

УДК 631.42:631.445.2:631.437:631.51.01

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ЕЕ ОБРАБОТКИ

А.И. ПУПОНИН, Н.Ф. ХОХЛОВ, А.В. ГУБАНОВ

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В многолетних стационарных полевых опытах установлены высокая степень изменчивости и разброс значений изучаемых динамических показателей физического состояния почвы в зависимости от систем ее обработки. Выявлена различная степень мозаичности физического состояния в вариантах опыта, причем последняя связана с направлением обработки почвы. В мелкоделяничном опыте установлено влияние структуры и пространственной картины неоднородности физического состояния почвенного профиля на урожайность полевых культур. Отмечена целесообразность применения методов нетрадиционной статистики при анализе экспериментального материала в том случае, когда закон распределения изучаемых признаков не подчиняется нормальному.

Изучение физического состояния почвы занимает ведущее место при оценке и разработке приемов и систем механической обработки почвы. Методической основой исследований является выборочный метод, базирующийся на случайном распределении почвенных показателей. В соответствии с требованиями метода [2—4, 9] пункты опробования на делянках полевых опытов принято распределять рендомизированно, а результаты (в задачах «сравнения») оценивать традиционными статистическими критериями (t и F). В последние 2 десятилетия

исследования по обработке почвы на кафедре земледелия и методики опытного дела Тимирязевской академии проводятся в многолетних полевых стационарных опытах. Это позволило более углубленно изучать параметры физического состояния почвы, использовать экспериментальные установки для организации режимных наблюдений. Однако, несмотря на все это, лишь в редких случаях и только по отдельным параметрам полученные результаты [1, 6, 9] были статистически обеспечены, а оцениваемые варианты стало возможным обоснованно рекомен-

довать как средство управления физическим состоянием почвы. Одна из причин сложившейся ситуации состоит в том, что изучение динамических физических показателей почвенного плодородия в условиях стационарных полевых опытов — трудоемкий и дорогостоящий процесс. Из-за высокой естественной пространственной неоднородности динамических параметров, существенно возрастающей в условиях многолетних стационарных опытов по обработкам почвы [3, 5, 7], требуется значительное увеличение количества учетных единиц. Последнее однако не главное препятствие к объективной оценке лабильной составляющей физического состояния почвы в условиях стационарных опытов. Не решены многие методические проблемы. До сих пор относительно ограниченно и односторонне определен сам объект исследований. Как правило, при изучении влияния приемов и систем обработки на динамические параметры физического состояния почвы внимание концентрируется на сравнительной оценке усредненных эффектов вариантов опыта. При этом на второй план уходят структура и пространственная картина неоднородности, отражающие полный эффект приема и, следовательно, дающие основу выявить варианты обработки почвы, потенциально способные при замене технических средств (например, при увеличении ширины захвата агрегата) эффективно влиять на физическое состояние почвы. Поскольку аккумулирующиеся техногенные воздействия, требующие учета и элиминирования, в многолетних стационарных полевых опытах существенно искажают естес-

твенную и присущую варианту неоднородность физического состояния, при традиционном обобщенном подходе многие приемы и системы обработки почвы, реализуемые серийными агрегатами, выпадают из поля зрения экспериментатора. Не отработан также минимальный набор показателей, достаточных для оценки динамической составляющей физического комплекса почвы при использовании конкретных приемов обработки. Очевидно, из множества почвенных параметров необходимо выбрать лучшие. Причем наибольшую информативность (по доле дисперсии) для отдельных вариантов обработки почвы могут нести лишь 2—3 коррелятивно или функционально не связанных параметра. Учитывая, что опыты с обработкой почвы закладываются различными методами, обобщение результатов по одинаковым вариантам становится практически невозможным без выяснения внутريدеляночной мозаики физического состояния почвенного профиля.

Методика

Исследования проводили в 2 многолетних (21—25 лет) стационарных полевых опытах, заложенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в учебном хозяйстве «Михайловское» Московской области.

