

<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-4-15>

УДК 338.43.02:338.431.7:551.583

JEL Q18, Q54, C31

Н.М. Светлов  

ЦЭМИ РАН, г. Москва, Российская Федерация

## Оценка влияния климатической политики на сельское хозяйство субъектов РФ при различных климатических сценариях<sup>1</sup>

**Аннотация.** Существующие модельные оценки влияния климатической политики на сельское хозяйство, как правило, не учитывают, что её предстоит проводить при ином климате. Немногие работы, свободные от этого упрощения, не анализируют субнациональный уровень. Для восполнения этого пробела на примере Алтайского, Краснодарского, Красноярского краёв и Московской области с помощью сценарного подхода проверяется гипотеза о несущественности влияния климата на последствия климатической политики. Действие климата отражено географическим положением природно-сельскохозяйственных зон, уровнями продуктивности, неопределённостью результатов производства, а также ростом мировых цен на продукцию; политики – гарантированным снижением эмиссии парниковых газов. Состояние сельского хозяйства при каждом сценарии оценено пространственной моделью частичного равновесия на рынках 9 видов сельхозпродукции в разрезе субъектов РФ (модель ВИАПИ). Модель основана на данных Росстата и Минсельхоза России по всем субъектам РФ за период 2015–2019 гг. Гипотеза проверена для ряда показателей каждого из четырёх субъектов и России в целом; в большинстве случаев она отклонена. Значит, абстрагирование от изменений климата формирует неверную картину последствий климатической политики. Ограничение эмиссии парниковых газов в сельском хозяйстве ухудшает положение производителей и потребителей сельхозпродукции. Изменение климата, если оно не сопряжено с ростом мировых цен, смягчает этот эффект. Полученные оценки полезны инвесторам, поскольку они раскрывают преимущества и риски сельского хозяйства изученных регионов; а также региональным органам управления, т. к. помогают им предотвращать вероятные потери. Дан импульс прикладным исследованиям, раскрывающим причинно-следственные связи реакции региональных рынков на сочетание факторов климата и политики.

**Ключевые слова:** глобальное потепление, эмиссия парниковых газов, рынки сельскохозяйственной продукции, экономико-математическое моделирование, сценарный анализ

**Благодарность.** Исследование проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-55-76005). Автор признателен С.О. Сиптицу, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимовой, А.В. Петрикову (ВИАПИ имени А.А. Никонова), Р.А. Бокушевой (ZHAW, Швейцария), Н.М. Дронину, Д.И. Ковбашину (МГУ имени М.В. Ломоносова), В.И. Денисову (ЦЭМИ РАН) за плодотворные обсуждения проблематики статьи; анонимным рецензентам за ценные рекомендации.

**Для цитирования:** Светлов Н.М. (2024). Оценка влияния климатической политики на сельское хозяйство субъектов РФ при различных климатических сценариях. *Экономика региона*, 20(4), 1208-1222. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-4-15>

<sup>1</sup> © Светлов Н. М. Текст. 2024.

## The Impact of Climate Change on Agricultural Outcomes of Climate Policy: A Regional Perspective

**Abstract.** Model estimates of the impact of climate policy on agriculture typically do not account for the fact that it will be implemented in a changing climate. There only a few studies free from this simplification that analyse the subnational level. To address this gap, the study tests the hypothesis that climate has little impact on the outcomes of climate policy, using a scenario approach focused on the Altai, Krasnodar, Krasnoyarsk, and Moscow regions. Climate is represented by the geographical location of natural and agricultural zones, productivity levels, production outcome uncertainty, and rising global prices for agricultural products. Policy is represented by the guaranteed reduction of greenhouse gas emissions. The state of agriculture in each scenario is assessed by using a spatial partial equilibrium model for nine types of agricultural products across Russian regions (the VIAPI model). The model is based on data from the Federal State Statistics Service and the Russian Ministry of Agriculture for all Russian regions from 2015 to 2019. The hypothesis is tested across various indicators in each of the four regions and for Russia as a whole, with most results rejecting it, suggesting that ignoring climate change may result in an inaccurate understanding of the consequences of climate policy. Limiting greenhouse gas emissions in agriculture worsens the situation for both producers and consumers of agricultural products. Climate change, if not accompanied by rising global prices, alleviates this effect. These findings are useful for investors, as they reveal the advantages and risks for agriculture in the given regions, and for regional authorities, as they help prevent potential losses. This study also provides momentum for applied research that explores the causal relationships between regional markets' responses to the combination of climate and policy factors.

**Keywords:** global warming, greenhouse gas emissions, agricultural markets, mathematical modelling in economics, scenario analysis

**Acknowledgements.** *The research is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-55-76005). The author is grateful to S.O. Siptits, I.A. Romanenko, N.E. Evdokimova and A.V. Petrikov (VIAPI), R.A. Bokusheva (ZHAW, Switzerland), N.M. Dronin and D.I. Kovbashin (Moscow State University), V.I. Denisov (CEMI RAS) for valuable discussions related to this study; to anonymous reviewers for their valuable advice.*

**For citation:** Svetlov N. M. (2024). The Impact of Climate Change on Agricultural Outcomes of Climate Policy: A Regional Perspective. *Ekonomika regiona / Economy of regions*, 20(4), 1208-1222. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-4-15>

### Введение

Результаты опроса экономистов (Howard & Sylvan, 2015) показывают, что экспертное сообщество озабочено вероятными последствиями изменения климата. Картина происходящих изменений климата в их взаимосвязи с хозяйственной деятельностью человека, основанная на обширном обзоре литературы, приводится в статье (Hsiang & Kopp, 2018). По данным РБК<sup>1</sup>, ежегодный ущерб российской экономике по этой причине в течение 2023–2027 гг. может достичь в наиболее уязвимых регионах 6 % валового регионального продукта.

Выбор планов адаптации к изменениям климата, как правило, обусловлен местоположением адаптируемого объекта (Burton et al., 2002). Необходимость разработки та-

ких планов на региональном уровне доказывается в работах (Gilmundinov, Pankova & Tagaeva, 2023; Porfiriev, Terent'ev & Zinchenko, 2023). На недостаточную изученность эффектов взаимодействия различных факторов экономической динамики при меняющемся климате указывают статьи (Мацко, Чепига, Драгуленко, 2023; Shalizi & Lecocq, 2010; Warren, 2011). В обзоре (Dobes, Jotzo & Stern, 2014) работы, отвечающие на вопрос «насколько существенно повлияют на последствия климатической политики изменения в климате?», не представлены. В незначительной степени актуальность ответа на этот вопрос обусловлена активной позицией Правительства РФ, направленной на достижение целей Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.

Цель исследования — проверить гипотезы об отсутствии существенной зависимости по-

<sup>1</sup> «Сбер» оценил потери России от изменения климата // РБК. — URL: <https://www.rbc.ru/economics/10/12/2023/6575f5859a79473125138343> (дата обращения: 10.12.2023).

следствий климатической политики от климатических условий, при которых она осуществляется<sup>1</sup>, применительно к сельскому хозяйству регионов России, вносящих большой вклад в производство сельхозпродукции. Для её достижения решаются следующие задачи: с целью выявления возможностей и трудностей оценки эффектов взаимодействия климата и климатической политики изучены соответствующие отечественные и зарубежные исследования; изучены на основе имеющихся публикаций возможности математических моделей, способных воспроизвести последствия политики при разных климатических сценариях; сформулированы климатические сценарии и сценарии политики для проверки гипотезы; для каждого из них вычислены конкурентные равновесия на рынках продукции сельского хозяйства исследуемого объекта; различия между сценарными равновесиями сопоставлены с заданной мерой толерантности лица, принимающего решения, на основании чего даны заключения по проверяемой гипотезе; выявлены региональные различия в чувствительности эффектов политики к климату; даны рекомендации по корректировке сложившейся практики анализа последствий климатической политики и по совершенствованию его информационной базы.

Объект исследования — сельское хозяйство четырёх субъектов Федерации: Московской области, Алтайского, Краснодарского и Красноярского краёв. Регионы отобраны по методике (Светлов, 2023), нацеленной на то, чтобы, охватив возможно большую долю валового производства сельхозпродукции страны, отразить разнообразие условий его ведения в аспектах природных условий, технической эффективности и вклада крестьянских хозяйств. О состоянии, проблемах и перспективах развития сельского хозяйства каждого из четырёх регионов говорится в статьях (Санду, Кирова, 2021; Кремкова, Кундиус, Судыко, 2023; Погребная и др., 2023; Паршуков, 2023).

