УДК 631.421
EDN UDJMIX

Сухановский Ю. П., Нитченко Л. Б., Хлюпина С. В., Прущик И. А.

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ БЕССМЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНЕГО ОПЫТА ФБГНУ «КУРСКИЙ ФАНЦ»

ФГБНУ «Курский Федеральный аграрный научный центр»

Реферат. *Проведён статистический анализ многолетних рядов урожайности бессменных посевов озимой пшеницы, ячменя, кукурузы на зелёный корм, сахарной свёклы, многолетних трав на сено. Цель анализа – оценка достоверности среднемноголетних значений урожайностей и разности этих урожайностей, а также оценка риска получения урожайности меньше заданного значения. Для каждой культуры изучали четыре варианта: 1) безотвальная обработка почвы, без удобрений; 2) безотвальная обработка почвы, с минеральными удобрениями; 3) отвальная обработка почвы, без удобрений; 4) отвальная обработка почвы, с минеральными удобрениями. Данные по урожайности бессменных посевов многофакторного полевого опыта проанализированы за 20 лет (1999–2018 гг.). Подтверждена гипотеза, что для анализа многолетних рядов урожайности можно использовать функцию нормального распределения вероятности. Используя эту функцию и её свойства, для урожайности бессменных культур получены следующие результаты. 1. Для каждой культуры и каждого варианта проведена оценка достоверности среднемноголетней урожайности. 2. Для каждой культуры проведена оценка достоверности разницы среднемноголетних урожайностей для разных вариантов опыта. Из 30 возможных комбинаций в 15 разница была достоверная, в 15 – недостоверная. Для достоверной разницы рассчитано различие урожайностей. 3. Проведённые расчёты показали: для озимой пшеницы у варианта 1 (безотвальная обработка почвы, без минеральных удобрений) риск в 5,4 раза больше, чем у варианта 4 (отвальная обработка почвы, с минеральными удобрениями). 4. По данным того же многофакторного полевого опыта достоверно установлено, что в севообороте урожайность озимой пшеницы (Triticum aestivum L.) на 79 % (на 1,5 т/(га год)) больше, чем в бессменных посевах, урожайность ярового ячменя (Hordeum distichon L.) – на 71 % (на 1,2 т/(га год)).*

Ключевые слова: *бессменные посевы, варианты опыта, урожайность, достоверность, оценка риска.*

Для цитирования: *Сухановский Ю. П., Нитченко Л. Б., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Оценка урожайности бессменных культур по данным многолетнего опыта ФБГНУ «Курский ФАНЦ» // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 2(30). С. 121–131. EDN: UDJMIX.*

For citation: *Sukhanovskii Yu. P., Nitchenko L. B., Khlupina S. V., Prushchik I. A. Evaluation of yields of permanent crops according to the long-term studies carried out in the Federal Agricultural Kursk Research Center // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 2(30). P. 121–131. EDN: UDJMIX.*

Введение

Снижение урожайности бессменных сельскохозяйственных культур связывают с увеличением поражённости растений вредителями и болезнями, а также с повышением засорённости посевов. Это ведёт, с одной стороны, к необходимости увеличивать затраты на средства защиты растений, а, с другой стороны – к увеличению количества загрязнителей почвы, грунтовых и поверхностных вод. Следуя за конъюнктурой рынка, производитель заинтересован в выборе наиболее

выгодных культур. Эти культуры со временем меняются, что предполагает переход к другим культурам и другим технологиям. Чем меньше культур, тем меньше затрат на технику. Переход к безотвальной обработке почвы сокращает затраты, а отсутствие обработки (No-Till) ещё больше их сокращает. Это определяет коммерческий интерес к севооборотам с меньшим количеством культур (включая бессменные посевы) и к обработкам почвы с минимальными затратами.

