

ДИНАМИКА УРОЖАЙНОСТИ В МНОГОЛЕТНЕМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ ЛЮБЕРЕЦКОГО ОПЫТНОГО ПОЛЯ НИУИФ.

Сообщение 1. УРОЖАЙНОСТЬ НА ДЕЛЯНКАХ

© 2025 г. **В. Г. Граковский**, **А. С. Фрид**^{1,*}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии 143050, Московская обл., влад. 5, п/о Большие Вязёмы, ул. Институт, Россия

*E-mail: asfrid@mail.ru

Проанализированы урожайности культур 4-польного севооборота для делянок длительного (42 года) полевого опыта на дерново-подзолистой супесчаной почве Люберецкого опытного поля по изучению влияния различных форм калийных удобрений. Для выявления особенностей многолетней динамики урожайности и уменьшения роли изменений от года к году, связанных с различием культур, предложено проводить сглаживание многолетнего ряда урожайностей методом скользящего среднего с временным окном, равным длительности ротации. В результате выявили четкие изменения урожайности с цикличностью 7–12 лет, вероятно связанные с цикличностью погодных условий. Многолетние динамики урожайности для делянок, соответствующих варианту “Контроль”, были сходны между собой; то же самое выявлено для делянок варианта НР. Напротив, многолетние динамики для делянок всех вариантов НРК группировались по полевым повторениям, а не по вариантам. Статистические различия между делянками по их урожайности оценивали по *t*-критерию и по критерию Вилкоксона для сопряженных выборок. По рядам разностей между ежегодными урожайностями и трендовыми их величинами оценили ошибки средних многолетних показателей урожайностей для делянок, что позволило сравнивать их между собой. То же самое было использовано для 10-летнего периода изучения последействия калийных удобрений. Многолетние тренды урожайности на делянках во всех случаях оказались незначимыми, но для делянок вариантов “Контроль” и НР проявлялась тенденция к снижению урожайности со временем.

Ключевые слова: длительный полевой опыт, Люберецкое опытное поле, 4-польный севооборот, урожайность на делянках, сходство и различие многолетних рядов урожайности, последействие калийных удобрений, ошибки средних многолетних урожайностей, многолетние тренды и цикличность урожайностей, дерново-подзолистая супесчаная почва.

DOI: 10.31857/S0002188125030109, **EDN:** UQHXVI

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние опыты – распространенный метод исследования в агрохимии. Однако, анализируя эти опыты, не всегда правильно учитывают специфику того, что опыт многолетний. При осреднении данных разных лет или учете урожайности и/или свойств почв через разные промежутки времени, например [1, 2], эти промежутки времени не увязывают с длительностью ротации [3] и т.п.

В доступных работах по оценке результатов, полученных в опытах на Люберецком опытном поле (ЛОП) [4, 5], выявлена примерно та же ситуация: использованы средние ежегодные урожайности в ротациях севооборота, средние урожайности за 35 лет и т.д.

Цель работы – проанализировать урожайность одного из длительных опытов с использованием

методических рекомендаций [6]. Ранее эти рекомендации использовали для агрохимических свойств и загрязнения почвы тяжелыми металлами в другом длительном опыте [7, 8].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Люберецкое опытное поле (станция) НИУИФ было расположено под Москвой. 27-й севооборот на этой станции был заложен в 1942–1944 гг.; он являлся одним из старейших в России по изучению действия форм калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. 274-е поле этого севооборота было заложено в 1944 г., оно и было объектом настоящей работы.

Практически аналогичный опыт параллельно был заложен на Долгопрудненской агрохимической опытной станции (ДАОС) [9].

Тип севооборота – полевой, вид севооборота – плодосменный 4-польный. Начинаясь ротация со свеклы кормовой (реже – сахарной), а заканчивалась картофелем. Вторая и третья культуры варьировались, но соответствовали кормовому направлению (рожь озимая, люпин, кукуруза, овес, вико-овсяная смесь).

С весны 1976 г. по 1985 г. делянки вариантов НРК были разделены пополам, на западных половинах продолжали вносить НРК, на восточных – только НР, чтобы исследовать последствие К-удобрений. В данной работе анализировали последствие K_x -удобрения.

Схема 274-го поля представлена на рис. 1.

