

УДК 631.5:311.2

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ

И. С. КОЧЕТОВ, С. М. ВЬЮГИН

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Исследования показали, что при закладке полевых опытов на склоновых среднеэродированных дерново-подзолистых почвах необходимо планировать не менее 3—4 повторений при площади элементарной делянки (стоковой площадки) не менее 800 м² на склоне крутизной 2,5—3° и не менее 1200—3000 м² на склоне крутизной от 4 до 8° при рендомизированном размещении вариантов.

Основным методом исследований в научной агрономии является полевой опыт [2, 5, 9 и др.]. Структура полевого эксперимента в значительной степени определяется закономерностями территориального варьирования пестроты почвенного плодородия. Ярко выраженные изменения плодородия почвы особенно характерны для смытых земель, площадь которых в Центральном Нечерноземье составляет 2492,9 тыс. га.

Изучение изменчивости плодородия почвы земельных участков, на которых планируется закладка опытов, обычно проводят методом дробного учета урожая однородных рекогносцировочных посевов.

Дробные учеты, проведенные практически во всех почвенно-климатических зонах как в нашей стране [2, 3, 4, 5, 12], так и за рубежом [1, 6, 10, 11], показали, что поделяночные урожаи рекогносцировочных посевов всегда в той или иной степени различаются. Причем территориальное варьирование плодородия почвы проявляется на культурных растениях в виде закономерной и случайной изменчивости урожая делянок дробного учета. Характер изменчивости и степень ее выраженности зависят от рельефа участка, выращиваемой культуры, площади делянок и других факторов. Закономерный компонент может достигать 70 % общего варьирования, а случайный — лишь 30 % [7, 8].

В полевой обстановке экспериментатор не имеет возможности выбрать для закладки опыта идеально выравненный по плодородию земельный участок. Чаще всего довольно сильная неоднородность почвенного плодородия и урожайности проявляется при переходе от делянки к делянке дробного учета однообразно возделываемого посева. Необходимо отчетливо представлять всю сложность той конкретной обстановки, в которой проводятся полевые опыты, и хорошо знать основные закономерности территориальной или пространственной изменчивости плодородия почвы.

До настоящего времени никто из исследователей не занимался вопросами закономерностей территориального варьирования почвенного плодородия склоновых земель, на которых планируется закладка стационарных опытов по изучению водной эрозии. Нашей целью было выявить методом дробного учета урожая ячменя и анализа почвенных образцов основные закономерности территориальной изменчивости плодородия почвы.

Методика

Исследования проводили в учхозах Тимирязевской академии «Михайловское» Подольского района Московской области и «Коробово» Вяземского района Смоленской области. Почвенно-климатические условия здесь типичны для Центрального района

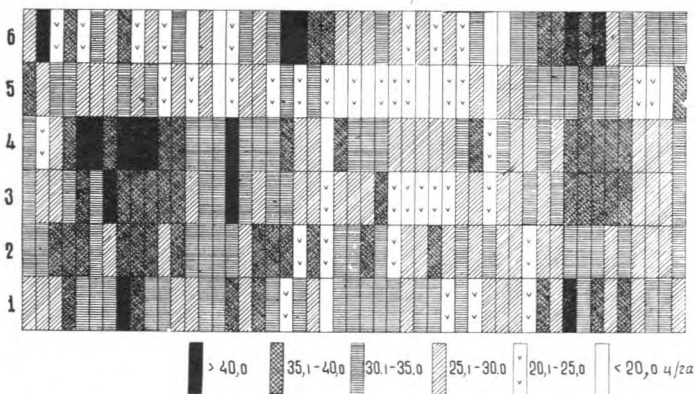


Рис. 1. Распределение 294 делянок дробного учета урожая ячменя на склоновом участке экспериментальной базы ТСХА «Михайловское».

Нечерноземной зоны РСФСР. Почва на полях дерново-подзолистая среднеэродированная, мощность пахотного горизонта 18—22 см, светло-серой и серой окраски, непрочнокомковатой структуры с содержанием гумуса 0,65—1,70%, $pH_{сол}$ в среднем составляет 5,7.

По данным геодезической съемки, поля, расположенные в учхозе «Михайловское», имеют уклон 2,5—3,0° и 4,0—8,0° южной экспозиции, в учхозе «Коровово» — 2,5—3,0° восточной экспозиции.