При переходе на другие культуры и технологии их возделывания необходимо знать ожидаемую среднюю урожайность, её стабильность (наличие или отсутствия тренда), а также риск (вероятность), что урожайность может быть меньше заданного минимального значения. С этой целью проводят многолетние полевые опыты для разных вариантов производства растениеводческой продукции за рубежом [1–4] и в России [5–12]. Особенно актуальны опыты с большим количеством вариантов, так как при изменении конъюнктуры рынка можно выбирать наиболее подходящие из уже проверенных вариантов. Примером таких возможностей являются данные для 38 вариантов [9]. Эти варианты разделены на три группы: шестипольные севообороты (24 варианта), двухпольные севообороты (шесть вариантов), бессменные посевы (восемь вариантов). Для экономической оценки полученных результатов использованы два показателя: прибыль (руб./(га год)) и рентабельность (%). Максимальная прибыль 9896,3 руб./(га год) с рентабельностью 20,7 % была у двухпольного севооборота (яровая твердая пшеница – кукуруза на силос, без удобрений). Максимальная рентабельность – 209,7 % с прибылью 5095,8 руб./(га год) была у бессменного ярового ячменя без использования удобрений. Эти два экономических показателя лучше, чем у 24 вариантов шестипольных севооборотов. Убытки (отрицательная прибыль) были в 15 вариантах, из них 12 вариантов – это шестипольные севообороты с использованием удобрений. Имея такие данные за прошедшее время, можно надёжнее планировать будущие работы. Для повышения информативности многолетних полевых опытов необходимо следующее: 1. Оценивать погрешность среднемноголетних урожайностей и достоверность их разностей. 2. Оценивать стабильность средней урожайности. 3. Оценивать риск (вероятность) получить урожайность меньше заданного минимального значения (например, вероятность получить убытки (отрицательное значение прибыли)). Существует много разных методов, которые можно использовать для анализа многолетних рядов урожайности. Лучше выбирать простые методы, которые подходят для решения конкретной задачи.

Цель исследований – применение методов статистического анализа для оценки достоверности и риска урожайности бессменных культур на примере действующего многолетнего полевого опыта.

Материалы и методы исследований

Использованы многолетние данные по урожайности бессменных культур стационарного многофакторного полевого опыта (МПО) ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (Курская область, Медвенский район). Почва – чернозём типичный тяжелосуглинистый слабоэродированный. Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см – 5,3 ± 0,3 % (ГОСТ 26213-84), щёлочногидролизуемого азота (метод Корнфилда) – 18,0 мг/100 г, подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) – 14,8 мг/100 г, калия (ГОСТ 26204-91) – 11,7 мг/100 г почвы, pH_{Kcl} (ГОСТ 26483-85) – 6,5 ед. Делянки расположены на приводораздельной части склона (северной экспозиции с уклоном до 1°), их площадь 40 × 5 = 200 м^2. Изучены бессменные посевы озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), ярового ячменя (*Hordeum distichon* L.), кукурузы (*Zéa mays*) на зеленый корм, сахарной свёклы (*Beta vulgaris)* и многолетних трав (*Bromopsis inermis* H.) на сено. Основная обработка

почвы представлена двумя вариантами: отвальная и безотвальная, с применением и без применения минеральных удобрений. Под озимую пшеницу и ячмень обработку почвы проводили на глубину 20–22 см, подкукурузу и сахарную свёклу – 28–30 см. Под многолетние травы почву обрабатывали только в начале закладки опыта, минеральные удобрения вносили ежегодно осенью, весной проводили боронование трав. В таблице 1 представлена схема полевого опыта с бессменными культурами.

Таблица 1 – Схема опыта с бессменными культурами

Культура	№ варианта	Вариант обработки почвы	Минеральные удобрения, кг/(га год)*
Озимая пшеница	1	безотвальная	без удобрений
	2	безотвальная	$N_{40}P_{80}K_{80}$
	3	отвальная	без удобрений
	4	отвальная	$N_{40}P_{80}K_{80}$
Ячмень	1	безотвальная	без удобрений
	2	безотвальная	$N_{60}P_{60}K_{60}$
	3	отвальная	без удобрений
	4	отвальная	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Кукуруза (на зеленый корм)	1	безотвальная	без удобрений
	2	безотвальная	$N_{180}P_{160}K_{180}$
	3	отвальная	без удобрений
	4	отвальная	$N_{180}P_{160}K_{180}$
Сахарная свекла	1	безотвальная	без удобрений
	2	безотвальная	$N_{180}P_{160}K_{180}$
	3	отвальная	без удобрений
	4	отвальная	$N_{180}P_{160}K_{180}$
Многолетние травы (на сено)	1	безотвальная	без удобрений
	2	безотвальная	$N_{60}P_{60}K_{60}$
	3	отвальная	без удобрений
	4	отвальная	$N_{60}P_{60}K_{60}$

Примечание. ** доза удобрений в килограммах действующего вещества.*

Методы. Использованы данные по урожайности, полученные в многофакторном полевом опыте за 20 лет наблюдений (1999–2018 гг.). Эти данные имеют две особенности. Первая – данные по урожайности отсутствуют за некоторые годы. Вторая – значения урожайности больше нуля.

Для каждой культуры и каждого варианта опыта использован ряд имеющихся значений урожайности:

$$\{x_i\},\ i=1, 2, 3\ldots n, \tag{1}$$

где x_i– измеренное значение урожайности, i – порядковый номер, n – количество значений.