Использовали 10 вариантов минеральных удобрений: 1 – 0 (Контроль), 2 – НР (N_{aa} – селитра аммиачная, P_{cd} – суперфосфат двойной), 3 – НР + K_x (калий хлористый, 54% K_2O), 4 – НР + K_c (калий сернокислый, 48.8% K_2O), 5 – НР + K_{mg} (калмагнезия, 27.2% K_2O , 8.5% MgO), 6 – НР + N_{ck} (селитра калийная, 44.5% K_2O), 7 – НР + $K_{сил}$ (сильвинит, 15.8% K_2O , 36% Na_2O), 8 – НР + $K_{кар}$ (карналлит, 24.3% K_2O , 23% Na_2O , 14% MgO), 9 – НР + $K_{каин}$ (каинит, 17.6% K_2O , 24% Na_2O , 6% MgO), 10 – НР + $K_{кс}$ (калийная соль – KCl + сильвинит: 40% K_2O , 9.5% Na_2O). Сильвинит, карналлит и каинит (так называемые сырые соли) вносили под свеклу весной, под картофель и овес – осенью.

Почва на этом поле – дерново-подзолистая супесчаная. Подробная ее характеристика будет дана в следующем сообщении.

Урожайные данные (взяты из рабочих журналов данного опыта) для каждой делянки имеются ежегодно с 1944 по 1985 г., кроме 1967 г., когда урожай был похищен. По последней причине имеем разрыв в кривых многолетней динамики урожайности. В некоторые годы было 2 учета урожая – либо основной и побочной продукции, либо 2 последовательных культур (озимой ржи и кукурузы). При пересчете в кормовые единицы (**к.е.**) такие данные для анализа многолетней динамики усредняли.

При анализе основное внимание в данной части работы уделяли именно многолетним эффектам:

сходству и различию многолетних динамик урожайности для отдельных делянок, выявлению многолетних трендов и цикличностей, сравнению динамик для действия и последствия К-удобрений в варианте НР + K_x , оценке ошибок многолетних средних.

При сравнении разных лет по урожайности необходимо было перейти от натуральных показателей для разных культур к более сопоставимым. Так как данный севооборот имеет кормовую направленность, то переходили к кормовым единицам (**к.е.**), используя коэффициенты перехода из сайта www.furazh.ru (так же было сделано в работе [4]).

Несмотря на переход к кормовым единицам, роль различных культур в варьировании урожайности оставалась значительной. Поэтому дополнительно был применен метод сглаживания временного ряда простым скользящим средним с интервалом (окном) в 4 года, соответствующим длительности ротации севооборота. Тогда каждое скользящее среднее из 4 лет содержало все культуры севооборота, а влияние отдельных культур на ход динамики нивелировалось. С точки зрения анализа временных рядов это соответствует минимизации внутривротационного варьирования. Результат подобной процедуры показан на рис. 2 для одной из делянок. Дальнейшие расчеты в основном проводили для сглаженных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сходство и различие многолетних динамик урожайности на делянках опыта. Общее представление дает дендрограмма сходства многолетних динамик урожайностей для делянок (не приведена). Оказалось, что делянки вариантов 0 и НР образовали отдельные группы, хотя уровни сходства внутри этих групп были невелики ($\approx 40\%$ для варианта 0 и $\approx 54\%$ для НР). Делянки вариантов НРК в основном группировались по полевым повторениям, а не по форме К-удобрения. Это показало важность самостоятельного учета полевых повторений в данном полевом опыте.

Использование для этой же совокупности делянок метода главных компонент (**МГК**) также показало в координатах первых 2 компонент (не приведено), что условные линии, соединяющие делянки

Таблица 1. Распределение доз минеральных удобрений при их внесении под культуры севооборота

Культура	Доза, кг д.в./га		
	N	P_2O_5	K_2O
Свекла	120	120	120
Рожь озимая	45(осень), 55(весна)	0	0
Овес на зеленую массу	90	45	60
Картофель	120	120	120
Севооборот	430	285	300

