяйственных рынков, охватывающей перспективу полутора десятилетий, а в дальнейшем, возможно, и более. Определены методические подходы к формированию такой модели на основе существующего задела. Все они реализуемы при имеющемся уровне знаний и с использованием существующего программного обеспечения. Создаваемую модель можно будет использовать для того же круга аналитических задач, что и модель ВИАПИ, и применять для их решения используемые сегодня методические подходы, но получать не моментальную, а развернутую во времени картину возникающих эффектов внешних воздействий.

Разработка не требует архитектурных новшеств в экономико-математическом моделировании: уникальная архитектура модели ВИАПИ решила практически все методические проблемы, связанные с пространственным моделированием рынков¹, поэтому формирование концептуального облика динамической модели уже не сталкивалось с какими-либо трудностями.

Иначе дело обстоит с формированием базового сценария. Именно он потребовал наибольших усилий и принятия компромиссных решений с учетом сущности аналитических задач, для которых предполагается использовать разрабатываемую модель, и состояния информационной базы. Главное достоинство предложенных решений – их осуществимость и наличие ясной содержательной интерпретации. В то же время нет никаких оснований считать эти

решения в каком-либо смысле наилучшими. В будущем вполне возможен пересмотр некоторых из них.

Ряд проблем, связанных с разработкой динамической пространственной модели эволюции рынков сельскохозяйственной продукции России, все еще ожидает решения. Две из них названы выше: это обоснование конкретных значений альтернативной стоимости инвестиций и темпа роста контрастности климата. Далее, в горизонте трех пятилетий может оказаться существенным влияние на динамику сельскохозяйственных рынков закономерностей долгосрочной экономической динамики, таких как большие циклы конъюнктуры, открытые Н. Д. Кондратьевым (закономерная природа которых, впрочем, до сих пор остается гипотезой). На данном этапе исследования проблема долгосрочных циклов оставлена за его рамками.

Наконец, часть информационной базы модели ВИАПИ доступна лишь до 2020 г. включительно, в том числе данные, имеющие ключевое значение именно для создания динамической модели. К ним, в частности, относится стоимость основных средств производства сельскохозяйственного назначения. Если доступ к этим данным не будет возобновлен, придется задуматься об их восстановлении на основе доступных аппроксиматоров с использованием статистико-математических моделей. Это, однако, неизбежно снизило бы точность разрабатываемой модели, увеличило ее трудоемкость, отрицательно повлияло на доверие к результатам моделирования.

В связи с этим автор рассчитывает на то, что заинтересованность государства в приобретении современного, мощного, объективного инструмента анализа рынков в условиях нынешней непростой ситуации перевесит сиюминутные опасения, препятствующие доступности необходимых данных научным коллективам, участвующим в разработке.

¹ Исключение составляет субмодель транспортных связей, которая опирается на предположение о перевозках по оптимальным маршрутам. Это упрощение, обусловленное вычислительной целесообразностью, оплачивается довольно высокой ценой в смысле ухудшения достоверности результатов на региональном уровне. Переработка субмодели транспортных связей намечена в рамках совершенствования статической модели ВИАПИ. Ее концепция обеспечена наработками, представленными в существующей научной литературе. Проблема заключается в том, чтобы при их использовании добиться сохранения хороших вычислительных свойств модели.

