

УДК 632.51:311

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОБНЫХ  
ПЛОЩАДОК ПРИ УЧЕТЕ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ  
В АГРОФИТОЦЕНОЗАХ

А.М.ТУЛИКОВ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Исследования выполнены в Тамбовской и Московской обл. на пахотных землях в агрофитоценозах различных культур. Экспериментально установлено и статистически подтверждено, что при учете численности сорняков оптимальный размер пробной площадки составляет для популяций: корнеотпрысковых многолетников — 3 м<sup>2</sup>, всех многолетних — 1,0—0,25 м<sup>2</sup> и многовидового сообщества — 0,25 м<sup>2</sup>. С уменьшением величины учетной площади выборочная средняя становится смещенной, нерепрезентативной и неэффективной.

Установлена аналитическая зависимость между относительной ошибкой средней и величиной пробной площадки для любых двух выборок, полученных из одной генеральной совокупности. Это позволяет прогнозировать значения статистических характеристик подлежащих исследованию факторов контроля сорняков.

В целях гармонизации методологических, организационных и экономических аспектов в гербологических исследованиях предлагается повысить ошибку выборочной средней до 10-20%, а доверительную вероятность снизить до 90-80%.

В полевых экспериментах по изучению вредоносности сорных растений в агрофитоценозах, при планировании и реализации истребительных мероприятий в производственных посевах важное значение имеют способы учета количественного обилия сорных растений. От репрезентативности выбранного метода учета зависит уровень достоверности оценки полученных результатов, научная объективность последующего прогноза вредоносности сорняков и степень адекватности принимаемых решений для конкретной производственной ситуации. В этой связи важное значение имеет величина объема выборки.

При определении обилия сорных растений в агрофитоценозах понятие «объем выборки» имеет два основных аспекта. С одной стороны, объем выборки определяется величиной пробной (учетной) площадки, которую назовем «объемом выборки первого рода», а с другой — количеством площадок принятого размера — «объемом выборки второго рода». Однако эти два аспекта объема выборки большинство авторов не различают, что осложняет подходы к методическим исследованиям в фитоценологии по повышению репрезентативности выборки.

Основываясь на статистическом анализе обширных эксперименталь-

ных материалов некоторые исследователи пришли к необходимости учета сорняков сплошь на всей площади каждой опытной делянки [16, 22]. Ряд авторов [1, 2, 8, 9, 11, 19, 20] пришли к выводу, что в методическом и организационном отношении наиболее рациональным является объем выборки первого рода, формируемой учетными площадками размером от 0,25 до 1 м<sup>2</sup>. Некоторые авторы [5, 7, 10, 15, 18] для определения обилия сорных растений используют учетные площадки величиной от 0,5 до 0,01 м<sup>2</sup> и менее.

Столь контрастные подходы к выбору величины учетной площадки объясняются тем, что из поля зрения исследователей выпадает ряд важных обстоятельств. Прежде всего, чрезмерное увеличение размера учетной площадки сопровождается резким снижением производительности труда, которое обычно не компенсируется предполагаемым повышением точности проводимых исследований. Значительное уменьшение величины учетной площадки существенно повышает ошибку наблюдений, снизить которую можно лишь резким увеличением количества пробных площадок. При этом обследуемые посеы сильно повреждаются, что особенно недопустимо в полевых опытах.

При выборе величины пробной площадки необходимо учитывать обилие и характер распределения сорных растений по площади посева, что обусловлено не только различиями в биологии отдельных популяций сорняков, но и особенностями строения фитоценозов полевых культур. В посевах культур сплошного сева наблюдается обилие малолетних сорняков и относительно равномерное распределение их по

площади, чем многолетних. Для последних характерны куртинное, мозаичное размещение по территории и низкая густота стеблестоя вне куртин. Еще заметнее это выражено у разных биогрупп сорняков на плантациях пропашных культур.

И, наконец, выбор величины учетной площадки определяется конкретными задачами проводимых учетов. В полевых опытах стремятся использовать учетные площадки оптимального размера, чтобы снизить ошибку выборочной средней до возможного минимума при заданном уровне вероятности. В производственных условиях необходимость проведения обследования посевов на больших площадях и в очень короткий срок (оперативное обследование) вынуждает герболога, агронома несколько снизить уровень требований к точности проводимых учетов сорняков.

В этой связи целью данной работы является решение ряда актуальных вопросов выборочного метода в приложении к изучению сеgetальных растений агрофитоценозов. Перед автором стояли следующие задачи:

1. Изучить возможное влияние размера пробной площадки (объем выборки первого рода) на величину выборочной и контрольной (*st*) («генеральной») численности сорных растений в агрофитоценозах.

2. Установить оптимальную величину пробной площадки, которая с заданным уровнем доверительной вероятности обеспечит получение репрезентативной выборки для несмещенной оценки численности сорняков.

3. Изучить наличие связей между величиной пробной площадки и статистиками выборки при учете численности сорняков и попытать-

ся установить форму количественной зависимости между этими показателями.

4. Предложить статистически обоснованную методику прогнозирования и определения объема выборки (величины пробной площадки) для агрофитоценозов конкретных местообитаний.

#### Объекты и методика исследований

Количественные анализы и статистическая оценка различных объемов выборки при определении численности сорных растений проведены по экспериментальным материалам, полученным нами в разные годы в полевых опытах на пахотных землях в учебных хозяйствах МСХА.