1	NP+K _x	41	NP	П.Д.	2	NP+K _c	2	NP	П.Д.	3	NP+K _{ур}	3	NP	П.Д.	4	NP+N _{ек}	4	NP	П.Д.	5	0	6	NP	7	NP+K _{снп}	7	NP	П.Д.	8	NP+K _{кар}	8	NP	П.Д.	9	NP+K _{кшт}	9	NP	П.Д.	10	NP+K _{кк}	10	NP	П.Д.																			
11	NP+N _{ек}	11	NP	П.Д.	12	0	13	NP	14	NP+K _{снп}	14	NP	П.Д.	15	NP	П.Д.	16	NP+K _{кшт}	16	NP	П.Д.	17	NP+K _{кк}	17	NP	П.Д.	18	NP+K _x	18	NP	П.Д.	19	NP+K _c	19	NP	П.Д.	20	NP+K _{ур}	20	NP	П.Д.																					
21	NP+K _{снп}	21	NP	П.Д.	22	NP+K _{кар}	22	NP	П.Д.	23	NP+K _{кшт}	23	NP	П.Д.	24	NP+K _{кк}	24	NP	П.Д.	25	NP+K _x	26	NP+K _c	27	NP+K _{ур}	28	NP+N _{ек}	29	0	30	NP	31	NP	32	NP	33	NP	34	NP	35	NP	36	NP	37	NP	38	NP	39	NP	40	NP											
31	NP+K _{кк}	31	NP	П.Д.	32	NP+K _x	33	NP+K _c	34	NP+K _{ур}	35	NP+N _{ек}	36	0	37	NP	38	NP+K _{снп}	39	NP+K _{кар}	40	NP+K _{кшт}	41	NP	42	NP	43	NP	44	NP	45	NP	46	NP	47	NP	48	NP	49	NP	50	NP	51	NP	52	NP	53	NP	54	NP	55	NP	56	NP	57	NP	58	NP	59	NP	60	NP

Рис. 1. Схема 274-го поля. По вертикали – 4 полевых повторения (сверху вниз), по горизонтали – делянки вариантов удобрений, расположенные со сдвигом от одного повторения к другому. Навоз вносили в дозе 20 т/га на все поле один раз в ротацию под первую культуру. Дозы минеральных удобрений приведены в табл. 1. Д. – действие удобрения, общий размер поля 29 × 112 м, верху указан номер делянки. П.Д. – последнее удобрение, размер делянки 7 × 11,2 м.

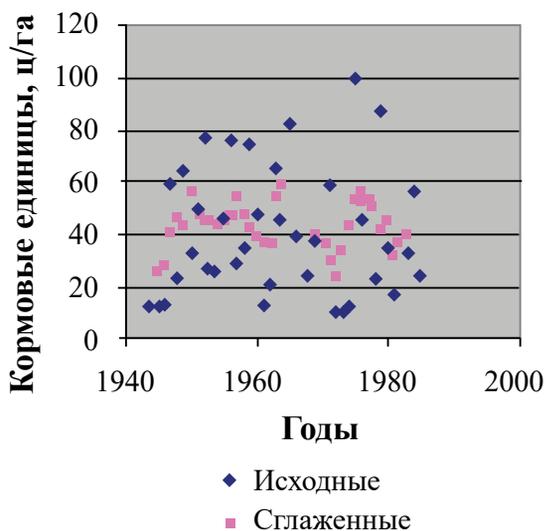


Рис. 2. Многолетняя динамика урожайности в варианте NP + K_c (делянка 2).

вариантов контроля и NP, четко отделялись друг от друга и от жгута условных линий вариантов NPK. В этом подходе различие полевых повторений выразилось через длину условных линий (чем они длиннее, тем больше динамики различаются для полевых повторений).

Для оценки достоверности различий многолетних динамик продуктивности делянок использовали *t*-критерий для сопряженных выборок. Так как временные ряды довольно длинные (>40 лет), то возможные отклонения от нормального распределения годовых разностей между делянками не столь существенны, и непараметрический критерий в этом случае не применяли. Далее приводятся различия в наиболее интересных на наш взгляд случаях.

Сравним все делянки вариантов “Контроль” и NP между собой (табл. 2).

Видно, что в большинстве случаев делянки полевых повторений внутри каждого варианта и между вариантами различались между собой, причем

урожайности для варианта NP всегда больше, чем для контроля, что было ожидаемо.

Теперь сравним делянки вариантов NP и всех NPK по крайним 1-му и 4-му полевым повторениям (табл. 3).

В этом случае видим, что урожайности в варианте NP были в среднем всегда меньше, чем в вариантах NPK, а урожайности в вариантах NPK между собой во многих случаях (также в среднем) достоверно не различались. Аналогичное сравнение для полевого повторения I рядов динамики, сглаженных методом скользящего среднего, также показало различающиеся и не различающиеся варианты NPK, но несколько в других сочетаниях, чем без сглаживания. Напомним, что данное сглаживание отражает средние за ротацию, и потому сравнение дает несколько другую информацию по сравнению с несглаженными данными.

Наконец, для 2 вариантов (NP + K_x и NP + K_{кар}) были для примера сравнены динамики урожайности соответствующих делянок всех 4 повторений (табл. 4).