Урожайность является случайной непрерывной величиной. Ряд (1) называют случайной выборкой измеренных значений с объёмом n. Для выборки (1) рассчитано среднее арифметическое:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \tag{2}$$

стандартное отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2}{n-1}}, \tag{3}$$

коэффициент вариации:

$$C_v = 100\frac{s}{\overline{x}}. \tag{4}$$

Результат измерения (ГОСТ Р 8.736-2011) представлен интервалом погрешности:

$$\overline{x} \pm \Delta_x, \quad (5)$$

$$\Delta_x = k_p \cdot s, \quad (6)$$

Где Δ_x – абсолютная погрешность урожайности за год, k_p – безразмерный коэффициент, зависящий от вероятности P интервала погрешности.
Относительная погрешность (в %):

$$\delta_x = 100\frac{\Delta_x}{\overline{x}} \quad (7)$$

Для результатов исследований необходима оценка их достоверности (ГОСТ 7.32-2017). Величина δ_x определяет долю абсолютной погрешности Δ_x в измеренном значении $\overline{x}$. При $\delta_x \geq 100\%$ ($\overline{x} \leq \Delta_x$) измеренное значениенаходится в пределах его погрешности, то есть, оно недостоверное. Показателем достоверности измеренного значения является его погрешность – чем меньше погрешность, тем больше достоверность.

Интервал (5) соответствует урожайности за год. Для описания случайных выборок использовано нормальное распределение вероятности. Функция распределения вероятности представлена в виде

$$N(x, \mu, \sigma), \quad (8)$$

где x – значение случайной величины, μ – среднее значение генеральной совокупности, σ – стандартное отклонение этой совокупности.

Так как значения μ и σ неизвестные, то при расчётах вместо них используют выборочные значения $\overline{x}$ (2) и s (3). Функция (8) определяет вероятность, с которой значение случайной величины будет меньше значения x. Это распределение имеет следующее свойство. Если выборку (1) описывает функция (8), то средние значения$\overline{x}$ также описывает функция нормального распределения

$$N(\overline{x}, \mu, \sigma_{\overline{x}}), \quad (9)$$

$$\sigma_{\overline{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (10)$$

Для проведения расчётов вместо μи $\sigma_{\overline{x}}$ используют, соответственно, $\overline{x}$ и стандартное отклонение:

$$s_{\overline{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (11)$$

Интервал погрешности для среднего значения $\overline{x}$ запишется, как:

$$\overline{x} \pm \Delta_{\overline{x}}, \quad (12)$$

$$\Delta_{\overline{x}} = k_p \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (13)$$

где $\Delta_{\overline{x}}$ – абсолютная погрешность, в данном случае, значения среднемноголетней урожайности $\overline{x}$(2).
Относительная погрешность:

$$\delta_{\overline{x}} = 100\frac{\Delta_{\overline{x}}}{\overline{x}} = 100k_p\frac{s}{\overline{x}\sqrt{n}}. \quad (14)$$

Для нормального распределения вероятности при k_p = 1 интервал погрешности соответствует вероятности P = 0,68, при k_p = 2 соответствует P = 0,95. Из (13) и (14) следует, что погрешность уменьшается с увеличением объёма выборки n(с увеличением продолжительности наблюдений за урожайностью).

В исследованиях часто сравнивают результаты измеренийурожайности на двух разных вариантах. Разность среднемноголетних значений урожайности достоверная, если она больше суммы их погрешностей, то есть:

$$\left|\overline{x1} - \overline{x2}\right| > \left(\Delta_{\overline{x1}} + \Delta_{\overline{x2}}\right), \quad (15)$$

где 1 – соответствует первому варианту, 2 – соответствует второму варианту. Вертикальные скобки определяют абсолютное значение. Неравенство (15) определяет, что интервалы погрешностей не пересекаются.

Различие урожайностей (для достоверной разности) рассчитано по равенству:

$$\varepsilon_{12} = 100\frac{\overline{x2} - \overline{x1}}{\overline{x1}}, \quad (16)$$

где ε_{12} – превышение урожайности $\overline{x2}$над урожайностью $\overline{x1}$, %.

Результаты и их обсуждение

Оценка тренда урожайности. На рисунке показана динамика урожайности ячменя в варианте 4. Визуально из этой динамики следует, что за 20 лет детерминированные факторы (например, деградация почвы) практически не повлияли на урожайность, по сравнению со случайными факторами (метеорологические условия). Следовательно, можно принять, что тренд урожайности отсутствует, то есть средняя урожайность является стабильной. Аналогичная динамика урожайности для всех других культур и вариантов.