В обоих случаях опытной культурой был ячмень сорта Московский 121. Для дробного учета урожая земельные участки раз-

били на равновеликие делянки площадью 80 и 100 м². Для выявления вариации пространственной изменчивости основных свойств почвы отбирали смешанные образцы.

Полученные данные дробного учета урожая ячменя (рис. 1) использовали для выявления оптимальной площади делянки (стоковой площадки) и числа повторений, изучения характера территориальной изменчивости плодородия почвы по частям склона в целях определения оптимальной системы размещения вариантов внутри повторений будущего опыта.

Результаты

Дробный учет урожая ячменя и анализ почв показали, что в условиях Московской и Смоленской областей плодородие склоновых земель варьирует в широких пределах даже на сравнительно небольшой территории земельных участков (табл. 1). Так, урожайность ячменя в условиях Московской области колебалась от 15,2 до 45,6 ц/га, в Смоленской области — от 9,6 до 27,5 ц/га. Коэффициенты вариации урожайности на делянках опытных участков составили для учхоза «Михайловское» 25,2 (1977 г.), 9,4 (1980 г.), для учхоза «Коровово» — 26,4%.

На склоновых землях в процессе развития водной эрозии, в результате неумелого использования человеком земельных массивов сформировались «пятна» своеобразных эродированных почв, которые существенно отличаются от несмытых как по морфологическим признакам, так и по агрохимическим свойствам. У них пониженное содержание гумуса и азота за счет обнажения нижних горизонтов, более тяжелый механический состав по сравнению с аналогичными несмытыми почвами, неблагоприятный водный, воздушный и пищевой режим. В связи с этим возделываемые растения находятся в неодинаковых условиях, что, несомненно, приводит к искажению данных об урожае.

Агрохимический анализ показывает неодинаковое распределение основных элементов питания по опытным участкам. Особенно сильно варьирует содержание в почве подвижного фосфора. Меньшим изменениям подвержено содержание гумуса и общего азота. Незначительно изменяется кислотность почвенного раствора.

При постановке полевых опытов в этой зоне на склоновых землях одной из важнейших задач является поиск пути элиминирования пе-

Таблица 1

Варьирование плодородия почвы
и урожайности ячменя (v, %) на
опытных участках

Показатель	«Михайловское»		«Коробово», 1987 г.
	1977 г.	1980 г.	
Урожайность ячменя	25,2	9,4	26,4
Содержание:			
гумуса	13,4	31,0	16,2
азота	9,5	45,0	12,1
доступного фосфора	22,8	47,0	23,6
pH _{сoл}	5,4	11,0	5,4

Таблица 2

Влияние увеличения площади делянки
на ошибку опыта. Учхоз «Михайловское»,
1977 г.

Размер делянки, м ²	$s_{\bar{x}}$, %	F _{факт}	F _{ос}
400	0,95	7,19	2,08
800	0,90	1,42	3,64
1200	1,30	7,67	3,70
2000	1,25	1,51	3,86

строты почвенного плодородия, т. е. ослабления ее влияния на разрешающую способность эксперимента. Одним из таких путей является выбор оптимальной площади опытной (стоковой) делянки. С этой целью на результаты дробного учета урожая ячменя наложили условный опыт с 4 вариантами в 4 повторениях, но площадь делянки последовательно увеличили в 4, 8, 12 и 20 раз.

Полученные нами данные дисперсионного анализа условных опытов, наложенные на дробный учет рекогносцировочного посева ячменя, свидетельствуют, что с увеличением площади делянки возрастает и ошибка опыта (табл. 2). Это связано с тем, что хотя общая площадь опыта остается неизменной, площадь делянки выходит за пределы достаточно однородного по плодородию земельного участка и дальнейшее повышение размера делянки не снижает, а, наоборот, увеличивает ошибку. Следовательно, для склоновых участков 2,5—3,0° оптимальной является площадь делянки (стоковой площадки), равная 800 м². В данном случае относительная ошибка опыта минимальна при $t_{05} > t_{факт}$. Это говорит о том, что на делянках площадью 800 м² колебания урожая ячменя носят случайный характер и разница в продуктивности ячменя между делянками статистически недоказуема.

При постановке полевых опытов по изучению вопросов, связанных с защитой почв от водной эрозии на склоновых землях крутизной 4—8°, особенно важен метод размещения и площадь делянки, так как склоновые земли отличаются чрезмерной пестротой почвенного по-

Таблица 3

Результаты дробного учета урожайности ячменя на делянках разной площади при систематическом (в числителе) и рендомизированном — (в знаменателе) способах их размещения. Учхоз «Михайловское», 1980 г.

