

УДК 330.4 : 631.1 : 551.583 : 519.24 : 330.16 : 631.559

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ СИСТЕМ  
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

© 2023 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, г. Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 03.02.2023

Региональные агропродовольственные системы сталкиваются в настоящее время с проблемами глобального изменения климата, которое на местном уровне нелинейно и не однонаправленно, а также с проблемой обеспечения продовольственной независимости региона, которая особенно актуальна по молоку. Методы математического моделирования содержат необходимый инструментарий для определения параметров устойчивого развития для достижения поставленных целей. Проблемы адаптации региональных агропродовольственных систем к климату и их низкоуглеродной трансформации необходимо решать, учитывая множественные связи между отраслями и процессами внутри систем с использованием междисциплинарных подходов при моделировании.

*Ключевые слова:* Самарская область, устойчивое развитие, прогнозирование, климат, урожайность, потребление, молоко, корреляционно-регрессионный анализ.

DOI: 10.37313/2782-6562-2023-2-1-17-23

EDN: UPONU1

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время продовольственная безопасность стала одной из наиболее острых проблем в мире, а также одной из основных задач отечественного АПК, закрепленной законодательно в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации. Устойчивое развитие агропродовольственных систем существенно зависит от своевременного и эффективного внедрения новаторских технологий, и прежде всего, цифровых решений в практику сельского хозяйства для сокращения отходов, оптимизации затрат и повышения урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных. Применение цифровых технологий дает производителям точные данные в режиме реального времени относительно различных факторов, влияющих на их производительность. Анализ результатов помогает производителям, регулирующим органам и ученым принимать обоснованные решения.

Сельское хозяйство подвержено всем основным экономическим и геополитическим вызовам современности, особенно, ускорению процессов глобального изменения климата и своевременной адаптации к этим изменениям, а также требованиям минимизации воздействия сельскохозяйственного производства на окружающую среду и связанной с этим низкоуглеродной трансформации агропродовольственных систем.

*Евдокимова Наталья Егоровна, кандидат экономических наук. E-mail: n.e.evdokimova@vniiesh.ru*

Агропродовольственные системы - это сложные социо-эколого-экономические системы с многочисленными связями и взаимодействиями между системными компонентами и процессами. Системный характер этих взаимозависимостей и взаимодействий требует системных подходов и интегрированных инструментов оценки. Математическое моделирование агропродовольственных систем с целью понимания и улучшения ее основных параметров в динамике является в настоящее время основным инструментом по анализу изменений и разработке мер регулирования для целевого управления системой. Системный характер устойчивости требует системных подходов в разработке стратегий устойчивого развития и на региональном уровне. Из-за устоявшейся исторически специализации и взаимозависимости регионов сложность трансформационных и адаптационных задач с соблюдением критериев устойчивого развития увеличивается.

Исследование влияния климатических параметров на производство сельскохозяйственных культур с использованием математического моделирования началось задолго до цифровизации на рубеже XIX-XX веков. В России это работы А.Ф. Фортунатова, А.И. Чупрова, В.М. Обухова и других. Из зарубежных исследований можно назвать работу канадца Дж.У. Хопкинса [1]. Большинство ранних исследований были проведены с целью выявления закономерностей размеров урожайности от климатических параметров (преимущественно, температур и осадков) или размещения культур от региональных особен-

ностей. Дальнейшее развитие моделей пошло двумя основными подходами: моделирование роста сельскохозяйственных культур (например, [2, 3]) и регрессионно-корреляционный анализ на базе временных рядов данных (например, [4, 5]). В региональном масштабе у нас в стране исследования влияния метеорологических условий на продуктивность и качество урожая проводятся территориальных исследовательских центрах и регулярно публикуются [6 - 9].

В целом многочисленные эмпирические подходы пока дают неоднозначные результаты, частично обусловленные спецификациями моделей, используемыми погодными данными и местоположением. Что касается температурных эффектов, ожидается, что глобальное потепление окажет негативное влияние на глобальную урожайность основных зерновых культур и это снижение урожайности при росте глобальных температур могут свести на нет рост урожайности, достигаемый благодаря технологическому прогрессу.