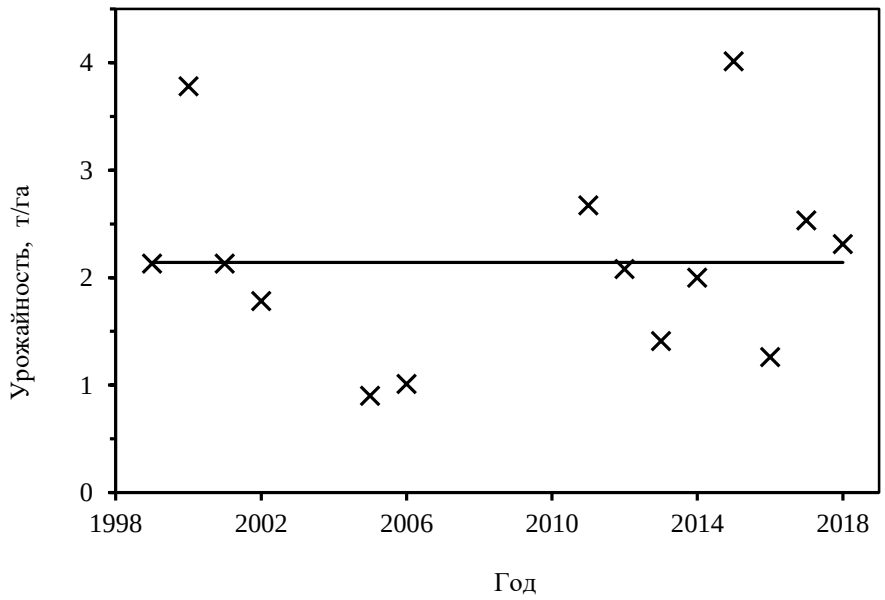

Рисунок – Динамика урожайности ячменя: отвальная обработка с удобрениями

Примечание. *× – урожайность; сплошная линия – среднемноголетняя урожайность.*

Оценка урожайности. Учитывая особенности рядов (1), была принята гипотеза: значения урожайности являются независимыми случайными значениями, описываемые усечённым нормальным распределением вероятности. Для нормального распределения случайная величина изменяется в интервале (-∞, +∞). В данном случае для усечённого нормального распределения урожайность изменяется в интервале (0, +∞). Применение критерия Колмогорова-Смирнова [13] при уровне значимости 0,05 подтвердило эту гипотезу для всех культур и вариантов

(исключение один случай – многолетние травы в варианте 1). Это означает, что такой статистический анализ можно проводить для данных, в которых отсутствуют некоторые значения урожайности. Для усечённого нормального распределения вероятность значения урожайности меньше нуля $P(Y<0) = 0$. Используя функцию нормального распределения, проведены расчёты вероятности, что урожайность может быть меньше нуля: $P(Y<0) = N(Y=0, m, \sigma)$. Результаты расчёта привели к следующим выводам: 1. Для всех выборок вероятность $P(Y<0)$ была в интервале значений от 8×10^{-4} до 3×10^{-2}, что много меньше доверительной вероятности $P = 0{,}68$ для интервала погрешности при $k_p = 1$. Это означает, что усечённое распределение достаточно близко к нормальному распределению. 2. Для приближённых расчётов можно использовать функцию $N(Y, m, \sigma)$ и свойства этого распределения. Из свойства нормального распределения [13] следует, что среднемноголетнюю урожайность $\overline{x}$ описывает функция (9).

В таблице 2 представлены статистические характеристики урожайности за период наблюдений 1999–2018 гг. Из данных этой таблицы следует, что все $\overline{x}$ являются достоверными (их относительная погрешность $\delta_{\overline{x}}$< 100%). Эти значения можно использовать при дальнейшем анализе. Для всех культур и вариантов относительная погрешность для средней урожайности является малой величиной. Это подтверждает сделанный визуально вывод, что среднемноголетняя урожайность является стабильной.

Таблица 2 – Статистические характеристики выборок урожайности при k_p = 1

Культура	№ варианта	Статистические характеристики урожайности			
		$m \pm \Delta_n$, т/(га год)	σ, т/(га год)	C_v, %	δ_n, %
Озимая пшеница (n =13)	1	1,5 ± 0,2	0,8	53	13
	2	2,2 ± 0,3	1,2	55	14
	3	1,9 ± 0,2	0,7	37	11
	4	2,3 ± 0,2	0,8	35	9
Сахарная свёкла (n = 8)	1	15 ± 2	6	40	13
	2	20 ± 3	9	45	15
	3	18 ± 3	8	44	17
	4	23 ± 4	10	43	17
Ячмень (n = 14)	1	1,4 ± 0,2	0,7	50	14
	2	1,9 ± 0,2	0,9	47	11
	3	1,7 ± 0,2	0,7	41	12
	4	2,1 ± 0,2	0,9	43	10
Кукуруза на зелёный корм (n = 14)	1	18 ± 2	7	39	11
	2	25 ± 3	12	48	12
	3	19 ± 2	6	32	11
	4	25 ± 2	8	32	8
Многолетние травы на сено (n = 12)	1	3,6 ± 0,4	1,5	42	11
	2	4,9 ± 0,7	2,5	52	14
	3	4,1 ± 0,5	1,6	39	12
	4	5,1 ± 0,6	2,0	39	12