Площадь делянки, м ²	$s_{\bar{x}}$, %		F _{факт}	F _{ос}	Эффективность метода, %	Индекс детерминации	
	теоретическая	вычисленная				закономерный	случайный
600	9,43	6,13	6,88	3,33	42,00	0,97	0,03
		10,50	0,41	3,33	89,80	0,17	0,83
900	10,00	3,37	24,50	3,33	11,40	0,92	0,08
		11,50	0,26	3,33	75,30	0,12	0,88
1200	9,96	2,23	57,70	3,33	5,02	0,96	0,04
		11,20	0,34	3,33	78,10	0,15	0,85
1500	9,70	2,00	69,90	3,33	4,20	0,97	0,03
		10,30	0,68	3,33	89,30	0,25	0,75
3000	9,38	2,60	35,60	3,33	8,00	0,94	0,06
		10,60	0,35	3,33	78,20	0,15	0,85

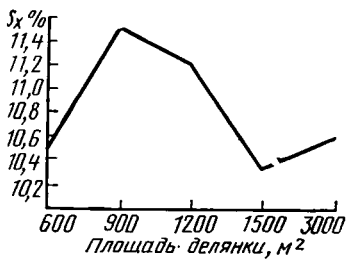


Рис. 2. Изменение ошибки средней в зависимости от размера стоковой площадки.

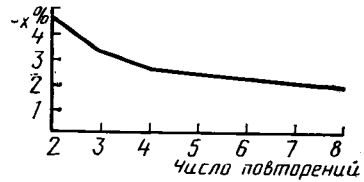


Рис. 3. Влияние увеличения повторности на ошибку опыта при неизменной площади делянки.

крова, обусловленной рельефом местности, экспозицией склона, различной степенью смытости его частей.

Результаты сравнительной оценки методов размещения делянок, выполненные в 1980 г. в учхозе «Михайловское», представлены в табл. 3. Они показывают, что при систематическом размещении делянок четко выражен закономерный компонент варьирования плодородия почв. В зависимости от площади делянки он составляет 0,92—0,97. В подобных случаях последовательное расположение увеличивает дисперсию средних по вариантам и критерий Фишера указывает на существенные различия в условных опытах. Рендомизированное размещение как бы разрушает систематическую изменчивость внутри повторений, способствуя тем самым более равномерному распределению плодородия почвы по делянкам опыта, и выравнивает дисперсии по вариантам и остатку. Индекс детерминации, обусловленный случайными факторами, возрастает до 0,75—0,88 против 0,03—0,08 при систематическом расположении делянок. Критерии Фишера, рассчитанные для делянок разной площади, при случайном их размещении указывают на то, что между средними условного опыта нет существенных различий. Эффективность метода при рендомизированном размещении делянок намного выше, чем при систематическом их размещении. Таким образом, использование рендомизации позволяет получать несмещенную оценку опыта. Наоборот, последовательное размещение делянок ведет к ложному заключению о наличии существенных различий в опытах без реально действующих вариантов. Подтверждением вышесказанного является анализ относительной ошибки опыта. Если судить о качестве работы по ошибке опыта, можно сделать неправильное заключение о действии изучаемых факторов. Согласно данным табл. 3, ошибка опыта при систематическом расположении находится в пределах 2,00—6,13, а при рендомизированном размещении — 10,3—11,5 %. Однако ошибка при рендомизации близка к теоретически ожидаемой (9,43—10,00 %) и более верно отражает неконтролируемые условия проведения опыта. Наоборот, при систематическом размещении она сильно занижена и ей нельзя доверять.

При изучении эрозионных процессов принципиальное значение имеет выбор оптимальной площади делянки. Это обусловлено тем, что для изучения миграции почвенных частиц, растворенных в воде питательных веществ необходимо оборудование стоковых площадок. Площадь стоковой площадки должна быть достаточной для объективной оценки изучаемых эрозионных процессов. Для выявления оптимальной стоковой площадки была рассчитана относительная ошибка опыта для делянок разной площади при их случайном расположении на земельном участке. На рис. 2 видно, что ошибка опыта находится в пределах 10,3—11,5 %. Наименьшая она в случаях площадей делянок 600, 1200, 1500 и 3000 м². Из этого следует, что при устройстве стоковой площадки на склонах 4—8° целесообразно использование делянок площадью 1200, 1500 и 3000 м², поскольку площадь 600 м², согласно литературным данным [5], будет недостаточной для правильной оценки изучаемых процессов.

