

УДК 631.516:631.445.2:631.43:631.434.5

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ МЕЛКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

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

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

В полевом стационарном опыте в зернопропашном севообороте изучено влияние длительного (23 года) мелкого фрезерования при ежегодном удобрении (111N138P112K, навоз 14,4 т/га) на агрофизическое состояние дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. По результатам определения изменений микроструктурности, дифференциальной порозности, содержания водорастворимого и агрегированного илов сделано заключение о начале физической деградации почвы.

Особенностью экспериментального изучения консервативных физических параметров плодородия почвы является его значительная продолжительность (нередко несколько десятилетий), необходимая для аккумуляции и устойчивого проявления эффектов оцениваемых агротехнических систем. В связи с этим все больше исследований, посвященных проблемам обработки почвы, проводится в стационарных полевых опытах, а центр тяжести интересов смещается в область теории и обсуждения результатов. Прежде всего это относится к базовым положениям об эффективности гетероген-

ного строения пахотного слоя, технологически реализуемого систематическим мелким фрезерованием.

Методика

Экспериментальная часть работы выполнена в многолетнем стационарном полевом опыте, заложенном Б.А. Доспеховым в учхозе «Михайловское» на равнинно-возвышенном участке типичного ландшафта зоны Южной тайги. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая; содержание гумуса в слое 0—20 см — 1,61%, физической глины — 36,3%.

В опыте развернут во времени

зернопропашной севооборот: занятый пар (бобово-злаковая смесь) — зерновые — зерновые — пропашные (картофель) — зерновые — зерновые.

Исследования выполняли в следующих вариантах систем обработки почв: 1 — отвальная, принятая в зоне (контроль): вспашка на 20—22 см, весеннее боронование, предпосевная культивация на 8—10 см и обработка РВК-3 под зерновые культуры и однолетние травы, перепашка зяби на 14—16 см и культивация на 8—10 см под картофель; 2 — минимальная фрезерная: без основной обработки, предпосевное фрезерование под зерновые культуры и однолетние травы на 8—10 см, под картофель — на 14—16 см.

Системы удобрения, вошедшие в настоящее исследование, следующие: 1 — без удобрений; 2 — навоз 15 т (в среднем за год 14,4 т) + 2NPK (111N138P112K). Азот давали в форме NH_4NO_3 .

Для оценки преобразования физического состояния почвы на 23 года опыта из 20 случайно распределенных по делянке пунктов после уборки овса буром диаметром 25 мм были отобраны почвенные образцы. В качестве базового критерия для последующего поделяночного исследования объединенных проб принимали устойчивость почвы к дезинтеграции в водной среде. Сообразуясь с этим методическим подходом, для получения оценки на уровне агрономически ценных макроагрегатов (размером более 0,25 мм) пользовались методом качания сит. Время воздействия воды при частоте 40 двойных качаний в 1 мин на навеску почвы 5 г составляло 5 мин.

Гранулометрический и микроагрегатный состав почвы определяли методом Н.А. Качинского, содер-

жание воднопептизированного и агрегированного илов — по методу Н.И. Горбунова. Дифференциальную пористость рассчитывали по данным водоудерживания почв, которую определяли в лабораторных условиях на тензиостатах с песчано-каолиновыми мембранами в диапазоне измерения потенциала влаги от 1 до 50 кПа, а также в прессах Ричардса в диапазоне от 30 до 150 МПа.

Результаты

В агропочвоведении изучение закономерностей изменения физического состояния почвы принято проводить в последнее время с позиции иерархии уровней ее структурной организации [1, 2, 6]. В наших исследованиях наиболее устойчиво регистрируемые изменения при длительном мелком фрезеровании выявлены на уровне элементарных почвенных частиц и микроагрегатов. Так, проведенная под влиянием работ Н.И. Чижиковой [9, 10] оценка агрогенных преобразований тонкодисперсной части почвы с выделением подфракций дробной пептизации показала значительное снижение содержания воднопептизированного и агрегированного илов в слое почвы 2—16 см и его возрастание в слое 16—23 см (табл. 1).