Примечание. *объём выборки n < 20 означает отсутствие некоторых данных урожайности за период наблюдений 20 лет.*

Устойчивость урожайности. Чем меньше значение коэффициента вариации C_v, тем лучше устойчивость урожайности за год относительно воздействия случайных факторов. Из данных таблицы 2 следует, что: 1. При отвальной обработке почвы (варианты 3 и 4) устойчивость озимой пшеницы лучше, чем при безотвальной обработке. 2. Для остальных культур коэффициент C_v изменяется относительно в небольшом интервале значений.

Оценка риска. Используя значения для$\bar{x}$ и s (см. таблицу 2) по функции N(Y, $\bar{x}$, s) можно оценить риск (вероятность), что урожайность за год может быть меньше заданного значения $x_{зад}$. Значения $x_{зад}$= 1 т/(га год). Для варианта 1 риск$P(x<x_{зад})$ = $N(x_{зад}$ =1, $\bar{x}$=1,5, s =0,8) = 27%, для варианта 4 риск $P(x<x_{зад})$ =$N(x_{зад}$ =1, $\bar{x}$=2,3, s =0,8) = 5%. Риск у варианта 1 (безотвальная обработка, без удобрений) больше в 5,4 раза по сравнению с риском у варианта 4 (отвальная обработка, с удобрениями).

Оценка достоверности разности среднемноголетних урожайностей. Имея для культур значения средних урожайностей и их абсолютные погрешности (таблица 2, $\bar{x} \pm \Delta_{\bar{x}}$), можно оценить достоверность разницы среднемноголетних урожайностей для двух разных вариантов. Пример 1: сравнение урожайностей озимой пшеницы для вариантов 1 и 2 (см. таблицу2). Интервалы погрешностей, соответственно, (1,5 ± 0,2) т/(га год) и (2,2 ± 0,3) т/(га год). Для этих интервалов выполняется неравенство (15). Следовательно, разность достоверная (её называют ещё существенной). Рассчитанное по формуле (16) ε_{12} = 47%. Это значит, что достоверно среднемноголетняя урожайность озимой пшеницы в варианте 2 (с безотвальной обработкой и с минеральными удобрениями) больше на 47 % (на 0,7 т/(га год)) урожайности в варианте 1 (с безотвальной обработкой и без минеральных удобрений). Другими словами, при безотвальной обработке почвы применение минеральных удобрений ($N_{40}P_{80}K_{80}$) достоверно увеличило на 47 % (на 0,7 т/(га год)) среднемноголетнюю урожайность озимой пшеницы. Неравенство (15) можно использовать для сравнения любых двух вариантов. Пример 2: сравнение среднемноголетних урожайностей озимой пшеницы для вариантов 2 и 3. Интервалы погрешностей, соответственно, (2,2 ± 0,3) т/(га год) и (1,9 ± 0,2) т/(га год). Неравенство (15) не выполняется. Следовательно, разность недостоверная (её называют ещё несущественной). Другими словами, в пределах погрешностей среднемноголетняя урожайность озимой пшеницы одинаковая в варианте 2 (безотвальная обработка с минеральными удобрениями) и в варианте 3 (отвальная обработка без удобрений). В этом случае не имеет смысла рассчитывать значение ε_{23} по формуле (16). Пример 3: сравнение среднемноголетних урожайностей кукурузы на зелёный корм для вариантов 2 и 3. Интервалы погрешностей, соответственно, (25 ± 3) т/(га год) и (19 ± 2) т/(га год). Неравенство (15) выполняется – разность достоверная. Рассчитанное по (16) значение ε_{23} = –24%. Знак «-» означает, что урожайность кукурузы в варианте 3 (отвальная обработка без удобрений) меньше урожайности в варианте 2 (безотвальная обработка с минеральными удобрениями) на 24 % (на 6 т/(га год)) (см. таблицу2).

