

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И
ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ****Ф.Ф. Мухамадьяров, Е.А. Пермякова**

Реферат: Цель исследований - выявление тенденции и факторов изменчивости урожайности основных сельскохозяйственных культур Кировской области. Исследование проводили на основании данных территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кировской области за 2001-2020 гг. Анализ уравнений регрессии показал, что наиболее точно динамику урожайности за анализируемый период описывает полином 2 степени. Урожайность зерновых и зернобобовых культур за двадцатилетний период изменялась от 12,6 до 21,7 ц/га. Средняя урожайность по пятилетиям изменялась от 14,2 ц/га в 2001-2005 гг. до 19,6 ц/га в 2015-2020 гг. Коэффициент вариации урожайности по пятилетиям изменялся от 8,6 до 15,5%, а коэффициент устойчивости урожайности – от 91,4 до 84,5 %, соответственно. Самая высокая урожайность была достигнута в последнее пятилетие, что обусловлено применением интенсивных технологий производства. Помимо агротехники на урожайность оказывают действие и факторы агрометеорологического происхождения. Согласно результатам расчетов от влияния погодно-климатических условий зависит около 10% урожайности, соответственно, 90% вариации урожайности обусловлено культурой земледелия. По результатам расчетов положительных и отрицательных отклонений фактической урожайности от динамической средней выявлено, что прирост урожайности в благоприятные по погодно-климатическим условиям годы может составить 4,1 ц/га, а недобор урожайности в неблагоприятные годы будет в размере 3,7 ц/га. Расчет климатической составляющей по методике Пасова В.М. показал, что Кировская область относится к зоне умеренно устойчивых урожаев.

Ключевые слова: урожайность, изменчивость, устойчивость, динамика, тренд.

Введение: Изменчивость урожайности - это сложный процесс и характеристика отклонений от средней многолетней величины недостаточна. Изменчивость урожайности – это сочетание основной тенденции с колеблемостью уровней в отдельные периоды или моменты от основной тенденции. Снижение колеблемости, повышение устойчивости производства - важная экономическая проблема не только аграрного, но и других отраслей производства.

Знание зависимости сельскохозяйственных культур от влияния различных факторов позволяют принимать научно-обоснованные решения при планировании производства сельскохозяйственной продукции, и оценить эффект от внедрения различных мероприятий [1].

В целях оценки факторов, формирующих урожай, требуется глубокое познание не только экономических, технологических процессов, но и статистического обоснования проводимых мероприятий по возделыванию сельскохозяйственных культур. Погода, метеорологические факторы и условия производства изменяются повсеместно и непрерывно. Иногда эти изменения выгодны, а чаще наносят большой ущерб.

Исследования в области глобального потепления климата [2, 3, 4] указывают, что в ближайшем будущем будет больше аномально жарких периодов и меньше дней с сильными морозами (как отдельных дней, так и средних сезонных значений). Жаркие периоды будут чаще и продолжительнее. В связи со сказанным выше, возникает необходимость увеличения продуктивности выращиваемых культур в сельском хозяйстве за счет улучшения культуры земледелия. Правильно подобранная система земледелия позволяет восполнить дефицит природных

ресурсов, которые помогают сельскохозяйственной культуре достичь потенциальной урожайности в условиях конкретного места произрастания.

Факторы, которые влияют на продуктивность растений, принято делить на 3 группы:

1. Устойчивые факторы. К ним относятся местоположение, почву, особенности биологии растений и другие.

2. Факторы, зависящие от культуры земледелия. Их рост влияет положительно на продуктивность культур, выращиваемых в аграрном секторе.

3. Факторы, динамика которых может влиять или положительно, или отрицательно на формирование урожайности. Учет особенностей этих факторов позволяет оценить целесообразность применения различных мероприятий выращивания культур и рассчитать экономический эффект производства.

Пасов В.М. [5], изучая факторы, влияющие на сельскохозяйственное производство, предложил их делить на 2 класса:

1. Факторы, которые формируют уровень культуры земледелия.

2. Факторы агрометеорологического происхождения.

Факторы первой группы формируют тенденцию урожайности, а факторы второй группы влияют на ежегодные колебания урожайности сельскохозяйственных культур выше или ниже тренда в конкретном регионе.