В учхозе им. Калинина Тамбовской обл. экспериментальные материалы были получены в опыте 1 и 2. Каждый из них был заложен единым массивом на заповольном участке в 6 ярусах с 240 делянками, величиной по 6 м<sup>2</sup> (1 x 6 м). На каждой опытной делянке учет сорных растений проводили сплошь и последовательно по составляющим ее площадкам: 1,2, 2 и 1 м<sup>2</sup>. Затем при количественном анализе моделировали увеличение размера учетных площадок путем их последовательного объединения. Это позволило получить модельные учетные площадки величиной: 1, 3, 6, 12, 24 и 48 м<sup>2</sup> при количестве площадок максимального размера по 30 шт. На всех таких пробных площадках подсчитывали только многолетние корнеотпрысковые сорняки: бодяк полевой (*Cirsium arvense* Scop.) и осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) при массовом появлении их ювенильных растений (фаза розетки).

Подсчет сорняков проводили в опыте 1 в начале вегетационного периода, а в опыте 2 — перед предпосевной культивацией.

В учхозе «Михайловское» Московской обл. исследования проводили в стационарном синтетическом опыте кафедры земледелия и методики опытного дела. Для исследования были выбраны опытные делянки двух вариантов: 1 — зяблевая вспашка отвальным плугом с предплужником на 20-22 см (контроль — К); 2 — мелиоративная зяблевая вспашка отвальным плугом с предплужником на 30-32 см с внесением NPK и навоза (M+NPK+N). Учетная площадь каждой делянки 245 м<sup>2</sup> (7 x 35 м).

На каждой опытной делянке располагали в 7 ярусах сплошные полосы из 7 квадратных учетных площадок (всего по 49 шт.) величиной по 1,0; 0,25; 0,1 и 0,01 м<sup>2</sup>. Учитывали все сорные растения по каждому виду и отдельно по площадкам каждого размера.

В 1-м и 2-м вариантах учеты проводили в посевах клевера 1-го года пользования перед бутонизацией (соответственно опыты 3 и 4), а на следующий год — в посевах озимой пшеницы в начале восковой спелости культуры (соответственно опыты 5 и 6).

Принципиальная особенность методических экспериментов состоит в том, что на каждом фиксированном месте учета (станции) пробная площадка меньшего размера полностью охватывается и поглощается пробной площадкой большего размера. При этом у всех пробных площадок одной станции один угол и образующие его две стороны были общими (реализован принцип «вложенных» площадок или «матрешки») [4].

## Результаты

### Величина учетной площадки и выборочная средняя численность сорняков

На с.-х. угодьях встречаются сорные растения различных агробиологических групп, обычно несхожие по биологии, экологическим требованиям, морфологии, способам размножения, ритмике развития и т.п. Особенно контрастируют по названным свойствам группы малолетних и многолетних сорняков. Последние характеризуются еще относительно низкой плотностью, неравномерным мозаичным и куртинным распределением по площади, а корнеотпрысковые многолетники — чрезмерным упорством и вредоносностью. В посевах обилие многолетних и малолетних сорняков сильно колеблется, но соотношение их в полевых культурах в большинстве регионов страны оценивается соответственно на уровне 5-20% и 80-95% от общего количества сорняков. Следовательно, необходим дифференцированный подход при подборе величины учетной площадки, которая должна отвечать ряду условий: быть адекватной составу и строению обследуемого посева, соответствовать флористическому составу сорной синусии и обеспечивать репрезентативность производимой выборки при ограниченных финансовых, трудовых и временных ресурсах исследователя.

Прежде всего следует обратиться к исследованиям по изучению влияния величины учетной площадки на выборочную численность корнеотпрысковых многолетних сорняков. Результаты дисперсионного анализа экспериментальных материалов по однофакторной схеме опытов 1 и 2 представлены в табл. 1.

## Т а б л и ц а 1

### Выборочная численность корнеотпрысковых многолетних сорняков (шт./м<sup>2</sup>) и оценка некоторых статистик

Величина учетной площадки, (S), м <sup>2</sup>	Опыт 1	Опыт 2
1	20,46**	16,50**
3	16,76	14,19
6	15,72	11,59
12	14,26	11,97
24	13,96	11,75
48(st)	13,79	11,57
$\bar{x}$	15,82	12,92
$S_{\bar{x}}$	1,114	1,249
$S_{\bar{x}} \%$	7,04	9,67
$HCP_{0,05}$	3,09	3,46
$HCP_{0,01}$	4,06	4,56

Примечание. Общепринятые обозначения символов заимствованы из работ Б.А. Доспехова [3], кроме отдельных оговоренных случаев.

Как следует из данных табл. 1, в обоих опытах наблюдается четкая тенденция: с уменьшением величины учетной площадки выборочная средняя численность многолетних сорняков, т.е. среднее количество сорных растений в расчете на 1 м<sup>2</sup>, неуклонно возрастает в сравнении с учетной площадкой наибольшего размера (48 м<sup>2</sup>), которая принята за контроль (st) и фактически представляет генеральную совокупность. Наиболее четко эта тенденция выражена при уменьшении величины учетной площадки от 6 до 1 м<sup>2</sup>.

Результаты дисперсионного анализа данных показывают, что выборочная средняя численность корнеотпрысковых многолетних сорняков по площадкам 1 м<sup>2</sup> и 48 м<sup>2</sup> (st) при уровне вероятности соответственно 95% и 99% существенно различается. Следовательно, чтобы повысить достоверность оценки влияния исследуемых в полевых экспериментах факторов на численность корнеотпрысковых многолет-

ников, необходимо пользоваться учетными площадками величиной не менее 3 м<sup>2</sup>. Вместе с тем, анализ данных табл. 1 позволяет установить, что и увеличение пробной площадки свыше 3 м<sup>2</sup> не приводит к существенному изменению выборочной средней численности корнеотпрысковых многолетников.