Вклад проведённого исследования в науку заключается, во-первых, в обосновании необходимости учёта сценариев будущего климата при анализе климатической политики с точки зрения её последствий для сельского хозяйства на региональном уровне (в противовес преобладающему массиву существующей науч-

ной литературы данной направленности); во-вторых, в разработанном методическом подходе, включающем подход к выбору модельного инструментария, обоснование изучаемых сценариев и их формализацию, предложенный критерий существенности различий в эффектах; в-третьих, в уточнении и дополнении сложившихся теоретических представлений о реакции сельского хозяйства изученных регионов на изменение климата и на меры климатической политики.

### Степень разработанности проблемы

В число распространённых парадигм изучения влияния климата на сельское хозяйство входят исследование зависимости урожайности от климатических параметров (Belyaeva & Bokusheva, 2018; Siptits, Romanenko & Evdokimova, 2021); рикарданский подход, согласно которому зависимой переменной выступает цена земли, а независимые включают климатические параметры (Mendelsohn, Nordhaus & Shaw, 1994); математическое моделирование (Polzikov, 2022; Светлов, Шишкина, 2023). Вторая и третья парадигмы представляются более комплексными в сравнении с первой, поскольку они учитывают способность агробизнеса к адаптации. Поэтому оценки на их основе, при прочих равных условиях, более реалистичны (и не столь пессимистичны).

Для изучения влияния на сельское хозяйство климатической политики, в том числе на фоне меняющегося климата, используются либо модели интегрированной оценки (IAM), состоящие из взаимосвязанных субмоделей глобальной экосистемы и мировой экономики, либо модели равновесия с экзогенными климатическими сценариями. Первый подход предпочтителен для глобальных оценок, второй — для локальных. Так, в статье (Fellmann et al., 2018) влияние климатической политики на сельское хозяйство исследуется при помощи варианта модели CAPRI — пространственной модели частичного равновесия с явным представлением технологий, описывающей сельское хозяйство территориальных единиц стран ЕС. В работе (Hasegawa et al., 2018) представлены оценки совместного влияния изменений климата и мер по их смягчению на продовольственную безопасность в различных регионах мира, полученные сопоставлением результатов восьми различных IAM.

В работах, изучающих влияние климата и климатической политики на региональную, национальную или глобальную эконо-

<sup>1</sup> Имеется в виду существенность с точки зрения лица, принимающего решения, обладающего известной (заданной) степенью толерантности к погрешности оценок.

мику, применяются либо IAM, либо вычислимые модели общего равновесия (CGE) с экзогенными климатическими сценариями. Так, в препринте (Bosello, De Cian & Ferranna, 2014) с помощью AD-WITCH показано, что риск катастрофического изменения климата способен склонить правительства к активной климатической политике вопреки вероятному оппортунизму других правительств. Ещё в одном препринте (Bosello, Carraro & De Cian, 2012) оценивается эффект взаимодействия адаптации к изменениям климата и сдерживания их темпов, для чего AD-WITCH применяется вместе с CGE-моделью ICES. Те же взаимодействующие факторы исследуются в статье (Auerwald, Konrad & Thum, 2018), но в общем виде, без количественных оценок. Эти две работы подобны данной статье тем, что они выявляют эффекты взаимодействия, порождаемые, однако, иной парой факторов. В отдельных случаях удаётся напрямую рассчитать потери от изменения климата. Так поступают (Porfiriev & Eliseev, 2023), оценивая ущерб основным фондам из-за деградации многолетней мерзлоты.

Анализ влияния климатических изменений и климатической политики на экономику России, в том числе на сельское хозяйство, обобщающий исследования многих авторов, представлен в статье (Порфирьев, Катцов, 2016). Статья (Pavlenko & Glukhareva, 2010), также обобщающая предшествующие исследования, учитывает пространственную специфику изучаемых эффектов. Межрегиональное сравнение как метод оценки климатической политики применено в статье (Горбачева, 2023). Подобные подходы служат альтернативой экономико-математическим методам при отборе гипотез о причинах выбора вариантов политики, механизмах действия и эффектах каждого из них.

В нижеследующих публикациях изложен математический инструментарий количественных оценок экономических последствий изменения климата и климатической политики. Для оценок в глобальном масштабе служат IAM — модели, описывающие взаимодействие экономики, атмосферы, океана и биосферы. Этот тип моделей, предложенный в работе (Nordhaus, 1994), наследует разработкам (Моисеев, 1979) и (Forrester, 1973). В (Goodess et al., 2003) даётся сравнение 13 таких моделей, в числе которых DICE, FUND, GCAM, MERGE<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Модель MERGE приспособлена учёными Института математики и механики УрО РАН для нужд модельного анализа вариантов национальной климатической политики России (Дигас, Розенберг, 2013).

IGSM и др. В (Gillingham et al., 2018) изучена степень неопределённости модельных оценок. Полученные ими результаты не подтвердили сомнения в надёжности IAM, высказанные в препринте (Pindyck, 2015). В статье (Warren, 2011) на основе обзора предшествующих исследований дана характеристика способности моделей этого класса воспроизводить взаимодействия различных факторов экономической и климатической динамики. Автор отмечает, что потенциал таких моделей, как IMAGE, AIM, ICLIPS, GCAM, CLIMACTS, относящийся к изучению эффектов взаимодействия, остаётся недоиспользованным.

Из группы вычислимых моделей общего равновесия в анализе влияния климатической политики на экономику России нашла применение модель ЕРРА (Макаров, Чен, Пальцев, 2018), преемственная по отношению к широко известной модели GTAP. Такие модели результативны на глобальном и национальном уровнях, однако приспособить их к субнациональному уровню проблематично из-за трудностей пространственной детализации матриц социальных счетов.

Некоторые международные пространственные модели частичного равновесия позволяют изучать влияние климата и климатической политики на сельское хозяйство отдельных регионов России. В их числе модели аграрных рынков IMPACT-3 (Robinson et al., 2015; Kiselev, Stokov & Belugin, 2016) и GLOBIOM (Ermolieva et al., 2016; Строков, Поташников, 2021). Обе эти модели спроектированы с расчётом на использование как в составе многокомпонентной IAM, так и независимо. Ряд других моделей частичного равновесия на аграрных рынках, привлекавшихся для моделирования российского сельского хозяйства (Сиптиц и др., 2010; Киселёв, Ромашкин, Белугин, 2022), тоже пригодны для климатических сценариев, но не приспособлены к уровню субъектов РФ. В 2018 г. введена в эксплуатацию отечественная пространственная модель частичного равновесия на сельскохозяйственных рынках с детализацией до субъектов Федерации — модель ВИАПИ. С её помощью изучается влияние климата, климатической и внешнеторговой политики на сельское хозяйство России (Грачёва и др., 2023, глава 1.5) и её регионов (Бабкина, Пучкова, 2022).

Ряд моделей, не относящихся к трём рассмотренным выше классам, разработан специально для исследований на уровне субъектов РФ. В статье (Danilov-Danil'yan & Pryazhinskaya, 2007) представлены две модели, предназна-

ценные для изучения изменений в водопользовании в связи с климатом: первая — по региону в целом, вторая — по сельскому хозяйству региона. Статья (Сиптиц, 2023) описывает двухкомпонентную систему моделей, в которой решаются сначала задача оптимизации производственной структуры растениеводства при заданной политике сокращения эмиссии парниковых газов (ЭПГ), затем линейно-динамическая задача оптимизации землепользования и молочного скотоводства при ранее полученной производственной структуре растениеводства. Модели, подобные изложенным в этих двух статьях, имеют целью как можно точнее описать технологическую специфику моделируемых объектов, чтобы выявить те резервы улучшения политики, которые кроются не в наилучшем выборе векторов затрат и выпуска из заданного технологического множества, а в корректировке самих производственных процессов.

К числу отечественных инструментов исследования эффектов климатической политики относятся также модельный инструмент ИИП РАН (Порфирьев и др., 2022) и многосекторная имитационная модель ENERGYBAL-GEM (Башмаков, 2009).

Суммируя вышеизложенное, отметим, что существует множество инструментальных средств, пригодных для количественной оценки влияния климатической политики на сельское хозяйство с учётом сценариев, в которых климат отличается от наблюдаемого. В их основу положены математические модели, различающиеся архитектурами, территориальным и отраслевым охватом, уровнем агрегирования. В контексте цели данного исследования их можно разделить на два больших класса. Первый образуют IAM — модели для интегрированной оценки, содержащие субмодель глобальной экосистемы. Второй — экономико-математические модели, в которых экосистемные (в том числе климатические) факторы вводятся в форме сценарных условий. Для моделирования хозяйственных систем, влияние которых на глобальную экосистему мало в сравнении с мировой экономикой, модели второго класса предпочтительнее.

