

Особенности моделирования и сценарного анализа влияния долгосрочных климатических изменений на агропродовольственные системы регионов

С. О. СИПТИЦ, И. А. РОМАНЕНКО, И. А. ГАНИЕВА, Н. Е. ЕВДОКИМОВА

Всероссийский институт аграрных проблем и информатики имени А. А. Никонова – филиал Федерального научного центра аграрной экономики и социального развития сельских территорий – ВНИИЭСХ, Б. Харитоньевский пер., 21, стр. 1, Москва, 107078, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью определения особенностей методов математического моделирования и сценарного анализа при оценке влияния долгосрочных климатических изменений на региональные агропродовольственные системы (АПС). В качестве методологической основы использовали методы системного анализа, в соответствии с которыми АПС разного уровня рассматриваются как экономические объекты, находящиеся во взаимодействии с внешним окружением, в котором выделяется почвенно-климатическая составляющая. Особенность моделирования таких систем – необходимость интегрированного подхода. Интегрированное моделирование относится к междисциплинарному анализу, учитывающему взаимодействие между человеческими и природными системами. Такие отношения, как правило, сложны, динамичны и не линейны. Модели различаются по наличию мер регулирования, уровню географической, экономической и технологической дезагрегации, степени детализации климатических воздействий, экономическим допущениям, горизонтам прогнозирования, трактовкам неопределенностей, реагированию субъектов в рамках модели на политику в области изменения климата и др. В нашем исследовании при разработке моделей реакция АПС рассматривается как поведенческая характеристика субъектов, осуществляющих производство и потребление продовольствия. Разработанная классификация прогнозных сценариев развития АПС в качестве ключевых сценарных характеристик рассматривает следующие показатели: климатические, макроэкономические, финансовой и социальной устойчивости, а также устойчивости воспроизводства основных видов ресурсов. Экологический аспект учитывается в форме анализа и прогноза воспроизводства плодородия почв. В качестве системообразующего фактора рассматривается спрос населения на продовольствие, который предлагается оценивать с точки зрения степени влияния на него доходов населения. Для определения состояния и прогноза развития АПС разработан функциональный модуль, который реализует следующие аналитические возможности: анализ технологической эффективности использования гидротермических условий в растениеводстве, анализ эффектов от специализации производства, анализ потребительского поведения и др.

Ключевые слова: математическая модель, агропродовольственная система, климатический сценарий, прогнозирование, аграрная политика.

Сведения об авторах: С. О. Сиптиц, доктор экономических наук, зав. отделом (e-mail: ssiptits@viapi.ru); И. А. Романенко, доктор экономических наук, главный научный сотрудник (e-mail: romanenko@viapi.ru); И. А. Ганиева, доктор экономических наук, главный научный сотрудник (e-mail: ganieva@viapi.ru); Н. Е. Евдокимова, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник (e-mail: nevdoki@gmail.com).

Для цитирования: Особенности моделирования и сценарного анализа влияния долгосрочных климатических изменений на агропродовольственные системы регионов / С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, И. А. Ганиева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 5–9. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10401.

Features of modelling and scenario analysis of long-term climatic changes impact on the agri-food systems of regions

S. O. Siptits, I. A. Romanenko, I. A. Ganieva, N. E. Evdokimova

Nikonov All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics, Federal Scientific Center of Agrarian Economics and Social Development of Rural Territories, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, B. Khariton'evskii per., 21, str. 1, Moskva, 107078, Russian Federation

Abstract. The purpose of the studies was to determine the features of mathematical modelling methods and scenario analysis in assessing the impact of long-term climate changes on regional agri-food systems (AFS). As a methodological basis, we used methods of system analysis, according to which AFS of different levels are considered as economic objects that interact with the external environment, in which the soil-climatic component is distinguished. Modelling such systems implies an integrated approach. Integrated modelling refers to an interdisciplinary analysis that takes into account the interaction between human and natural systems. Such relationships are usually complex, dynamic, and non-linear. Models differ by the presence or absence of control measures, the level of geographical, economic, and technological disaggregation, the degree of elaboration of climatic impacts, economic assumptions, forecast horizons, interpretations of uncertainties, the subjects' responses to climate change policies within the framework of the model, etc. In our study, when developing models, the AFS reaction was considered as a behavioural characteristic of entities engaged in the production and consumption of food. The developed classification of forecast scenarios for the development of AFS as the key scenario characteristics considered the following indicators: climatic, macroeconomic, financial, and social stability, as well as the sustainability of the reproduction of the main types of resources. The environmental aspect was taken into account in the form of analysis and prediction of soil fertility reproduction. The population demand for food was considered as a system-forming factor, which is proposed to be assessed in terms of the degree of influence of population incomes on it. To determine the state and forecast the development of AFS, we developed a functional module that implements the following analytical capabilities: analysis of the technological efficiency of using hydrothermal conditions in crop production, analysis of effects from production specialization, analysis of consumer behaviour, etc.