Список литературы

1. Бабкина А. В., Пучкова О. С. Роль механизма государственной поддержки при переходе АПК Дальнего Востока на инновационную модель развития // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 59. – С. 81–84.
2. Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата / А. В. Гордеев, А. Д. Клещенко, Б. А. Черняков и др. – М., 2012.
3. Кононов В. Н., Замбрицкая Е. С., Дёма Р. Р., Харченко М. В. Управление жизненными циклами промышленных технологий // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. – 2018. – № 1 (61). – С. 76–87.
4. Применение математических методов в управлении АПК Беларуси и России / под науч. ред. Н. М. Светлова, В. И. Буць. – М. : ЦЭМИ РАН, 2020.
5. Разработать методологию и инструментарий стратегического планирования развития региональных агропродовольственных систем с учетом долгосрочных климатических изменений / рук. С. О. Сиптиц; ВИАПИ имени А. А. Никонова – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ. – М., 2020.
6. Рябов И. Ю., Понькина Е. В., Карменова М. А. Моделирование динамики землепользования на основе модели частичного равновесия GLOBIOM: задача разработки регионального модуля // МАК: Математики – Алтайскому краю. – 2021. – № 3. – С. 158–162.
7. Светлов Н. М. Влияние продовольственного эмбарго на эффективность инвестиций в сельское хозяйство России // Общественные науки и современность. – 2020. – № 6. – С. 113–126.
8. Светлов Н. М. Как улучшить планирование федерального проекта «Экспорт продукции АПК» // АПК: экономика, управление. – 2020. – № 10. – С. 41–50.
9. Светлов Н. М. Количественная оценка инновационной активности на микроуровне: непараметрический подход // Вестник ЦЭМИ. – 2018. – № 1. – DOI: 10.33276/S0000049-6-1
10. Светлов Н. М. Оценка влияния климата на балансы сельскохозяйственной продукции // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2021. – № 10. – С. 10–18.
11. Светлов Н. М. Эластичность производства сельскохозяйственной продукции по лимиту эмиссии парниковых газов // Никоновские чтения – 2022 : материалы XXVII Международной научно-практической конференции. Сельская локальная экономика: теория и практика. – М. : Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022. – С. 294–298.
12. Сиптиц С. О., Романенко И. А., Евдокимова Н. Е. Информационная технология стратегического планирования развития агропродовольственных систем с учетом климатического фактора // Информационные технологии, системы и приборы в АПК АГРО-ИНФО-2021 : материалы 8-й Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2021. – С. 117–122.
13. Сиптиц С. О., Романенко И. А., Строков С. Н., Абрамов А. А. Сценарный анализ развития агропродовольственных рынков России с использованием российского модуля международной системы моделей AGLINK-COSIMO // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2010. – № 6. – С. 21–24.
14. Строков А. С., Денперманн А., Поташиников В. Ю., Романовская А. А., Гавлик П. Проблемы адаптации аграрной политики России к целям устойчивого развития // Экономическая политика. – 2020. – Т. 15. – № 6. – С. 140–165.
15. Строков А. С., Поташиников В. Ю. Моделирование регионального развития сельскохозяйственного производства в России с помощью модели GLOBIOM // Национальная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию со дня рождения

А. М. Гатаулина : сборник статей конференции. Москва, 22–23 декабря 2020 года. – М. : ООО «Мегаполис», 2021. – С. 167–179.

16. CAPRI model documentation 2014 / eds. W. Britz, P. Witzke. – Bonn : Institute for Food and Resource Economics, University of Bonn, 2014.

17. Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research. – 1978. – N 2. – P. 429–444.

18. Ermolieva T., Havlík P., Ermoliev Yu. et al. Integrated Management of Land Use Systems under Systemic Risks and Security Targets: a Stochastic Global Biosphere Management Model // Journal of Agricultural Economics. – 2016. – Vol. 67. – N 3. – P. 584–601.

19. Kamien M. I., Schwartz N. L. Timing of Innovations under Rivalry // Econometrica. – 1972. – Vol. 40. – P. 43–60.

20. Kiselev S., Romashkin R., Nelson G. et al. Russia's Food Security and Climate Change: Looking into the Future // Economics. The Open-Access. Open-Assessment. E-Journal. – 2013. – Vol. 7. – URL: <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2013-39>

21. Kiselev S., Stokov A., Belugin A. Projections of Russia's Agricultural Development under the Conditions of Climate Change // Studies on Russian Economic Development. – 2016. – N 5. – P. 548–556.

22. Nemoto J., Goto M. Dynamic Data Envelopment Analysis: Modeling Intertemporal Behavior of a Firm in the Presence of Productive Inefficiencies // Economics Letters. – 1999. – Vol. 64. – P. 51–56.

23. Svetlov N. The Role of Food Exports in Russia's Economy // Russia's Role in the Contemporary International Agri-Food Trade System / eds. S. K. Wegren, F. Nilssen. – Cham, Switzerland : Palgrave Macmillan, 2022. – P. 95–113.

24. Svetlov N. VIAPI Model as a Component of Information Technology for Strategic Planning of Agri-Food Systems // Agricultural Economics. E-Journal. – 2022. – Vol. 3. – N 32. – DOI: 10.2139/ssrn.3984882

25. Svetlov N., Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. The Effect of Climate Change on the Location of Branches of Agriculture in Russia // Studies on Russian Economic Development. – 2019. – N 4. – P. 406–418.

26. The Future of EU Agricultural Markets by AGMEMOD / eds. F. Chantreuil, K. F. Hanrahan, M. van Leeuwen. – Springer, 2012.