Динамические ряды урожайности можно рассматривать как сумму двух слагаемых – детерминированной и случайных отклонений от нее. Тенденция урожайности является следствием культуры земледелия при среднем уровне почвенно – климатических условий [6]. Ее вели-

чина зависит от внедрения в практику достижений науки и техники; изменения случайной компоненты временных рядов урожайности определяются главным образом агрометеорологическими условиями периода конкретных лет.

Статистическая оценка уровня культуры земледелия проводится путем расчета тенденции изменчивости урожайности, а колебания ее относительно этой линии создаются в результате изменения агрометеорологических условий [7, 8].

Линия тренда является как бы средней нормальной линией урожайности для данного района, определяемой средними климатическими условиями этого района и уровнем культуры земледелия [9]. Отклонения от линии тренда более показательны для оценки колебаний урожайности в зависимости от агрометеорологических условий, чем отклонения от средних многолетних величин, так как в этом случае прирост урожайности за счет повышения культуры земледелия уже учтен погодично возрастающей линией тренда [10, 11].

Цель исследования - анализ изменчивости урожайности зерновых и зернобобовых культур в Кировской области, выявление тенденции изменения.

Условия, материалы и методы. Для достижения цели исследования использовались общенаучный метод (анализ литературы по теме исследования, сравнение и систематизация теоретических и эмпирических данных) и методы математической статистики.

Наше исследование проведено на основании данных территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кировской области за 2001-2020 гг.

Результаты и обсуждение. В период с 2001 по 2020 гг. урожайность зерновых и зернобобовых культур в Кировской области не была стабильной (рис.1). Самая низкая урожайность отмечается в 2004 и 2006 гг. в размере 12,6 ц/га, максимальная урожайность была достигнута в 2019г. – 21,7 ц/га. Средняя урожайность за 20 лет составила 16,9 ц/га, коэффициент вариации 17,9%. Построенный линейный тренд указывает на динамику увеличения урожайности за анализируемый период в среднем за год на 0,4 ц/га.

Яровую пшеницу, озимую рожь, ячмень и овес возделывают практически во всех районах области. Производство озимой пшеницы и гре-

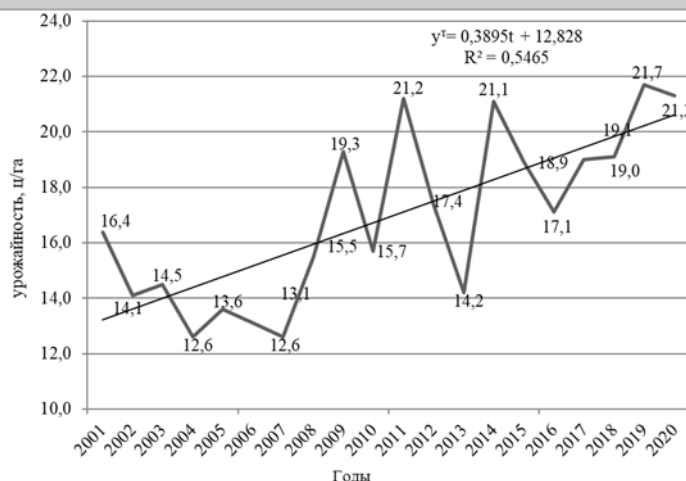


Рис. 1 Динамика урожайности зерновых культур в Кировской области (составлено авторами по данным Кировстата)

чихи сосредоточено в хозяйствах южных районов, что обусловлено биологическими свойствами культур. Около одной трети зернобобовых культур возделывают в центральных районах, а оставшуюся часть в хозяйствах южных зоны.

Самая высокая средняя урожайность приходится на центральную агроклиматическую зону, в которой расположено большинство передовых хозяйств. Наиболее высокоурожайными в центральной зоне являются Куменский район (26,2 ц/га в среднем за 2016-2020гг.), Оричевский (23,2 ц/га), г. Киров (22,6 ц/га), Верхошижемский (22,8 ц/га) районы. Самая низкая урожайность зафиксирована в Лужском районе (9,4 ц/га), который находится в северной агроклиматической зоне.

Прирост урожайности отмечается во все рассматриваемые пятилетние периоды (табл.1). Наибольшая продуктивность культур достигнута в последнем пятилетии, что обусловлено освоением интенсивных технологий производства.