Для первого варианта 4-е повторение отличается от всех других меньшей урожайностью, а для второго варианта выявлена другая закономерность: первые 2 повторения и 3-е с 4-м не различаются между собой, но первые 2 имели более высокую урожайность, чем вторые 2.

Теперь сравним динамики урожайности на делянках действия варианта NP + K_x и последствий этого варианта (без внесения K-удобрения) в течение 10 лет после 31 года предыдущего внесения калия. Для этого сопоставили динамики урожайности на рядом расположенных делянках (полуделянках) в одни и те же годы для действия и последствий. Дендрограмма сходства (не приведена) динамик показала, что в целом динамики соответствующих полуделянок хорошо различались. Так как 10-летний срок небольшой, то среднюю разность для сопряженных выборок (делянок) оценивали и по *t*-критерию,

Таблица 2. Значимые средние многолетние разности (ц к.е./га) для делянок вариантов контроль и NP (*t*-критерий для сопряженных выборок)

Вариант	Повторение	Вариант “Контроль”				Вариант NP			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
0	I	X	-3.8	-	+2.3	-6.1	-4.9	-3.6	-3.7
	II		X	+3.3	+6.1	-2.3	-	-	-
	III			X	+2.8	-5.6	-4.4	-3.1	-3.2
	IV				X	-8.5	-7.25	-5.9	-6.0
NP	I					X	+1.2	+2.6	+2.5
	II						X	+1.35*	+1.25*
	III							X	-
	IV								X

* Уровень значимости = 0.10.

Таблица 3. Значимые средние многолетние разности (ц к.е./га) для делянок вариантов NP и NPK (*t*-критерий для сопряженных выборок)

Вариант	NP	NP + K _x	NP + K _c	NP + N _{ск}	NP + K _{мг}	NP + K _{кс}	NP + K _{сил}	NP + K _{кар}	NP + K _{каи}
NP	X	<u>-8.3</u> -6.8	<u>-10.0</u> -8.7	<u>-10.0</u> -9.3	<u>-10.2</u> -7.7	<u>-7.9</u> -6.4	<u>-7.7</u> -12.0	<u>-11.5</u> -10.3	<u>-9.35</u> -11.2
NP + K _x		X	<u>-1.7*</u> -1.95*	<u>-</u> -2.5	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -5.2	<u>-3.2</u> -3.5	<u>-</u> -4.5
NP + K _c			X	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> +2.35	<u>-</u> -3.25*	<u>-</u> -	<u>-</u> -2.5*
NP + N _{ск}				X	<u>-</u> +1.6*	<u>+2.2*</u> +2.9	<u>+2.4*</u> -2.7*	<u>-</u> -	<u>-</u> -
NP + K _{мг}					X	<u>+2.35</u> -	<u>+2.6</u> -4.3	<u>-</u> -2.6	<u>-</u> -3.5
NP + K _{кс}						X	<u>-</u> -5.6	<u>-3.6</u> -3.9	<u>-1.5*</u> -4.9
NP + K _{сил}							X	<u>-3.8</u> +1.7*	<u>-1.7*</u> -
NP + K _{кар}								X	<u>+2.2</u> -
NP + K _{каи}									X

Примечания. 1. Над чертой – полевое повторение I, под чертой – полевое повторение IV. 2. Верхний треугольник таблицы соответствует сравнению исходных урожайностей, нижний треугольник – сравнению сглаженных скользящих средних для 1-го полевого повторения. 3. Средним разностям, отмеченным звездочкой, соответствует уровень значимости 0.10. То же в табл. 4.

Таблица 4. Значимые средние многолетние разности урожайности между делянками различных полевых повторений внутри вариантов NP + K_x (верхний треугольник таблицы) и NP + K_{кар} (нижний треугольник), ц к.е./га

Повторение	Повторение			
	I	II	III	IV
I	X	-	-	+3.9
II	-	X	+1.8*	+5.2
III	+2.45	+2.6	X	+3.4
IV	+3.65	+3.8	-	X

и по непараметрическому критерию Вилкоксона (до и после сглаживания скользящим средним) (табл. 5).

В данном случае результаты по обоим критериям согласовались между собой, однако вновь получилась существенная разница между исходными и сглаженными динамиками. Если без сглаживания только в одном случае полуделянки значимо различались (номера 18 и 42), то после сглаживания во всех парах полуделянок различия оказались значимыми.