Таким образом, оптимальная величина пробной площадки должна определяться как принимаемым уровнем доверительной вероятности, так и оправдываемым объемом трудовых затрат для получения выборочной средней, не различающейся существенно от «генерального» (контрольного) значения численности.

Установленная зависимость между величиной пробной площадки и выборочной численностью сорняков «величина площадки — выборочная численность» достаточно четко прослеживается и при учете многолетних сорняков в опытах 3, 4, 5 и 6 (табл. 2).

Как следует из представленных в табл. 2 данных, при учете только многолетних сорняков, относящихся к различным агробиологическим группам, величину пробной площадки можно уменьшить до 0,25 и даже до 0,1 м<sup>2</sup>. Это вступает в не-

которое несоответствие со сформулированным выше резюме о необходимости использования пробных площадок большой величины при учете корнеотпрысковых многолетников. Однако такой мнимый диссонанс легко устраняется следующими обстоятельствами. Во-первых, в табл. 2 учтена численность многолетних сорняков различных видовых популяций, несходных по габитусу, ритмике развития, морфологии корневой системы, характеру размещения по площади и т.п., что в целом формирует более выравненное сообщество. И, во-вторых, в сравнении с опытами 1 и 2 (см. табл. 1) ошибка выборочной средней (см. табл. 2) в 2-3 раза больше. Вследствие этого при резко расширившихся границах доверительного интервала при 95%-м уровне вероятности нельзя статистически подтвердить возможные различия между изучаемыми вариантами (величина пробных площадок, нормы удобрений, приемы обработки и т.п.). Повышение чувствительности статистических критериев требует резкого увеличения объема выборки, а значит материальных, временных и интеллектуальных затрат.

Т а б л и ц а 2

Выборочная численность популяции многолетних сорняков (шт./м<sup>2</sup>) по учетным площадкам различной величины и оценка некоторых статистик

Величина учетной площадки, (S <sub>1</sub> ), м <sup>2</sup>	Клевер 1-го г.п.		Озимая пшеница	
	опыт 3	опыт 4	опыт 5	опыт 6
0,01	40,82	12,24	34,69**	37,78**
0,1	40,61	9,59	15,10	16,74
0,25	36,73	8,57	15,92	12,73
1,0 (st)	33,39	7,63	13,78	11,53
$\bar{x}$	37,89	9,51	19,87	19,94
S <sub>x</sub>	5,42	2,32	3,92	4,12
S <sub>x</sub> %	13,30	24,41	19,72	20,68
HCP <sub>0,05</sub>	15,32	6,56	11,08	11,66
HCP <sub>0,01</sub>	19,92	8,53	14,40	15,16

Следовательно, использование пробных площадок величиной менее 1 м<sup>2</sup> для учета численности многолетних сорняков ограничена резким повышением ошибки выборки и утратой статистическими критериями чувствительности по меньшей мере на 95%-м и даже 90%-м уровне доверительной вероятности для полевых экспериментов.

Особенно востребованы сведения о величине оптимальной выборки для учета количества сорных растений при смешанном типе засорения посевов. Исследования по изучению зависимости «величина площадки — выборочная численность» при смешанном засорении были выполнены в агрофитоценозах клевера 1-го г.п. (опыты 3 и 4) и озимой пшеницы (опыты 5 и 6), в которых на долю малолетних сорняков приходилось около 75-92% от общей численности сорняков (табл. 3).

Как показывают результаты дисперсионных анализов однофакторных опытов, представленные в табл. 3, при последовательном уменьшении величины пробной площадки в сравнении с контрольной (1 м<sup>2</sup>) отмечается увеличение значений выборочной средней численности сорняков. При этом в сравнении с площадками

в 1 м<sup>2</sup> (st) различия в выборочной численности сорняков при 95%-м и 99%-м уровнях вероятности несут существенны для учетных площадок соответственно 0,25 м<sup>2</sup> и 0,1 м<sup>2</sup> (кроме одного случая из четырех). Это позволяет констатировать, что в полевых исследованиях для учета численности всей популяции сорных растений методически предпочтительнее использование пробной площадки величиной около 0,25 м<sup>2</sup>.

Результаты всех приведенных опытов убедительно подтверждают наличие устойчивой закономерности: с уменьшением величины учетной площадки (объем выборки первого рода) выборочная средняя численность сорняков, как и значения ее других статистик, неуклонно возрастает. Причина заключается в том, что по сравнению с контролем (st) уменьшение величины пробной площадки сопровождается стремительной утратой выборочной совокупности одного из фундаментальных свойств — ее несмещенности [21].

Для проверки других свойств выборочных совокупностей воспользуемся их статистическими характеристиками, в частности, дисперсиями, исследуемыми в опытах 3, 4, 5 и 6 (табл. 4).

Т а б л и ц а 3

Выборочная численность сорняков (шт./м<sup>2</sup>) по учетным площадкам различной величины и оценка некоторых статистик

Величина учетной площадки, (S), м <sup>2</sup>	Клевер 1-го г.п.		Озимая пшеница	
	опыт 3	опыт 4	опыт 5	опыт 6
0,01	167,3*	204,1**	426,5**	273,5**
0,1	169,6*	186,5*	218,4**	150,4*
0,25	148,2	133,7	184, 7**	132,5
1,0 (st)	130,1	100,2	141,4	103,0
$\bar{x}$	153,8	156,1	242,8	164,8
$S_{\bar{x}}$	12,7	27,7	8,6	15,9
$S_{\bar{x}} \%$	8,2	17,8	3,6	9,6
HCP <sub>0,05</sub>	35,1	76,7	23,9	44,0
HCP <sub>0,01</sub>	46,2	101,0	31,5	57,9

Т а б л и ц а 4

Дисперсии ( $S^2$ ) выборочных средних численности всех сорняков

Величина учетной площадки, ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	Клевер 1-го г.п.		Озимая пшеница	
	опыт 3	опыт 4	опыт 5	опыт 6
0,01	23495	122066	62917	52823
0,1	11854	81944	2856	4279
0,25	6095	26525	1090	2307
1,0 (st)	2601	4675	815	933

Проведем статистический анализ данных этих опытов с использованием критерия Фишера (F) [3, 6]:

$$F = \frac{S_i^2}{S_{st}^2},$$

где  $S_i^2 \geq S_{st}^2$ .

Сравним дисперсии  $S_i^2$  каждой выборочной совокупности, полученные пробными площадками уменьшающейся величины, с дисперсией  $S_{st}^2$  выборочной совокупности, полученной площадкой в 1 м<sup>2</sup> (st).

Предполагая, что характеристические показатели объектов генеральной совокупности распределены по нормальному закону, проверим

нулевую гипотезу о равенстве дисперсий ( $S_i^2$ ) сопоставляемых выборочных совокупностей с дисперсией ( $S_{st}^2$ ) выборки, полученной контрольной площадкой (st), т. е.  $H_0: S_{st}^2 = S_i^2$ . В качестве альтернативной гипотезы примем  $H_A: S_{st}^2 < S_i^2$  и воспользуемся односторонним критерием при условии, что для  $F_\Phi$  (фактический),  $F_T$  (теоретический) и  $\alpha$ -уровня значимости ( $\alpha \leq 0,05$ ) вероятность события  $P(F_\Phi > F_T) = \alpha$  при степенях свободы  $v_i = v_{st} = 48$ .

Как следует из данных табл. 5, только для площадок по 0,25 м<sup>2</sup> при 99,9% уровне вероятности  $F_{0,001} =$

$2,65 \left\{ \frac{48}{48} \right\} > F_\Phi$  в трех случаях из

Т а б л и ц а 5

Эмпирические значения  $F_\Phi = \frac{S_i^2}{S_{st}^2}$  при парном сравнении дисперсии

выборочных и стандартной совокупностей  $\frac{S_i^2}{S_{st}^2}$

Дисперсия для сравниваемых пробных площадок, ( $S_i$ ) м <sup>2</sup>	Клевер 1-го г.п.		Озимая пшеница	
	опыт 3	опыт 4	опыт 5	опыт 6
0,01:1,0	9,30	26,11	77,20	56,62
0,1:1,0	4,56	17,53	3,50	4,59
0,25:1,0	2,34***	5,67	1,33***	2,47***

$$F_{0,05} = 1,62; F_{0,01} = 1,98 \text{ и } F_{0,001} = 2,65 \text{ для } \left\{ \frac{y_i}{y_{st}} \right\} = \left\{ \frac{48}{48} \right\}.$$

четырёх, т.е. нулевая гипотеза о равенстве дисперсии не отвергается. Для пробных площадок 0,01 м<sup>2</sup> и 0,1 м<sup>2</sup> во всех случаях  $\Gamma_{\phi} \gg F_{0,001} =$

$$= 2,65, \left\{ \frac{48}{48} \right\}, \text{ т.е. } F_{\phi} \text{ попадает в кри-}$$

тическую область и нулевая гипотеза полностью отвергается.

Значения свидетельствуют о том, что по F-критерию выборочные совокупности, получаемые с помощью пробных площадок 0,01 м<sup>2</sup> и 0,1 м<sup>2</sup>, не удовлетворяют свойству эффективности, т.е. точность получаемых с их помощью оценок статистик не повышается, а снижается!

И, наконец, с уменьшением величины пробной площадки при определении численности сорных растений не соблюдается условие состоятельности оценки:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{\theta - \xi \langle \varepsilon \rangle = 1\},$$

где  $\xi$  — статистика генеральной совокупности;  $\theta$  — выборочная оценка этой же статистики;  $n$  — объем выборки;  $\varepsilon$  — любое малое наперед заданное значение.

В конкретной экспериментальной ситуации условие состоятельности выборочной оценки  $\theta$  не может соблюдаться теоретически, поскольку оно подчиняется закону больших чисел ( $n \rightarrow \infty$ ), и фактически, поскольку последовательное уменьшение величины пробной площадки  $n \rightarrow 0$  явно игнорирует этот закон [21].

Резюмируя изложенное, можем констатировать, что сокращение объема выборки при учете сорных растений за счет уменьшения величины пробной площадки ниже установленных для конкретных популяций сорняков пределов обеспе-

чивает значения выборочных статистик ввиду полной утраты ими фундаментальных свойств: несмещенность, состоятельность и эффективность. Иначе говоря, чрезмерное уменьшение величины пробной площадки при учете сорных растений делает выборочную совокупность в сравнении с генеральной нерепрезентативной и несостоятельной.