Размах изменчивости урожайности варьировал по пятилетним периодам от 2,3 до 6,7 ц/га, а отношение максимального уровня урожайности к минимальному составляло от 1,3:1 до 1,5:1. Как известно, общепринятым критерием устойчивости урожайности является коэффициент вариации, который изменялся от 8,6 до 15,5%, а, соответственно, коэффициент устойчивости – от 91,4 до 84,5%.

Результаты аналитического сглаживания (табл.2) показали, что данные эмпирического ряда урожайности зерновых и зернобобовых за 2001– 2020 гг. в Кировской области лучше выравнивать по уравнению параболы 2 порядка

Таблица 1 – Динамика и показатели вариации урожайности зерновых и зернобобовых культур в сельскохозяйственных организациях Кировской области

Годы	Средняя урожайность			Размах вариации, ц/га	Коэффициент		Отношение максимальной урожайности к минимальной
	ц/га	прирост урожайности, ц/га	темпы роста, %		вариации, %	устойчивости, %	
2001-2005	14,2	-	100,0	3,8	8,8	91,2	1,3:1
2006-2010	15,8	1,5	110,8	6,7	15,5	84,5	1,5:1
2011-2015	18,6	2,8	117,6	2,3	14,0	86,0	1,5:1
2016-2020	19,6	1,1	105,8	4,6	8,6	91,4	1,3:1

Таблица 2 – Показатели аналитического выравнивания урожайности зерновых и зернобобовых культур в Кировской области в 2001-2020 гг.

Название функциональной зависимости	Вид уравнения регрессии	Коэффициент детерминации	Средняя ошибка аппроксимации, %
Линейная	$y^T = 0,3895t + 12,828$	0,547	10,1
Экспоненциальная	$y^T = 13,057e^{0,0231t}$	0,542	11,5
Логарифмическая	$y^T = 2,3143\ln(t) + 12,02$	0,364	12,6
Полином 2 степени	$y^T = 0,013 t^2 + 0,1155 t + 13,833$	0,663	9,3
Показательная	$y^T = 13,007 \cdot 0,98^t$	0,389	12,9
Степенная	$y^T = 12,472t^{0,1364}$	0,355	12,1

(рис.2). Это уравнение регрессии наиболее всего подходит предъявляемым требованиям к выбору наилучших моделей: ему соответствует наибольшее значение коэффициента детерминации и минимальное значение средней ошибки аппроксимации. Выбор полинома 2 степени подтверждается и исследованиями, проведенными рядом авторов [12, 13].

Изменчивость урожайности от года к году обусловлена влиянием погодных условий. Поэтому В.М. Пасов предложил рассчитывать климатическую составляющую по формуле [5]:

$$C_m = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2 - \sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

где y - текущее значение урожайности;
 \bar{y} - среднее арифметическое значение урожайности за период n -лет;
 y_i - выравненная (расчетная) урожайность.

По величине климатической составляющей изменчивости урожайности выделяют три зоны [5, 7]:

1. Если $C_m \leq 0,20$, то зона наиболее устойчивых урожаев.
2. Если $C_m = 0,21 \dots 0,29$, то зона умеренно устойчивых урожаев.
3. Если $C_m \geq 0,30$, то зона неустойчивых урожаев.

В наших расчетах климатическая составляющая урожайности получилась $0,221 \pm 0,019$. Это означает, что Кировская область, по климатической составляющей изменчивости урожайности

зерновых культур, относится к зоне умеренно устойчивых урожаев.

Расчитанная для каждого года выравненная урожайность характеризует уровень агротехники, достигнутый в этом году, а распределение величин метеорологической составляющей характеризует ту часть изменчивости урожайности, которая связана с особенностями климата.

Расчеты, представленные в таблице 3, показывают, что положительные отклонения фактической урожайности от средней динамической достигают 27,1 %, отрицательные 19,0%. Приrost в благоприятные годы может быть незначительно больше, чем недобор урожая в неблагоприятные.

Таким образом, на первую составляющую урожайности – культуру земледелия приходится 90,1 %, а на вторую – погодно-климатические условия 9,9 %, то есть около десятой части урожая.

Наряду с понятием вероятности появления той или иной величины в метеорологии используется понятие об обеспеченности значений этой величины, то есть вероятности того, что варьирующая величина будет иметь значение, равное заданному или больше его. Для того, чтобы определить сколько часто могут быть те или иные отклонения урожайности от динамической средней, необходимо рассчитать обеспеченность распределения отклонений (табл. 4).