Наличие многолетнего тренда урожайности на делянках. Для выяснения этого вопроса обратимся к графическому представлению многолетней динамики урожайности после сглаживания скользящим средним, сначала на примере I-го и IV-го полевых повторений (рис. 3, 4) (уже по рис. 2 было видно, что для несглаженных данных увидеть наличие тренда затруднительно).

На этих рисунках четко видна многолетняя цикличность урожайности во всех вариантах опыта и на обоих полевых повторениях, а также то, что урожайность на делянках вариантов 0 и NP, как правило, лежит ниже, чем для вариантов NPK.

Ясно, что цикличность в этом случае уже не связана со сменой культур внутри ротаций. Выделяются годы с максимумами урожайности (1950, 1957, 1964, 1976) и годы с минимумами урожайности (1954, 1961/1962, 1972/1973, 1982). Отсюда получается медианная продолжительность цикла 8–9 лет, что соответствует примерно 2 ротациям севооборота. Размах продолжительности циклов составил от 7 до 12 лет, это скорее всего связано с цикличностью погодных условий в период проведения данного опыта.

Теперь обратимся к временному тренду. Из-за сильных изменений урожайности визуально можно

Таблица 5. Значимые средние многолетние разности урожайности (ц к.е./га) между полуделянками варианта $NP + K_x$ и его последействия (без K -удобрений) в течение 10 лет (для сглаженных данных)

Полуделянки	Полуделянки							
	1	18	25	32	41	42	43	44
1	X	-8.2	-5.5	-7.6	+4.95*	+2.9**	—	+3.3
18	+8.2	X	—	—	+13.2	+11.1*	+11	+11.5
25	+5.5	—	X	—	+10.4	+8.4	+8.3*	+8.8
32	+7.6	—	—	X	+12.6	+10.5	+10.4	+10.9*

Примечание. Номера полянок 41–44 относятся к последействию.

* Средние разницы с одного полевого повторения.

** Средняя разность с уровнем значимости 0.10.

предположить только убывающий тренд для полянок вариантов 0 и NP . Регрессионный анализ по простой квадратичной модели данных рис. 3 и 4 показал, что для полянок всех вариантов обоих полевых повторений (кроме одной) уравнения тренда были незначимы, и только для полянки варианта NP на 4 полевым повторении отрицательный тренд был слабозначим (0.10). Качественно уравнения регрессии подтверждали отрицательный тренд для всех полянок указанных выше вариантов.

На рис. 5 показана многолетняя динамика урожайности для всех 8 полуделянок в период изучения последействия K -удобрений.

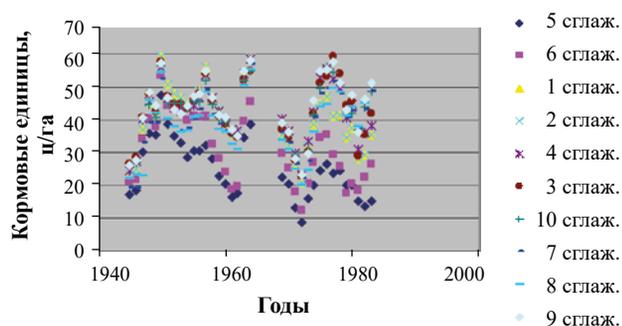


Рис. 3. Многолетняя динамика урожайности на полянках повторения I.

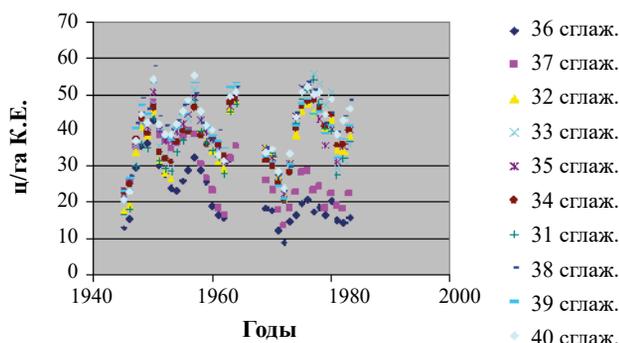


Рис. 4. Многолетняя динамика урожайности на полянках повторения IV.

Конечно, за 10 лет не могла проявиться динамика в полном объеме, и мы видим лишь небольшой участок с одним минимумом урожайности. В этом случае простая квадратичная модель, где $x = \text{год}$, оказалась неадекватной, но приемлемой для всех полевых повторений была тоже квадратичная модель, но где $x = 1/\text{год}$.