Статистические показатели дробного учета урожайности ячменя.
Учхоз «Михайловское», 1977 г.

Часть склона	№ полосы	Урожайность, га			Размер вариации, ц/га	Коэффициент вариации, %	Компоненты вариации, %	
		максимальная	минимальная	средняя			закономерный	случайный
Нижняя	1	41,2	17,7	31,2	23,5	15,5	28,6	71,4
	2	39,3	22,8	31,3	16,5	13,5	22,8	77,2
Средняя	3	41,2	20,8	31,2	20,4	17,3	44,6	55,4
	4	43,0	19,5	33,2	23,5	17,8	33,5	66,5
	5	36,6	17,9	26,3	18,7	21,3	61,0	39,0
Верхняя	6	45,6	15,2	30,4	30,4	23,3	37,5	62,5

Известно, что эффективность элиминирования территориальной изменчивости с повышением количества повторений увеличивается. При увеличении количества повторений от 2 до 3 ошибка опыта снижается в 1,5 раза; от 3 до 4 — в 1,3 раза. Дальнейшее возрастание повторности сопровождается незначительным уменьшением ошибки (рис. 3). Так, при увеличении повторности с 5 до 8 ошибка снижается лишь в 1,1 раза.

Следовательно, в условиях Московской области в опытах на склоновых землях нецелесообразно более 7—8 повторений, поскольку сильно возрастают затраты на проведение эксперимента, а ошибка снижается очень незначительно; в опытах по изучению вопросов защиты почв от водной эрозии можно ограничиться 3—4 повторениями.

Для выявления закономерностей пространственной изменчивости почвенного плодородия нами были вычислены статистические показатели данных дробного учета урожайности ячменя (табл. 4). Полученные данные свидетельствуют, что почвенное плодородие по частям склона значительно варьирует и для данной зоны присуща комбинированная изменчивость в пространстве, т. е. плодородие изменяется по делянкам и систематически (закономерно), и случайно.

Для сравнительной оценки эффективности систематического и рендомизированного размещения вариантов по делянкам полевого опыта нами проводилось наложение на дробные учеты условных опытов без

Таблица 5

Результаты дисперсионного анализа условных опытов на склоновых землях при систематическом и рендомизированном размещении вариантов в повторениях

Показатель	«Михайловское», 1977 г.		«Коровово», 1987 г.	
	метод размещения			
	систематический	рендомизированный	систематический	рендомизированный
Сумма квадратов:				
вариантов	4927,26	776,71	119,0	46,0
остатка	4803,34	8953,89	127,0	200,0
теоретически ожидаемая	9730,60	9730,60	246,0	246,0
Дисперсия, s^2 :				
вариантов	985,45	155,34	23,8	8,0
остатка	20,05	32,31	5,1	8,0
теоретически ожидаемая	40,54	40,54	8,2	8,2
Критерий значимости:				
$F_{факт}$	49,25	4,10	4,7	1,0
$F_{об}$	4,36	4,36	2,6	2,6
Ошибка средней, $s_{\bar{x}}$ %:				
вычисленная	2,10	2,85	3,7	4,6
теоретически ожидаемая	2,72	2,72	4,7	4,7
Эффективность метода, %	49,4	92,0	61,9	97,6

фактических вариантов с отбором одних и тех же делянок систематически и случайно (табл. 5).

В условных опытах при отсутствии фактических эффектов вариантов варьирование средних урожаев не должно существенно отличаться от случайного, т. е. дисперсии по строке «варианты» и «остаток» (s_v^2 и s_z^2) должны быть близки по значению; это получается при рендомизации ($s_v^2 = 155,34$; $s_z^2 = 32,31$), тогда как при систематическом расположении равенство двух дисперсий сильно нарушено (соответственно 985,45 и 20,05), а критерий Фишера указывает на существенные различия средних по вариантам ($F_{\text{факт}} > F_{05}$).

Если значение дисперсии ошибки s_z^2 , полученное при разных методах размещения, принять за 100 % к теоретически ожидаемой, то окажется, что эффективность систематического размещения составляет только 49,4 %, а рендомизированного — 92,0 %.

