

---

## ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ЮГА РОССИИ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ<sup>1</sup>

---

**Кумратова Альфира Менлигуловна**<sup>1,2</sup>, канд. экон. наук, доц.  
**Алещенко Виталий Викторович**<sup>2</sup>, д-р экон. наук

<sup>1</sup> Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: kumratova.a@edu.kubsau.ru

<sup>2</sup> Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, Россия, 630090; e-mail: 564435@mail.ru

*Цель:* в настоящей статье представлена оценка согласованности прогнозов метеофакторов с прогнозами показателей продуктивности зернового производства на базе вычисленного коэффициента конкордации Кендалла, который позволяет системно учитывать все разнообразие воздействующих метеофакторов, используя взаимно-дополняющие методы и подходы к прогнозированию продуктивности зернового производства. *Обсуждение:* предложенные и апробированные авторами методы нелинейной динамики представлены в виде синергетического подхода, учитывающего циклический характер и современную волатильность протекания природных процессов и явлений, влияющих на экономические показатели продуктивности зернового производства регионов России. *Результаты:* предложенный подход агрегирует расчёты прогнозных моделей метеофакторов с помощью кластерного анализа, определяет степень их согласованности с прогнозами показателей продуктивности зернового производства.

**Ключевые слова:** экономические показатели зернового производства, конкордация Кендалла, предпрогнозный анализ, R/S-анализ, метод искусственного интеллекта.

**DOI:** 10.17308/meps.2022.2/2769

### Введение

Согласно Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года заложен рост валового производства зерна до 150,3 млн тонн (в оптимистическом сценарии), с увеличением экспорта до 63,6 млн тонн. Увеличение продуктивности зернового производства России планируется за счет ввода в эксплуатацию неиспользуемых земель

---

<sup>1</sup> Статья подготовлена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект № 121040100279-5.

сельхозназначения, увеличения посевных площадей, повышения урожайности зерновых и зернобобовых культур. На продуктивность зернового производства влияют природно-климатические условия, именно они определяют качество зерновой продукции, затраты и комплекс применяемых агротехнологических мероприятий [2].

В качестве инструментария для анализа и прогнозирования временных рядов (ВР) социально-экономических показателей, включая урожайность зерновых культур, не удовлетворяющих условиям эконометрического анализа, в работе используются модели линейных клеточных автоматов – дискретных динамических систем с распределённым управлением. Это подходящий класс алгоритмических моделей, использующих простые динамические правила на уровне элементов, которые могут демонстрировать необычайно усложненное практически непредсказуемое коллективное поведение на системном уровне. Клеточный автомат был практически воплощён Джоном фон Нейманом с целью воспроизвести поведение сложных пространственно-протяжённых систем. Клеточным автоматом называется сеть из однородной решетки элементарных ячеек, меняющих своё состояние последовательно шаг за шагом в дискретные моменты времени в зависимости от состояния элемента и его ближайших соседей в предшествующий момент времени в соответствии с некоторыми локально определенными правилами перехода. Эти правила одинаково действуют на все элементы множества в дискретном временном отрезке. В общем случае ячейки в клеточном автомате могут принимать одно из  $k$  различных состояний («цветов»). Понятие клеточного автомата является весьма общим и может охватывать традиционные модели как в дискретном, так и в непрерывном представлении [1].

### **Методология исследования**

Объединение различных методов нелинейной динамики с использованием платформы [4, 6] позволяет сформировать кластер локальных прогнозов показателей продуктивности, на базе которого можно получить значение конкордации Кендалла [5]. Значение коэффициента Кендалла определяет достоверность применяемой методики (рис. 1) для прогнозирования показателей продуктивности зернового производства.

Обобщение прогнозных расчетов значений показателей продуктивности зернового производства в один итоговый показатель осуществлено на основе расчета коэффициента конкордации Кендалла (коэффициента множественной ранговой корреляции) для того, чтобы выявить согласованность мнений экспертов о взаимосвязанности рассматриваемых факторов. Эта оценка необходима для определения адекватности выбранных методов:

$$K = \frac{12R}{m^2(n^3 - n)}, \quad (1)$$

где  $R$  – сумма квадратов разностей рангов;  $m$  – количество методов;  $n$  – количество факторов.