References

1. Babkina A. V., Puchkova O. S. Rol mekhanizma gosudarstvennoy podderzhki pri perekhode APK Dalnego Vostoka na innovatsionnuyu model razvitiya [The Role of the Mechanism of Government Support in the Transition to an Innovative Development Model of the Agro-Industrial Complex of the Far East]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* [News of International Academy of Agrarian Education], 2022, No. 59, pp. 81–84. (In Russ.).

2. Bioclimatic Potential of Russia: Productivity and Rational Allocation of Crops in the Face of Climate Change. A. V. Gordeev, D. Kleshchenko, B. A. Chernyakov et al. Moscow, 2012. (In Russ.).

3. Kononov V. N., Zambrzhitskaya E. S., Dema R. R., Kharchenko M. V. Upravlenie zhiznennymi tsiklami promyshlennykh tekhnologiy [Management of the Industrial Technologies' Life Cycle]. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Vestnik of Omsk University. Series: Economics], 2018, No. 1 (61), pp. 76–87. (In Russ.).

4. The Use of Mathematical Methods in the Management of Agro-Industrial Complex in Belarus and Russia, scientific editors N. M. Svetlov, V. I. Buts. Moscow, CEMI RAS, 2020. (In Russ.).

5. Razrabotat metodologiyu i instrumentariy strategicheskogo planirovaniya razvitiya regionalnykh agroprodovolstvennykh sistem s uchetom dolgosrochnykh klimaticheskikh izmeneniy [To Develop a Methodology and Tools for Strategic Planning for the Development of Regional Agro-Food Systems, Taking into Account Long-Term Climate Change], Director S. O. Siptits; VIAP I imeni A. A. Nikonova – filial FGB-NU FNTS VNIIESKH. Moscow, 2020. (In Russ.).

6. Ryabov I. Yu., Ponkina E. V., Karmenova M. A. Modelirovanie dinamiki zemlepolzovaniya na osnove modeli chastichnogo ravnovesiya GLOBIOM: zadacha razrabotki regionalnogo modulya [Modeling Land Use Dynamics Based on the GLOBIOM Partial Equilibrium Model: the Problem of Developing a Regional Module]. *MAK: Matematiki – Altayskomu krayu* [MAK: Mathematicians for Altay Kray], 2021, No. 3, pp. 158–162. (In Russ.).

7. Svetlov N. M. Vliyanie prodovolstvennogo embargo na effektivnost investitsiy v selskoe khozyaystvo Rossii [Impact of the Food Embargo on the Return on Investment in Russia's Agriculture]. *Obshchestvennye nauki i sovremennost* [Social Sciences and Contemporary World], 2020, No. 6, pp. 113–126. (In Russ.).

8. Svetlov N. M. Kak uluchshit planirovanie federalnogo proekta «Eksport produktsii APK» [How to Improve the Planning of the Federal Project “Export of Agricultural Products”]. *APK: ekonomika, upravlenie* [AIC: Economics, Management], 2020, No. 10, pp. 41–50. (In Russ.).

9. Svetlov N. M. Kolichestvennaya otsenka innovatsionnoy aktivnosti na mikrourovne: neparametricheskii podkhod [Quantitative Measure of Innovation Activity on the Micro Level: a Non-Parametric Approach]. *Vestnik TSEMI* [Herald of CEMI], 2018, No. 1. (In Russ.). DOI: 10.33276/S0000049-6-1

10. Svetlov N. M. Otsenka vliyaniya klimata na balansy selskokhozyaystvennoy produktsii [Estimation of Climatic Influence on Balances of Agricultural Products]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Economy of Agricultural and Processing Enterprises], 2021, No. 10, pp. 10–18. (In Russ.).

11. Svetlov N. M. Elastichnost proizvodstva selskokhozyaystvennoy produktsii po limitu emissii parnikovyykh gazov [Elasticity of Output of Agricultural Products on the Limit for Greenhouse Emissions]. *Nikonov Lectures – 2022: Proceedings of 27th International Scientific and Practical Conference. Rural Local Economy: Theory and Practice*. Moscow, Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, 2022, pp. 294–298. (In Russ.).

12. Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. Informatsionnaya tekhnologiya strategicheskogo planirovaniya razvitiya agroprodovolstvennykh sistem s uchetom klimaticheskogo faktora [Information Technology for Strategic Planning of Agricultural Systems' Development in the Face of Climatic Factor]. *Information Technologies, Systems and Devices in AGRO-Industrial Complex AGROINFO-2021: materials of the 8th International Scientific and Practical Conference*. Novosibirsk, 2021, pp. 117–122. (In Russ.).