Несмотря на достаточное инструментальное обеспечение и потребность в подобных оценках, отмечаемую рядом исследователей, почти не встречаются работы, где проводится числовое моделирование сценариев климатической политики при реализации климатических рисков. Автору известна только

одна такая статья, опубликованная в рецензируемом научном издании (Hasegawa et al., 2018). Близкая по смыслу задача изучения эффекта взаимодействия политик адаптации к изменению климата и смягчения его последствий решается в препринте (Bosello, Carraro & De Cian, 2012).

### Методика

Цель данного исследования ограничивает выбор среди многочисленных инструментов, рассмотренных выше, требованием детализации результатов до уровня субъектов РФ. Эту возможность предоставляют три модели: зарубежные IMPACT-3, GLOBIOM и отечественная модель ВИАПИ. Из них только последняя отражает различие цен между рынками субъектов РФ.

Модель ВИАПИ (Светлов, Шишкина, 2023) подбирает такие цены на сельхозпродукцию каждого региона, которые при заданных сценарных параметрах балансируют предложение со спросом на каждый учтённый в ней вид сельхозпродукции в каждом субъекте Федерации. Спрос вычисляется из многомерной степенной функции спроса, предложение — из оптимального регионального плана производства (при подбираемых ценах и фиксированных объёмах ресурсов), а также разницы между ввозом и вывозом согласно оптимальному плану перевозок, учитывающему внешнюю торговлю. Издержки исчисляются на основе оптимальных планов производства и перевозок. Исходя из представленного выше обзора литературы и фактической доступности исходных данных, модель ВИАПИ даёт лучший баланс факторов качества оценок изучаемых эффектов.

В данном исследовании использована версия 2.6.2 модели в девятипродуктовой сборке по данным 2015–2019 гг. (далее базовый период). По восьми продуктам (зерно, подсолнечник, сахарная свёкла, картофель, овощи, молоко, скот, птица) моделируются перевозки и внешняя торговля. Выручка от их продаж исчисляется в равновесных оптовых ценах региона потребления либо в равновесных ценах FOB (для экспорта). Выручка от продаж агрегированного продукта «остальная продукция сельского хозяйства» рассчитывается исходя из равновесного индекса цен на его компоненты в регионе производства.

Для целей данного исследования предложено 13 сценариев: базовый — частичное равновесие в условиях климата и политики базового периода, дополненных минимально до-

пустимыми уровнями продовольственного обеспечения населения регионов — и ещё 12, образуемых комбинациями четырёх «политических» и трёх климатических сценариев. Сценарии политики описываются ограничениями на ЭПГ соответственно до 100, 90, 80, 70 % от базового периода. Первый климатический сценарий (K1 — «существующий») соответствует климату базового периода. Во втором (K2 — «будущий») пять из шести равнинных природно-сельскохозяйственных зон с избыточным увлажнением (кроме арктической) смещаются, занимая 30 % соседней аналогичной зоны, расположенной севернее. Территория остальных зон — горных и равнинных аридных — остаётся неизменной. Такой способ формирования сценария будущего климата используется во многих исследованиях, где использовалась модель ВИАПИ (Светлов, 2023; Грачёва и др., 2023). Он восходит к прогнозам IFPRI на 2050 г. для сценария эмиссии A1B (Nakićenović et al., 2000, 4). Кроме того, в сценарии K2 во всех зонах снижается совокупная продуктивность факторов производства (на 10 %) и возрастает неопределённость производства: регулирующий её параметр принят равным 1,15 против 1 в K1. Эти значения совместимы с результатами исследований (Belyaeva & Bokusheva, 2018; Siptits, Romanenko & Evdokimova, 2021). В третьем климатическом сценарии (K3 — «будущий + рост мировых цен») в дополнение к условиям K2 предполагается рост мировых цен сельхозпродукции на 50 % *ceteris paribus* (подразумевается продолжающийся рост совокупной покупательной способности населения планеты одновременно со снижением продуктивности зарубежного сельского хозяйства из-за потепления).

Чтобы выявить чистый эффект изучаемых факторов, все иные факторы во всех сценариях зафиксированы на уровнях базового сценария.

Результаты моделирования являются детерминированными для каждого отдельно взятого исхода случайных условий: они однозначно определены исходными данными и выбранными сценарными условиями. В связи с этим принято следующее правило проверки гипотезы об отсутствии существенного влияния климата на эффекты климатической политики. Она отклоняется, если различие эффектов одной и той же климатической политики в сценарии изменившегося климата и в сценарии K1, отнесённое к её же эффекту в K1, превосходит заданный процент. Этот процент — мера толерантности лица, принимающего ре-

шение (ЛПР), к неточности оценок, полученных без учёта влияния климата на последствия политики. Если расхождения оказываются меньше, то ЛПР признаёт их несущественными. В противном случае нулевая гипотеза отклоняется. В данном исследовании гипотеза проверяется для двух уровней толерантности  $\tau$ : 10 % и 20 %.

В качестве эффекта климатической политики принимается превышение изучаемого показателя в сценарии ЭПГ {70, 80, 90 %} над сценарием ЭПГ 100 % при одном и том же сценарии климата. Перечень изучаемых показателей следующий: объём продукции сельского хозяйства (измеренный в среднегодовых ценах базового периода); индекс цен к базовому периоду; измеренная в равновесных ценах стоимость продукции (включая импортированную), проданной на внутренних рынках; производственные издержки; стоимость экспорта (в равновесных ценах FOB) и импорта (в равновесных ценах CIF); объёмы производства зерна и молока.

Базовый сценарий при проверке гипотез не используется. Его данные, наряду с фактическими, отображены на представленных ниже рис. 1–3 для сравнения.

### Результаты

Множества сценариев политики анализируемых регионов (дополненных Россией в целом) и показателей образуют по 120 комбинаций для каждого из сценариев изменившегося климата: K2 и K3. Из них на уровне толерантности  $\tau = 10$  % нулевая гипотеза отклонена в 48,3 % случаев для сценария K2 и в 65,0 % случаев для сценария K3. На  $\tau = 20$  % соответствующие доли составили 20,8 и 37,5 %. Подробности приведены в табл. 1.

При сценарии K2 в случаях отклонения гипотезы преобладает отрицательная синергия, то есть изменение климата чаще смягчает эффекты политики. В сценарии K3 на уровне  $\tau = 10$  % положительная синергия встречается почти с той же частотой, что и отрицательная, а при  $\tau = 20$  % с двукратным перевесом преобладает положительная.

На рис. 1 представлены модельные оценки объёмов производства сельскохозяйственной продукции и цен на неё в каждом из моделируемых сценариев. Сценарий K2 в сравнении с K1 ведёт к росту цен (ожидаемо) и падению объёмов производства. Этот эффект примерно соответствует эффекту ужесточения климатической политики на 10 процентных пунктов.

## Результаты проверки гипотез

Table 1

## Results of hypothesis testing

Показатели	Россия	Алтайский край	Краснодарский край	Красноярский край	Московская область
<i>Будущий климат (сценарий K2)</i>					
Объём продукции	-, -, -	0, -, -	0, -, 0	0, --, --	-, -, 0
Индекс цен	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	0, -, -	0, 0, 0
Объём продаж	--, --, --	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, -	-, --, --
Производственные издержки	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0	+, 0, -	0, 0, 0
Экспорт	0, 0, 0	-, -, -	0, -, 0	--, --, --	--, --, 0
Импорт	--, -, -	++, 0, 0	0, 0, -	--, --, --	--, -, ++
Производство зерна	0, 0, 0	-, -, -	0, -, 0	++, ++, ++	--, 0, 0
Производство молока	-, -, -	-, -, -	0, 0, 0	--, --, -	0, 0, 0
<i>Будущий климат + рост мировых цен (сценарий K3)</i>					
Объём продукции	0, 0, 0	0, -, -	0, 0, 0	++, --, -	0, -, 0
Индекс цен	++, 0, +	-, 0, 0	-, -, -	++, -, 0	++, 0, 0
Объём продаж	--, --, --	+, 0, 0	++, ++, ++	++, ++, +	--, --, --
Производственные издержки	0, 0, 0	0, 0, 0	+, 0, 0	++, 0, 0	+, 0, 0
Экспорт	++, ++, ++	+, ++, ++	++, ++, ++	--, --, --	-, 0, ++
Импорт	+, ++, ++	+, 0, -	++, ++, ++	--, --, --	++, ++, ++
Производство зерна	0, 0, 0	-, -, -	-, -, -	++, ++, ++	--, 0, 0
Производство молока	-, -, -	-, -, -	0, 0, 0	--, -, -	0, 0, 0

Примечание. Поля в клетке, разделённые запятой, соответствуют результатам тестирования гипотез для политик ЭПГ 90 %, 80 %, 70 % соответственно; «0» означает, что нулевая гипотеза не отклонена на уровнях  $\tau = 10\%$  и  $\tau = 20\%$ ; «+» — отклонена при  $\tau = 10\%$ , синергия положительная; «-» — отклонена при  $\tau = 10\%$ , синергия отрицательная; «++» — отклонена при  $\tau \in \{10\%, 20\%\}$ , синергия положительная; «--» — отклонена при  $\tau \in \{10\%, 20\%\}$ , синергия отрицательная. Источник: расчёты автора.