В полевом опыте 1 (зернопропашной севооборот) изучали следующие системы обработки почвы:

1 — отвальная (контроль): вспашка на 20—22 см, культивация на 8—10 см, предпосевная обработка РВК-3; 2 — фрезерная минималь-

ная: без основной обработки, предпосевное фрезерование на 8—10 см; *в полевом опыте 2 (зернотравяной севооборот)*: 1 — отвальная (аналогично с опытом 1); 2 — поверхностная: лушение на 5—6 см, фрезерование на 6—8 см и посев комбинированным агрегатом КА-3,6; 3 — чизельная: лушение на 5—6 см, рыхление чизельным плугом на 38—40 см при расстоянии между рыхлительными органами 45 см, фрезерование на 6—8 см и посев комбинированным агрегатом КА-3,6; 4 — роторная: лушение на 5—6 см, вспашка ротационным плугом на 20—22 см, фрезерование на 6—8 см и посев комбинированным агрегатом КА-3,6; 5 — улучшенная отвальная: вспашка на 20—22 см, фрезерование на 6—8 см и посев комбинированным агрегатом КА-3,6.

Для детального рассмотрения поля физических динамических параметров под яровыми зерновыми культурами были выделены вне учетной части делянки измерительные площадки 1,25 x 2,25 м. Внутри них применяли квадратную сетку размещения пунктов опробования с элементарной репрезентативной площадью 0,0625 м² (25 x 25 см).

В каждом пункте (n = 45) в фазу кущения яровых зерновых культур твердомером Ревякина регистрировали твердость почвы и отбирали почвенные образцы для определения характеристик строения, влажности и водопроницаемости. Использовали унифицированные режущие кольца диаметром 7 см и высотой 7,5 см (элементарный репрезентативный объем образца 288 см³). Плотность почвы определяли методом режущего кольца, влажность —

термостатным методом. Одновременно на нижнем срезе образца (на глубине 9, 16, 23, 30 см) измеряли диаметр биопор, после чего на лабораторной установке при постоянном напоре воды (h = 2,0 см) определяли водопроницаемость образца при установившейся скорости фильтрации.

В микрополевым опыте (площадь делянки 0,5 м²) изучали влияние вдольповерхностной горизонтальной (фактор А) и профильной вертикальной (фактор В) микронеоднородности по плотности на урожай тест-культуры — ячменя и овса.

По фактору А было 5 градаций: А₁ — без микрозон при верхнем значении фактора; А₂ — 1 микрозона; А₃ — 3 микрозоны; А₄ — 5 микрозон; А₅ — без микрозон при нижней величине фактора.

По фактору В — 3 градации: В₁ — глубина 5—10 см; В₂ — 5—15 см; В₃ — 5—20 см. Повторность опыта 5-кратная.

Экспериментальный материал обрабатывали с учетом геометрии размещения точек опробования на персональной ЭВМ.

Результаты

Статистические исследования экспериментального материала показали различную степень варибельности и существенные по вариантам обработки особенности разброса значений динамических показателей физического состояния почвы. Наибольшей изменчивостью, а значит, и информативностью в верхней части почвенного профиля в опыте 1 под овсом при отвальной и фрезерной минимальной системах обработки характеризовались показа-