## Таргетирование 4-хмерного пространства локальных прогнозов

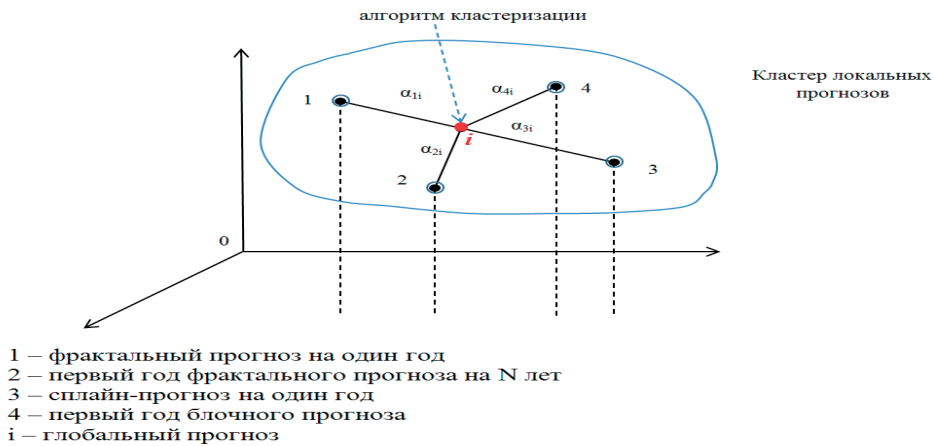


Рис. 1. Многомерное пространство прогнозирования продуктивности зернового производства на базе синергетической методологии: (1 – прогноз показателя продуктивности зернового производства методом фазового анализа; 2 – прогноз показателя продуктивности зернового производства методом R/S-анализа; 3 – прогноз показателя продуктивности зернового производства на базе линейного клеточного автомата;...; i – значение конкордации Кендалла)

Достоверность предлагаемого подхода рассмотрим на основе значений временных рядов показателей продуктивности зернового производства – урожайности озимой пшеницы ряда регионов Юга России: Карачаево-Черкесской Республики (зона рискового земледелия) и Краснодарского края. В отличие от Карачаево-Черкесии природно-климатические условия Краснодарского края в основном благоприятны для отрасли растениеводства. Территория Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) относится к зоне рискового земледелия, т.к. он практически каждый год подвергается воздействию грозоградных явлений, рельеф региона и природно-климатические условия способствуют их возникновению.

Временные ряды основных сельскохозяйственных культур [3] обозначены через  $u_i^k$ , где индексом  $k=1$  пронумерован ВР значений урожайности по территории Краснодарского края; индекс  $k=2$  соответствует ВР значений урожайности по территории КЧР; индексом  $i=1,2,\dots,n$  обозначены года наблюдений. На выходе имеем временные ряды:

– по Краснодарскому краю за период 1966-2018 гг.:

$u_1^1$  – ВР значений урожайностей зерновых и зернобобовых обозначен «Зерновые и зернобобовые\_КК» (1870-2018 гг.);

$u_2^1$  – ВР значений урожайностей озимого ячменя – «Озимый ячмень\_КК»;

$u_3^1$  – ВР урожайности кукурузы на зерно обозначен «Кукуруза\_КК»;

$u_4^1$  – ВР урожайностей зернобобовых культур – «Зернобобовые\_КК»;

$u_5^1$  – временной ряд значений урожайностей риса обозначен «Рис\_КК»;

– по Карачаево-Черкесской Республике за период 1952-2018 гг.:

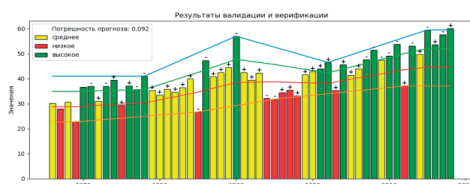
$u_6^2$  – ВР урожайности кукурузы на зерно обозначен «Кукуруза\_КЧР»;

$u_7^2$  – ВР урожайности картофеля обозначен «Картофель\_КЧР»;

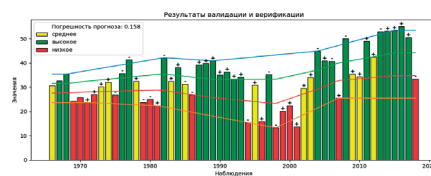
$u_8^2$  – ВР урожайности подсолнечника обозначен «Подсолнечник\_КЧР»;

$u_9^2$  – ВР урожайности сахарной свеклы обозначен «Свекла\_КЧР».