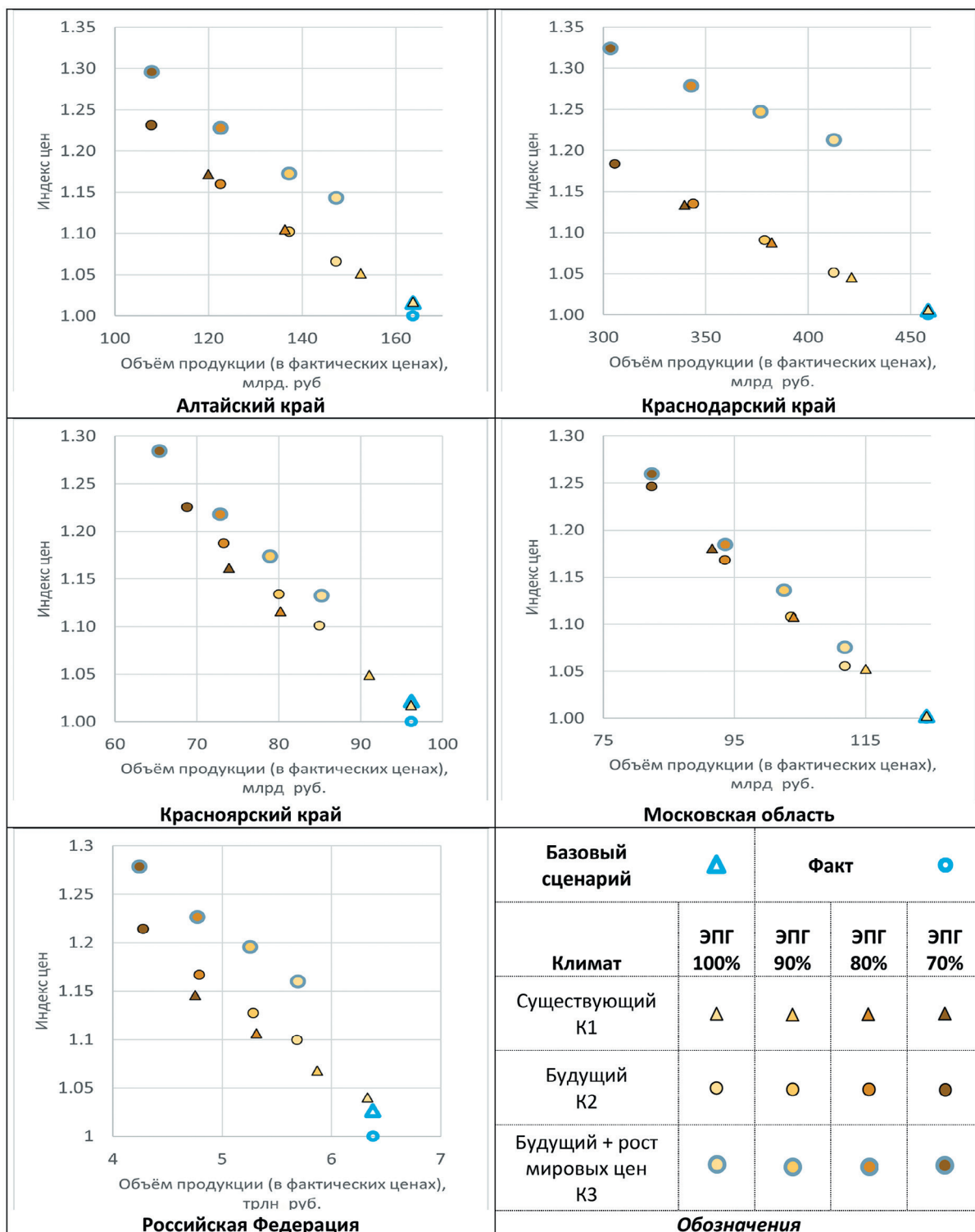
Диаграмма визуализирует различия между регионами в их реакции на сценарные условия: цены в сценарии K3 всюду выше, чем в K2, но в Подмосковье этот эффект едва заметен, а в Краснодарском крае из-за его прямой вовлеченности в международную торговлю выражен сильнее всего. Сокращение объёмов производства под влиянием рестриктивных мер климатической политики говорит о том, что возможности сельского хозяйства страны по адаптации к этим мерам за счёт структурных сдвигов в применяемых технологиях весьма ограничены.

Ещё больший контраст между регионами наблюдается на рис. 2, где сценарии распределены вдоль осей равновесных объёмов продаж сельхозпродукции (включая импортную) и производственных издержек. В целом по России продажи устойчивы к различиям между сценариями. Схожая картина наблюдается в Краснодарском крае, но в остальных регионах это совершенно не так. В частности, в Московской области климат практически

не влияет на издержки, но резко отрицательно — на продажи: при ЭПГ 100 % их снижение в K3 достигает трети к уровню K1. Это наглядное свидетельство недостаточности сводных показателей по России для экспертизы климатической политики. Ограничение ЭПГ на показатели рис. 2 влияет предсказуемо: снижает продажи и увеличивает издержки. Отклонение нулевой гипотезы о продажах для России объясняется экстремальным объёмом продаж по сценарию (K1, ЭПГ 100 %), хорошо заметным на рис. 2.

На рис. 3 сценарные решения размещены на координатной плоскости, образованной стоимостью ввозимой и вывозимой продукции сельского хозяйства. Сценарий K3 увеличивает вывоз и сокращает ввоз в сравнении с K1 и K2, тогда как влияние климатической политики в разных регионах различается.

В четырёх изучаемых субъектах федерации сценарии ЭПГ {70, 80, 90 %} увеличивают, вне зависимости от изменений климата, долю в структуре производства скота



**Рис. 1.** Объём производства сельскохозяйственной продукции и индекс цен на неё *Источник: расчёты автора.*  
**Fig. 1.** Volume of agricultural production and price index

на убой (кроме Алтайского края), овощей (кроме Московской области), картофеля (в Краснодарском и Красноярском краях), птицы (во всех изучаемых субъектах РФ). Соответственно, несколько сокращаются доли, приходящиеся на зерно и молоко, при-

чём соотношение этих двух продуктов остаётся практически неизменным. Сценарии климата K2 и K3 действуют на объёмы производства зерна и молока аналогично ужесточению требований к ЭПГ на 10 процентных пунктов, при этом различия между самими сце-