Сравнение средних многолетних урожайностей для полянок. Чтобы сравнить многолетние средние, надо оценить их ошибки. Для конкретной полянки ошибка была связана непосредственно с временным варьированием урожайности [6].

Оценку ошибок проводили через многолетние ряды разниц между ежегодными фактическими сглаженными величинами урожайности и величинами, рассчитанными по многолетним трендам (хотя и незначимым), т.к. остаточная дисперсия уравнений тренда чаще всего была меньше исходной. Как

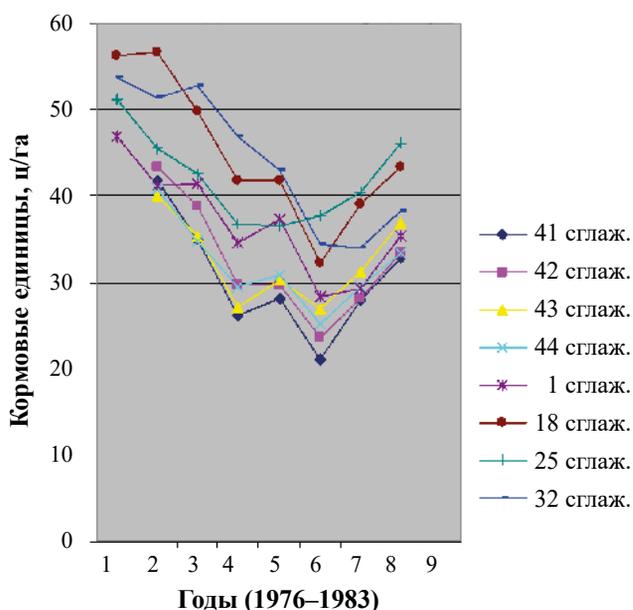


Рис. 5. Многолетняя динамика урожайности на полянках варианта NPK_x (действие и последействие K -удобрений).

указано в рекомендациях [6], использовали 3 подхода. Параметрический (остаточная дисперсия в уравнениях тренда или обычная дисперсия в многолетнем ряду разниц) и 2 непараметрических (через квартили и через квантили, соответствующие диапазону ± 1 стандартное отклонение для тех же многолетних рядов разниц).

Полученные статистические характеристики для делянок полевых повторений I и IV (вся продолжительность опыта) и для полуделянок в период последствия показаны в табл. 6 и 7.

В качестве окончательного стандартного отклонения принимали медианную величину из 3 их оценок. В результате получили возможность сравнивать между собой средние многолетние показатели урожайности для делянок по t -критерию для общего случая разных дисперсий.

Например, сравнение делянок 5 и 6 (разные повторения варианта "Контроль", табл. 6) показало незначимость различия их многолетних средних, а сравнение делянок 3 и 34 (разные повторения варианта NP + K_{мг}, табл. 6) – значимость различий (уровень значимости 0.02).

В период последствия средние многолетние полуделянок действия и последствия значительно различались для всех полевых повторений. Если сравнивать полевые повторения I и IV, то средние многолетние для полуделянок действия различались значительно, для полуделянок последствия – нет.

Представляло интерес сопоставить стандартные отклонения делянок 1 и 32 (вариант NP + K_х), полученные для полного временного ряда и для периода последствия (табл. 6, 7). Оказалось, что в первом случае они в несколько раз больше, чем во втором. Это объяснимо, т.к. для полного ряда учитывались значительные межгодовые изменения урожайности, а для периода последствия единственное изменение ушло в тренд. В то же время ошибки средних многолетних различались только в 1.5 раза из-за больших различий в длинах временных рядов.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы многолетние динамики урожайности на делянках длительного (1944–1985) полевого опыта на Люберецком опытном поле НИУИФ

Таблица 6. Оценки средних многолетних и стандартных отклонений для сглаженных урожайностей делянок I-го (первая строка в варианте) и IV-го (вторая строка в варианте) полевых повторений, ц к.е./га