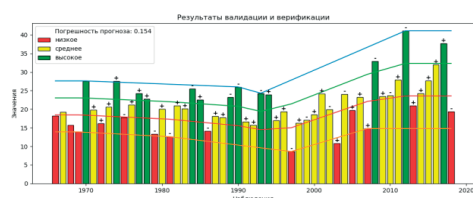
В работе представлены трехцветные модели раскраски ВР  $u_i^1$ : Н – низкий, С – среднее и В – высокий уровень ожидаемой урожайности (в соответствии с рисунками 2-3, результаты верификации по временным рядам «Пшеница\_КК» и «Пшеница\_КЧР» представлены на рисунках 2д и 3д) [4].



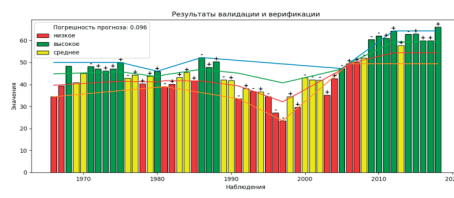
а) временной ряд «Озимый ячмень\_КК»



б) временной ряд «Кукуруза\_КК»



в) временной ряд «Зернобобовые\_КК»



г) временной ряд «Рис\_КК»



д) временной ряд «Пшеница\_КК»

Рис. 2. Графическое изображение результата работы линейного клеточного автомата в исследовании показателей продуктивности зернового производства Краснодарского края

В ходе исследования указанных временных рядов можно сделать вывод: используя терминологию лингвистических лексем, можно сказать, что все циклы в представленных четырех временных рядах завершаются в момент «смены», т.е. в период реверса одной лингвистической лексемы на другой терм.