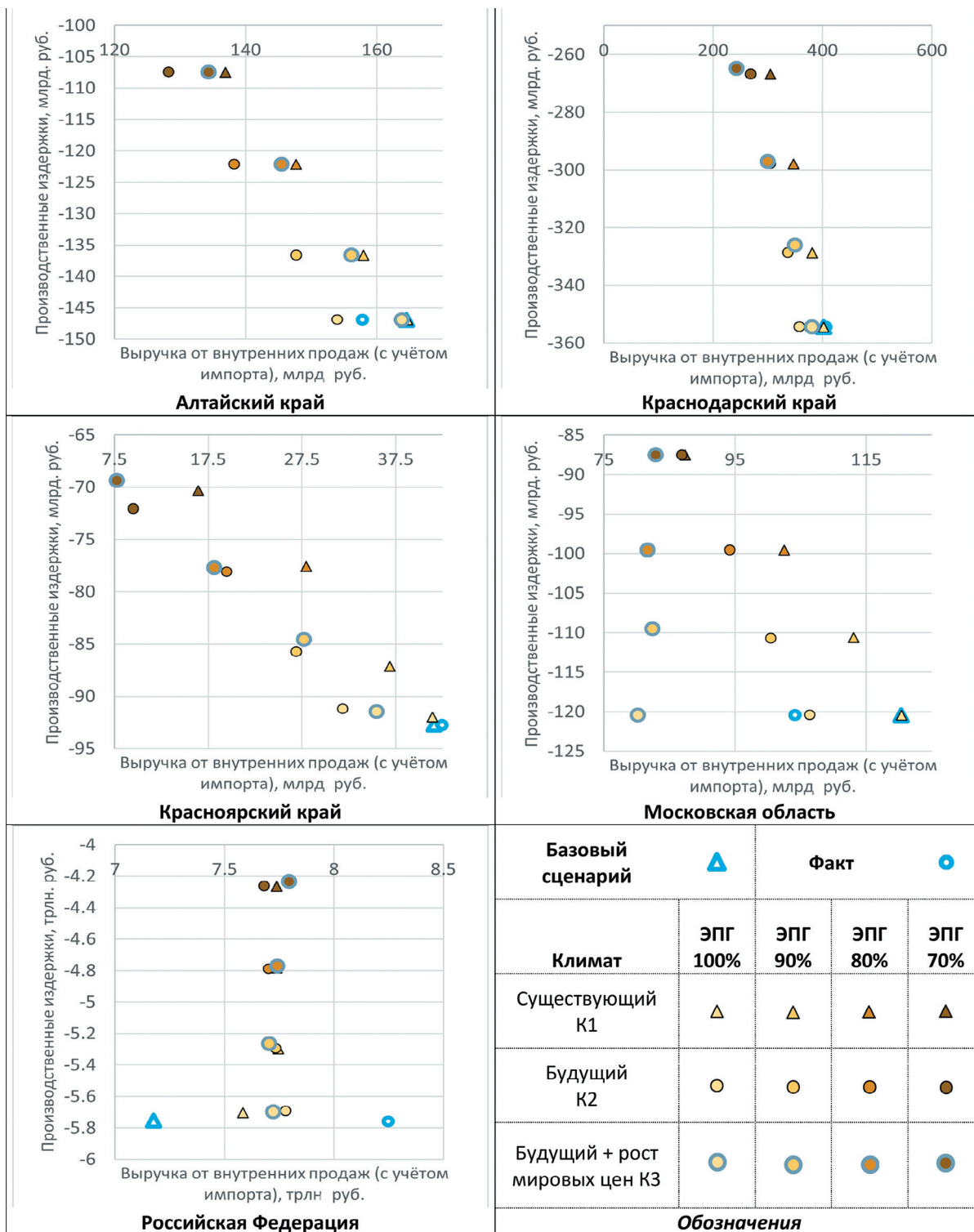


Рис. 2. Стоимость проданной продукции (включая импортную) и производственные издержки (источник: расчёты автора.)

Fig. 2. Value of sold products (including imports) and production costs

нариями K2 и K3 малы. Региональные различия в реакции производственной структуры сельского хозяйства регионов на изменения климата согласуются с предшествующими исследованиями (Порфирьев и др., 2022; Грачёва и др., 2023) в том, что эффективный

ответ сельского хозяйства на изменение климата связан с изменением размещения производства. Это требует упреждающей адаптации инфраструктуры, создания благоприятных условий для межрегионального перетекания капитала и трудовых ресурсов.

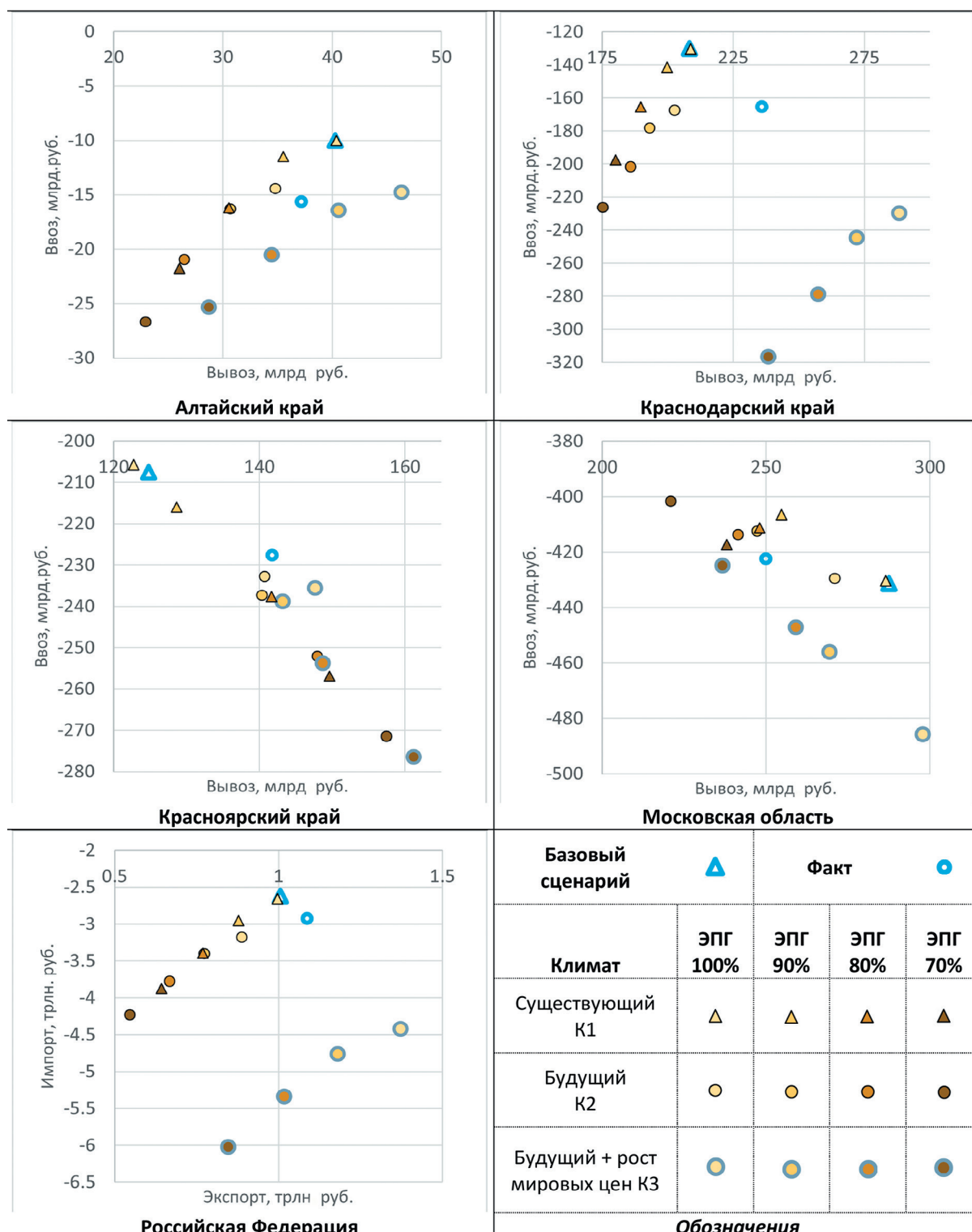


Рис. 3. Ввоз и вывоз продукции сельского хозяйства (источник: расчёты автора.)

Fig. 3. Import and export of agricultural products

### Заключение

Проведённое исследование ведёт к частичному пересмотру представлений о влиянии климата на сельское хозяйство регионов России, сформированных работами (Polzиков, 2022; Грачёва и др., 2023; Kiselev, Strokov & Belugin, 2016; Порфирьев и Катцов, 2016) и др., в направ-

лении большего пессимизма в духе (Hasegawa et al., 2018): если изменение климата приведёт к снижению совокупной продуктивности факторов производства, а климатическая политика ограничит ЭПГ хотя бы среднегодовым уровнем 2015–2019 гг., то возможности адаптации сельского хозяйства окажутся весьма стеснёнными.

Подкреплено положение (Светлов, Шишкина, 2023) о том, что изменение климата влияет на сельское хозяйство и аграрные рынки региона не столько напрямую, сколько через баланс изменений в конкурентных позициях остальных регионов, отчего на уровне региона изменение климата, благоприятное для растениеводства, может сопровождаться спадом сельхозпроизводства и ухудшением положения потребителей.

Выявлена низкая технологическая готовность сельского хозяйства изученных регионов к ужесточению климатической политики. Необходима ускоренная разработка и превентивное внедрение низкоуглеродных технологий. Такие технологии до ужесточения климатической политики могут уступать в конкурентоспособности ныне используемым и нуждаться в адекватных предпочтениях.

Выбранный подход к обоснованию и формализации сценарных условий климата и климатической политики, а также методика проверки гипотезы данного исследования дополняют методологию анализа климатической политики. Научные представления о её влиянии на сельское хозяйство дополнены положением о зависимости этого влияния от климатических условий, при которых политика будет претворяться в жизнь. Отсюда вытекает необходимость моделирования и оценки долгосрочных эффектов климатической политики с обязательным

применением сценариев будущего климата. Усилены аргументы в пользу пространственного подхода при таких исследованиях.