По данным табл. 4 можно отметить, что положительные отклонения урожайности от средней динамической в пределах 27,1% (4,5 ц/га) имеют обеспеченность 3,6%, то есть возможность их появления невелика.

Отрицательные же значения имеют в отдельные годы 19,0%, что приносит ущерб сельскому хозяйству в пределах 3,3 ц/га.

Выводы:

1. В период с 2001 по 2020 гг. наблюдается ярко выраженная изменчивость урожайности зерновых и зернобобовых культур, которая в целом имеет положительную динамику.
2. На долю влияния факторов, формирующих уровень культуры земледелия в Кировской области, приходится почти что 90%, а от действия факторов агрометеорологического происхождения зависит около десятой части вариации урожайности.

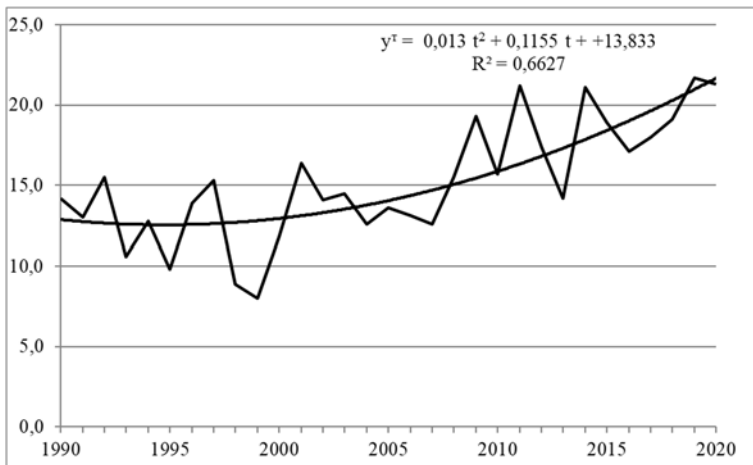


Рис. 2 Динамика урожайности зерновых культур в Кировской области и тренд, построенный по параболе 2-го порядка (составлено авторами по данным Кировстата)

Таблица 3 – Расчет метеорологической составляющей изменчивости урожайности

Год	Урожайность, ц/га		Метеорологическая составляющая изменчивости урожайности, %
	Фактическая	Выравненная	
2001	16,4	14,0	17,4
2002	14,1	14,1	-0,1
2003	14,5	14,3	1,4
2004	12,6	14,5	-13,1
2005	13,6	14,7	-7,7
2006	13,1	15,0	-12,6
2007	12,6	15,3	-17,5
2008	15,5	15,6	-0,6
2009	19,3	15,9	21,2
2010	15,7	16,3	-3,6
2011	21,2	16,7	27,1
2012	17,4	17,1	1,7
2013	14,2	17,5	-19,0
2014	21,1	18,0	17,2
2015	18,9	18,5	2,2
2016	17,1	19,0	-10,0
2017	19,0	19,6	-2,8
2018	19,1	20,1	-5,1
2019	21,7	20,7	4,7
2020	21,3	21,3	-0,2

Таблица 4 – Расчет обеспеченности отклонений урожайности

№ п/п	Год	Отклонение		Обеспеченность, %	№ п/п	Год	Отклонение		Обеспеченность, %
		%	ц/га				%	ц/га	
1	2011	27,1	4,5	3,6	11	2008	-0,6	-0,1	52,3
2	2009	21,2	3,4	8,5	12	2017	-2,8	-0,6	57,2
3	2001	17,4	2,4	13,4	13	2010	-3,6	-0,6	62,0
4	2014	17,2	3,1	18,2	14	2018	-5,1	-1,0	66,9
5	2019	4,7	1,0	23,1	15	2005	-7,7	-1,1	71,8
6	2015	2,2	0,4	27,9	16	2016	-10,0	-1,9	76,6
7	2012	1,7	0,3	32,8	17	2006	-12,6	-1,9	81,5
8	2003	1,4	0,2	37,7	18	2004	-13,1	-1,9	86,4
9	2002	-0,1	0,0	42,6	19	2007	-17,5	-2,7	91,2
10	2020	-0,2	0,0	47,4	20	2013	-19,0	-3,3	96,1

3. Кировская область по климатической составляющей относится к зоне умеренно устойчивых урожаев.