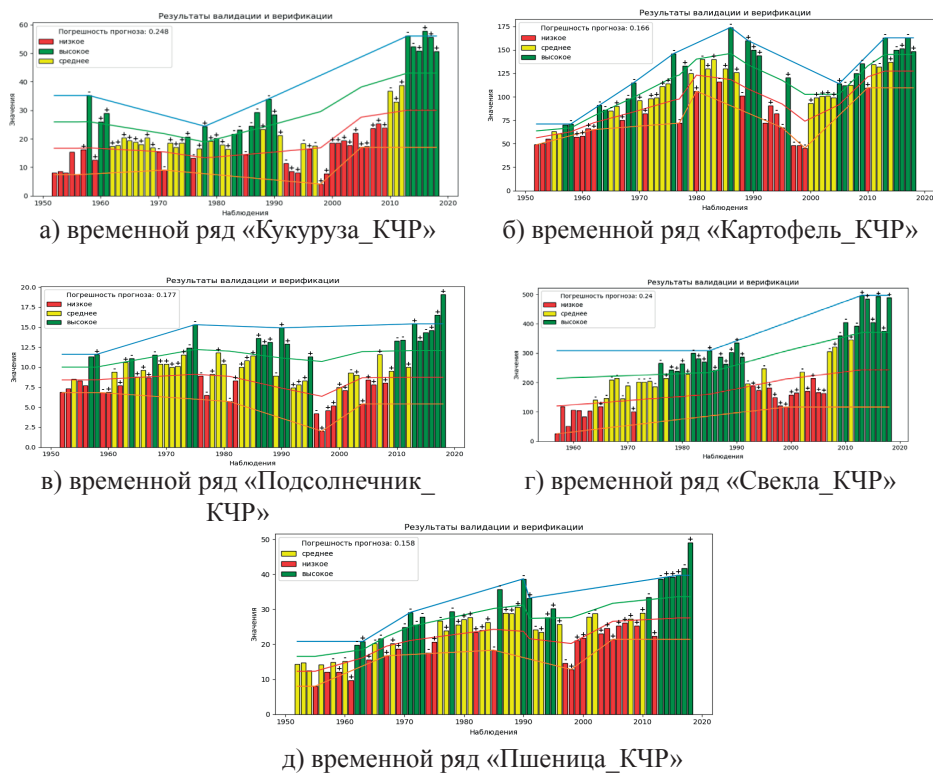


Рис. 3. Графическое изображение результата работы линейного клеточного автомата в исследовании показателей урожайности основных сельскохозяйственных культур КЧР

### Обсуждение результатов

В таблице 1 представлен сравнительный анализ результатов прогнозных моделей для исследуемых временных рядов.

Исходя из данных сводной таблицы 1, можно сделать следующие выводы:

1. Наблюдаемый коэффициент вариации практически для всех временных рядов больше 30%, исключениями являются ВР «Пшеница\_КК», «Озимый ячмень\_КК», «Зернобобовые\_КК», «Рис\_КК». Для перечисленных временных рядов урожайности сельхозкультур по Краснодарскому краю, ошибка прогноза не превышает значение 9,6%.

Таблица 1

Прогнозные характеристики применения линейного клеточного автомата и фазового анализа в комплексном исследовании временных рядов основных сельскохозяйственных культур двух регионов

Математические методы	Предпрогнозный анализ			Прогноз					
	Стат. параметр	Фазовый анализ		R/S-анализ	Линейный клеточный автомат			Скользящее среднее	
Наименование временного ряда	Коэффициент вариации, %	Наибольшая частота квазициклов, $m_i$	Длина квазицикла с max частотой, $d_i$	Точка срыва R/S-траектории	Глубина ряда, l	Ошибка прогноза (%)	Прогноз на 2019 год (ц/га)	Количество ломанных	Прогноз на 2019 год (ц/га)
Пшеница_КК	25,1	3	<b>4; 5; 6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	9,2	54,7	4	58,8
Зерновые и зернобобовые_КК	82,6	11	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	32,1	41,7	5	45,8
Озимый ячмень_КК	21,2	4	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	9,2	51,2	4	56,1
Кукуруза_КК	30,3	4	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	15,8	43	5	49,16
Зернобобовые_КК	28,9	4	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	15,4	28,2	4	28,2
Рис_КК	21,3	4	<b>4; 5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	9,6	59,8	5	62,3
Пшеница_КЧР	33,8	8	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	15,8	36,7	5	41,2
Кукуруза_КЧР	55	4	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	24,8	49,7	4	53,5
Картофель_КЧР	32,4	3	<b>4; 6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	16,6	134,9	7	152
Подсолнечник_КЧР	31,3	4	<b>4; 6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	17,7	14,1	4	15,5
Свекла_КЧР	46,8	4	<b>5; 6</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	24	431	2	447,8

2. Результаты глубины памяти, полученные на базе методов предпрогнозного анализа данных, находятся в окрестности значения глубины памяти, исчисленной на базе линейного клеточного автомата.

3. Прогноз с высокой величиной ошибки (более 30%) получен на базе линейного клеточного автомата только в одном случае, для временного

ряда «Зерновые и зернобобовые\_КК», что подтверждается самым высоким значением коэффициента вариации, равным 82,6%.

4. Величины ошибок прогноза для временных рядов урожайности по территории Краснодарского края меньше в сравнении с временными рядами урожайности зоны рискованного земледелия.

В ходе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что каждому циклу ВР характерны свойства персистентности [6], что позволяет в свою очередь обоснованно ставить вопрос о необходимости разработки экономико-математической модели для получения прогноза в будущем году величины ожидаемой урожайности основных сельскохозяйственных культур в лингвистических лексемах.

Прогнозы значений урожайностей в числовом виде для региона Карачаево-Черкесии в два раза ниже в отличие от Краснодарского края. Это обусловлено тем, что растениеводство как отрасль АПК в своей динамике имеет стохастический характер. Стохастичеку определяют нечеткие и многокритериальные факторы объективной и субъективной оценки, которые как в микроэкономическом, так и макроэкономическом масштабе порождают многообразные риски.