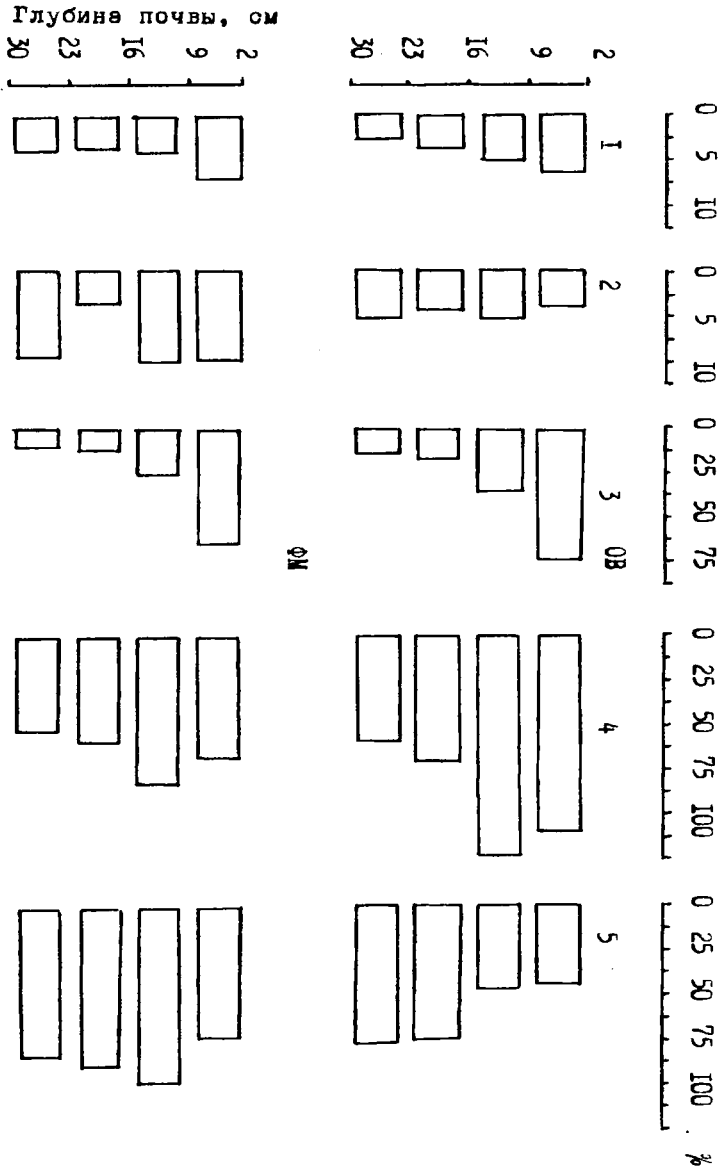


Рис. 1. Коэффициенты вариации агрофизических показателей дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при различных системах ее обработки.

ОВ — отвальная на 20—22 см; ФМ — фрезерная минимальная обработка; 1 — плотность, г/см³; 2 — влажность, %; 3 — твердость, кг/см²; 4 — водопроницаемость при установившейся скорости фильтрации, мм/мин; 5 — биопористость, мм².

тели твердости, биопористости и водопроницаемости (рис. 1). Однако для нижней части почвенного профиля биопористость была заметно информативнее остальных признаков. При фрезерной минимальной обработке отмечено значительное (1,5—2,0 раза) повышение степени разброса значений влажности в слоях 9—16 и 23—30 см.

Масштабы варьирования динамических показателей в стационарном опыте 1, где технологические операции по внесению удобрений, уходу за посевами производятся попеременно направления обработки почвы, существенно превышали масштабы разброса значений в опыте 2, в котором основные технологические приемы проводятся в одном направлении — вдоль обработки почвы.

Работая с упорядоченным размещением пунктов опробования, мы имели возможность выяснить существенные особенности вероятностной и геометрической картины разброса значений параметров физического состояния. Оказалось, что из-за значительного спектра соотношений уплотненных и неуплотненных частей делянки динамические свойства характеризуются асимметричным и даже многовершинным частотным распределением [2—4]. Отсюда следует, что привычные средние и дисперсии не могут точно оценить «истинный» (не связанный с шириной захвата техники, используемой в опыте) эффект изучаемого приема обработки, так как существенно смещаются в сторону увеличения [3]. В этом случае сравнительный анализ систем обработки почвы на базе вероятностно-статистических представлений о природе физических явлений становится невозможным

без привлечения нетрадиционных методов статистического анализа [2, 3].