4. Прирост урожайности от средней динамической в благоприятные годы может быть значительно выше, чем недобор урожая в неблагоприятные.

Литература

1. Бисчоков Р.М., Смир Р.А. Анализ и прогноз изменений урожайности зерновых культур с учетом динамики природных факторов на территории Кабардино-Балкарской республики // Вестник Курганской ГСХА, 2016. №1. С. 50-55.
2. Изменение климата 2013: Физическая научная основа. Резюме для политиков. Швейцария: МГЭИК, 2013. URL: https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/WG1AR5_SPM_brochure_ru.pdf (дата обращения 01.03.2022).
3. Rosenzweig C., Elliott J., Deryng D. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison // PNAS, 2014. №4. P.3268–3273. URL: <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1222463110> (дата обращения 02.03.2022).
4. Debaeke P., Casadebaig P., Flenet F., Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe// Oilseeds & fats Crops and Lipids, 2017. №24 (1). P.1-15. URL: <https://www.oel-journal.org/articles/oel/pdf/2017/01/oel160024.pdf> (дата обращения 25.02.2022).
5. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур // Л.: Гидрометеоздат, 1986. 151 с.
6. Фатыхов И.Ш., Исламова Ч.М., Борисов Б.Б., Корепанова Е.В., Гореева В.Н., Тихонова О.С. Влияние почвенно-климатических условий Удмуртской республики на урожайность и химический состав зерна ячменя сорта Раушан// Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 4 (60). С. 61-66.
7. Мустафина А.Б. Особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан // Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2019. №2(372). С.144-153.
8. Иванько Я.М., Столопова Ю.В. Климатическая изменчивость и агрометеорологические условия Предбайкалья: экспериментальные исследования и моделирование урожайности зерновых культур // Метеорология и гидрология, 2019. №10. С.117-124.
9. Пермякова Е.А. Факторы и слагаемые изменчивости урожайности в Кировской области// Успехи современной науки, 2017. Т.2. №5. С.182-185.

10. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш., Сапега С.В. Урожайность зерновых культур и оценка вклада различных факторов в ее изменчивость // *Аграрная наука*, 2012. №1. С.18-20.

11. Фесенко М.А. Вклад случайных и контролируемых факторов в формирование урожайности зерновых полевых севооборота // *Агрофизика*, 2017. №2. С. 40-46.

12. Иванько Я.М., Попкова Ю.А., Столопова Ю.В. Факторные модели изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур с учетом динамики и автокорреляции // *Актуальные вопросы аграрной науки*, 2018. №26. С.47-54.

13. Rivington M., Koo J. Report on the meta-analysis of crop modelling for climate change and food security survey. Climate Change, Agriculture and Food Security Challenge Program, Frederiksberg, 2011. P.174. URL: <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/report-on-the-meta-analysis-of-crop-modelling-for-climate-change-and-food-security-survey#abstract> (дата обращения 25.02.2022).

14. Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кировской области. URL: <https://kirovstat.gks.ru/> (дата обращения 01.03.2022).

Сведения об авторах

Мухамадьяров Фарзутдин Фаткутинович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка, e-mail: f_muchamadjarov@mail.ru.

Пермякова Екатерина Александровна – аспирант, старший преподаватель кафедры информационных технологий и статистики, e-mail: Katpermyakova77@mail.ru

Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

VARIABILITY OF GRAIN YIELDS AND LEGUMINOUS CROPS IN KIROV REGION

F.F. Mukhamadyarov, E.A. Permyakova

Abstract: The purpose of the research is to identify the trends and factors of variability in the yield of the main agricultural crops in Kirov region. The study was conducted on the basis of data from the territorial body of Federal State Statistics Service for Kirov region for 2001-2020. An analysis of the regression equations showed that the yield dynamics for the analyzed period is most accurately described by a 2nd degree polynomial. The yield of grain and leguminous crops over a twenty-year period varied from 12.6 to 21.7 q/ha. The average yield for five years varied from 14.2 q/ha in 2001-2005 up to 19.6 c/ha in 2015-2020. The yield variation coefficient for five years varied from 8.6 to 15.5%, and the yield stability coefficient - from 91.4 to 84.5%, respectively. The highest yield was achieved in the last five years, due to the use of intensive production technologies. In addition to agricultural technology, productivity is also affected by factors of agrometeorological origin. According to the results of calculations, about 10% of the yield depends on the influence of weather and climatic conditions, respectively, 90% of the yield variation is due to the culture of agriculture. According to the results of calculations of positive and negative deviations of the actual yield from the dynamic average, it was revealed that the increase in yield in favorable years in terms of weather and climatic conditions can be 4.1 centners per hectare, and the shortfall in yield in unfavorable years will be 3.7 centners per hectare. Calculation of the climatic component according to the method of Pasov V.M. showed that the Kirov region belongs to the zone of moderately stable crops.