В таблице 3 представлены результаты оценки достоверности разности среднемноголетних урожайностей для всех пар вариантов опыта. Для достоверной разности по формуле (16) рассчитано количественное различие урожайностей.Обоснование выбора kp = 1. В таблице 3 представлены результаты сравнения для всех культур и всех комбинаций вариантов опыта (общее количество 5×6 = 30). Из них с достоверной разностью 15 комбинаций (это 50 %) и с недостоверной разностью тоже 15 (50 %). Эти результаты получены при kp = 1, то есть, за абсолютную погрешность принято стандартное отклонение s, а интервалу погрешности соответствует вероятность p = 0,68. Отсутствует однозначное решение

для выбора значения вероятности P. Часто используют p = 0,95, соответствующее уровню значимости 0,05. В таком случае этой вероятности соответствует kp = 2, а из формул (11) и (13) следует, что абсолютная погрешность Δx=2sx. Аналогичные расчёты были проведены для kp = 2 и получены результаты, аналогичные результатам в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка разности среднемноголетних урожайностей для вариантов опыта

Культура	Номера сравниваемых вариантов опыта					
	1 и 2	1 и 3	1 и 4	2 и 3	2 и 4	3 и 4
Озимая пшеница	да/47	да/27	да/53	нет	нет	да/21
Сахарная свёкла	да/33	нет	да/53	нет	нет	нет
Ячмень	да/36	нет	да/50	нет	да/11	да/24
Кукуруза (на зеленый корм)	да/39	нет	да/39	да/-24	нет	да/32
Многолетние травы (на сено)	да/36	нет	нет	нет	нет	нет

Примечание. *да – достоверная разность, нет – недостоверная, «да/47» – число после «да» означает, насколько (в %) урожайности разные.*

Из 30 комбинаций только в одном случае была достоверная разность среднемноголетних урожайностей (для вариантов 1 и 4 озимой пшеницы). Для увеличения количества достоверных результатов необходимо увеличивать объём выборки n (увеличивать продолжительность опыта). Для конкретного случая [14] показано, что при kp = 2 продолжительность опыта должна быть больше 120 лет. Такая продолжительность нереальная. Для испытания новой агротехнологии даже 20 лет может быть слишком большим сроком (за это время она может устареть). Для получения в полевых опытах большего количества достоверно разных среднемноголетних урожайностей за абсолютную погрешность можно принять стандартное отклонение s, то есть kp = 1.

Сравнение со среднемноголетней урожайностью в севообороте. В этом же многофакторном полевом опыте есть вариант с отвальной обработкой почвы без применения удобрений и с севооборотом (чистый пар, озимая пшеница, сахарная свёкла, ячмень). В статье Д.В. Дубовика и соавторов [14] для этого опыта представлены данные по урожайности озимой пшеницы и ячменя за период 1985–2000 гг. Используя статистические данные этого варианта, при kp = 1 и объёме выборки n = 14, получены среднемноголетние значения урожайностей: (3,4 ± 0,3) т/(га год) для озимой пшеницы и (2,9 ± 0,2) т/(га год) для ячменя. Для бессменных культур это соответствует варианту 3 (отвальная обработка без удобрений). Из сравнения урожайностей в бессменных посевах и в севообороте получены следующие результаты: 1) разности среднемноголетних урожайностей достоверные (существенные); 2) в севообороте среднемноголетняя урожайность озимой пшеницы на 79% (на 1,5 т/(га год)) больше, а ячменя больше на 71% (на 1,2 т/(га год)).

Выводы

Установлено, что для статистического анализа случайных выборок урожайности, полученных в многолетнем многофакторном полевом опыте, можно использовать функцию нормального распределения вероятности. Используя эту функцию и её свойства, для урожайности бессменных культур получены следующие результаты. 1. Для каждого варианта проведена оценка достоверности среднемноголетней урожайности. 2. Для каждой культуры проведена оценка достоверности разницы среднемноголетних урожайностей для разных вариантов. Из

30 возможных комбинаций в 15 разница была достоверная, в 15 – недостоверная. Для достоверной разницы рассчитано различие урожайностей. 3. Проведённые расчёты показали: для озимой пшеницы у варианта 1 (безотвальная обработка почвы, без минеральных удобрений) риск в 5,4 раза больше, чем у варианта 4 (отвальная обработка почвы, с минеральными удобрениями). 4. По данным того же многофакторного полевого опыта достоверно установлено, что в севообороте урожайность озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на 79% (на 1,5 т/(га год)) больше, чем в бессменных посевах, урожайность ярового ячменя (*Hordeum distichon* L.) – на 71% (на 1,2 т/(га год)).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФБГНУ «Курский ФАНЦ» по теме № FGZU-2022-0005.