Вариант	Делянка	Среднее сглаженного ряда	Медиана сглаженного ряда	Стандартное отклонение				Ошибка среднего многолетнего
				параметрическое	через квартили	через квантили	медиана	
0	5	25.1	24.3	7.4 (8.9)	6.3	7.56	7.4	1.25
	36	22.5	21.1	6.83 (8.22)	5.675	6.55	6.55	1.1
NP	6	30.7	30.0	8.75 (10.17)	8.65	9.63	8.75	1.5
	37	28.1	27.0	6.64 (8.76)	6.33	7.365	6.64	1.1
NP + K _х	1	40.3	40.5	9.44 (9.76)	10.0	10.5	10.0	1.7
	32	35.8	36.1	7.93 (8.38)	8.36	9.0	8.36	1.5
NP + K _с	2	42.3	42.7	8.84 (8.84)	8.02	9.7	8.84	1.5
	33	38.6	38.1	9.34 (9.34)	10.2	10.7	10.2	1.7
NP + N _{ск}	4	42.3	43.0	9.33 (9.33)	9.30	10.7	9.33	1.6
	35	38.9	39.3	7.87 (7.87)	7.62	8.55	7.87	1.3
NP + K _{мг}	3	42.4	42.7	8.47 (8.47)	7.89	8.9	8.47	1.4
	34	37.5	37.9	7.69 (7.69)	7.75	8.4	7.75	1.3
NP + K _{кс}	10	39.4	39.8	9.0 (9.21)	7.02	9.22	9.0	1.5
	31	35.9	35.7	8.56 (9.0)	8.42	9.545	8.56	1.45
NP + K _{сил}	7	38.6	39.5	9.35 (9.43)	8.83	10.0	9.35	1.6
	38	41.8	43.1	8.86 (8.89)	9.10	10.3	9.10	1.5
NP + K _{кар}	8	43.7	44.4	9.31 (9.31)	9.44	10.35	9.44	1.6
	39	39.9	40.6	8.53 (8.53)	7.95	9.0	8.5	1.4
NP + K _{каи}	9	41.4	42.0	9.7 (9.91)	10.0	11.45	10.0	1.7
	40	41.3	42.1	8.7 (8.79)	8.425	9.2	8.7	1.5

Примечания. 1. В скобках – стандартное отклонение исходного сглаженного ряда. 2. Длина сглаженного ряда для делянки 32 равна 31, для всех других делянок – 35.

Таблица 7. Оценки средних многолетних и стандартных отклонений для сглаженных урожайностей полуделянок варианта $NP + K_x$ в период изучения последствия К-удобрений, ц к.е./га (в порядке полевых повторений)

Полуделянки	Среднее сглаженного ряда	Медиана сглаженного ряда	Стандартное отклонение				Ошибка среднего многолетнего
			параметрическое	через квартили	через квантили	медиана	
1	36.8	36.35	3.445 (6.34)	3.01	2.88	3.01	1.1
41	30.4	28.1	2.74 (6.73)	2.01	2.20	2.20	0.83
18	45.1	42.6	4.46 (8.52)	3.56	3.76	3.76	1.3
42	32.5	29.8	2.58 (6.73)	2.30	2.39	2.39	0.90
25	42.1	41.5	1.25 (5.26)	0.97	1.03	1.03	0.36
43	32.6	31.2	2.03 (5.01)	1.79	1.75	1.79	0.68
32	44.3	44.9	3.50 (8.08)	2.96	3.115	3.115	1.1
44	32.0	30.9	1.98 (4.92)	1.22	1.385	1.385	0.52

Примечания. 1. Первая строка в каждом повторении соответствует действию К-удобрений, вторая строка – последствию. 2. В скобках – стандартное отклонение исходного сглаженного ряда. 3. Длина сглаженного ряда для делянок действия равна 8, для делянок последствия – 7.

в 4-польном плодосменном севообороте. Показано, что при наличии севооборота для упрощения последующего анализа результатов имеет смысл не только переводить урожайности разных культур в кормовые или зерновые единицы, но и проводить сглаживание многолетних рядов урожайности методом скользящего среднего с окном, равным длительности ротации.

2. Общее качественное представление о сходстве многолетних динамик урожайности разных делянок дает их представление в виде дендрограммы сходства. В данном случае найдено, что делянки вариантов контроль и NP разделялись между собой и отделялись от делянок вариантов $NPК$. В то же время делянки вариантов $NPК$ группировались по полевым повторениям, а не по формам К-удобрений.

3. Выборочно оценили многолетние средние разности между урожайностями делянок. Выявили значимые различия между полевыми повторениями, между делянками вариантов “Контроль” и NP , но лишь между отдельными делянками вариантов с $NPК$ (разными формами К-удобрений).

4. По средним многолетним разностям (10 лет) урожайности на полуделянках действия К-удобрений превышали значимо урожайность на полуделянках последствия К-удобрений.