Key words: yield, variability, stability, dynamics, trend.

References

1. Bischokov RM, Smir RA. [Analysis and forecast of changes in the yield of grain crops, taking into account the dynamics of natural factors on the territory of the Kabardino-Balkarian Republic]. *Vestnik Kurganskoi GSKhA*. 2016; 1. 50-55 p.

2. Climate change 2013: Physical science basis. Summary for politicians. [Internet]. Shveysariya: MGEIK, 2013; [cited 2022, March 01]. Available from: https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/WG1AR5_SPM_brochure_ru.pdf.

3. Rosenzweiga S, Elliott J, Deryng D. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. [Internet]. PNAS, 2014; 4. 3268-3273 p. [cited 2022, March 03]. Available from: <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1222463110>.

4. Debaeke P, Casadebaig P, Flenet F, Langlade N. Sunflower crop and climate change: vulnerability, adaptation, and mitigation potential from case-studies in Europe. [Internet]. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. 2017; 24 (1). 1-15 p. [cited 2022, February 02]. Available from: <https://www.ocl-journal.org/articles/oclpdf/2017/01/oclpdf160024.pdf>.

5. Pasov VM. *Izmenchivost' urozhaev i otsenka ozhidaemoi produktivnosti zernovykh kul'tur*. [Yield variability and assessment of the expected productivity of grain crops]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1986; 151 p.

6. Fatykhov ISh, Islamova ChM, Borisov BB, Korepanova EV, Goreeva VN, Tikhonova OS. [Influence of soil and climatic conditions of the Udmurt Republic on the yield and chemical composition of Raushan barley grain. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.15. 4 (60). 61-66 p.

7. Mustafina AB. [Features of weather conditions influence on grain crops productivity in the Republic of Tatarstan]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*. 2019; 2 (372). 144-153 p.

8. Ivan'ko YaM, Stolopova YuV. [Climatic variability and agrometeorological conditions of the Cis-Baikal region: experimental studies and modeling of crop yields]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2019; 10. 117-124 p.

9. Permyakova EA. [Factors and terms of yield variability in Kirov region]. *Uspekhi sovremennoi nauki*. 2017; Vol. 2. 5. 182-185 p.

10. Sapega VA, Tursumbekova GSh, Sapega SV. [Productivity of grain crops and assessment of the contribution of various factors to its variability]. *Agramaya nauka*. 2012; 1. 18-20 p.

11. Fesenko MA. [The contribution of random and controlled factors to the formation of grain yields in a field crop rotation]. *Agrofizika*. 2017; 2. 40-46 p.

12. Ivan'ko YaM, Popkova YuA, Stolopova YuV. [Factor models of crop yield variability taking into account dynamics and autocorrelation]. *Aktual'nye voprosy agrarnoi nauki*. 2018; 26. 47-54 p.

13. Rivington M, Koo J. Report on the meta-analysis of crop modelling for climate change and food security survey. [Internet]. Climate Change, Agriculture and Food Security Challenge Program, Frederiksberg, 2011; 174 p. [cited 2022, February 02]. Available from: <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/report-on-the-meta-analysis-of-crop-modelling-for-climate-change-and-food-security-survey#abstract>.

14. [Official site of the territorial body of the Federal State Statistics Service for Kirov region]. [Internet]. [cited 2022, March 01]. Available from: <https://kirovstat.gks.ru/>.

Authors:

Mukhamadyarov Farzutdin Fatkutinovich - Doctor of Technical sciences, professor of the Department of Operation and Repair of Machine and Tractor Fleet, e-mail: f_muchamadjarov@mail.ru.

Permyakova Ekaterina Aleksandrovna - postgraduate student, senior lecturer of Information Technologies and Statistics Department, e-mail: Katpermyakova77@mail.ru

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia