

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАНОВ
ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСЛОВНЫХ ОПЫТОВ
НА БАЗЕ ПОЛЕВОГО СТАЦИОНАРА

Б.Д. КИРЮШИН, А.М. ЗАЙНАБ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Впервые проведен дробный учет урожайности на базе опытных делянок полевого стационара с целью оценки эффективности рандомизации для экспериментального плана. По данным 62 условных опытов (комбинации цифр урожайности ячменя с 20 микроделянок слепых опытов) установлено 80%-е преимущество рандомизированных методов размещения вариантов. Лишь в 5 случаях из 100 строгая последовательность в размещении вариантов (систематический план) превосходила рандомизацию. На фоне невысокого случайного варьирования плодородия опытных делянок получена максимальная (100%) эффективность полной рандомизации и достаточно высокая — систематического плана. В условиях градиента почвенного плодородия подтверждено очевидное превосходство ограниченной рандомизации (план рандомизированных повторений, или блоков).

Математические методы обработки данных базируются на случайной вариации, а потому предполагают случайное размещение вариантов, или рандомизацию. Постановка научных экспериментов на основе систематического плана считается исключением из общего правила. Однако последовательный порядок наложения вариантов: 1, 2, 3, ..., к составляет один из возможных исходов случайного набора чисел. Более того, исследователи намеренно используют в одном из повторений последовательный порядок (систематический блок) для демонстрационных целей. Отдельные систематические планы используются для предварительных исследований и скрининг-отбора. Кроме того, в условиях отсутствия градиента неизучаемых факторов или их случайной вариации систематический блок может быть предпочтительнее рандомизированного.

Для оценки эффективности и правильного выбора элементов на-

учного исследования используют опыты методического характера различной длительности. Отдельные методические вопросы решают на основе рекогносцировочной культуры (или слепого опыта), составляющей важный этап подготовки земельного участка под опыт. Учет урожая проводят дробно, т. е. по площадкам, размеры которых обычно соответствуют делянкам будущего опыта. Дробный учет урожая позволяет выявить характер (вид) варьирования плодородия почвы, а последующая статистическая обработка — степень его варьирования. Рекогносцировочный посев называют «слепым» опытом, поскольку в нем нет вариантов, однако результаты учета его урожайности (дробного учета) служат отправным пунктом планирования экспериментального плана опыта [1, 3, 4, 5].

В предлагаемой работе варианты условных опытов наложены на результаты внутриделяночного дроб-

ного учета урожайности ячменя в полевом стационаре. Оценка эффективности экспериментальных планов включала дисперсионный анализ урожайных данных, а также расчеты ошибок (точности) опытов и, собственно, процента эффективности по моделям полной рандомизации (МПР) и организованных повторений (МОП систематическая и рандомизированная).

Объекты и методика

Исследования проводили в 2005 г. на поле бессменного ячменя длительного опыта ТСХА, схема и история которого подробно изложены ранее [2]. Делянки стационарного опыта площадью 50 м² с 6 вариантами: 0, N, РК, NPK, навоз и NPK + + навоз по фону извести и без извести были разделены на 4 полосы по направлению проведения полевых работ. На каждой из полос учитывали урожайность надземной массы ячменя в фазу полной спелости (высота среза — 20 см) путем случайного наложения рамок 0,5 м x 2 м. Из 48-метровых площадок отобрали 20 с урожайностью в пределах 27-32 ц/га. Эти цифры послужили исходным материалом для моделирования 3 видов варьирования плодородия почвы: закономерного, или систематического — ранжированный ряд значений урожайности в порядке возрастания, случайного — хаотичный набор цифр и

комплексного — сочетание ранжированного с хаотичным.

Таким образом было получено 9 условных опытов (3 метода размещения вариантов x 3 вида варьирования плодородия почвы). Все опыты имели одинаковую структуру: 5 условных вариантов ($v = 5$) и 4-кратная повторность ($n = 4$). Для размещения вариантов по делянкам каждого повторения брали последовательный ряд чисел от 1 до 5 (систематический блок); «оптимальный» из 3 наборов случайных чисел для всех делянок опыта (МПР, нет повторений) и по одному набору для каждого повторения (рандомизированный блок (табл. 1).

Важно отметить, что все 3 опыта были условными, поскольку их не проводили, а варианты были наложены на готовые цифры урожайности дробного учета. Различия в урожаях по микроделянкам слепого опыта обусловлены разным удобрением делянок полевого стационара (варьированием плодородия почвы), а условные варианты различаются лишь цифрой — кодом.

Эффективной в отношении обеспечения однородного фона для сравнения вариантов независимо от вида варьирования плодородия почвы будет та схема их размещения, при которой отсутствует существенность различий по F-критерию в условном опыте (показатель эффективности $F < F_{05}$).

Таблица 1

Схема размещения вариантов для условных опытов в зависимости от экспериментального плана

План эксперимента	Номера делянок в повторениях*																			
	I					II					III					IV				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
МПР	3	5	4	2	5	1	5	3	4	1	2	1	3	5	1	4	2	4	3	2
МОП систем.	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
МОП ранд.	3	4	5	2	1	1	2	3	4	5	1	4	3	2	5	5	3	4	2	1

* Для планов МОП.

Результаты и их обсуждение

Оценка размещения вариантов в условиях случайного варьирования плодородия почвы

Для определения характера варьирования плодородия почвы на основе кривых урожайности и последующего дисперсионного анализа (ДА) использованы значения урожайности пробных площадок, или микроделянок слепого опыта (табл. 2).

Для построения графиков наряду с фактическими значениями урожайности были использованы скользящие средние, рассчитанные по следующим формулам;

$$\tilde{y}_i = \frac{y_{i-1} + y_i + y_{i+1}}{3}, \quad \tilde{y}_1 = \frac{2y_1 + y_2}{3}$$

$$\text{и } \tilde{y}_{20} = \frac{y_{19} + 2y_{20}}{3},$$

Таблица 2

Поделяночная урожайность в слепом опыте на фоне случайного варьирования плодородия почвы (y_i — фактическая урожайность, \tilde{y} — скользящая средняя)

Последовательный ряд делянок	Урожайность, ц/га	
	y_i	\tilde{y}_i
1	32	31,7
2	31	30
3	27	29,3
4	30	28,7
5	29	29
6	28	29,7
7	32	29,3
8	28	30
9	30	29,7
10	31	29,3
11	27	29,3
12	30	29,7
13	32	30,7
14	30	30
15	28	30
16	32	30
17	30	30,3
18	29	30
19	31	29,3
20	28	29

где \tilde{y}_i — любая, \tilde{y}_1 — первая и \tilde{y}_{20} — последняя средняя. Скользящие средние позволяют более четко установить наличие тренда урожайности (рис. 1).

Затем эти данные были статистически обработаны по 3 моделям ДА (табл. 3, 4, 5).

Общее число наблюдений $N = nv = 20$; $\bar{y}_0 = 29,8$.

ДА условного опыта 1 $\Sigma y = \Sigma V$.

Поправка: $\Delta = (\Sigma y)^2 / N = 354025 / 20 = 17701,25$; $СКО = \Sigma y^2 - \Delta = 17755 - \Delta = 53,75$; $СКV = \Sigma V^2 / n - \Delta = 17712 - \Delta = 1150$; $СКЕ = СКО - СКV = 53,75 - 11,50 = 42,25$. $ссO = N - 1 = 19$; $ссV = v - 1 = 4$; $ссE = v(n - 1) = 15$.

ДА условного опыта 2 $\Sigma y = \Sigma V = \Sigma \Pi = 595$.

СКО, ссO, ссV и поправка остались прежними.

$СКП = \Sigma \Pi^2 / v - \Delta = 17702,2 - \Delta = 0,95$; $СКV = \Sigma V^2 / n - \Delta = 17710,75 - \Delta = 9,50$;

$СКЕ = СКО - СКП - СКV = 43,30$; $сс\Pi = n - 1 = 3$; $ссE = (v - 1) \cdot (n - 1) = 12$.

ДА условного опыта 3 $\Sigma y = \Sigma V = \Sigma \Pi = 595$.

СКО, СКП, поправка и степени свободы остались прежними.

$СКV = \Sigma V^2 / n - \Delta = 17720,25 - \Delta = 19,00$; $СКЕ = СКО - СКП - СКV = 33,80$;

Результаты статистической оценки трех условных опытов (трех ДА) сведены в таблице эффективности методов размещения вариантов (табл. 6).

На фоне случайного варьирования почвенного покрова не установлено существенных различий в опытах ($F < F_{05}$). Максимальной, почти 100%-й эффективностью отличается МПР, а ошибка опыта совпала с теоретической (2,8%). Систематическое размещение вариан-

Рис. 1. Случайное варьирование почвенного плодородия по результатам дробного учета урожая ячменя (20 микроделянок слепого опыта: 1 — эмпирическая, или фактическая кривая урожайности, y ; 2 — сглаженная средней скользящей, \bar{y}_0

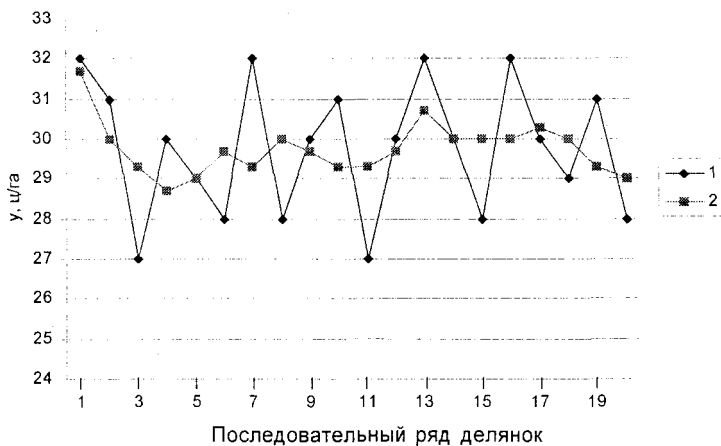


Таблица 3

Модель МПР. Исходная таблица для ДА (условный опыт 1)

Вариант	Повторности*				Сумма V	\bar{y}
	1	2	3	4		
1	28	31	30	28	117	29,2
2	30	27	30	28	115	28,8
3	32	28	32	31	123	30,8
4	27	30	32	29	118	29,5
5	31	29	32	30	122	30,5

$\Sigma y = 595$ $\bar{y}_0 = 29,8$

* См. схему размещения вариантов (табл.1) и таблицу урожаев (табл. 2).

Таблица 4

Модель МОП систематическая. Исходная таблица для ДА (условный опыт 2)

Вариант	Повторения*				Сумма V	\bar{y}_v
	I	II	III	IV		
1	32	28	27	32	119	29,8
2	31	32	30	30	123	30,8
3	27	28	32	29	116	29,0
4	30	30	30	31	121	30,2
5	29	31	28	28	116	29,0
Сумма П	149	149	147	150	595	—
$\bar{y}_п$	29,8	29,8	29,4	30,0	—	29,8

* См. схему размещения вариантов и соответствующую таблицу урожаев.

тов внутри повторений несколько выигрывает по сравнению с их рандомизацией. Однако в условиях невысокого случайного варьирования почвенного плодородия (вариация урожаев дробного учета в пределах 2-5 ц/га) следует отдать предпочтение простой модели полной

рандомизации, которая за счет большого числа степеней свободы для остатка обеспечивает одинаковую с моделью МОП (рандомизированный блок) дисперсию ошибки.

Аналогичным образом проводили оценку 3 экспериментальных планов на фоне систематического и

Таблица 5

Модель МОП рандомизированная. Исходная таблица для ДА (условный опыт 3)

Вариант	Повторения				Сумма V	\bar{y}_v
	I	II	III	IV		
1	29	28	27	28	112	28,0
2	30	32	30	31	123	30,8
3	32	28	32	30	122	30,5
4	31	30	30	29	120	30,0
5	27	31	28	32	118	29,5
Сумма П	149	149	147	150	595	—
$\bar{y}_п$	29,8	29,8	29,4	30,0	—	29,8

Таблица 6

Оценка эффективности 3 экспериментальных планов при случайном варьировании почвенного плодородия

Статистические показатели		Модели ДА		
		МПР	МОП	
			систем.	рандом.
Сумма квадратов/степеней свободы СК/сс	СКО/ссО СКП/ссП СКV/ссV СКЕ/ссЕ СКТ*/ссТ	53,75/19 — 11,5/4 42,25/15 53,75/19	53,75/19 0,95/3 9,5/4 43,3/12 52,8/16	53,75/19 0,95/3 19,0/4 33,8/12 52,8/16
Средний квадрат (дисперсия)	S_p^2 (повторений)	—	0,32	0,32
	S_v^2 (вариантов)	2,88	2,38	4,75
	S_E^2 (остатка)	2,82	3,61	2,82
	S_T^2 (теоретическая)	2,83	3,30	3,30
F-критерий $F_{05} = 3,26$	F_n	—	<1	<1
	F_v	1,02	<1	1,68
Ошибка опыта, %	$E = \frac{\sqrt{S_E^2/n}}{\bar{y}_0} \cdot 100$ (факт)	2,82	3,19	2,82
	$E = \frac{\sqrt{S_T^2/n}}{\bar{y}_0} \cdot 100$ (теор)	2,82	3,05	3,05
Эффективность, % (≤ 100)	$\frac{S_E^2}{S_T^2} \cdot 100$, или $\frac{S_T^2}{S_E^2} \cdot 100$	99,6	91,4	85,4

* СКТ = (СКV + СКЕ) (СКО-СКП) — теоретическая вариация (общая или внутри повторений при их наличии).

комплексного варьирования почвенного плодородия. Расчеты СК (сумм квадратов отклонений) и сс (степеней свободы) опущены ввиду их обусловленности лишь моделью ДА и идентичности по всем 3 видам варьирования плодородия почвы.

Оценка размещения вариантов в условиях систематического (направленного) варьирования плодородия почвы

Исходную урожайность для следующих 3 опытов (табл. 7) брали из ранее приведенной комбинации цифр в табл. 1.

Таблица 7

**Поделяночная урожайность
в слепом опыте в условиях
систематического варьирования
(градиента) плодородия почвы**
(y_i — фактическая урожайность,
 \bar{y}_i — скользящая средняя)

Последовательный ряд делянок	Урожайность, ц/га	
	y_i	\bar{y}_i
1	19	19,7
2	21	20
3	20	21,3
4	23	22,7
5	25	24
6	24	25,3
7	27	25,7
8	26	27,3
9	29	27,7
10	28	28,7
11	29	28,3
12	28	29
13	30	30
14	32	30,7
15	30	31
16	31	31,7
17	34	32,7
18	33	32,7
19	31	33
20	35	33,7

Кривые урожайности имели ярко выраженный тренд возрастания (рис. 2).

Далее следуют 3 ДА по соответствующим моделям (табл. 8, 9, 10). Их результаты сведены в итоговой таблице эффективности (табл. 11).

По аналогичному алгоритму: таблица урожаев (табл. 12), кривые урожайности (рис. 3), ДА по 3 моделям (табл. 13, 14, 15, где расчеты СК и сс опущены) и сводная таблица эффективности проведена сравнительная оценка 3 экспериментальных планов в условиях комплексного варьирования почвенного плодородия.

*Оценка размещения вариантов
в условиях комплексного
(закономерно-случайного)
варьирования плодородия почвы*

Итоги трех ДА сведены в итоговой таблице по оценке эффективности размещения вариантов (табл. 16).