Литература

1. Nielsen D. C., Vigil M. F. Wheat yield and yield stability of eight dryland crop rotations // Agronomy Journal. 2018. Vol. 110. No. 2. P. 594–601. DOI: 10.2134/agronj 2017.07.0407.
2. Flower K. C., Hüberli D., Collins S. J., Thomas G., Ward P. R., Cordingley N. Progression of plant-parasitic nematodes and foliar and root diseases under no-tillage with different crop rotation // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 191. P. 18–28. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.010.
3. Dachraoui M., Sombrero A. Effect of tillage systems and different rates of nitrogen fertilization on the carbon footprint of irrigated maize in a semiarid area of Castile and Leon, Spain // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 196. Art. No. 104472. DOI: 10.1016/j.still.2019.104472.
4. Wozniak A. Effect of crop rotation and cereal monoculture on the yield and quality of winter wheat grain and on crop infestation with weeds and soil properties // International Journal of Plant Production. 2019. Vol. 13. No. 3. P. 177–182. DOI: 10.1007/s42106-019-00044-w.
5. Белявский Ю. В. Многолетнее бессменное выращивание озимой ржи: состояние и перспективы // Известия ТСХА. 2012. Вып. 3. С. 107–117.
6. Шабанова И. В., Нещадим Н. Н. Влияние агротехнологий на содержание тяжелых металлов в почве и качество зерна озимого ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 1(17). С.103–111. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-103-111.
7. Степных Н. В. Повышение конкурентоспособности зернового производства при минимальных и нулевых технологиях // Защита и карантин растений. 2013. № 1. С. 21–23.
8. Кириллова Е. В., Копылов А. Н. Эффективность применения минеральных удобрений в севообороте и на бессменной пшенице в центральной лесостепи Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2015. № 4 (134). С. 33–39.
9. Максютов Н. А., Зенкова Н. А., Зоров А. А., Яковлев С. Н. Экономическая и энергическая оценка севооборотов и бессменных посевов сельскохозяйственных культур в степной зоне Южного Урала// Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 190–196.
10. Гилев С. Д., Суркова Ю. В.Длительное возделывание яровой пшеницы в бессменных посевах на чернозёмах Зауралья // Кормопроизводство. 2018. № 7. С. 20–24.
11. Митрофанов Д. В. Влияние метеоусловий и влажности почвы на выход зерна в севооборотах и урожайность бессменных посевов на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 218–228.
12. Кохан А. В., Глущенко Л. Д., Лень А. И., Олепир Р. В., Самойленко Е. А. Бессменное выращивание озимой пшеницы и её влияние на фитосанитарное состояние посевов, агрохимическое и агрофизическое состояние почвы, уровень продуктивности // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 181–186.
13. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. С. 418–420.
14. Дубовик Д. В., Сухановский Ю. П., Нитченко Л. Б., Прущик А. В. Оценка ожидаемой урожайности по данным краткосрочных полевых опытов // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 5–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10801.

References

1. Nielsen D. C., Vigil M. F. Wheat yield and yield stability of eight dryland crop rotations // Agronomy Journal. 2018. Vol. 110. No. 2. P. 594–601. DOI:10.2134/agronj2017.07.0407.

2. Flower K. C., Hüberli D., Collins S. J., Thomas G., Ward P. R., Cordingley N. Progression of plant-parasitic nematodes and foliar and root diseases under no-tillage with different crop rotation // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 191. P.18–28. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.010.

3. Dachraoui M., Sombrero A. Effect of tillage systems and different rates of nitrogen fertilization on the carbon footprint of irrigated maize in a semiarid area of Castile and Leon, Spain // Soil and Tillage Research. 2020. Vol. 196. Art. No. 104472. DOI: 10.1016/j.still.2019.104472.

4. Wozniak A. Effect of crop rotation and cereal monoculture on the yield and quality of winter wheat grain and on crop infestation with weeds and soil properties // International Journal of Plant Production. 2019. Vol. 13. No. 3. P. 177–182. DOI: 10.1007/s42106-019-00044-w.

5. Belyavsky Yu. V. Long-term, permanent winter rye cultivation: condition and prospects // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2012. Vol. 3. P. 107–117.

6. Shabanova I. V., Neshchadim N. N. Influence of agrotechnologies on the content of heavy metals in soil and grain quality of winter barley //Taurida Herald of the Agrarian Sciences.2019. No. 1(17). P. 103-111. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-1-17-103-111.

7. Stepnykh N. V. Increase of competitiveness of grain production at the minimum and zero technologies //Plant Protection and Quarantine. 2013. No. 1. P. 21–23.

8. Kirillova E. V., Kopylov A.N. Efficiency of application of chemical fertilizers in crop rotation and on permanent wheat in the central forest-steppe of Trans-Urals //Agrarian Bulletin of the Urals. 2015. No. 4 (134). P. 33–39.