В работе китайских исследователей [10] с использованием регрессионной модели показано, что прогнозируемое повышение температуры к концу текущего столетия окажет негативное влияние на урожайность кукурузы и сои в Китае, при этом урожайность сои сократится сильнее, чем кукурузы. Регрессионные модели, построенные в работе [11] на данных полевых наблюдений, показывают, что температурные пороги выше 29°C для кукурузы, 30°C для сои и 32°C хлопка могут оказывать критически вредное воздействие на их урожайность.

Территориальная агропродовольственная система исторически развивалась во взаимосвязи скотоводства и земледелия. Углубление специализации стран и регионов в период «зеленой революции» во многом разорвало эту связь, которая в последнее время с принятием Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года и федерального проекта «Экономика замкнутого цикла», с ростом понимания важности продовольственной независимости регионов (пандемии, геополитические вызовы и т.п.) приобретает особое значение.

Самарская область исторически всегда была регионом с развитым сельским хозяйством, который обеспечивал продовольствием своих жителей и вывозил излишки на продажу за свои пределы. Соотношение объемов производства отраслей в регионе менялось во времени. Так, в начале 90-х годов прошлого века продукция животноводства в действующих ценах превышала в 1,5 раза продукцию растениеводства, а с 2020 года растениеводство более чем в 2 раза дает продукции больше животноводства. Конечно, такая динамика вызвана не природно-климатическими факторами, а социально-экономическими

событиями последних десятилетий. Однако, задача устойчивого развития региона неразрешима без понимания влияния трансформационных процессов на отраслевую структуру.

Перед животноводческой отраслью, с одной стороны, стоит задача увеличения производства, поскольку, например, в нашей стране пока не достигнуты целевые показатели продовольственной безопасности по молоку, а также решать проблемы, связанные с экологичностью производства. Разнонаправленные на первый взгляд цели и критерии развития можно системно проанализировать с помощью моделирования. Однако, реально действующих моделей регионального и национального уровня с возможностями оценки влияния климатических, адаптационных и экологических факторов на развитие животноводства в мире значительно меньше, чем рассмотренных выше для растениеводства.

Из моделей мирового и национального уровня, разработанной специалистами ФАО, следует назвать модель GLEAM (Global Livestock Environmental Assessment Model) для количественной оценки производства и использования природных ресурсов в животноводстве и определения его воздействия на окружающую среду, чтобы выработать сценарии адаптации и смягчения последствий глобального потепления для перехода к устойчивому развитию [12]. GLEAM относительно новая разработка и требует дальнейшего развития с целью повышения достоверности методов прогнозирования, используемых для оценок эмиссии парниковых газов от производственных режимов, а также расширении учета в модели факторов воздействия на окружающую среду.

**Цель исследования** состоит в моделировании влияния изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур в Самарской области, а также анализе современных стратегических вызовов, затрагивающих производство молока, таких как изменение климата и низкоуглеродной трансформации региональных агропродовольственных систем, на потребление молока и молочной продукции в регионе в зависимости от изменения динамики основных факторов влияния.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные для расчетов в статье получены с Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации и из Самарских статистических ежегодников с сайта территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Самарской области (САМАРАСТАТ) и с сайта Исторические материалы (<https://istmat.org>).

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) систематизировала актуальные научные гипотезы о вероятных сценариях развития ситуации на нашей планете и ее отражении на эмиссии парниковых газов в прогнозной динамике. С противоположной точки зрения этот подход можно представить так: поскольку практически невозможно точно спрогнозировать концентрацию парниковых газов в атмосфере будущего, то наиболее вероятные тренды этих концентраций были агрегированы в несколько укрупненных сценариев. Это сценарии Репрезентативных траекторий концентраций (RCP - Representative Concentration Pathway). Остановимся на двух наиболее вероятных: RCP8.5 и RCP4.5.

RCP8.5 – это базовый, инерционный сценарий развития ситуации, так как он сформирован в предположении отсутствия мер регулирования по адаптации и противодействия изменению климата. RCP8.5 применяется для оценки результативности и стоимости мер смягчения негативных последствий изменения климата или противодействия этим изменениям.

RCP4.5 – это сценарий при котором меры, предпринятые человечеством, приводят к стабилизации радиационного воздействия на уровне  $4,5 \text{ Вт/м}^2$  к 2100-му году без превышения этого значения с настоящего момента в будущем. RCP4.5 нужен для изучения эволюции ситуации при умеренных усилиях по стабилизации антропогенных компонентов влияния на климат.

Для расчетов в данной статье были использованы результаты прогнозирования климатиче-

ских параметров по сценариям RCP8.5 и RCP4.5 на период до 2100 года Российским институтом вычислительной математики РАН на модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) INM CM4.0, а именно, временные ряды среднемесячных температур для Самарской области с 2021 по 2100 годы. Прогноз среднемесячных температур в июле для Самарской области визуализирован на графике рисунка 1.

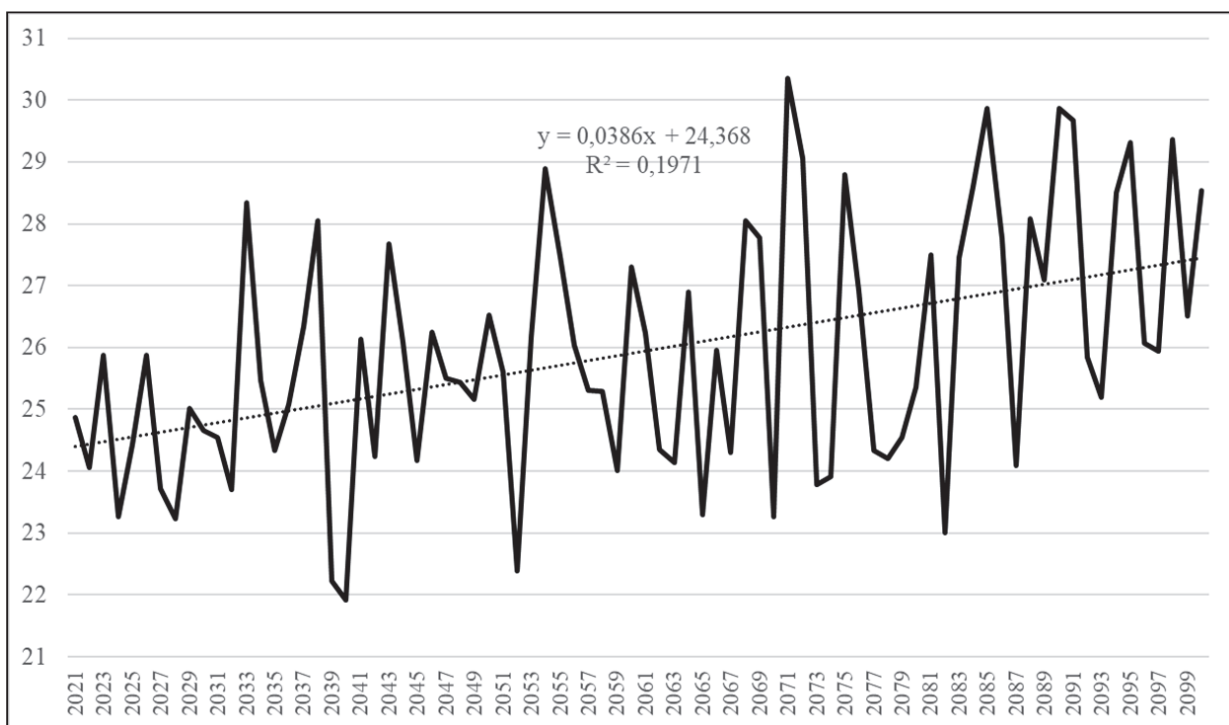
Средняя температура июля за последнее десятилетие текущего века по сценарию RCP8.5 превышает аналогичное прогнозное значение RCP4.5 на  $2,19^\circ\text{C}$ .

Результаты расчетов в данной работе получены с использованием методов корреляционно-регрессионного моделирования. Метод получения производственной функции урожайности от средних температур подробно описан автором в работе [13].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 даны результаты расчетов средних за соответствующее десятилетие (сглаженные значения лучше показывают направление изменения переменной) фактических и прогнозных урожайностей сельскохозяйственных культур, при условии изменения только температурного фактора и сохранении всех остальных (инвестиций, технологий и т.п.) факторов на среднем уровне за 2011-2020 годы в Самарской области.

Как можно видеть в последнем столбце таблицы 1, повышение температур по обоим сце-



**Рис. 1.** Прогноз средней температуры июля климатической модели МОЦАО INM CM4.0 ИВМ РАН по сценарию RCP8.5 для Самарской области с выделением линейного тренда, градусов Цельсия

**Таблица 1.** Прогноз урожайностей зернобобовых культур в Самарской области, ц/га

	Фактическая средняя урожайность за период		Прогнозная средняя урожайность за соответствующее десятилетие								Разница между 2011-2020 и 2091-2100
	2001-2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070	2071-2080	2081-2090	2091-2100	
По сценарию RCP8.5											
Пшеница озимая	16,7	24,11	23,97	23,85	23,38	23,27	23,38	23,17	21,64	21,80	-2,31
Пшеница яровая	11,9	17	16,70	16,50	15,91	15,78	15,91	15,68	14,18	14,33	-2,67
Овес	12,9	15,52	15,47	15,39	15,16	15,10	15,16	15,06	14,38	14,45	-1,07
Горох	14,1	15,71	15,62	15,50	15,12	15,03	15,12	14,96	13,88	13,99	-1,72
Гречиха	6,65	9,13	9,03	8,91	8,55	8,47	8,55	8,41	7,52	7,61	-1,52
Кукуруза на зерно	18,3	31,57	30,99	30,19	27,64	27,04	27,62	26,56	19,26	20,01	-11,56
Просо	9,32	11,97	11,91	11,80	11,44	11,35	11,44	11,27	10,07	10,20	-1,77
Рожь озимая	14,9	18,33	18,19	18,01	17,45	17,32	17,45	17,22	15,69	15,84	-2,49
Сорго	7,93	13,31	13,38	13,43	13,37	13,32	13,36	13,28	12,35	12,47	-0,84
Ячмень яровой	12,2	16,23	16,12	15,96	15,48	15,36	15,47	15,28	13,94	14,07	-2,16
Соя	8,18	14,34	14,23	14,08	13,64	13,53	13,63	13,45	12,22	12,35	-1,99
Тритикале	16,6	20,12	19,92	19,65	18,82	18,63	18,81	18,48	16,22	16,45	-3,67
По сценарию RCP4.5											
Пшеница озимая	16,7	24,11	23,25	24,09	24,12	23,92	24,07	23,94	23,17	22,54	-1,57
Пшеница яровая	11,9	17	17,60	17,42	17,35	17,54	16,90	16,65	15,67	15,03	-1,97
Овес	12,9	15,52	15,50	15,65	15,64	15,64	15,53	15,45	15,06	14,77	-0,75
Горох	14,1	15,71	15,71	15,93	15,92	15,92	15,73	15,59	14,96	14,51	-1,20
Гречиха	6,65	9,13	9,63	9,48	9,44	9,57	9,16	9,00	8,41	8,02	-1,11
Кукуруза на зерно	18,3	31,57	31,56	33,04	32,96	32,96	31,72	30,80	26,53	23,49	-8,08
Просо	9,32	11,97	11,35	12,00	12,03	11,87	11,98	11,88	11,27	10,78	-1,19
Рожь озимая	14,9	18,33	18,60	18,73	18,70	18,77	18,37	18,15	17,21	16,57	-1,76
Сорго	7,93	13,31	10,46	12,50	12,69	11,96	13,28	13,40	13,28	12,95	-0,36
Ячмень яровой	12,2	16,23	16,39	16,56	16,53	16,57	16,26	16,08	15,27	14,71	-1,52
Соя	8,18	14,34	14,56	14,66	14,64	14,69	14,37	14,20	13,44	12,93	-1,41
Тритикале	16,6	20,12	20,55	20,73	20,67	20,78	20,17	19,85	18,47	17,52	-2,60

Источник: рассчитано автором

нариям негативно отразится на урожайностях этих культур в регионе. Сильнее всего при обоих сценариях пострадает урожайность кукурузы на зерно и тритикале, а также яровой пшеницы. Тем не менее, усилия по реализации сценария RCP4.5 будут обоснованы меньшим снижением урожайностей всех представленных в таблице 1 выращиваемых в регионе культур.

Урожайность зернобобовых культур лежит в основе продовольственной безопасности по зерну, читайте - хлебу, а урожайность кормовых культур определяет продовольственную независимость региона по мясу и молоку, как фактор местного обеспечения рационов скота, а, следовательно, и предложения мясной и молочной продукции. Со стартом федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» оценка региональной независимости по кормам приобретает особое значение, а доля пастбищного производ-

ства животноводческой продукции имеет особое значение, как для оценки доли органического сельского хозяйства, так и для оценки эмиссии парниковых газов в регионе, поскольку это более экологичный способ. Продовольственная независимость регионов – это не только базис продовольственной безопасности России, но и с точки зрения выполнения «Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» - соблюдение критерия снижения объемов перевозок с целью минимизации энергозатрат.

Как можно видеть в таблице 1, глобальное потепление не будет способствовать росту урожайности в Самарской области. Это обстоятельство в определенной степени будет влиять на стоимость зерна и кормов. Оценить чувствительность населения к ценам на молоко можно с помощью функции потребления:

$$P = a D^d C^s, \quad (1)$$

где  $P$  – потребление молока и молочных продуктов в килограммах на человека в год,

$D$  – среднедушевой доход в рублях,

$C$  – цена молока питьевого цельного, руб./кг,

$d$  и  $s$  – эластичности,

$a$  – свободный член.

Логарифмирование выражения (1) позволяет линеаризовать искомую зависимость. Для расчетов была использована программа STATISTICA 6.0. Результаты расчетов параметров модели приведены в первом столбце таблицы 2.

**Таблица 2.** Параметры лог-линейной регрессии потребления молока и молокопродуктов от доходов населения и цен на молоко для разных временных периодов

Данные за годы:	1990-2020	1990-1997	1998-2005	2006-2013	2014-2020	1998-2020
Коэффициенты регрессии:						
свободный член $a$	5,127	5,432	4,568	5,095	5,209	4,672
при доходе $d$	0,06		0,093	0,039	0,027	0,0807
при цене за молоко $s$	-0,078	-0,045				
Значение $R^2$	0,51	0,82	0,71	0,69	0,6	0,95

Источник: рассчитано автором

Довольно низкое значение  $R^2$  подсказывает, что влияние факторов на потребление молока менялось в динамике. Для того, чтобы подробнее изучить смену силы воздействия независимых переменных на зависимую, разобьем исходные временные ряды данных на периоды, которые представлены в следующих столбцах таблицы 2. Для этих интервалов рассчитаем аналогичные зависимости потребления молока от цены на молоко и среднедушевого дохода. Полученные эластичности представлены в 3 - 6 столбцах таблицы 2. По значениям эластичностей видно, что влияние цен на потребление молока превалировало только в 90-е годы, а затем уровень доходов населения стал основным ограничивающим фактором увеличения потребления в Самарской области. Расчет параметров функции потребления для исходных данных с 1998 по 2020 годы включительно дает хорошую зависимость величины среднедушевого потребления молока от доходов населения, что дополнительно доказывает важность роста доходов в регионе для увеличения рынка сбыта молочной продукции в регионе и улучшения рациона питания населения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ВИАПИ им. А.А. Никонова в настоящее время идут работы по созданию типовой экономико-математической модели низкоуглеродной трансформации агропродовольственных систем регионального уровня при условии их динамической адаптации к неблагоприятным климатическим изменениям [14, 15]. Использование

модельного инструментария дает возможность оценивать разные стратегии смягчения негативных климатических воздействий и оценивать системно последствия принятия комплексных мер регулирования в динамике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hopkins J.W. Weather and wheat yield in western Canada: I. Influence of rainfall and temperature during the growing season on plot yields // Canadian Journal of Research. – 1935. – Т. 12. – №. 3. – С. 306-334.
- Lobell D.B., Ortiz-Monasterio J.I. Impacts of day versus night temperatures on spring wheat yields: a comparison of empirical and CERES model predictions in three locations // Agronomy journal. – 2007. – Т. 99. – №. 2. – С. 469-477.
- Галямин, Е.П. Модель формирования урожая агроценоза и ее идентификация / Е.П. Галямин, С.О. Сиптиц, Н.Н. Милютин // Принципы управления продукционными процессами в агроэкосистемах. – М.: Наука, 1976. – С. 96-115.
- Robertson G.W. Wheat yields for 50 years at Swift Current, Saskatchewan in relation to weather // Canadian Journal of Plant Science. – 1974. – Т. 54. – №. 4. – С. 625-650.
- Ilichev I. et al. Arable podzols are a substantial carbon sink under current and future climates: evidence from a long-term experiment in the Vladimir Region, Russia // Agronomy. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 90.
- Антимонов, А.К. Влияние метеорологических условий на продуктивность и качество зерна сорго зернового / А. К. Антимонов, Л. А. Косых, Л. Ф. Сыркина, О. Н. Антимонова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6(80). – С. 93-96.
- Косых, Л.А. Влияние агрометеорологических условий Среднего Поволжья на формирование продуктивности льна масличного / Л. А. Косых, А. В. Казарина // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 11(164). – С. 45-54. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-11-45-54.
- Шевченко, С.Н. Модели современных зональных технологий возделывания сельскохозяйственных культур для Самарской области / С. Н. Шевченко, О. И. Горянин, Л. Ф. Лигастаева // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 5. – С. 14-16.
- Долженко, Д.О. Оценка параметров среды в селекции ярового ячменя на адаптивность в Среднем Поволжье / Д.О. Долженко, И.И. Кривобочек, С.Н. Шевченко // Эволюция научных технологий в растениеводстве. Том 2. – Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2004. – С. 187-192.

10. *Chen S., Chen X., Xu J.* Impacts of climate change on corn and soybean yields in China. – AAEA & CAES Joint Annual Meeting, Washington, DC, Agricultural and Applied Economics Association, – 2013. 149739.
11. *Schlenker W., Roberts M.J.* Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2009. – Т. 106. – №. 37. – С. 15594-15598.
12. *Liu J. et al.* Contributions of anthropogenic forcings to evapotranspiration changes over 1980–2020 using GLEAM and CMIP6 simulations // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2021. – Т. 126. – №. 22. – С. e2021JD035367.
13. *Романенко, И.А.* Сценарное прогнозирование производства зерновых культур в регионах России в зависимости от экстремальных климатических параметров / И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 3. – С. 81-87.
14. *Сиптиц, С.О.* Агрегированная динамическая модель адаптации агропродовольственных систем к неблагоприятным климатическим изменениям / С.О. Сиптиц // Экономика сельского хозяйства России. – 2023. – № 6. – С. 75-79.
15. *Сиптиц, С.О.* Типовая экономико-математическая модель низкоуглеродной трансформации агропродовольственных систем регионального уровня и ее применение для оценки эффективности таких стратегий / С.О. Сиптиц // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2023. – Т. 1. – № 10(139). – С. 57-71.

## FORECASTING OF PARAMETERS OF AGRIFOOD SYSTEMS UNDER CLIMATE CHANGE

© 2023 N.E. Evdokimova

All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A.A. Nikonov –  
Branch of the Federal State Budgetary Institution FSC VNIIESKh, Moscow, Russia

Regional agri-food systems are currently faced with the problems of global climate change, which at the local level is non-linear and not unidirectional, as well as the problem of ensuring the food independence of the region, which is especially relevant for milk. Mathematical modeling methods contain the necessary tools for determining the parameters of sustainable development when the conditions for achieving the set goals are met. Problems of adaptation of regional agri-food systems to climate and their low-carbon transformation need to be addressed, taking into account multiple connections between sectors and processes within systems using interdisciplinary approaches to modeling.

*Keywords:* Samara region, sustainable development, forecasting, climate, yield, consumption, milk, correlation and regression analysis.

DOI: 10.37313/2782-6562-2023-2-1-17-23

EDN: UPONU1

## REFERENCES

1. *Hopkins J.W.* Weather and wheat yield in western Canada: I. Influence of rainfall and temperature during the growing season on plot yields // Canadian Journal of Research. – 1935. – Т. 12. – №. 3. – С. 306-334.
2. *Lobell D.B., Ortiz-Monasterio J.I.* Impacts of day versus night temperatures on spring wheat yields: a comparison of empirical and CERES model predictions in three locations // Agronomy journal. – 2007. – Т. 99. – №. 2. – С. 469-477.
3. *Galyamin, E.P.* Model' formirovaniya urozhaya agrocenoza i ee identifikaciya / E.P. Galyamin, S.O. Siptic, N.N. Milyutin // Principy upravleniya produkcionnymi processami v agroekosistemah. – М.: Nauka, 1976. – С. 96-115.
4. *Robertson G.W.* Wheat yields for 50 years at Swift Current, Saskatchewan in relation to weather // Canadian Journal of Plant Science. – 1974. – Т. 54. – №. 4. – С. 625-650.
5. *Ilichev I. et al.* Arable podzols are a substantial carbon sink under current and future climates: evidence from a long-term experiment in the Vladimir Region, Russia // Agronomy. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 90.
6. *Antimonov, A.K.* Vliyanie meteorologicheskikh uslovij na produktivnost' i kachestvo zerna sorgo zernovogo / A.K. Antimonov, L.A. Kosyh, L.F. Syrkina, O.N. Antimonova // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 6(80). – С. 93-96.
7. *Kosyh, L.A.* Vliyanie agrometeorologicheskikh uslovij Srednego Povolzh'ya na formirovanie produktivnosti l'na maslichnogo / L.A. Kosyh, A.V. Kazarina // Vestnik Kras-GAU. – 2020. – № 11(164). – С. 45-54. – DOI 10.36718/1819-4036-2020-11-45-54.
8. *Shevchenko, S.N.* Modeli sovremennykh zonal'nykh tekhnologij vozdeystviya sel'skohozyajstvennykh kul'tur dlya Samarskoj oblasti / S. N. Shevchenko, O. I. Goryanin, L. F. Ligasteva // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2009. – № 5. – С. 14-16.
9. *Dolzhenko, D.O.* Ocenka parametrov sredy v selekcii yarovogo yachmenya na adaptivnost' v Srednem Povolzh'e / D. O. Dolzhenko, I. I. Krivobocheck, S. N. Shevchenko // Evolyuciya nauchnykh tekhnologij v rastenievodstve. Tom 2. – Krasnodar: OOO «Prosveshchenie-Yug», 2004. – С. 187-192.
10. *Chen S., Chen X., Xu J.* Impacts of climate change on corn and soybean yields in China. – AAEA & CAES Joint Annual Meeting, Washington, DC, Agricultural and Applied Economics Association, – 2013. 149739.
11. *Schlenker W., Roberts M.J.* Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields

- under climate change //Proceedings of the National Academy of sciences. – 2009. – Т. 106. – №. 37. – S. 15594-15598.
12. Liu J. et al. Contributions of anthropogenic forcings to evapotranspiration changes over 1980–2020 using GLEAM and CMIP6 simulations // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2021. – Т. 126. – №. 22. – S. e2021JD035367.
  13. Romanenko, I.A. Scenarnoe prognozirovanie proizvodstva zernovyh kul'tur v regionah Rossii v zavisimosti ot ekstremal'nyh klimaticheskikh parametrov / I.A. Romanenko, N.E. Evdokimova // Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii. – 2021. – № 3. – S. 81-87.
  14. Siptic, S. O. Agregirovannaya dinamicheskaya model' adaptacii agroprodukov'stvennyh sistem k neblagopriyatnym klimaticheskim izmeneniyam / S.O. Siptic // Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii. – 2023. – № 6. – S. 75-79.
  15. Siptic, S.O. Tipovaya ekonomiko-matematicheskaya model' nizkouglerodnoj transformacii agroprodukov'stvennyh sistem regional'nogo urovnya i ee primenenie dlya ocenki effektivnosti takih strategij / S. O. Siptic // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. – 2023. – Т. 1, № 10(139). – S. 57-71.