Результаты сценарного моделирования имеют практическую ценность для инвесторов: они раскрывают перспективы, конкурентные преимущества и риски четырёх субъектов РФ в производстве сельхозпродуктов. Они полезны региональным органам управления, стремящимся предупредить возможный ущерб активам сельского хозяйства, поскольку позволят полнее использовать возникающие конкурентные преимущества.

Перспективы дальнейших исследований, связанных с полученными результатами, охватывают два направления. Первое — совершенствование статистического наблюдения и модельного инструментария. Адекватность модели можно улучшить, если учёные работают, а Ростаможня внедрит методику представления данных о внешней торговле в разрезе пограничных субъектов РФ. Актуально также получение прогноза темпов научно-технического прогресса в разрезе вариантов климатической политики. Второе — расширение охвата регионов России исследованиями по предложенной методике, углубление анализа причинно-следственных связей, определяющих специфику реакции субъекта РФ на сценарные условия.

### Список источников

- Бабкина, А. В., Пучкова, О. С. (2022). Роль механизма государственной поддержки при переходе АПК Дальнего Востока на инновационную модель развития. *Известия Международной академии аграрного образования*, (59), 81-84.
- Башмаков, И. (2009). Низкоуглеродная Россия: перспективы после кризиса. *Вопросы экономики*, (10), 107-120. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-10-107-120>
- Горбачева, Н. В. (2023). Сравнительный анализ декарбонизации экономики Сибири и Скандинавии: цена, стоимость и ценность энергии. *Вопросы экономики*, (10), 124-148. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-10-124-148>
- Грачёва, М. В., Туманова, Е. А., Чая, В. Т., Афанасьев, М. Ю., Бахтизин, А. Р., Макаров, В. Л., Вареник, М. С., Алексанов, Д. С., Орлова, Е. Р., Светлов, Н. М., Шагас, Н. Л., Лугачев, М. И., Ульянова, Н. В., Скрипкин, К. Г., Ефимова, М. Р., Долгих, Е. А., Лугачев, М. И., Суйц, В. П., Хорин, А. Н., Пласкова, Н. С., Сапронов, С. Н. (2023). *Актуальные направления математических, статистических, инструментальных и учётно-аналитических методов исследования в условиях цифровизации*. Москва: РУСАЙНС, 366.
- Дигас, Б. В., Розенберг, В. Л. (2013). Комплексная оценочная модель MERGE: адаптация к текущему состоянию мировой экономики. *Экономика региона*, (3), 281-290. <https://doi.org/10.17059/2013-3-26>
- Киселёв, С. В., Ромашкин, Р. А., Белугин, А. Ю. (2022). Агропродовольственный экспорт России до 2030 г.: прогноз на основе модели частичного равновесия. *Журнал Новой экономической ассоциации*, (4(56)), 69-90. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-56-4-4>
- Кремкова, А. И., Кундиус, В. А., Судыко, М. В. (2023). Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса в регионе. *Ерopen. Global*, (S34), 239-247.
- Макаров, И. А., Чен, Х., Пальцев, С. В. (2018). Последствия Парижского климатического соглашения для экономики России. *Вопросы экономики*, (4), 76-94. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-76-94>
- Мацко, К. О., Чепига, М. С., Драгуленко, В. В. (2023). Моделирование влияния климатических изменений на экономическую ситуацию. *Индустриальная экономика*, (S1), 126-130.
- Моисеев, Н. Н. (1979). Системный анализ динамических процессов биосферы: Системный анализ и математические модели. *Вестник АН СССР*, (1), 97-108.
- Паршуков, Д. В. (2023). Инвестиционная деятельность в сельском хозяйстве региона: Состояние, проблемы и механизмы стимулирования. *Социально-экономический и гуманитарный журнал*, (4(30)), 56-69.

Погребная, Н. В., Алексеев, Л. Д., Живицына, Ю. А., Коровин, Д. А. (2023). Обеспечение устойчивого развития АПК Краснодарского края посредством повышения инвестиционной привлекательности региона. *Вестник Академии знаний*, (2(55)), 166-170.

Порфирьев, Б. Н., Широков, А. А., Колпаков, А. Ю., Единак, Е. А. (2022). Возможности и риски политики климатического регулирования в России. *Вопросы экономики*, (1), 72-89. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-1-72-89>

Порфирьев, Б., Катцов, В. (2011). Последствия изменений климата в России и адаптация к ним (оценка и прогноз). *Вопросы экономики*, (11), 94-108. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2011-11-94-108>

Санду, И. С., Кирова, И. В. (2021). Особенности государственной поддержки развития сельского хозяйства в Московской области. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*, (11), 45-49. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2021-0-11-45-49>

Светлов, Н. М. (2023). Методика отбора регионов для исследования адаптации сельского хозяйства к изменению климата. *Экономика региона*, 19(2), 480-493. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14>

Светлов, Н. М., Шишкина, Е. А. (2023). Пространственная модель частичного равновесия на оптовых рынках сельхозпродукции субъектов РФ. *Искусственные общества*, 18(S1). <https://doi.org/10.18254/S207751800028484-1>

Сиптиц, С. О. (2023). Типовая экономико-математическая модель низкоуглеродной трансформации агропродовольственных систем регионального уровня и ее применение для оценки эффективности таких стратегий. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 1(10), 57-71. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.10.01.006>

Сиптиц, С. О., Романенко, И. А., Строков, С. Н., Абрамов, А. А. (2010). Сценарный анализ развития агропродовольственных рынков России с использованием российского модуля международной системы моделей Aglink-Cosimo. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*, (6), 21-24.

Строков, А. С., Поташников, В. Ю. (2021). Моделирование регионального развития сельскохозяйственного производства в России с помощью модели GLOBIOM. *Национальная научно-практическая конференция, посвящённая 85-летию со дня рождения А. М. Гатаулина* (С. 167-179). Москва: ООО «Мегаполис».

Anthoff, D., & Tol, R. S. J. (2013). The Uncertainty about the Social Cost of Carbon: A Decomposition Analysis Using Fund. *Climatic Change*, 117(3), 515-530. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0706-7>

Auerswald, H., Konrad, K. A., & Thum, M. (2018). Adaptation, mitigation and risk-taking in climate policy. *Journal of Economics*, 124, 269-287. <https://doi.org/10.1007/s00712-017-0579-8>

Belyaeva, M., & Bokusheva, R. (2018). Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach. *Climatic Change*, 149, 205-217. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2221-3>

Bosello, F., Carraro, C., & De Cian, E. (2012). *Climate change, adaptation*. Copenhagen Consensus Center. <http://www.jstor.com/stable/resrep16370> (дата обращения: 27.11.2023).

Bosello, F., De Cian, E., & Ferranna, L. (2014). *Catastrophic Risk, Precautionary Abatement, and Adaptation Transfers*. Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). <http://www.jstor.com/stable/resrep01116> (дата обращения: 27.11.2023).

Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., & Schipper, E. L. (2002). From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy*, 2(2-3), 145-159. <https://doi.org/10.3763/cpol.2002.0217>

Danilov-Danil'yan, V. I., & Pryazhinskaya, V. G. (2007). Scenarios of sustainable regional water consumption under climate change. *Studies on Russian Economic Development*, 18, 153-161. <https://doi.org/10.1134/S1075700707020050>

Dobes, L., Jotzo, F., & Stern, D. (2014). The Economics of Global Climate Change: A Historical Literature Review. *Review of Economics*, 65(3), 281-320. <https://doi.org/10.1515/roe-2014-0305>

Ermolieva, T., Havlík, P., Ermoliev, Y., Mosnier, A., Obersteiner, M., Leclère, D., Khabarov, N., Valin, H., & Reuter, W. (2016). Integrated management of land use systems under systemic risks and security targets: A stochastic global biosphere management model. *Journal of Agricultural Economics*, 67(3), 584-601. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12173>

Fellmann, T., Witzke, P., Weiss, F., Van Doorslaer, B., Drabik, D., Huck, I., Salputra, G., Jansson, T., & Leip, A. (2018). Major challenges of integrating agriculture into climate change mitigation policy frameworks. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23, 451-468. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9743-2>

Forrester, J. (1973). *World dynamics*. Wright-Allen Press.