9. Maksyutov N. A., Zenkova N. A., Zorov A. A.,Yakovlev S. N. Economic and energy assessment of rotations and monocrops in the steppe zone of the Southern Urals //Animal Husbandry and Fodder Production. 2018. Vol. 101. No. 1. P. 190–196.

10. Gilev S. D., Surkova Yu. V. Continuous cultivation of spring wheat on the Trans-Ural chernozem //Fodder Production. 2018. No. 7. P. 20–24.

11. Mitrofanov D. V. Influence of meteorological conditions and soil moisture on yield of grain in crop rotations and productivity of permanent crops on chernozems of southern Orenburg Cis-Urals // Animal Husbandry and Fodder Production. 2018. Vol. 101. No. 2. P. 218–228.

12. Kokhan A. V., Glushchenko L. D., Len A. I.,Olepir R. V., Samoilenko E. A. Permanent cultivation of winter wheat and its impact on phytosanitary state of crops, agrochemical and agrophysical state of soil, level of yield // Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2019. No. 2. P. 181–186.

13. Afifi A., Eyzen S.Statistical analysis: Computer approach. Moscow: Mir, 1982. P. 418–420.

14. Dubovik D. V., Sukhanovskii Yu. P., Nitchenko L. B., Prushchik A. V. Estimation of the expected yield according to the data from short-term field experiments // Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2019. Vol. 33. No. 8. P. 5–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10801.

UDC 631.421

Sukhanovskii Yu. P., Nitchenko L. B., Khlupina S. V., Prushchik I. A.

EVALUATION OF YIELDS OF PERMANENT CROPS ACCORDING TO THE LONG-TERM STUDIES CARRIED OUT IN THE FEDERAL AGRICULTURAL KURSK RESEARCH CENTER

Summary. *Statistical analysis of long-term series of yields of permanent crops of winter wheat, barley, maize for green forage, sugar beet, perennial herbs for hay was carried out. The analysis purpose was to evaluate the reliability of the average long-term values of yields and the difference in these yields, as well as to assess the risk of obtaining yields less than a given value. For each crop, four variants were studied: 1) subsoiling, without mineral fertilizers; 2) subsoiling, with mineral fertilizers; 3) plowing, without mineral fertilizers; 4) plowing, with mineral fertilizers. Data on the yield of permanent crops in the multi-factor field experiment carried out in theFederal Agricultural Kursk Research Center were analyzed for the 20-year period (1999–2018). Available data confirm the hypothesis that the function of the normal probability distribution can be used to analyze long-term yield series. Using this function and its properties, for the yield of permanent crops, we obtained the following results. 1. The accuracy of the average summer yields was estimated for each crop and in every variant. 2. The accuracy of the difference in average summer yields for different variants was estimated for each crop. Of*

the 30 possible combinations, the difference was significant in 15 of them; inaccurate – in 15 either. For significant ones, the difference in yields was calculated. 3. The calculations showed that for winter wheat, Variant 1(subsoiling, without mineral fertilizers) the risk was 5.4 times higher than that of the Variant 4 (plowing, with mineral fertilizers). 4. According to the multi-factor field experiment, it has been reliably established that in crop rotation the yield of winter wheat (Triticum aestivum L.) was 79 % (1.5 t/(ha year)) more than in permanent crops; the yield of barley (Hordeum distichon L.) – 71 % (1.2 t/(ha year)).

Keywords: *permanent crops, variants of the experiment, crop yield, accuracy, risk assessment.*

Сухановский Юрий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования и защиты почв от эрозии, ФГБНУ «Курский Федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70Б; e-mail: soil-er@kursknet.ru.

Нитченко Людмила Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, ФГБНУ «Курский Федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70Б; e-mail: nitchenko58@yandex.ru.

Хлюпина Светлана Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, ФГБНУ «Курский Федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70Б; e-mail: sveta46agro@yandex.ru.

Прущик Иван Алексеевич, младший научный сотрудник, лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, ФГБНУ «Курский Федеральный аграрный научный центр»; 305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, 70Б; e-mail: kursk.iva@inbox.ru.

Sukhanovskii Yurii Petrovich, Dr. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory modeling and soil erosion protection, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: soil-er@kursknet.ru.

Nitchenko Lyudmila Borisovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of crop rotations and adaptive agricultural technologies, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: nitchenko58@yandex.ru.

Khlupina Svetlana Viktorovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of crop rotations and adaptive agricultural technologies, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: sveta46agro@yandex.ru.

Prushchik Ivan Alekseevich, junior researcher of the Laboratory of crop rotations and adaptive agricultural technologies, Federal Agricultural Kursk Research Center; 70B, Karl Marks str., Kursk, 305021, Russia; e-mail: kursk.iva@inbox.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.01.2020.
Дата принятия к печати – 01.03.2020.