13. Siptits S. O., Romanenko I. A., Stokov S. N., Abramov A. A. Stsenarnyy analiz razvitiya agroprodovolstvennykh rynkov Rossii s ispolzovaniem rossiyskogo modulya mezhdunarodnoy sistemy modeley AGLINK-COSIMO [Scenario Analysis of Russia's Agrarian and Food Market Development Assisted by the Russian Module of AGLINK-COSIMO International Models System]. *Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Economy of Agricultural and Processing Enterprises], 2010, No. 6, pp. 21–24. (In Russ.).

14. Stokov A. S., Deppermann A., Potashnikov V. Yu., Romanovskaya A. A., Gavlik P. Problemy adaptatsii agrarnoy politiki Rossii k tselyam ustoychivogo razvitiya [Problems of Agricultural Policy Adaptation within Sustainable Development Goals]. *Ekonomicheskaya politika* [Economic Policy], 2020, Vol. 15, No. 6, pp. 140–165. (In Russ.).

15. Stokov A. S., Potashnikov V. Yu. Modelirovanie regionalnogo razvitiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva v Rossii s pomoshchyu modeli GLOBIOM [Modeling of

Regional Development Agricultural Production in Russia Using the GLOBIOM Model]. *National Scientific and Practical Conference dedicated to the 85th anniversary of the birth of A. M. Gataullin: collection of conference articles. Moscow, December 22–23, 2020. Moscow, OOO «Megapolis», 2021, pp. 167–179. (In Russ.).*

16. CAPRI model documentation 2014, eds. W. Britz, P. Witzke. Bonn, Institute for Food and Resource Economics, University of Bonn, 2014.

17. Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 1978, No. 2, pp. 429–444.

18. Ermolieva T., Havlík P., Ermoliev Yu. et al. Integrated Management of Land Use Systems under Systemic Risks and Security Targets: a Stochastic Global Biosphere Management Model. *Journal of Agricultural Economics*, 2016, Vol. 67, No. 3, pp. 584–601.

19. Kamien M. I., Schwartz N. L. Timing of Innovations under Rivalry. *Econometrica*, 1972, Vol. 40, pp. 43–60.

20. Kiselev S., Romashkin R., Nelson G. et al. Russia's Food Security and Climate Change: Looking into the Future. *Economics. The Open-Access. Open-Assessment. E-Journal*, 2013, Vol. 7. Available at: <http://dx.doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2013-39>

21. Kiselev S., Stokov A., Belugin A. Projections of Russia's Agricultural Development under the Conditions of Climate Change. *Studies on Russian Economic Development*, 2016, No. 5, pp. 548–556.

22. Nemoto J., Goto M. Dynamic Data Envelopment Analysis: Modeling Intertemporal Behavior of a Firm in the Presence of Productive Inefficiencies. *Economics Letters*, 1999, Vol. 64, pp. 51–56.

23. Svetlov N. The Role of Food Exports in Russia's Economy. *Russia's Role in the Contemporary International Agri-Food Trade System*, eds. S. K. Wegren, F. Nilssen. Cham, Switzerland, Palgrave Macmillan, 2022, pp. 95–113.

24. Svetlov N. VIAPI Model as a Component of Information Technology for Strategic Planning of Agri-Food Systems. *Agricultural Economics. E-Journal*, 2022, Vol. 3, No. 32. DOI: 10.2139/ssrn.3984882

25. Svetlov N., Siptits S. O., Romanenko I. A., Evdokimova N. E. The Effect of Climate Change on the Location of Branches of Agriculture in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 2019, No. 4, pp. 406–418.

26. The Future of EU Agricultural Markets by AGMEMOD, eds. F. Chantreuil, K. F. Hanrahan, M. van Leeuwen. Springer, 2012.

Сведения об авторе

Николай Михайлович Светлов

чл.-корр. РАН, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Всероссийского института аграрных проблем и информатики им. А. А. Никонова – филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ. Адрес: Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А. А. Никонова – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ, 107078, Москва, Большой Харитоньевский пер., д. 21-1. E-mail: svetlov@viapi.ru

Information about the author

Nikolai M. Svetlov

Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher of the All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A. A. Nikonov – branch FSBSI FRC AESDRA VNIIESH. Address: All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A. A. Nikonov – branch of FSBSI FRC AESDRA VNIIESH, 21-1 Bolshoy Kharitonievsky Lane, Moscow, 107078, Russian Federation. E-mail: svetlov@viapi.ru