Так как распределение значений параметров физического состояния по почвенному профилю (рис. 2) не подчиняется нормальному и логнормальному законам, для всестороннего анализа необходимо воспользоваться критериями непараметрической статистики. При этом в первую очередь целесообразно выяснить различия по характеру сравниваемых распределений. При объеме выборки более 10 удобен серийный критерий U. Для выявления различий в центральной тенденции распределения, отражающей совместное воздействие на поле динамических параметров приема обработки и техногенного фактора (колеса машины, трактора), допустимо использование критериев Вилкоксона W и t, а в отношении различий в размахах варьирования удобен критерий Вилкоксона в модификации Сиджела — Тьюки [2]. В случае анализа структурных различий в левой части распределения диагностически ценны квантили α_{10} и α_{25} (рис. 2). Они дают информацию о влиянии дискретных воздействий (глубокого чизелевания, щелевания) на параметры физического состояния, а также полезны для вычленения «чистого» эффекта приема обработки почвы. Тем самым удается увидеть варианты обработки, потенциально способные при замене технических средств управлять физическим состоянием почвы. Как видно на рис. 2, изучаемые варианты обработки имели близкие к контролю значения квантиля α_{10} (нижних децилей), но различались по значениям квантилей α_{90} . Это означает, что при

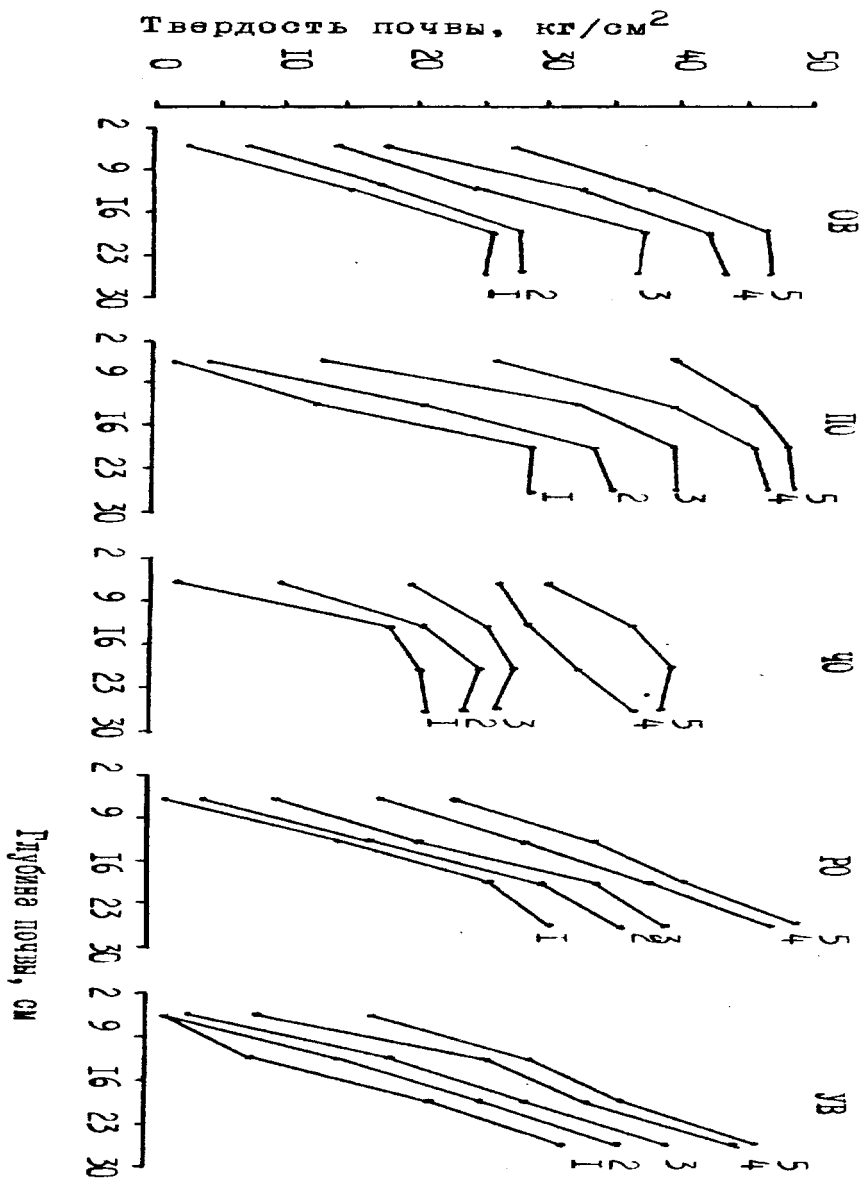


Рис. 2. Значения квантилей (α) твердости дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при различных системах ее обработки в полевом опыте 1.

OB — отвальная на 20—22 см; PO — поверхностная обработка; ЧО — чизельная обработка; РО — роторная плугом; УВ — улучшенная отвальная; 1 — α_{10} ; 2 — α_{25} ; 3 — α_{50} ; 4 — α_{75} ; 5 — α_{90} .

обычном раздельном выполнении предпосевной подготовки и посева зерновых культур только около 10% площади делянки оставалось вне действия колес техники. В производственных условиях эту долю можно изменить путем увеличения рабочей ширины захвата почвообрабатывающих орудий и агрегатов.