Keywords: mathematical model; agri-food system; climate scenario; forecasting; agricultural policy.

Author details: S. O. Siptits, D. Sc. (Econ.), head of division (e-mail: ssiptits@viapi.ru); I. A. Romanenko, D. Sc. (Econ.), chief research fellow (e-mail: romanenko@viapi.ru); I. A. Ganieva, D. Sc. (Econ.), chief research fellow (e-mail: ganieva@viapi.ru); N. E. Evdokimova, Cand. Sc. (Econ.), leading research fellow (e-mail: nevdoki@gmail.com).

For citation: Siptits SO, Romanenko IA, Ganieva IA, et al. [Features of modelling and scenario analysis of long-term climatic changes impact on the agri-food systems of regions]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020;34(4):5-9. Russian. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10401.

Модели интегрированной оценки (Integrated Assessment models – IAMs) используют для определения технологической и экономической целесообразности климатических целей. Например, для анализа цели Парижского соглашения удерживать глобальное потепление значительно ниже 2 °C и продолжать усилия по ограничению этого потепления до 1,5 °C выше доиндустриального уровня. Результаты таких расчетов оценивает Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК, Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), которая формирует, обсуждает и публикует специальные доклады об изменении климата и его последствиях. IAMs модели объединяют детальные модели технологий энергосистем с агрегированными экономическими и технологическими параметрами. В зависимости от гипотез и допущений, сделанных при выборе исходных данных и формировании зависимостей для этих моделей, а также различных сценариев, они могут учитывать дополнительные цели, например, критерии устойчивого развития. Многие из используемых IAMs моделей оценивают варианты в режиме «затраты-эффективность». С их помощью определяют возможности смягчения последствий от глобального изменения климата в любом регионе, любой отрасли, в любой момент или за любой промежуток времени, так что в целом (в мировом масштабе и на протяжении веков), заданный предел потепления достигается при наименьших затратах.

IAMs модели эволюционируют, включая все более полное и адекватное отражение мер по смягчению последствий изменения климата, вариантов и технологических решений этих задач. Особенности моделирования связаны с необходимостью учитывать неопределенность в будущем цен на энергоносители и технологии, а также возрастающую сложность зависимостей между моделируемыми факторами.

Интегрированное моделирование относится к такому типу анализа, который пересекает границы нескольких дисциплин, чтобы учесть взаимодействие между человеческими и природными системами. Эти отношения, как правило, сложны, динамичны и нелинейны. Центральный элемент комплексных модельных систем IAM в области изменения климата – модель «экономика-энергетика-окружающая среда», хотя имитационный процесс не должен ограничиваться только ее рамками. Технология моделирования включает в себя определение проблемы, формулирование вопросов политического регулирования и интерпретацию полученных результатов. Комплексная оценка это не новая концепция, она не ограничивается моделированием изменения климата, хотя распространение методов математического моделирования в последние два десятилетия обусловлено главным образом его применением к климатическим исследованиям.

Модели IAM стали разрабатывать в начале 1970-х гг. Дж. Форрестер и Д. Медоуз – World2 и World3 для отчета Римского клуба «Пределы роста». Они впервые исследовали процесс эволюции человеческого общества в динамическом взаимодействии социально-экономических факторов, наличия ресурсов и пределов устойчивости биосферы. Так зародилась новая дисциплина. В 1979 г. появилась первая модель У. Нордхауса, связывающая преобразование энергии, выбросы и концентрацию CO₂ в атмосфере [1].

В 80-е годы стало очевидным наличие экологических проблем регионального и глобального масштаба (например, истощение озонового слоя, химическое загрязнение, кислотные дожди и др.). При их решении использовали конкретные модели, например, RAINS, в которой основное внимание уделялось кислотным дождям. Модели DICE и IMAGE1.0 стали первыми удачными попытками полностью интегрированного представления климат-экономических систем [2].