### *Поиски аналитической зависимости*

Проведенный статистический анализ обширных экспериментальных материалов позволил получить ряд важных в методическом и теоретическом аспектах результатов. С одной стороны, экспериментально и статистически установлено, что при выборочном методе изучения сорной популяции необходимо использовать пробные площадки величиной не менее допустимого предела и адекватные условиям конкретного полевого сообщества, с другой — эти материалы резко усиливают актуальность проблемы необходимости разработки статистически обоснованной и рациональной методики определения величины пробной площадки (объем выборки первого рода), используемой при планировании учетов или изучения популяций сорняков в агрофитоценозах различных культур. Последнее и побудило нас предпринять попытки к разрешению важной в методическом и научном аспекте проблеме планирования экспериментов.

Обращение к вариациям известной формулы по определению объема выборки [3, 10]:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$



или

$$n = \left( \frac{ts}{S_{\bar{x}}} \right)^2 \quad (1a)$$

не может дать желаемых результатов. В них используемый показатель  $n$  выражает объем выборки в понимании второго рода: количество наблюдений, количество учетов, количество измеряемых объектов и т.п. и не относится к объему выборки первого рода, определяемому величиной пробы, размером учетной площадки, объемом отбираемого образца и т.п.

Для поиска возможной зависимости между соответствующими выборочными статистиками, полученными пробными площадками, используемыми нами в полевых исследованиях, обратимся к статистическим оценкам некоторых из них.

Детальные и последовательные сопоставления и анализы данных, представленных в табл. 6, позволяют установить, что между величи-

ной пробной площадки ( $S_i$ ) и рядом статистик их выборочных совокупностей ( $V_i\%$ ,  $S_{x_i}\%$ ) имеются определенные взаимосвязи. Во-первых, с увеличением размера учетной площадки последовательно и устойчиво снижается величина  $S_{x_i}\%$ . Во-вторых, изменение значения  $S_{x_i}\%$  находится в прямой зависимости не от абсолютного размера учетной площадки, а скорее от ее относительного размера в сравнении с учетной площадкой, принятой за контроль ( $st$ ). В-третьих, скорость снижения величины  $S_{x_i}\%$  примерно на один-два порядка ниже, чем последовательное увеличение размера учетной площадки.

Сформулированные положения позволяют предположить, что искомая количественная зависимость весьма четко выражается в следующей форме: относительная ошибка выборочной средней ( $S_{\bar{x}}\% = y_i$ ) прямо пропорциональна коэффициенту вариации ( $V_i\%$ ) и обратно

Т а б л и ц а 6

Некоторые статистические показатели выборочных совокупностей, полученных пробными площадками различной величины при учете всех сорняков

Величина учетной площадки ( $S_i$ ), м <sup>2</sup> (объем выборки первого рода)	Клевер 1-го г.п.		Озимая пшеница		Клевер 1-го г.п.		Озимая пшеница	
	опыт 3	опыт 4	опыт 5	опыт 6	опыт 3	опыт 4	опыт 5	опыт 6
	Выборочная средняя численность всех сорняков ( $\bar{x}$ ), шт/м <sup>2</sup>				Ошибка выборочной средней ( $S_{\bar{x}}$ )			
0,01	167,3	204,1	426,5	273,5	21,9	49,9	35,8	32,8
0,1	169,6	186,5	218,4	150,4	15,6	40,9	7,6	9,3
0,25	148,2	133,7	184,7	132,5	11,2	23,3	4,7	6,9
1,0 (st)	130,1	100,2	141,4	103,0	7,3	9,8	4,1	4,4
	Коэффициент вариации ( $V_i\%$ )				Относительная ошибка выборочной средней ( $S_{\bar{x}}\%$ )			
0,01	91,6	171,2	58,8	84,0	13,1	24,5	8,4	12,0
0,1	64,2	153,5	24,5	43,5	9,2	21,9	3,5	6,2
0,25	52,7	121,8	17,9	36,3	7,5	17,4	2,6	5,2
1,0 (st)	39,2	68,2	20,2	29,6	5,6	9,7	2,9	4,2

пропорциональна корню степени  $m$  из величины учетной площадки ( $S_i$ ) с помощью которой была сформирована конкретная выборочная совокупность ( $r$ ). Это можно представить следующим выражением:

$$y_i = k_i \cdot \frac{V_i \%}{\sqrt[m]{S_i}} \quad (2)$$

где  $y_i$  — относительная ошибка выборочных средних экспериментальной выборочной совокупности;  $k_i$  — коэффициент пропорциональности.

Для выборочной совокупности учетной площадки оптимального размера ( $\xi_0$ ) или принятой за контроль ( $st$ ) относительную ошибку рассчитывают:

$$y_0 = k_0 \cdot \frac{V_0 \%}{\sqrt[m]{S_0}} \quad (2a)$$

Поскольку уравнения (2) и (2a) выражают адекватную форму зависимости для одинаковых статистик разных выборочных совокупностей из одной и той же генеральной совокупности, то можно предположить, что и значения числителей их правых частей должны быть равны:

$$k_i V_i = k_0 V_0$$

Отсюда, после элементарных преобразований формул (2) и (2a), окончательно получаем:

$$y_i = y_0 \cdot \sqrt[m]{\frac{S_0}{S_i}}, \quad (3)$$

где  $y_0$  и  $y_i$  — относительные ошибки выборочных средних соответственно контрольной ( $y_0$ ) и экспериментальной ( $y_i$ ) выборочной совокупностей;  $S_0$  и  $S_i$  — величины пробных площадок ( $m^2$ ), принятых соответственно за стандартную ( $\xi_0$ ) и экс-

периментальную ( $S_i$ ) для исследуемых выборочных совокупностей;  $m$  — показатель степени корня, значение которого устанавливают экспериментальным путем.

С помощью формулы (3) рассчитали по экспериментальным материалам рассмотренных ранее опытов теоретические значения относительных ошибок выборочных средних ( $y_i$ ) для учетных площадок различной величины ( $S_i$ ), принимая за стандарт ( $S_0$ ) учетную площадку наибольшего размера в соответствующем опыте. Одновременно экспериментальным путем установили оптимальные значения показателя корня ( $m$ ), придавая ему в расчетах последовательные значения целых чисел начала натурального ряда.

Результаты статистических вычислений представлены в табл. 7, 8 и 9.

Прежде остановимся на анализе фактических данных и теоретических значений численности корнеотпрысковых многолетников, рассчитанных по формуле (3) при  $m = 8$ .

Фактические ( $y_{\phi}$ ) и теоретические ( $y$ ) значения относительных ошибок выборочных средних численности корнеотпрысковых многолетников мало различаются. Это убедительно подтверждает и оценка соответствия этих значений по критерию согласия Пирсона  $\chi^2$ : в обоих опытах при 95%-м уровне вероятности и степени свободы  $\nu = 6 - 1 - 1 = 4$ ,  $\chi^2_{4,0,05} = 9,49 \gg 4$ .

Результаты оценки по критерию  $\chi^2$  Пирсона экспериментальных ( $y_{\phi}$ ) и теоретических ( $y$ ) значений относительной ошибки выборочной средней численности многолетних и всех сорняков представлены соответственно в табл. 8 и 9 по опытам 3, 4, 5 и 6. Значения рассчитаны по формуле (3) при  $m = 4$ .

Т а б л и ц а 7

Оценка по критерию  $\chi^2$  различий между эмпирическими ( $y_{\phi}$ ) и теоретическими ( $y$ ) значениями относительной ошибки выборочной средней численности корнеотпрысковых многолетников

Величина учетной площадки ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	Опыт 1			Опыт 2		
	$y_{\phi}$	$\tilde{y}$	$\frac{\Delta^2}{g}$	$y_{\phi}$	$\tilde{y}$	$\frac{\Delta^2}{g}$
1	14,07	15,66	0,16	17,86	15,46	0,37
3	11,34	13,65	0,39	13,24	13,48	0,00
6	9,28	12,51	0,83	10,98	12,36	0,15
12	9,64	11,48	0,29	10,84	11,33	0,02
24	9,56	10,52	0,09	10,01	10,39	0,01
48 (st)	9,65	9,65	0,00	9,53	9,53	0,00
$\chi_{\phi}^2 = 1,76$			$\chi_{\phi}^2 = 0,55$			
$\nu = 6 - 1 - 1 = 4$			$\chi_{4,0,05}^2 = 9,49; \chi_{4,0,05}^2 \gg \chi_{\phi}^2$			

Т а б л и ц а 8

Оценка по критерию  $\chi^2$  различий между эмпирическими ( $y_{\phi}$ ) и теоретическими ( $y$ ) значениями относительной ошибки выборочной средней численности многолетних сорняков

Величина учетной площадки ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	$y_{\phi}$	$\tilde{y}$	$\frac{\Delta^2}{g}$	$y_{\phi}$	$\tilde{y}$	$\frac{\Delta^2}{g}$
<i>Клевер 1-го г. п.</i>						
<i>Опыт 3</i>			<i>Опыт 4</i>			
0,01	28,52	31,72	0,32	38,64	29,69	2,70
0,1	12,81	17,84	1,42	17,45	16,70	0,03
0,25	12,37	14,18	0,23	12,62	13,28	0,03
1,0 (st)	10,03	10,03	0,00	9,39	9,39	0,00
$\chi_{\phi}^2 = 1,97$			$\chi_{\phi}^2 = 2,76$			
$\nu = 4 - 1 - 1 = 2$			$\chi_{2,0,05}^2 = 5,99; \chi_{2,0,05}^2 > \chi_{\phi}^2$			
<i>Озимая пшеница</i>						
<i>Опыт 5</i>			<i>Опыт 6</i>			
0,01	31,94	39,05	1,29	22,33	23,02	0,02
0,1	17,56	21,96	0,91	9,76	12,95	0,79
0,25	13,28	17,47	1,00	9,68	10,30	0,04
1,0 (st)	12,35	12,35	0,00	7,28	7,29	0,00
$\chi_{\phi}^2 = 3,20$			$\chi_{\phi}^2 = 0,85$			
$\nu = 4 - 1 - 1 = 2$			$\chi_{2,0,05}^2 = 5,99; \chi_{2,0,05}^2 > \chi_{\phi}^2$			

Как следует из данных табл. 8 и 9, при уровне вероятности 95% и числе степеней свободы  $\nu = 4 - 1 - 1 = 2$  во всех опытах как по многолет-

ним, так и по всем сорнякам теоретическое значение  $\chi_{2,0,05}^2 = 5,99 > \chi_{\phi}^2$ . Следовательно, различия между фактическими ( $y_{\phi}$ ) и теоретичес-

Оценка по критерию  $y_j$  различий между эмпирическими ( $y_f$ ) и теоретическими ( $y$ ) значениями относительной ошибки выборочной средней численности всех сорняков

Величина учетной площадки ( $S_i$ ), м <sup>2</sup>	$y_f$	$\tilde{y}$	$\frac{\Delta^2}{\tilde{y}}$	$y_f$	$\tilde{y}$	$\frac{\Delta^2}{\tilde{y}}$
<i>Клевер 1-го г. п.</i>						
	<i>Опыт 3</i>			<i>Опыт 4</i>		
0,01	13,09	17,65	1,18	24,48	31,08	1,40
0,1	9,09	9,92	0,07	21,92	17,48	1,13
0,25	7,46	7,89	0,02	17,41	13,90	0,89
1,0 (st)	5,58	5,58	0,00	9,83	9,83	0,00
	$\chi^2_f = 1,97$			$\chi^2_f = 3,40$		
	$v = 4 - 1 - 1 = 2$			$\chi^2_{2;0,05} = 5,99; \chi^2_{2;0,05} > \chi^2_f$		
<i>Озимая пшеница</i>						
	<i>Опыт 5</i>			<i>Опыт 6</i>		
0,01	8,40	9,11	0,06	12,01	13,38	0,14
0,1	3,49	5,12	0,52	6,21	7,52	0,23
0,25	2,55	4,07	0,57	5,18	5,98	0,11
1,0 (st)	2,88	2,88	0,00	4,23	4,23	0,00
	$\chi^2_f = 1,15$			$\chi^2_f = 0,48$		
	$v = 4 - 1 - 1 = 2$			$\chi^2_{2;0,05} = 5,99; \chi^2_{2;0,05} > \chi^2_f$		

кими ( $y$ ) значениями ошибок выборочных средних несущественны.

Таким образом, экспериментально установленная нами зависимость между величиной относительной ошибки выборочной средней ( $y_i$ ) от размера пробной площадки ( $S_i$ ) полностью подтверждается теоретическими выкладками и описывается в аналитической форме уравнением (3) при значении показателя корня  $m = 8$  для корнеотпрысковых многолетников и  $m = 4$  — для других популяций сорняков.

Формула (3) позволяет по известным статистикам (относительная ошибка выборочной средней и величина пробной площадки) выборки, полученной контрольной (st) площадкой, легко рассчитать для пробной площадки планируемого размера наиболее вероятную относительную ошибку выборочной средней.

$$S_i = \left( \frac{y_0}{y_i} \right)^m \cdot S_0 \quad (3a)$$

Формула (3a), элементарным преобразованием трансформированная из формулы (3), позволяет решить и обратную задачу: по известным значениям  $y_0$  и  $S_0$  стандартной выборки легко рассчитать для ошибки выборочной средней ( $y_i$ ) величину пробной площадки ( $S_i$ ), которую следует использовать в планируемом эксперименте.

Полученные результаты способствуют лучшему пониманию теории выборочного метода применительно к бесконечно разнообразным генеральным совокупностям агрофитоценозов с их слабо изученным характером распределения по площади популяций разных растений и особенно сеgetальных, они необ-

ходимы в методологии планирования и при проведении полевых исследований, проектировании и реализации системы контроля за обилием сорных растений в производственных условиях.

В научной литературе сохраняются два исключаящие друг друга подхода к оценке результатов влияния изучаемых факторов на обилие сорных растений. С одной стороны, в экспериментальных материалах авторы обычно не используют статистический анализ, что лишает доказательной научной базы конечные результаты изменчивости обилия сорняков под влиянием исследуемых факторов [7, 17]. Это объясняется тем, что в методических пособиях практически не акцентируется внимание на необходимости статистической обработки данных по изменчивости обилия сорняков в посевах [13, 14].

А, с другой стороны, в методической литературе указывается, что при проведении исследований необходимо выдерживать точность опыта, не допуская его ошибки свыше 5% — общепринятого в полевых экспериментах уровня значимости [3, 14]. Это условие, принятое по умолчанию, вполне выполнимо при статистической обработке данных по урожайности культур, которая подчиняется закону нормального распределения и характеризуется коэффициентом вариаций 10-20% [3]. По отношению к показателям обилия сорняков в посевах это условие невыполнено. Это объясняется как необычайно высокой вариацией признака (см. табл. 6), так экономической неоправданностью и технической порчей опытных делянок при попытке увеличить объем выборочной совокупности.

Все изложенное указывает на необходимость внимательно и диф-

ференцированно пользоваться рядом методологических критериев. При этом следует учитывать не только сущность и особенности изучаемых объектов, но и планируемый уровень ответственности для проводимых полевых опытов. Поэтому, исходя из морфологических и биологических особенностей сорных растений, их флористического состава и характера размещения в агрофитоценозах, более рациональным в методологическом, экономическом и организационном отношениях установить значения точности полевых герботологических исследований на уровне 10—20%, а уровень доверительной вероятности понизить до 90~80%. Это согласуется и с технической эффективностью большинства приемов по уничтожению сорных растений, которая редко превосходит 80%.

#### Выводы

1. При определении обилия сорного компонента в агрофитоценозах последовательное уменьшение величины учетной площадки (объем выборки первого рода) сопровождается достоверным и неуклонным увеличением выборочной средней численности сорняков, дисперсии, ошибки выборочной средней, коэффициента вариации в сравнении с соответствующими статистическими показателями контрольной («генеральной») совокупности.

2. Статистически установлено, что оптимальная величина пробной площадки зависит от состава и строения исследуемых агрофитоценозов и биологических особенностей составляющих сорную синузию растений. Оптимальными по размеру следует признать пробные площадки при учете сорняков: корнеотпрысковых многолетников — не менее 3 м<sup>2</sup>, всех многолетних сорня-

ков — не менее 1,0—0,25 м<sup>2</sup> и популяции всех сорняков — не менее 0,25 м<sup>2</sup>.

3. Независимо от мотивов сокращения объема выборки первого рода, уменьшение в полевых экспериментах величины пробной площадки ниже оптимальной столь сильно искажает статистические параметры выборки, что не позволяет оценить достоверность результатов даже прогностически эффективных и изучаемых в опытах приемов или технологий по контролю обилия популяции сорняков.

4. Теоретически установлена и экспериментально подтверждена зависимость между величиной пробной площадки и относительной ошибкой выборочной численности сорняков для любых двух сопоставляемых выборок, полученных из одной генеральной совокупности пробными площадками разного размера. Эта зависимость выражается в аналитической форме:

$$y_i = y_0 \cdot m \sqrt{\frac{S_0}{S_i}} \quad \text{или} \quad S_i = \left( \frac{y_0}{y_i} \right)^m \cdot S_0.$$

где  $y_0$  и  $y_i$  — относительные ошибки выборочных средних численности сорняков (%), полученные учетными площадками соответственно контрольного или оптимального ( $\xi_0$ ) и моделируемого ( $\xi_i$ ) размера (м<sup>2</sup>);  $m$  — показатель корня, установленный для популяции корнеотпрысковых многолетников ( $m = 8$ ) и популяции всех сорняков ( $m = 4$ ).

5. Во всех вариантах и на весь период исследований полевого опыта по контролю обилия сорных растений численность сорняков следует учитывать на пробных площадках только одинакового и оптимального размера.

6. В целях гармонизации методологического, организационного и

экономического аспектов в теории проектирования и практике реализации гербологических исследований необходимо допустить повышение относительной ошибки выборочной средней численности сорняков до 10–20% и снижение уровня доверительной вероятности до 90–80%.

7. При учете численности сорных растений использование пробной площадки менее оптимальной и неодинаковой по различным вариантам и фонам величины обуславливает формирование выборочной совокупности, статистические характеристики которой не соответствуют важнейшим критериям методологии полевых экспериментов: несмещенность, репрезентативность и эффективность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Воеводин А.В. и др.* Метод, указ. по испытанию гербицидов в растениеводстве. Общая часть. М.: Колос, 1969. — 2. *Груздев Г.С.* Методы учета сорной растительности и их применение. Докл. ТСХА, 1957. Вып. 28. С. 71–77. — 3. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1968. — 4. *Доспехов Б.А. и др.* Закономерности количественной изменчивости обилия сорных растений в агрофитоценозах в зависимости от размера учетной площади. Отчет НИР. № Гос. Рег. 72.035.929. — 5. *Жуков В.Н.* Комплексная вредоносность сорняков полевого севооборота Каменной степи (ЦЧП). Автореф. канд. дисс. СПб., 2003. — 6. *Закс Л.* Статистическое оценивание / Пер. с нем. М.: Статистика, 1976. — 7. *Зуза В.С.* Засоренность посевов: потенциальная и фактическая // Защита растений, 1992. № 12. С.8–10. — 8. *Комаров Н.Ф.* Методика изучения сорной растительности // Советская ботаника, 1934. № 3. С. ПО–126. — 9. *Кондратьева Е.* К методике

количественного учета сорно-полевой растительности // Советская ботаника, 1935. № 1. С. 77-89. — 10. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. Изд. 4-е перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. — 11. *Ленъков П.В.* К вопросу о методике учета засоренности травостоя (Дробный учет полевых сорных растений) // Научно-агрономический журнал, 1928. № 5-6. С. 414-428. — 12. *Марков М.В.* Агрофитоценология / Изд-во Казанского Университета, 1972. — 13. *Найдин П.Г. и др.* Полевой опыт / Под ред П.Г. Найдина. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Колос, 1967. — 14. *Никитенко Г.Ф. и др.* Опытное дело в полеводстве. М.: Россельхозиздат, 1982. — 15. *Новожилов К.В. и др.* Методы учета вредных организмов / Защита растений, 2002. № 2-6. — 16. *Пачоский И. К. и др.* Результаты исследований сорно-полевой растительности на Аджамской с.-х. опытной станции. Херсон, 1916. — 17. *Приходько Б.В.* Монохория Корсакова и меры борьбы с ней на рисовых полях Краснодарского края // Автореф. канд. дисс. Краснодар, 2002. — 18. *Расинъш А.* О рациональной методике учета сорняков // Химия в сельском хозяйстве, 1967. № 5. С. 69-73. — 19. *Смирнов Б.М. и др.* Методика и техника учетов сорняков. НИИСХ Юго-востока. МСХ РСФСР / Науч. тр., 1969. Вып. 26. Саратов. [Б. и.]. — 20. *Туликов А.М.* Методы учета и картирования сорно-полевой растительности. М.: МСХА, 1974. — 21. *Четыркин Е.М. и др.* Вероятность и статистика. М.: Финансы и статистика, 1982. — 22. *Шевелев И.Н.* Осот (*Cirsium arvense* Scop.). Екатеринбург. обл. с.-х. оп. станция. Екатеринбург. [Б. и.], 1917.

*Статья поступила  
3 марта 2005 г.*

#### SUMMARY

Research done in Tambov and Moscow regions on arable lands in agrophytocoenosis of various crops. The experiment showed and proved statistically that the amount of weeds counted, optimum size of a test field plot is: for root off shoot perennials — 3 m<sup>2</sup> for all perennials — 1,0-0,25 m<sup>2</sup> and for multi-specific — 0,25 m<sup>2</sup>. With a decrease of the area-sample average area becomes displaced, non-representative and ineffective.

Analytical dependence is established between average relative error and a size of a test field plot for any of the two excerpts, which were obtained from one general totality. It allows to forecast values of statistical characteristics of weed control factors.

To harmonize methodological, organizational and economic aspects of herbological research it is important that we should raise error average to 10-20%, and reduce probability to 90-80%.