Gillingham, K., Nordhaus, W., Anthoff, D., Blanford, G., Bosetti, V., Christensen, P., McJeon, H., & Reilly, J. (2018). Modeling Uncertainty in Climate Change: A Multi-Model Comparison. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 791-826. <https://doi.org/10.1086/698910>

Gilmundinov, V. M., Pankova, Yu. V., & Tagaeva, T. O. (2023). The Concept of Regional Differentiation of the Processes of Decarbonization of the Russian Economy. *Studies on Russian Economic Development*, 34, 786-793. <https://doi.org/10.1134/S1075700723060059>

Goodess, C. M., Hanson, C., Hulme, M., & Osborn, T. J. (2003). Representing Climate and Extreme Weather Events in Integrated Assessment Models: A Review of Existing Methods and Options for Development. *Integrated Assessment*, 4(3), 145-171. <https://doi.org/10.1076/iaij.4.3.145.23772>

Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlík, P., Valin, H., Bodirsky, B. L., Doelman, J. C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J. F. L., Lotze-Campen, H., Mason-D'Croz, D., Ochi, Y., Pérez Domínguez, I., Stehfest, E., Sulser, T. B., Tabeau, A., Takahashi, K., Takakura, J., van Meijl, H., van Zeist, W.-J., Wiebe, K., & Witzke, P. (2018). Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8, 699-703. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>

- Howard, P.H., & Sylvan, D. (2015). *Expert Consensus on the Economics of Climate Change*. Institute for Policy Integrity. <https://www.jstor.org/stable/resrep45821> (дата обращения: 10.12.2023).
- Hsiang, S., & Kopp, R.E. (2018). An Economist's Guide to Climate Change Science. *Journal of Economic Perspectives*, 32(4), 3-32. <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.3>
- Kiselev, S.V., Stokov, A.S., & Belugin, A.Yu. (2016). Projections of Russia's agricultural development under the conditions of climate change. *Studies on Russian Economic Development*, 27, 548-556. <https://doi.org/10.1134/S1075700716050063>
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D., & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*, 84(4), 753-771.
- Nakićenović, N., Sres, I., & Swart, R. (2000). *Special report on emissions scenarios: a special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/emissions\\_scenarios.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/emissions_scenarios.pdf) (дата обращения: 09.01.2024).
- Nordhaus, W. (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. MIT Press.
- Pavlenko, V.I., & Glukhareva, E.K. (2010). Environmental changes and the economic growth in regions of the Russian Arctic. *Studies on Russian Economic Development*, 21, 158-164. <https://doi.org/10.1134/S107570071002005X>
- Pindyck, R.S. (2015). *The Use and Misuse of Models for Climate Policy*. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research. <https://www.jstor.org/stable/resrep34749> (дата обращения: 27.11.2023).
- Polzikov, D.A. (2022). Imperatives of Adaptation to Climate Changes in the Development of Agricultural Policy in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 33, 680-686. <https://doi.org/10.1134/S1075700722060107>
- Porfiriev, B.N., & Eliseev, D.O. (2023). Scenario Forecasts of Expected Damage from Permafrost Degradation: Regional and Industry Issues. *Studies on Russian Economic Development*, 34, 651-659. <https://doi.org/10.1134/S1075700723050143>
- Porfiriev, B.N., Terent'ev, N.E., & Zinchenko, Yu.V. (2023). Planning for Adaptation to Climate Change: World Experience and Opportunities for Sustainable Social and Economic Development in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 34, 263-273. <https://doi.org/10.1134/S1075700723020119>
- Robinson, S., Mason-D'Croz, D., Dunston, S., Sulser, T., Robertson, R., Zhu, T., Gueneau, A., Pitois, G., & Rosegrant, M.W. (2015). *The International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT): Model description for version 3*. IFPRI Discussion Paper 1483. International Food Policy Research Institute.
- Shalizi, Z., & Lecocq, F. (2010). To Mitigate or to Adapt: Is that the Question? Observations on an Appropriate Response to the Climate Change Challenge to Development Strategies. *The World Bank Research Observer*, 25(2), 295-321. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkp012>
- Siptits, S.O., Romanenko, I.A., & Evdokimova, N.E. (2021). Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 32, 169-176. <https://doi.org/10.1134/S1075700721020106>
- Warren, R. (2011). The role of interactions in a world implementing adaptation and mitigation solutions to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934), 217-241. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0271>

## References

- Anthoff, D., & Tol, R.S.J. (2013). The Uncertainty about the Social Cost of Carbon: A Decomposition Analysis Using Fund. *Climatic Change*, 117(3), 515-530. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0706-7>
- Auerswald, H., Konrad, K.A., & Thum, M. (2018). Adaptation, mitigation and risk-taking in climate policy. *Journal of Economics*, 124, 269-287. <https://doi.org/10.1007/s00712-017-0579-8>
- Babkina, A.V., & Puchkova, O.S. (2022). 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 [Proceedings of the International academy of agrarian education]* (59), 81-84. (In Russ.)
- Bashmakov, I. (2009). Low-carbon Russia: Prospects after the crisis. *Voprosy ekonomiki*, (10), 107-120. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-10-107-120> (In Russ.)
- Belyaeva, M., & Bokusheva, R. (2018). Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach. *Climatic Change*, 149, 205-217. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2221-3>
- Bosello, F., Carraro, C., & De Cian, E. (2012). *Climate change, adaptation*. Copenhagen Consensus Center. <http://www.jstor.com/stable/resrep16370> (дата обращения: 27.11.2023).
- Bosello, F., De Cian, E., & Ferranna, L. (2014). *Catastrophic Risk, Precautionary Abatement, and Adaptation Transfers*. Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM). <http://www.jstor.com/stable/resrep01116> (дата обращения: 27.11.2023).
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., & Schipper, E.L. (2002). From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy*, 2(2-3), 145-159. <https://doi.org/10.3763/cpol.2002.0217>
- Danilov-Danil'yan, V.I., & Pryazhinskaya, V.G. (2007). Scenarios of sustainable regional water consumption under climate change. *Studies on Russian Economic Development*, 18, 153-161. <https://doi.org/10.1134/S1075700707020050>
- Digas, B.V., & Rozenberg, V.L. (2013). Comprehensive estimation model of MERGE: adaptation to current state of world economy. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, (3), 281-290. <https://doi.org/10.17059/2013-3-26> (In Russ.)
- Dobes, L., Jotzo, F., & Stern, D. (2014). The Economics of Global Climate Change: A Historical Literature Review. *Review of Economics*, 65(3), 281-320. <https://doi.org/10.1515/roe-2014-0305>