В последующие годы число климатических IAMs моделей росло очень быстро. Их яркими примерами могут служить те, которые использовали для генерации сценариев группы МГЭИК в 2000 г.: AIM, ASF, IMAGE, MARIA, MESSAGE и MiniCAM/GCAM [3].

Разнообразие моделей IAMs обусловлено различными подходами, используемыми при их разработке с целью охватить сложные взаимодействия и учесть огромные неопределенности в системе «климат-экономика-общество». Модели различаются по наличию мер регулирования, уровню географической, экономической и технологической дезагрегации, степени детализации климатических воздействий, экономическим допущениям, горизонтам прогнозирования, трактовкам неопределенностей, реагированию субъектов в рамках модели на политику в области изменения климата и др. В литературе предлагают различные классификации IAMs в зависимости от их параметров и целей создания. Кроме того, после более чем двух десятилетий усовершенствований и расширения возможностей применения, произошла сильная гибридизация моделей, что еще больше усложнило их типологию.

Рабочая группа III МГЭИК предложила разделить экономико-климатические IAMs на модели оценки политики и модели оптимизации политики. С тех пор эту классификацию широко используют в соответствующей литературе. В моделях первой группы формируется набор вариантов стратегий, а затем проводится оценка их последствий. Вторая группа моделей предназначена для оптимизации по ключевым параметрам регулирования, таким как налоговые ставки на выбросы углерода, с учетом целевых критериев – максимизации благосостояния или минимизации затрат при достижении целевых показателей выбросов углерода.

Другая традиционно используемая классификация экономико-энергетических моделей, различает модели «сверху вниз» (Top-Down-models – TD-модели) и «снизу вверх» (Bottom-Up-models – BU-модели) в зависимости от порядка представления экономики и энергетики, соответственно. TD-модели балансируют систему с макроэкономической точки зрения, рассматривая последствия политики с точки зрения государственных финансов, торговли, экономической конкурентоспособности и занятости (например, вычислимые модели общего равновесия, модели роста Рамси). Их классическими примерами служат DICE, GTAP-E, ENVLinkages, SGM [4]. BU-модели – это модели частичного равновесия энергетического сектора. Они подробно описывают текущую и перспективную конкуренцию технологических вариантов решения проблем и конкретных проектов смягчения последствий изменения климата, к их числу относятся MiniCAM/GCAM, POLES, MARKAL/TIMES [5], World Energy Model (WEM) [6]. В целом, TD-модели оказываются более дорогими, чем BU-модели.

Чтобы компенсировать ограничения каждого под-

хода, для гибридизации модельных конструкций были разработаны различные методы. Один из вариантов – соединение существующих моделей «снизу вверх» и «сверху вниз» (например, BUMARKAL с TDMIT-EPPA или BUMESSAGE с TDMACRO). Однако это связано с многочисленными теоретическими и вычислительными трудностями. Другой вариант решения – прямое построение гибридной модели (например, E3MG, IMACLIM).

Учитывая особенности глобальных проблем и разнообразие связанных с ними политических дилемм, трудно создать комплексную модель, способную дать наилучшие ответы на все вопросы. Таким образом, следует отметить два аспекта: во-первых, каждый из используемых подходов к моделированию имеет свои сильные и слабые стороны, во-вторых, различные вопросы политики требуют разных точек зрения и, следовательно, различных подходов к моделированию. На сегодняшний день общепризнанна модель оценки глобальных изменений GCAM. Она выпущена недавно при поддержке МГЭИК и регулярно используется для оценок специалистами этой организации.

Цель исследования состоит в определении особенностей моделирования и сценарного анализа влияния долгосрочных климатических изменений на агропродовольственные системы разного уровня.

Условия, материалы и методы. Объект исследования – региональные агропродовольственные системы различного уровня (субъектов Федерации, федеральных округов, страны в целом, Евразийского экономического союза), функционирующие в условиях долгосрочных климатических изменений. Предмет исследования – модельный инструментарий, базы данных и знаний, необходимые для разработки стратегических планов развития агропродовольственных систем регионов с учетом долгосрочных климатических изменений, климатические сценарии и сценарии развития внешней макроэкономической среды.

Методологической основой исследований служили методы системного анализа. В соответствии с ними агропродовольственные системы разного уровня рассматриваются как экономические объекты, находящиеся во взаимодействии с внешним окружением. Во внешнем окружении выделяются почвенно-климатическая и макроэкономическая составляющие, а также осуществляется регулирование со стороны государства. При этом реакция АПС рассматривается как поведенческая характеристика субъектов, осуществляющих производство и потребление продовольствия.

Разработанная классификация прогнозных сценариев развития региональных агропродовольственных систем предусматривает использование в качестве ключевых характеристик климатических и макроэкономических показателей, параметров финансовой и социальной устойчивости, а также устойчивости воспроизводства основных видов ресурсов. Экологический аспект учитывается в форме анализа и прогноза воспроизводства плодородия почв. Инвестиционная привлекательность АПС регионов оценивается с учетом климатических рисков. При реализации различных вариантов климатических сценариев оцениваются экспортные возможности. В качестве системообразующего фактора рассматривается спрос населения на продукты питания, который предлагается оценивать с точки зрения степени влияния на него доходов населения.

Реализация такой методологии состоит из нескольких этапов:

разработка концепции стратегического планирования и прогнозирования развития агропродовольственных систем регионов с учетом климатических изменений, в рамках которой региональные АПС рассматриваются как сложные экономические системы, функционирующие в активной среде, включающей климатическую динамику, прочие неуправляемые факторы, а также внешние регуляторы;

комплексный анализ агропродовольственных систем регионов, который предусматривает определение типов производственного и потребительского поведения в региональных АПС; оценку продовольственной обеспеченности и независимости регионов; анализ финансовой устойчивости АПС; оценку региональных АПС по уровню воспроизводства капитальных ресурсов, их состоянию и эффективности использования;

обоснование прогнозных сценариев и методов сценарного прогнозирования значений основных параметров развития агропродовольственных систем регионов.

В качестве информационной базы для апробации методов анализа и прогнозирования развития агропродовольственных систем использовали данные Росстата, характеризующие состояние сельского хозяйства регионов, сведения о ценах, нормативно-справочную информацию, климатические и почвенные характеристики регионов и муниципальных образований.

Результаты и обсуждение. В ходе апробации методологии решения задач стратегического планирования развития региональных АПС были выделены основные типы производственного и потребительского поведения в региональных АПС; обоснованы базовые прогнозы их развития для регионов России, Российской Федерации и Евразийского экономического союза при современном климате и в условиях сдвигов климатических зон при аридизации климата; разработан программный инструментарий анализа и прогноза базовых характеристик региональных АПС, включающий в себя информационно-аналитическую систему выбора адаптивных сортов сельскохозяйственных культур при реализации аридного и гумидного климатических сценариев [7,8].

Представленная классификация социально-экономических сценариев развития региональных АПС в долгосрочной перспективе, разработанная в рамках возможных вариантов и тенденций мирового развития, содержит лишь сюжетные линии будущего (см. табл.). Каждая ячейка матрицы представляет собой конкретную комбинацию результатов возможных климатических и социально-экономических предпосылок, определяющих сценарии долгосрочного развития регионов России.

Алгоритм создания сценарных условий выглядит следующим образом: формирование климатических сценариев и макроэкономических условий функционирования АПС региона, демографический прогноз, формирование вариантов уровня научно-технологического развития в аграрной сфере, проектирование агропродовольственных технологических цепочек и прогнозирование эффектов их реализации.

Следующий шаг – выбор и обоснование методов и моделей для количественной оценки приведенных

Таблица. Классификация социально-экономических сценариев развития региональных агропродовольственных систем в долгосрочной перспективе

Показатель	Устойчивое развитие	«Середина пути»	Разукрупнение, деинтеграция	Неравенство, имущественное расслоение, рост различий между богатыми и бедными регионами			Развитие с использованием ископаемого топлива
				регионы с высоким уровнем дохода (1 группа финансовой устойчивости)	регионы со средним уровнем дохода (2 группа финансовой устойчивости)	регионы с низким уровнем дохода (3 группа финансовой устойчивости)	
Численность населения	сценарии МЭР	сценарии МЭР	сценарии МЭР	сценарии МЭР	сценарии МЭР	сценарии МЭР	сценарии МЭР
Уровень глобализации торговли	высокий объем экспорта продовольствия	средний объем экспорта продовольствия	низкий объем экспорта продовольствия	высокий объем экспорта продовольствия	средний объем экспорта продовольствия	низкий объем экспорта продовольствия	высокий объем импорта продовольствия
Потребление продуктов животного происхождения	сокращение потребления	сохранение текущего уровня потребления	рост потребления	сохранение текущего уровня потребления	сохранение текущего уровня потребления	сохранение текущего уровня потребления	рост потребления
Госрегулирование изменения землепользования	жесткое регулирование	умеренное регулирование	слабое регулирование (рекомендательный характер по севооборотам и ограничениям по удобрениям, нагрузкам животноводства на 1 га пашни)	жесткое регулирование (административные требования к соблюдению севооборотов и ограничений по удобрениям, нагрузкам животноводства на 1 га пашни)	умеренное регулирование (финансовое стимулирование соблюдения севооборотов и ограничений по удобрениям, нагрузкам животноводства на 1 га пашни)	слабое регулирование (рекомендательный характер по севооборотам и ограничениям по удобрениям, нагрузкам животноводства на 1 га пашни)	умеренное регулирование (финансовое стимулирование севооборотов и ограничений по удобрениям, нагрузкам животноводства на 1 га пашни)
Продуктивность растениеводства	высокая + сильные стремления к улучшениям в технологиях (1 тип производственного поведения)	средняя + умеренные стремления к улучшениям в технологиях (3 тип производственного поведения)	низкая + слабые стремления к улучшениям в технологиях (5 и 6 тип производственного поведения)	высокая + сильные стремления к улучшениям в технологиях (1 тип производственного поведения)	средняя + умеренные стремления к улучшениям в технологиях (3 тип производственного поведения)	низкая + слабые стремления к улучшениям в технологиях (5 и 6 тип производственного поведения)	высокая + сильные стремления к улучшениям в технологиях (1 тип производственного поведения)
Продуктивность животноводства	высокая + сильные стремления к улучшениям в технологиях (1 тип производственного поведения)	средняя + умеренные стремления к улучшениям в технологиях (3 тип производственного поведения)	низкая + слабые стремления к улучшениям в технологиях (5 и 6 тип производственного поведения)	высокая + сильные стремления к улучшениям в технологиях (1 тип производственного поведения)	средняя + умеренные стремления к улучшениям в технологиях (3 тип производственного поведения)	низкая + слабые стремления к улучшениям в технологиях (5 и 6 тип производственного поведения)	высокая + сильные стремления к улучшениям в технологиях (1 тип производственного поведения)
Эффективность по отношению к проблеме предотвращения изменения климата	высокая (баланс гумуса за счет органических удобрений, высокий уровень затрат на адаптацию)	умеренная (баланс гумуса за счет органических и минеральных удобрений, ограничения по удобрениям)	низкая (деградация почв и отсутствие затрат на компенсацию от воздействия климата)	умеренная (баланс гумуса за счет органических и минеральных удобрений, ограничения по удобрениям)	умеренная (баланс гумуса за счет органических и минеральных удобрений, ограничения по удобрениям)	умеренная (баланс гумуса за счет органических и минеральных удобрений, ограничения по удобрениям)	высокая (баланс гумуса за счет минеральных удобрений, высокий уровень затрат на адаптацию)

в таблице сюжетных линий, а именно прогнозных значений параметров и переменных, описывающих сочетание климатических и социально-экономических процессов, протекающих в АПС разного уровня, а также разработки регуляторов, с помощью которых могут быть достигнуты цели устойчивого развития.

Для решения задачи анализа состояния и тенденций развития региональных АПС разработан функциональный модуль, содержащий базовый набор методов обработки статистической информации, сопряженный с инструментальным средством «База данных АПК-РЕГИОН». Он реализует следующие возможности: анализ процессов воспроизводства физического, природного и человеческого капитала, анализ производственного поведения в АПС в разрезе отдельной отрасли, анализ финансового состояния, анализ технологической эффективности использования гидротермических условий в растениеводстве, анализ эффектов от специализации производства, анализ потребительского поведения и ряд других.

Функциональный модуль предоставляет возможность использования следующего инструментария: корреляционно-регрессионный анализ, факторный анализ, процедуры анализа больших данных, экономико-математические модели линейного программирования в детерминированной постановке. Эффективность перечисленных методов подтверждена их апробацией на реальных статистических данных.

Заключение. Для достижения целей анализа и прогнозирования влияния долгосрочных климатических изменений на агропродовольственные системы разного уровня, необходимо рассматривать их в качестве социально-экономических объектов, кото-

рые находятся под воздействием факторов внешней среды, включая почвенно-климатические. Особенность моделирования таких систем – необходимость интегрированного подхода. Интегрированное моделирование относится к междисциплинарному анализу, учитывающему взаимодействие между антропогенными и природными системами.

В нашем исследовании при разработке моделей реакция АПС рассматривается как поведенческая характеристика субъектов, осуществляющих производство и потребление продовольствия в условиях долгосрочных климатических изменений. В связи с этим разработанная классификация прогнозных сценариев развития АПС в качестве ключевых сценарных характеристик рассматривает следующие показатели: климатические, макроэкономические, финансовой и социальной устойчивости, включая уровень потребления продуктов животного происхождения, а также показатели типов производственного поведения в растениеводстве и животноводстве. Экологический аспект учитывается использованием при моделировании такого фактора, как плодородие почвы. В качестве системообразующего фактора рассматривается спрос населения на продовольствие, который предлагается оценивать с точки зрения степени влияния на него доходов населения.

Для определения состояния и прогноза развития АПС разработан функциональный модуль, который реализует следующие аналитические возможности: анализ технологической эффективности использования гидротермических условий в растениеводстве, анализ эффектов от специализации производства, анализ потребительского и производственного поведения.

Литература.

1. Perdana S. *Global carbon abatement equilibria: a reassessment: Doctoral Thesis. The University of Western Australia, 2018.* doi: 10.26182/5cee02b0e66a0.
2. *Methods and approaches to modelling the Anthropocene / P. Verburg, J. Dearing, J. Dyke, et al. // Global Environmental Change. 2016. No. 39. Pp. 328–340.* doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.08.007.
3. *From integrated to integrative: Delivering on the Paris agreement / H. Doukas, A. Nikas, M. Gonzalez-Eguino, et al. // Sustainability. 2018. Vol. 10. No. 7. Pp. 2299.* doi: 10.3390/su10072299.
4. *Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation / J. Doelman, E. Stehfest, A. Tabeau, et al. // Global Environmental Change. 2018. No. 48. Pp. 119–135.* doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014.
5. *Weyant J. Some contributions of integrated assessment models of global climate change // Review of Environmental Economics and Policy. 2017. Vol. 11. No. 1. Pp. 115–137.* doi: 10.1093/reep/rew018.
6. *Integrated assessment models of climate change economics / W. Zheng, W. Jing, L. Changxin, et al. Singapore: Springer, 2017.* doi: 10.1007/978-981-10-3945-4.
7. *Влияние изменения климата на размещение отраслей сельского хозяйства России / Н. М. Светлов, С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, и др. // Проблемы прогнозирования. 2019. № 4 (175). С. 59–74.* doi: 10.1134/S1075700719040154.
8. *Сиптиц С. О., Романенко И. А., Евдокимова Н. Е. Сценарные прогнозы влияния развития интеграционных процессов на продуктовые рынки Евразийского экономического союза // Проблемы прогнозирования. 2019. № 1. С. 142–153.* doi: 10.1134/S1075700719010131.

References

1. Perdana S. *Global carbon abatement equilibria: a reassessment [dissertation]. The University of Western Australia; 2018.* doi: 10.26182/5cee02b0e66a0.
2. *Verburg P, Dearing J, Dyke J, et al. Methods and approaches to modelling the Anthropocene. Global Environmental Change. 2016;(39):328-40.* doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.08.007.
3. *Doukas H, Nikas A, Gonzalez-Eguino M, et al. From integrated to integrative: Delivering on the Paris agreement. Sustainability. 2018;10(7):2299.* doi: 10.3390/su10072299.
4. *Doelman J, Stehfest E, Tabeau A, et al. Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation. Global Environmental Change. 2018;(48):119-5.* doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014.
5. *Weyant J. Some contributions of integrated assessment models of global climate change. Review of Environmental Economics and Policy. 2017;11(1):115-37.* doi: 10.1093/reep/rew018.
6. *Zheng W, Jing W, Changxin L, et al. Integrated assessment models of climate change economics. Singapore: Springer; 2017.* doi: 10.1007/978-981-10-3945-4.
7. *Svetlov NM, Siptits SO, Romanenko IA, et al. [The impact of climate change on the distribution of agricultural sectors in Russia]. Problemy prognozirovaniya. 2019;(4):59-74. Russian.* doi: 10.1134/S1075700719040154.
8. *Siptits SO, Romanenko IA, Evdokimova NE. [Scenario forecasts of the impact of the development of integration processes on food markets of the Eurasian Economic Union]. Problemy prognozirovaniya. 2019;(1):142-53. Russian.* doi: 10.1134/S1075700719010131.