В таблице 2 представлены результаты расчетов значения коэффициента конкордации Кендалла для исследуемых временных рядов.

Таблица 2

Результат вычисления коэффициента конкордации Кендалла

Наименование ВР Методы нелинейной динамики	Осадки_КК	Ячмень_КК	Картофель_КЧР	Подсолнечник_КЧР	
R/S-анализ (точка срыва)	5	4	7	7	
Фазовый анализ (длина квазицикла с наиб. частотой, $d_s$ )	4	4	6	6	
ЛКА (глубина памяти, l)	5	5	6	6	
Pis (сумма рангов)	14	13	19	19	
Pcp (среднее значение)					16,25
Pis – Pcp (отклонение)	2,25	3,25	-2,75	-2,75	30,75
(Pis – Pcp) <sup>2</sup>	5,0625	10,5625	7,5625	7,5625	
Коэффициент конкордации Кендалла					0,68

Для вычисления коэффициента конкордации Кендалла в табл. 2 представлены расчеты: в качестве экспертов используются значения прогнозов, полученные на базе методов нелинейной динамики (R/S-анализ, фазовый

анализ, линейный клеточный автомат); в качестве критериев (объектов) привлечены исследуемые временные ряды («Осадки\_КК», «Ячмень\_КК», «Картофель\_КЧР», «Подсолнечник\_КЧР»). В таблице 2 каждая строка соответствует расчетным значениям соответствующего критерия. Таким образом, коэффициент конкордации Кендалла, равный  $K \approx 0.7$ , свидетельствует о тесной согласованности экспертных оценок, т.е. полученных прогнозных значений на базе методов нелинейной динамики.

Как видно, предложенный подход агрегирует расчёты прогнозных моделей метеофакторов с помощью кластерного анализа, определяет степень их согласованности с прогнозами показателей продуктивности зернового производства.

### Список источников

1. Беркович С.Я. *Клеточные автоматы как модель реальности: поиск новых представлений физических информационных процессов*. Пер. с англ. Москва, Изд-во МГУ, 1993.
2. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации на 2016-2025 годы и на перспективу до 2030 года [Электронный ресурс] / Министерство сельского хозяйства РФ. Доступно: <http://mcsx.ru/upload/iblock/959/959648abb188a76c11095d869e8bde94.pdf>.
3. Единая межведомственная информационно-статистическая система. Доступно: <https://www.fedstat.ru/indicator/> (дата обращения: 20.12.2021).
4. Кумратова А.М. Исследовательская «платформа» синергетического прогнозирования // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2017, no. 132, с. 581-591.
5. Кумратова А.М. Концептуальная основа получения и исследования максимального времени прогноза с заранее заданной точностью // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2017, no. 6(90), с. 23-31.
6. Петерс Э. *Хаос и порядок на рынках капитала*. Москва, Мир, 2000.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612899 Российская Федерация. Методы нелинейной динамики: № 2020611841: заявл. 20.02.2020: опубл. 05.03.2020 / А.М. Кумратова, К.А. Сивков; заявитель ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина».
8. *Сельское хозяйство в России*. 2019: Стат.сб./Росстат. Москва, 2019.
9. Чупин Р.И., Алещенко В.В., Алещенко О.А. Прогнозирование емкости рынка пшеницы на основе построения модели межрегионального межотраслевого баланса // *Маркетинг в России и за рубежом*, 2017, no. 1 (117), с. 78-92.
10. Prishchepov A.V., Ponkina E.V., Sun Z., Müller D. Revealing the determinants of wheat yields in the Siberian breadbasket of Russia with Bayesian networks // *Land Use Policy*, 2019, no. 80, pp. 21-31.
11. Schierhorn F., Famarzi M., Prishchepov A., Koch F., Müller D. Quantifying yield gaps in wheat production in Russia // *Environmental Research Letters*, 2014, no. 9, p. 084017.
12. Schierhorn F., Hofmann M., Adrian I., Bobojonov I., Müller D. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan // *Journal of Arid Environment*, 2020, no. 178, p. 104164.



---

# EVALUATION OF THE PRODUCTIVITY OF GRAIN PRODUCTION IN THE SOUTH OF RUSSIA BY METHODS OF NONLINEAR DYNAMICS

---

**Kumratova Alfira Menligulovna**<sup>1,2</sup>, Cand. Sc. (Econ.)

**Aleshchenko Vitaliy Viktorovich**<sup>2</sup>, Dr. Sc. (Econ.)

<sup>1</sup> Kuban State Agrarian University, st. Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: kumratova.a@edu.kubsau.ru

<sup>2</sup> Institute of Economics and Organization of Industrial Production, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademika Lavrentiev Ave., 17, Novosibirsk, Russia, 630090; e-mail: 564435@mail.ru

*Purpose:* this article presents an assessment of the consistency of forecasts of meteorological factors with forecasts of grain production productivity indicators based on the calculated Kendall's concordance coefficient, which allows systematically taking into account all the variety of influencing meteorological factors using mutually complementary methods and approaches to forecasting grain production productivity. *Discussion:* the methods of nonlinear dynamics proposed and tested by the authors are presented in the form of a synergetic approach that takes into account the cyclical nature and the current volatility of natural processes and phenomena affecting the economic performance of grain production in the regions of Russia. *Results:* the proposed approach aggregates calculations of forecast models of meteorological factors using cluster analysis, determines the degree of their consistency with forecasts of grain production productivity indicators.

**Keywords:** economic indicators of grain production, Kendall's concordance, predictive analysis, R/S analysis, artificial intelligence method.

## References

1. Berkovich S.Ya. *Kletochnie avtomati kak model realnosti: poisk novih predstavlenii fizicheskikh informatsionnih processov* [Cellular automata as a model of reality: the search for new representations of physical information processes]. Trans. from English. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1993.
2. Long-term strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation for 2016-2025 and for the future until 2030 [Electronic resource] / Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Available at: <http://mcx.ru/upload/iblock/959/959648abb188a76c11095d869e8bde94.pdf>.
3. Unified interdepartmental information and statistical system. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator> (accessed: 12.20.2021).
4. Kumratova, A.M. Issledovatel'skaya «platforma» sinergeticheskogo prognozirovaniya [Research "platform" of synergetic forecasting]. *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2017, no. 132, pp. 581-591.

5. Kumratova A.M. Kontseptualnaya osnova polucheniya i issledovaniya maksimalnogo vremeni prognoza s zaranee zadannoi tochnostuy [Conceptual basis for obtaining and researching the maximum forecast time with a predetermined accuracy]. *Modern Economy: problems and solutions*, 2017, no. 6(90), pp. 23-31.
6. Peters E. *Haos i poryadok na rynkah kapitala* [Chaos and order in capital markets]. Moscow, Mir, 2000.
7. Certificate of state registration of the computer program No. 2020612899 Russian Federation. Methods of nonlinear dynamics: № 2020611841: application 20.02.2020: publ. 05.03.2020 / A.M. Kumratova, K.A. Sivkov ; applicant FGBOU VO "KubGAU named after I.T. Trubilin".
8. Agriculture in Russia. 2019: Stat.sat./Rosstat. Moscow, 2019.
9. Chupin R.I., Aleshchenko V.V., Aleshchenko O.A. Forecasting the capacity of the wheat market on the basis of building a model of interregional intersectoral balance. *Marketing in Russia and abroad*, 2017, no. 1 (117), pp. 78-92.
10. Prishchepov A.V., Ponkina E.V., Sun Z., Müller D. Revealing the determinants of wheat yields in the Siberian breadbasket of Russia with Bayesian networks. *Land Use Policy*, 2019, no. 80, pp. 21-31.
11. Schierhorn F., Faramarzi M., Prishchepov A., Koch F., Müller D., Quantifying yield gaps in wheat production in Russia. *Environmental Research Letters*, 2014, no. 9, p. 084017.
12. Schierhorn F., Hofmann M., Adrian I., Bobojonov I., Müller D. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan. *Journal of Arid Environment*, 2020, no. 178, p. 104164.