В условиях комплексного варьирования плодородия почвы 100%-ю

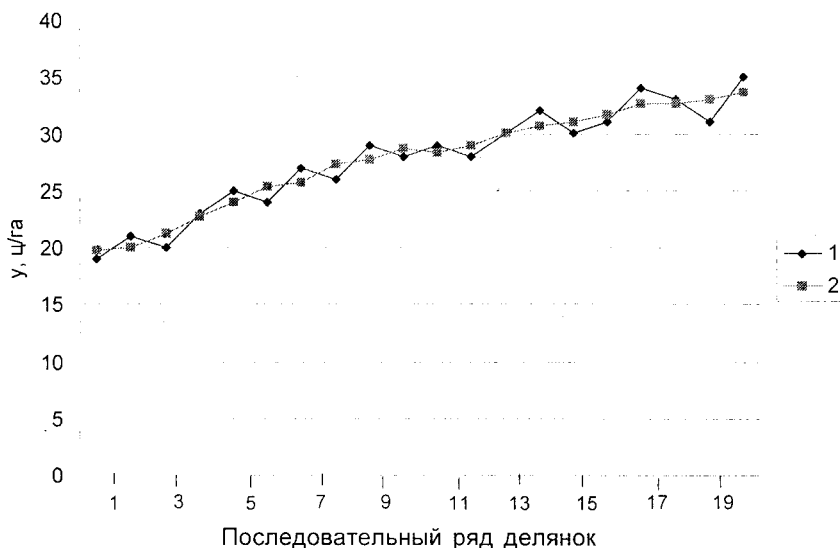


Рис. 2. Кривые урожайности (1 — фактическая, 2 — скользящая средняя) на фоне градиента (закономерного варьирования) плодородия почвы делянок

Модель МПР. Исходная таблица для ДА (условный опыт 4)

Вариант	Повторности*				Сумма V	\bar{y}
	1	2	3	4		
1	24	28	29	30	110	27,5
2	23	29	34	35	121	30,2
3	19	26	30	31	106	26,5
4	20	29	31	33	113	28,2
5	21	25	27	32	105	26,2

* См. схему размещения вариантов и таблицу урожаев (табл. 7).

Таблица 9

Модель МОП систематическая. Исходная таблица для ДА (условный опыт 5)

Вариант	Повторения*				Сумма V	\bar{y}_v
	I	II	III	IV		
1	19	24	29	31	103	25,8
2	21	27	28	94	110	27,5
3	20	26	30	33	109	27,2
4	23	29	32	31	115	28,8
5	25	28	30	35	118	29,5
Суммы П	149	149	147	150	555	—
$\bar{y}_п$	29,8	29,8	29,4	30,0	—	$\bar{y}_0 = 27,8$

* См. схему размещения вариантов (табл. 1) и таблицу урожаев.

Таблица 10

Модель МОП рандомизированая. Исходная таблица для ДА (условный опыт 6)

Вариант	Повторения				Сумма V	\bar{y}_v
	I	II	III	IV		
1	25	24	29	35	113	28,2
2	23	27	32	31	113	28,25
3	19	26	30	34	109	27,2
4	21	29	28	33	11	27,8
5	20	28	30	31	109	27,2
Сумма П	149	149	147	150	555	—
$\bar{y}_п$	29,8	29,8	29,4	30,0	—	$\bar{y}_0 = 27,8$

эффективность дал метод ограниченной рандомизации (рандомизированный блок). Систематический метод размещения вариантов не обеспечил однородного фона для сравнения вариантов ($F_v > F_{05}$). О необходимости контроля плодородия почвы путем введения повторений

свидетельствует и 99%-й уровень достоверности в существенности различий между ними. Высокая эффективность полной рандомизации сочетается с высокой ошибкой, что не позволит в полной мере (с достаточной точностью) оценить опытные варианты.

Таблица 11

**Оценка эффективности 3 экспериментальных планов
в условиях градиента плодородия почвы**

Статистические показатели		Модель ДА		
		МПР	МОП	
			систем.	рандом.
Сумма квадратов/степени свободы СК/сс	СКО/ссО	401,75/19	401,75/19	401,75/19
	СКП/ссП	—	342,115/3	342,115/3
	СКV/ссV	41,5/4	33,5/4	4,0/4
	СКЕ/ссЕ	360,25/15	26,1/12	55,6/12
	СКТ/ссТ	401,75/19	59,6/16	59,6/16
Средний квадрат	S_n^2 (повторений)	—	114,05	114,05
	S_v^2 (вариантов)	10,38	8,38	1,0
	S_E^2 (остатка)	24,02	2,18	4,63
	S_T^2 (теорит.)	21,14	3,72	3,72
F-критерий	F_n ($F_{01} = 6,00$)	—	52,32**	114,05**
	F_v ($F_{05} = 3,26$)	<1	3,84*	<1
Ошибка опыта, %	$E = \frac{\sqrt{S_E^2/n}}{\bar{y}_0} \cdot 100$ (факт.)	8,8	2,6	3,9
	$E = \frac{\sqrt{S_T^2/n}}{\bar{y}_0} \cdot 100$ (теор.)	8,3	8,3	8,3
Эффективность, % (≤100)	$\frac{S_E^2}{S_T^2} \cdot 100$	89,1 ¹⁾	58,6	80,3 ¹⁾

*** — существенно на 5-м (1%-м) уровне значимости; ¹⁾ — $\frac{S_T^2}{S_E^2} \cdot 100$, т.к. $S_E^2 > S_T^2$.

Таблица 12

**Поделяночная урожайность в слепом опыте в условиях комплексного варьирования
почвенного покрова**

Последовательный ряд делянок	Урожайность, ц/га	
	y_i	\bar{y}_i
1	31	31,3
2	32	31,3
3	31	31
4	30	30,3
5	30	30,3
6	31	30
7	29	30,7
8	32	30,3
9	30	29,7
10	27	29,7
11	32	29,3
12	29	30,3

Последовательный ряд делянок	Урожайность, ц/га	
	y_i	\bar{y}_i
13	30	29
14	28	28,3
15	27	27,7
16	28	27
17	26	26
18	24	24
19	22	23
20	23	22,7



Рис. 3. Кривые урожайности (1 — фактическая, 2 — сглаженная) в условиях комплексного варьирования почвенного плодородия

Таблица 13

Исходная таблица ДА для модели МПР (условный опыт 7)

Вариант	Повторности*				Сумма V	\bar{y}
	1	2	3	4		
1	31	27	29	27	114	28,5
2	30	32	26	23	111	27,8
3	31	32	30	22	115	28,8
4	31	30	28	24	113	28,2
5	32	30	29	28	119	29,8

* См. схему размещения вариантов и таблицу урожаев (табл. 12).

Таблица 14

Исходная таблица ДА для систематической модели МОП (условный опыт 8)

Вариант	Повторения*				Сумма V	\bar{y}_v
	I	II	III	IV		
1	31	31	32	28	122	30,5
2	32	29	29	26	116	29,0
3	31	32	30	24	117	29,2
4	30	30	28	22	110	27,5
5	30	27	27	23	107	26,8
Сумма П	154	149	146	123	572	—
$\bar{y}_П$	30,8	29,8	29,2	24,6	—	28,6

* См. схему размещения вариантов и соответствующую таблицу урожаев.

Таблица 15

Исходная таблица ДА для рандомизированной модели МОП (условный опыт 9)

Вариант	Повторения				Сумма V	\bar{y}_v
	I	II	III	IV		
1	30	31	32	23	116	29,0
2	30	29	28	22	109	27,2
3	31	32	30	26	119	29,8
4	32	30	29	24	115	28,8
5	31	27	27	28	113	28,8
Сумма П	154	149	146	123	572	—
$\bar{y}_п$	30,8	29,8	29,2	24,6	—	28,6

Таблица 16

Эффективность полной (МПР) и ограниченной (МОП) рандомизации по отношению к систематическому размещению вариантов в условиях комплексного варьирования плодородия почвы

Статистические показатели		Модель ДА		
		МПР	МОП	
			систем.	рандом.
Сумма квадратов/степени свободы	CKO/ccO CKП/ccП CKV/ccV CKE/ccE CKT/ccT	168,8/19 — 8,8/4 160/15 168,8/19	168,8/19 113/3 35,3/4 20,3/12 55,6/16	168,8/19 113,2/3 13,8/4 41,8/12 55,6/16
Средний квадрат (дисперсия)	S^2_n (повторений) S^2_v (вариантов) S^2_E (остатка) S^2_T (теоритическая)	— 2,2 10,7 8,9	37,7 8,82 1,69 3,48	37,7 3,45 3,48 3,48
F-критерий $F_{05} = 3,26$	$F_n (F_{01} = 6,00)$ $F_v (F_{05} = 3,26)$	— <1	22,3** 5,22*	10,8** <1
Ошибка опыта, %	$E = \frac{\sqrt{S^2_E/n}}{\bar{y}_0} \cdot 100$ (факт)	5,7	2,3	3,3
	$E = \frac{\sqrt{S^2_T/n}}{\bar{y}_0} \cdot 100$ (теор)	5,2	3,3	3,3
Эффективность, % (≤ 100)	$\frac{S^2_E}{S^2_T} \cdot 100$, или $\frac{S^2_T}{S^2_E} \cdot 100$	83,2	48,6	100

Цифры урожаев дробного учета были использованы также для выявления эффективности ограниченной рандомизации. С этой целью моделировали 31 пару условных

опытов (62 комбинации из 20 значений урожайности) для систематического и случайного размещения вариантов и подвергали ДА по модели МОП (систематической и ран-

доминированной). Из 31 пары комбинаций для 19 сравнений установлено превосходство рандомизации, 9 пар опытов оказались равноценными и лишь в 3 случаях систематическое размещение превосходило рандомизацию независимо от вида варьирования плодородия почвы опытных делянок. Оценку проводили на основе сопоставления расчетного F-критерия для каждого из 62 условных опытов с его табличной величиной.

Заключение

Разведывательные посевы и дробный учет урожайности рекогносцировочной культуры (слепой опыт) позволяют выявить характер и степень варьирования почвенного покрова земельного участка перед закладкой опыта. Эти данные необходимы для определения оптимальных параметров структурных элементов опыта и, прежде всего, размещения вариантов. В условиях длительных полевых стационаров представляется возможность изучить не только проблемы научно-практического назначения, но и методические вопросы. В данном исследовании впервые проведены слепые опыты на базе действующего полевого стационара с целью оценки эффективности рандомизации для эксперименталь-

ного плана. Делянками условных опытов послужили метровые площадки внутри опытных делянок. В результате статистической оценки данных 31 условного опыта (комбинации из 20 цифр урожайности ячменя дробного учета) для закономерного (ранжированный ряд) и 31 опыта для случайного (хаотичный ряд цифр) варьирования почвенного плодородия выявлено 80% преимущество рандомизации. Лишь в 5 из 100 изученных случаев строгая последовательность в размещении вариантов (систематический блок) превосходила рандомизацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехов Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. М.: Колос, 1972. — 2. Кирюшин Б.Д., Сафонов А.Ф. Этапы развития длительного опыта ТСХА. В кн.: 90 лет Длительному полевому опыту ТСХА. Изд.-во МСХА, 2002. — 3. Хохлов Н.Ф. Методологические основы совершенствования агрофизической оценки элементов систем земледелия в длительном полевом опыте. Автореф. докт. дисс. М., 2001. — 4. Bdtz G., Dvrfel H., Fuchs A., Thomas E. Pflanzenproduktion. Einführung in die Methodik des Feldversuchs / VEB-DLV, Berlin, 1987. — 5. Rash D. Tiku M.L., Sumpf D. ElsevierTs Dictionary of Biometry, Elsevier, 1994.