5. При изучении многолетних трендов урожайности на делянках в течение всего опыта выявили явную тенденцию к снижению для вариантов “Контроль” и NP , а также сильные синхронные для делянок всех вариантов изменения с цикличностью 7–12 лет (в среднем 8.5 лет). Такая цикличность, вероятно, отражает изменения погодных условий в 1940–1980-е гг.

6. По разностям между ежегодными урожайностями на делянках и многолетними трендами оценены ошибки средних многолетних урожайностей, что позволило сравнивать между собой средние многолетние для разных делянок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухих М.А., Калганова Т.С. Динамика обеспеченности чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого северной лесостепи Южного Зауралья элементами питания // Вестн. АлтайГАУ. 2011. № 6(80). С. 5–8.
2. Калганова Т.С. Динамика гумуса, азота и фосфора в черноземе выщелоченном северной лесостепи Зауралья // АПК России. 2015. Т. 72. № 1. С. 87–91.
3. Ellmer F. Long-term field experiments as a research basis of sandy soil fertility // Изв. ТСХА. 2012. Вып. 3. С. 46–53.
4. Прокошев В.В., Шугаров Ю.А., Жуков С.Н., Государева З.И. Результаты многолетних опытов по изучению эффективности калийных удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агротехническая эффективность новых форм минеральных удобрений. Тр. НИУИФ. Вып. 242. М., 1983. С. 35–49.
5. Прокошев В.В., Государева З.И. Эффективность калийных удобрений на супесчаных почвах // Химия в сел. хоз-ве. 1980. № 9. С. 18–20.
6. Фрид А.С. Рекомендации к анализу данных многолетних полевых опытов (проект) // Агротехника. 2022. № 3. С. 81–93.
DOI: 10.31857/S0002188122030048

7. Фрид А.С., Касатиков В.А., Борисочкина Т.И., Колчанова К.А., Никитина Н.С. Динамика агрохимических показателей почвы в многолетнем полевоом опыте при внесении осадков сточных вод и извести // *Агрохимия*. 2022. № 9. С. 3–14. DOI: 10.31857/S0002188122090058
8. Фрид А.С., Касатиков В.А., Борисочкина Т.И., Колчанова К.А., Никитина Н.С. Влияние длительного применения осадков сточных вод и извести на валовое содержание и концентрацию подвижных форм тяжелых металлов в супесчаной дерново-подзолистой почве // *Агрохимия*. 2023. № 1. С. 83–96. DOI: 10.31857/S0002188123010040
9. Хлыстовский А.Д., Вехов П.А., Кулакова В.И. Эффективность длительного применения различных форм калийных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве // *Агрохимическая эффективность новых форм минеральных удобрений*. Тр. НИУИФ. Вып. 242. М., 1983. С. 17–34.

Dynamics of Yield in the Long-Term Field Experiment of the Lyubertsy Experimental Field of the NIUIF. Message 1. Productivity in Plots

V. G. Grakovsky, A. S. Frid^{a, #}

^aThe All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology,
ul. Institut, poss. 5, Moscow region, r.p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia

[#]E-mail: asfrid@mail.ru

Crop yields of 4-pole crop rotation for plots of long-term (42 years) field experiment on sod-podzolic sandy loamy soil of Lyubertsy experimental field were analyzed to study the effect of various forms of potash fertilizers. In order to identify the features of long-term yield dynamics and reduce the role of changes from year to year associated with crop differences, it is proposed to smooth out a long-term series of yields using the moving average method with a time window equal to the duration of rotation. As a result, clear yield changes with a cycle of 7–12 years were revealed, probably related to the cyclical nature of weather conditions. The long-term yield dynamics for plots corresponding to the control variant were similar to each other; the same was revealed for plots of the NP-variant. On the contrary, long-term dynamics for plots of all NPK variants were grouped by field repetitions, not by variants. Statistical differences between plots in terms of their yield were estimated using the *t*-criterion and the Wilcoxon criterion for conjugate samples. According to the series of differences between annual yields and their trend values, the errors of the average long-term yield indicators for plots were estimated, which made it possible to compare them with each other. The same was used for a 10-year period of studying the aftereffect of potash fertilizers. Long-term yield trends in plots in all cases turned out to be insignificant, but for plots of control and NP-variants, there was a tendency to decrease yields over time.

Keywords: long-term field experiment, Lyubertsy experimental field, 4-pole crop rotation, yield on plots, similarity and difference of long-term yield series, aftereffect of potash fertilizers, errors of average long-term yields, long-term trends and cyclicity of yields, sod-podzolic sandy loamy soil.