Обращаясь к картине поля физических факторов, естественно предположить, что уплотненные и менее или неуплотненные зоны могут образовываться при одинаковом частотном распределении различающихся по выраженности, величине и геометрии мозаику. Так как выделенные по отдельным параметрам мозаики физического состояния могут не совпадать, мы воспользовались комплексной оценкой таких базовых показателей, как плотность, твердость и влажность. Для этого с каждой индивидуальной площадки экспериментальный материал подвергли кластерному анализу, а выделенные кластеры наносили на рисунок согласно плану опробования. Затем подсчетом соседних пунктов, попавших в общие кластеры, получали различной формы и величины мозаики. Индекс «мозаичности» определяли по формуле

$$\text{ИМ} = \frac{\sum_{i=1}^K \text{Pi lg Pi}}{\lg K},$$

где ИМ — индекс «мозаичности» (от 0 до 1,0); Pi — доля однородных групп, %; K — число групп (в данном случае 4).

Почва в вариантах разных систем обработки характеризовалась различной выраженностью мозаичности физического состояния. Причем

в полевом опыте 2 после чизельной системы обработки индекс «мозаичности» в слое 2—9 см был равен 0,63, при отвальной и поверхностной системах — соответственно 0,23 и 0,32. После обработки роторным плугом и комбинированным агрегатом КА-3,6 индекс «мозаичности» в слое почвы 9—30 см был значительно выше, чем в остальных вариантах, и составил 0,62—0,72 (рис. 3).

Важно отметить, что при одинаковой отвальной системе обработки значение этого показателя для слоя почвы 16—23 см в опыте 1 оказалось существенно больше (0,69), чем в опыте 2 (0,30). Это дает основание для анализа складывающейся в опытах под зерновыми культурами агрофизической ситуации в двух аспектах: в связи с уровнями урожайности, обусловливаемыми динамической составляющей физического состояния и технической нагрузкой в стационарном опыте. Первый связан с общеизвестной зависимостью продуктивности культуры (функции) от характера и напряженности пространственного распределения поля почвенных факторов (структуры), второй — с возможностью конструктивного изменения используемой технологии. Первый позволяет объяснить сложившуюся в настоящее время в стационарных полевых опытах ситуацию, при которой существенно различающиеся по интенсивности воздействия на динамические параметры агрофизического состояния почвы приемы ее обработки обеспечивают статистически равные урожай (при прочих равных условиях) или, напротив, отдельные приемы различаются по влиянию на продуктив-