- Ermolieva, T., Havlík, P., Ermoliev, Y., Mosnier, A., Obersteiner, M., Leclère, D., Khabarov, N., Valin, H., & Reuter, W. (2016). Integrated management of land use systems under systemic risks and security targets: A stochastic global biosphere management model. *Journal of Agricultural Economics*, 67(3), 584–601. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12173>
- Fellmann, T., Witzke, P., Weiss, F., Van Doorslaer, B., Drabik, D., Huck, I., Salputra, G., Jansson, T., & Leip, A. (2018). Major challenges of integrating agriculture into climate change mitigation policy frameworks. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23, 451–468. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9743-2>
- Forrester, J. (1973). *World dynamics*. Wright-Allen Press.
- Gillingham, K., Nordhaus, W., Anthoff, D., Blanford, G., Bosetti, V., Christensen, P., McJeon, H., & Reilly, J. (2018). Modeling Uncertainty in Climate Change: A Multi-Model Comparison. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 791–826. <https://doi.org/10.1086/698910>
- Gilmundinov, V.M., Pankova, Yu.V., & Tagaeva, T.O. (2023). The Concept of Regional Differentiation of the Processes of Decarbonization of the Russian Economy. *Studies on Russian Economic Development*, 34, 786–793. <https://doi.org/10.1134/S1075700723060059>
- Goodess, C.M., Hanson, C., Hulme, M., & Osborn, T.J. (2003). Representing Climate and Extreme Weather Events in Integrated Assessment Models: A Review of Existing Methods and Options for Development. *Integrated Assessment*, 4(3), 145–171. <https://doi.org/10.1076/iaij.4.3.145.23772>
- Gorbacheva, N.V. (2023). Comparative analysis of decarbonising economy in Siberia and Scandinavia megaregions: Price, value and values of energy. *Voprosy ekonomiki*, (10), 124–148. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-10-124-148> (In Russ.)
- Gracheva, M.V., Tumanova, E.A., Chaya, V.T., Afanas'ev, M.Yu., Bakhtizin, A.R., Makarov, V.L., Varenik, M.S., Aleksanov, D.S., Orlova, E.R., Svetlov, N.M., Shagas, N.L., Lugachev, M.I., Ul'yanova, N.V., Skripkin, K.G., Efimova, M.R., Dolgikh, E.A., Lugachev, M.I., Suits, V.P., Khorin, A.N., Plaskova, N.S., & Sapronov, S.N. (2023). *Aktual'nye napravleniya matematicheskikh, statisticheskikh, instrumental'nykh i uchetno-analiticheskikh metodov issledovaniya v usloviyakh tsifrovizatsii [Current directions of mathematical, statistical, instrumental, accounting and analytical research methods in the context of digitalization]*. Moscow: RUSAYNS, 366. (In Russ.)
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlík, P., Valin, H., Bodirsky, B.L., Doelman, J.C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J.F.L., Lotze-Campen, H., Mason-D'Croz, D., Ochi, Y., Pérez Domínguez, I., Stehfest, E., Sulser, T.B., Tabeau, A., Takahashi, K., Takakura, J., van Meijl, H., van Zeist, W.-J., Wiebe, K., & Witzke, P. (2018). Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8, 699–703. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0230-x>
- Howard, P.H., & Sylvan, D. (2015). *Expert Consensus on the Economics of Climate Change*. Institute for Policy Integrity. <https://www.jstor.org/stable/resrep45821> (дата обращения: 10.12.2023).
- Hsiang, S., & Kopp, R.E. (2018). An Economist's Guide to Climate Change Science. *Journal of Economic Perspectives*, 32(4), 3–32. <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.3>
- Kiselev, S.V., Romashkin, R.A., & Belugin, A.Yu. (2022). Russia's agri-food exports until 2030: Projection from a partial equilibrium model. *Zhurnal Novoy ekonomicheskoy assotsiatsii [Journal of the New economic association]*, (4(56)), 69–90. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-56-4-4> (In Russ.)
- Kiselev, S.V., Stokov, A.S., & Belugin, A.Yu. (2016). Projections of Russia's agricultural development under the conditions of climate change. *Studies on Russian Economic Development*, 27, 548–556. <https://doi.org/10.1134/S1075700716050063>
- Kremkova, A.I., Kundius, V.A., & Sudyko, M.V. (2023). Problems and prospects of development of the agro-industrial complex in the region. *Epomen. Global*, (S34), 239–247. (In Russ.)
- Makarov, I.A., Chen, H., & Paltsev, S.V. (2018). Impacts of Paris agreement on Russian economy. *Voprosy ekonomiki*, (4), 76–94. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-76-94> (In Russ.)
- Matsko, K.O., Chepiga, M.S., & Dragulenko, V.V. (2023). Modeling the impact of climate change on economic. *Industrial'naya ekonomika [Industrial economics]*, (S1), 126–130. (In Russ.)
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D., & Shaw, D. (1994). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *American Economic Review*, 84(4), 753–771.
- Moiseev, N.N. (1979). Systems analysis of dynamic processes in biosphere: Systems analysis and mathematical models. *Vestnik AN SSSR [Herald of the Academy of Sciences of the USSR]*, (1), 97–108. (In Russ.)
- Nakićenović, N., Sres, I., & Swart, R. (2000). *Special report on emissions scenarios: a special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/emissions\\_scenarios.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/emissions_scenarios.pdf) (дата обращения: 09.01.2024).
- Nordhaus, W. (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. MIT Press.
- Parshukov, D.V. (2023). Investment activity in agriculture of the region: Status, problems and incentive mechanisms. *Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyy zhurnal [Socio-economic and humanitarian journal]*, (4(30)), 56–69. (In Russ.)
- Pavlenko, V.I., & Glukhareva, E.K. (2010). Environmental changes and the economic growth in regions of the Russian Arctic. *Studies on Russian Economic Development*, 21, 158–164. <https://doi.org/10.1134/S107570071002005X>
- Pindyck, R.S. (2015). *The Use and Misuse of Models for Climate Policy*. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research. <https://www.jstor.org/stable/resrep34749> (Date of access: 27.11.2023).
- Pogrebnyaya, N.V., Alekseenko, L.D., Zhivitsina, Yu.A., & Korovin, D.A. (2023). Ensuring the sustainable development of the agroindustrial complex of the Krasnodar territory by increasing the investment attractiveness of the region. *Vestnik Akademii znaniy [Bulletin of the Academy of Knowledge]*, (2(55)), 166–170. (In Russ.)

Polzikov, D.A. (2022). Imperatives of Adaptation to Climate Changes in the Development of Agricultural Policy in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 33, 680-686. <https://doi.org/10.1134/S1075700722060107>

Porfiriev, B. N., Shirov, A. A., Kolpakov, A. Y., & Edinak, E. A. (2022). Opportunities and risks of the climate policy in Russia. *Voprosy ekonomiki*, (1), 72-89. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-1-72-89> (In Russ.)

Porfiriev, B., & Kattsov, V. (2011). Implications of and Adaptation to Climate Change in Russia: Assessment and Forecast. *Voprosy ekonomiki*, (11), 94-108. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2011-11-94-108> (In Russ.)

Porfiriev, B. N., & Eliseev, D. O. (2023). Scenario Forecasts of Expected Damage from Permafrost Degradation: Regional and Industry Issues. *Studies on Russian Economic Development*, 34, 651-659. <https://doi.org/10.1134/S1075700723050143>

Porfiriev, B. N., Terent'ev, N. E., & Zinchenko, Yu. V. (2023). Planning for Adaptation to Climate Change: World Experience and Opportunities for Sustainable Social and Economic Development in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 34, 263-273. <https://doi.org/10.1134/S1075700723020119>

Robinson, S., Mason-D'Croz, D., Dunston, S., Sulser, T., Robertson, R., Zhu, T., Gueneau, A., Pitois, G., & Rosegrant, M. W. (2015). *The International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT): Model description for version 3*. IFPRI Discussion Paper 1483. International Food Policy Research Institute.

Sandu, I. S., & Kirova, I. V. (2021). Features of state support for the development of agriculture in the Moscow region. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii [Economy of Agricultural and Processing Enterprises]*, (11), 45-49. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2021-0-11-45-49> (In Russ.)

Shalizi, Z., & Lecocq, F. (2010). To Mitigate or to Adapt: Is that the Question? Observations on an Appropriate Response to the Climate Change Challenge to Development Strategies. *The World Bank Research Observer*, 25(2), 295-321. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkp012>

Siptits, S. O. (2023). Typical economic and mathematical model of low-carbon transformation of agrifood systems at the regional level and its application to assess the effectiveness of such strategies. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya [Economics and management: problems, solutions]*, 1(10), 57-71. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.10.01.006> (In Russ.)

Siptits, S. O., Romanenko, I. A., Stokov, S. N., & Abramov, A. A. (2010). Scenario analysis of Russia agrarian and food market development assisted by Russian module of aglink-cosimo international models system. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatii [Economy of Agricultural and Processing Enterprises]*, (6), 21-24. (In Russ.)

Siptits, S. O., Romanenko, I. A., & Evdokimova, N. E. (2021). Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 32, 169-176. <https://doi.org/10.1134/S1075700721020106>

Stokov, A. S., & Potashnikov, V. Yu. (2021). Modeling of regional development agricultural production in Russia using the GLOBO model. *Natsional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 85-letiyu so dnya rozhdeniya A. M. Gataulina [National scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the birth of A. M. Gataulin]* (pp. 167-179). Moscow: JSC Megapolis (In Russ.)

Svetlov, N. M. (2023). Methodology for selecting regions to study the adaptation of agriculture to climate change. *Ekonomika regiona [Economy of regions]*, 19(2), 480-493. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-2-14> (In Russ.)

Svetlov, N., & Shishkina, E. (2023). Spatial model of partial equilibria in wholesale markets of agricultural products of the constituent entities of the Russian Federation. *Iskusstvennye obshchestva [Artificial societies]*, 18(S1). <https://doi.org/10.18254/S207751800028484-1> (In Russ.)

Warren, R. (2011). The role of interactions in a world implementing adaptation and mitigation solutions to climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934), 217-241. <http://doi.org/10.1098/rsta.2010.0271>

### Информация об авторе

**Светлов Николай Михайлович** — доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН; <https://orcid.org/0000-0001-6906-6129>; Scopus Author ID: 36245417600 (Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский просп., д. 47; e-mail: nikolai.svetlov@gmail.com).

### About the author

**Nikolai M. Svetlov** — Dr. Sci. (Econ.), Professor, Corresponding Member of RAS, Chief Researcher, CEMI RAS; <https://orcid.org/0000-0001-6906-6129>; Scopus Author ID: 36245417600 (47, Nakhimovsky prospekt, Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: nikolai.svetlov@gmail.com).

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interests

The author declare no conflicts of interest.

Дата поступления рукописи: 18.01.2024.

Прошла рецензирование: 01.04.2024.

Принято решение о публикации: 27.09.2024.

Received: 18 Jan 2024.

Reviewed: 01 Apr 2024.

Accepted: 27 Sep 2024.