Качество информации, получаемой в опытах с систематическим и рендомизированным размещением вариантов, в настоящее время заслуживает пристального внимания широкого круга специалистов и имеет большое значение для повышения уровня экспериментальных работ [4, 5].

Использование случайных способов распределения делянок на опытных участках является одной из характерных особенностей современного периода развития методики полевого эксперимента. Эффективность этого способа легко доказывается при последовательном наложении на дробные учеты ячменя условно смоделированных опытов систематическим или рендомизированным способом на одни и те же делянки (табл. 5) на склоновых землях крутизной 2,5—3°.

При такой методике выдерживается принцип единственного различия, когда сопоставляемые схемы размещения вариантов относятся к одной и той же сетке дробного учета. В условных опытах при отсутствии фактических эффектов вариантов варьирование средних урожаев не должно существенно отличаться от случайного, т. е. дисперсии по строке «варианты» (s_v^2) и «остаток» (s_z^2) должны быть равны или близки [4, 5]. Указанная закономерность подтверждается данными табл. 5. В данном случае $s_v^2 = s_z^2 = 8$, тогда как при систематическом расположении делянок равенства двух дисперсий нет (23,8 и 5,1), а критерий Фишера указывает на существенные различия средних по вариантам ($F_{\text{факт}} > F_{05}$). Следовательно, при систематическом размещении делянок варьирование средних урожаев обусловлено не только случайным, но и закономерным фактором, что и может привести к субъективной оценке условных вариантов. В подобных случаях использование критерия Фишера становится ненадежным.

Таким образом, при планировании полевых опытов на склоновых землях необходимая точность сравнений и статистической оценки достигается при использовании современных методов размещения вариантов, основой которых является рендомизация. В этом случае исключается опасность значительного смещения в определении ошибки средних по вариантам, сохраняется правомерность использования критерия значимости и появляется возможность правильной оценки качества опытной работы.

Выводы

1. В условиях Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР для склоновых земель характерно значительное территориальное варьирование плодородия почв. В связи с этим в опытах на склоновых землях для повышения надежности получаемой информации площадь элементарной делянки (стоковой площадки) при крутизне склона 2,5—3,0° должна быть не менее 800 м², при 4—8° — не менее 1200—3000 м².

2. При закладке полевых опытов на склоновых землях при изучении водной эрозии целесообразно планировать не менее 3—4 и не более 7—8 повторений.

3. Объективные оценки эффективности изучаемых в опыте агроприемов обеспечиваются при случайном размещении вариантов. Рендомизация разрушает возможное систематическое изменение плодородия почвы внутри повторения и исключает его однонаправленное влияние на результаты опыта. Ошибка средней при рендомизированном размещении вариантов приближается к теоретически ожидаемой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баров В., Шанин И. Методика на полския опыт. — София: Изд-во АСХН, 1965.
2. Брокерт П. Организация полевого опыта со стороны повышения его точности. Одесса, 1926.
3. Деревицкий Н. Ф. Уравнительный и рекогносцировочный посева. — Вестн. с.-х. науки, 1960, № 2, с. 15—18.
4. Доспехов Б. А. Методические указания по постановке полевых опытов в земледелии. — М.: ВАСХНИИ, 1978.
5. Доспехов Б. А. Методика опытного дела (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Агропромиздат, 1985.
6. Литтл Т., Хиллз Ф. Сельскохозяйственное дело. Планирование и анализ / Пер. с англ. — М.: Колос, 1981.
7. Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. — М.: Колос, 1978.
8. Перегудов В. Н., Бабарина И. С. Точность полевых опытов с удобрениями в географической сети опытов ВИУА. — Агрохимия, 1968, № 1, с. 23—28.
9. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. — М.: Наука, 1970.
10. Фишер Р. Статистические методы для исследований. — М.: Статиздат, 1959.
11. Хикс Г. Основные принципы планирования эксперимента. — М.: Мир, 1967.
12. Шашкова Г. Д. Особенности территориальной изменчивости плодородия почвы и эффективность различных методов размещения вариантов в полевом опыте. — Автореф. канд. дис. М., 1969.

Статья поступила 12 декабря 1988 г.

SUMMARY

Investigations have shown that when field experiments are established on sloping medium-eroded soddy-podzolic soils, not less than 3—4 replications should be planned with the area of common plot (run-off site) not less than 800 m², the steepness being 2.5—3°; with steepness of the slope from 4° to 8° — not less than 1200—1300 m² with random distribution of variants.