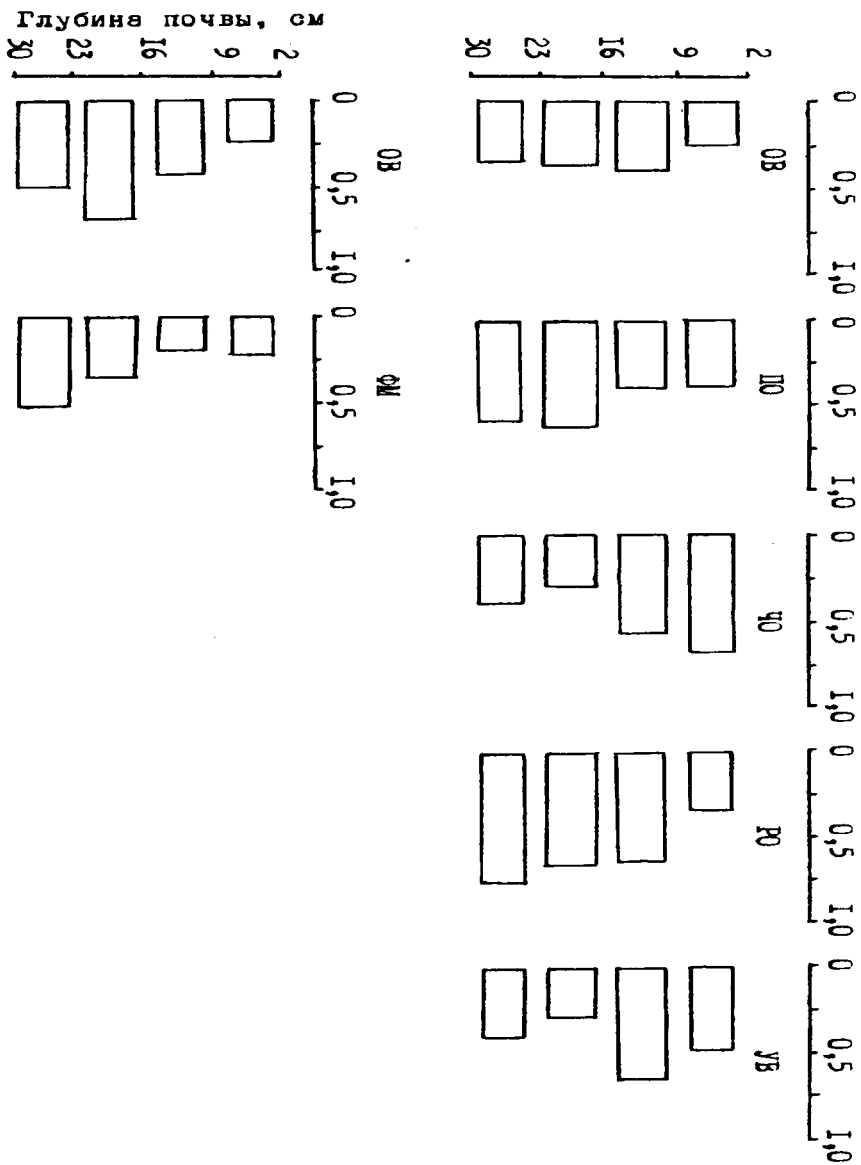


Рис. 3. Индекс мозаичности агрофизических показателей дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при различных системах ее обработки в опыте 2 (вверху) и в опыте 1.

ность зерновых культур при близких параметрах физического состояния. В плане второго аспекта можно считать целесообразным уточнение элементов послепосевной технологии в опыте 1. Так как в отличие от опыта 2 основные мероприятия по уходу за посевами выполняются здесь поперек направления обработки почвы, следует обратить внимание на снижение уплотняющего воздействия при проходах техники.

Результаты двухлетнего микрополевого опыта по изучению сопряженности пространственной организации поля физического состояния почвы и урожайности зерновых культур подтвердили изложенное выше. Из таблицы видно, что урожайность тест-культуры ощутимо снижалась при переходе от делянок без микрозон с верхним значением фактора A_1 к делянкам с нижним значением фактора A_3 , т.е. для ячменя была достигнута статистичес-

ки требуемая контрастность фактора мозаичности. Если за абсолютный контроль принять урожайность без микрозон (среднее арифметическое из A_1B_1 и A_3B_1), то по разности между ним и соответствующим вариантом с микрозонами можно косвенно оценить эффект горизонтальной неоднородности физического состояния почвы. Для ячменя это влияние в условиях опыта проявлялось с 3 микрозонами и не уступало действию на урожайность профильной неоднородности. Эффекты влияния мозаичности поля физических факторов в среднем за 2 года для тест-культуры овса были практически неощутимыми. Это подтверждает известное положение о том, что овес более пластичен, чем ячмень, основной рост его корневой системы происходит в период достаточного увлажнения почвы и она легче преодолевает небольшие участки с уплотнением.

Урожайность ячменя ($г/м^2$) в среднем за 1992—1993 гг.

Горизонтальная неоднородность, фактор А	Профильная неоднородность, фактор В			Вычисленные эффекты к ($A_1B_1 + A_3B_1$) : 2		
	1	2	3	1	2	3
1	177,0	186,5	197,5	—	—	—
2	155,5	159,5	166,0	+0,5	—5,5	—9,2
3	150,5	155,0	160,5	—4,5	—10,0	—14,7
4	153,0	155,0	160,0	—2,0	—10,0	—15,2
5	133,0	143,0	153,0	—	—	—

Примечание. НСР₀₅ 11,0.

Заключение

В многолетних стационарных полевых опытах установлено, что при выращивании яровых культур на делянках наблюдаются неодинако-

вые степень изменчивости и разброс значений динамических показателей физического состояния почвы в зависимости от систем обработки, техники закладки и проведе-

ния опыта. При этом по комплексу показателей выявлена различная степень мозаичности физического состояния почвы. Последняя, по данным микрополевого опыта, оказывает ощутимое влияние на урожайность ячменя. Выявить и элиминировать влияние данного фактора в многолетних стационарных опытах возможно при организованных системах опробования почвы и использования при обработке данных нетрадиционных методов статистического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Верещак М.В.* Действие разных систем обработки и удобрений среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы на ее плодородие. — Автореф. канд. дис. М.: МСХА, 1976. — 2. *Гатаулин А.М.* Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве. Ч. 1 и 2. М.: Изд-во МСХА, 1992. — 3. *Дмитриев Е.А.*

Закономерности пространственной неоднородности состава и свойств почв. — Автореф. докт. дис. М.: Изд-во МГУ, 1983. — 4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. — 5. *Керженцев А.С.* Изменчивость почвы в пространстве и времени. М.: Наука, 1992. — 6. *Певнев М.И.* Влияние разных систем обработки почвы в интенсивном земледелии на ее окультуренность и плодородие. — Автореф. канд. дис. М., 1985. — 7. *Сапожников П.М.* Физические параметры почв при антропогенных воздействиях. — Автореф. докт. дис. М., 1994. — 8. *Сергеев С.С.* Сельскохозяйственная статистика с основами социально-экономической статистики. — Учебник, 6-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 1989. — 9. *Хохлов Н.Ф.* Минимализация обработки дерново-подзолистой почвы в специализированном севообороте зернового направления. — Автореф. канд. дис. М.: МСХА, 1981.

Статья поступила 10 февраля 1995 г.

SUMMARY

High level of variability and spread in values of the investigated dynamic indicators of physical state of the soil depending on the system of its management have been found in long-term stationary field experiments. In variants of the experiment different degree of mosaic in physical state has been found, the latter being connected with the trend of soil management. In the experiment conducted on a small plot it was found that the structure and spatial pattern of heterogeneity in physical state of soil profile affect the yield of field crops. Advisability of applying organized methods of soil testing and using non-traditional methods of statistical analysis in data processing has been shown.