Аналогичное действие длительно-го фрезерования на агрофизическое состояние получено с помощью анализа данных гранулометрического и микроагрегатного состава. Судя по снижению коэффициента структурности по Н.А. Качинскому, почва слоя 2—23 см начинает заметно терять микроструктурность и способность к образованию микроагрегатов (табл. 2).

Содержание воднопептизированного (числитель)
и агрегированного (знаменатель) ила (%) на 23-й год опыта

Система удобрения	Слой почвы, см			
	2—9	9—16	16—23	23—30
<i>Отвальная система обработки почв (контроль)</i>				
Без удобрений	$\frac{0,61}{16,32}$	$\frac{0,80}{17,12}$	$\frac{0,83}{17,75}$	$\frac{1,42}{26,31}$
2NPK + навоз	$\frac{0,52}{14,31}$	$\frac{0,64}{16,04}$	$\frac{0,69}{16,12}$	$\frac{1,10}{21,52}$
<i>Фрезерная система обработки почвы</i>				
Без удобрений	$\frac{0,24}{13,16}$	$\frac{0,38}{13,91}$	$\frac{1,57}{28,07}$	$\frac{1,23}{21,32}$
2NPK + навоз	$\frac{0,16}{11,22}$	$\frac{0,25}{11,64}$	$\frac{1,24}{25,07}$	$\frac{0,97}{18,31}$

Данные ситового анализа почвы в воде (табл. 3) подтвердили установленное ранее в опыте положение о позитивном влиянии систематического мелкого фрезерования на водопропрочность макроструктуры [3, 4, 8]. При системе отвальной обработки отмечено эффективное действие удобрений на водопропрочность макроструктуры слоя 23—30 см.

Систематическое проведение мелкого фрезерования в зернопропашном севообороте повлияло на характер порового пространства. При этом наибольших изменений на неудообренном фоне коснулось содержание пор более 3 мкм, а на фоне 2NPK + навоз — пор менее 3 мкм (табл. 4).

Агрофизическая оценка, осуществляемая путем анализа данных с использованием традиционных (t, F) и непараметрических критериев, показала, что на 23-й год опыта поч-

ва делянок с мелким систематическим фрезерованием на фоне 2NPK + навоз в верхней части (слой 2—16 см) корнеобитаемого слоя характеризовалась существенно меньшими значениями плотности и твердости, а в слое 2—30 см — водопроницаемости (табл. 5).

Обсуждение результатов

Интерпретация результатов оценки физического состояния почвы является наиболее сложным и ответственным этапом экспериментальной работы в условиях стационарных опытов. В значительной мере это связано с особым характером горизонтальной структуры поля физических параметров, обуславливаемого техническими средствами и методами закладки опыта [7]. В нашем случае, чтобы избежать известного недопонимания определяющей роли закона распределения

Гранулометрический (числитель) и микроагрегатный (знаменатель) состав (%) дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном мелком фрезеровании

Слой, см	Размер фракций, мм						K _c *
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	
<i>Отвальная обработка почвы</i>							
<i>Без удобрения</i>							
2-23	2,62 <u>6,44</u>	1,30 <u>8,25</u>	52,89 <u>62,49</u>	10,49 <u>12,72</u>	12,00 <u>6,96</u>	15,98 <u>3,12</u>	80,1
23-30	2,27 <u>6,91</u>	2,37 <u>6,86</u>	54,49 <u>60,78</u>	9,99 <u>12,47</u>	10,69 <u>8,38</u>	16,00 <u>3,91</u>	75,6
<i>2NPK + навоз</i>							
2-23	2,72 <u>5,45</u>	1,41 <u>6,81</u>	54,47 <u>63,24</u>	9,36 <u>12,53</u>	10,81 <u>8,96</u>	16,15 <u>2,99</u>	81,4
23-30	2,18 <u>5,83</u>	1,56 <u>5,58</u>	55,50 <u>60,66</u>	9,47 <u>13,09</u>	10,82 <u>11,59</u>	16,41 <u>3,23</u>	80,4
<i>Фрезерная обработка почвы</i>							
<i>Без удобрений</i>							
2-23	2,25 <u>4,91</u>	1,46 <u>7,79</u>	55,06 <u>61,07</u>	10,22 <u>12,29</u>	10,14 <u>10,41</u>	16,16 <u>3,61</u>	77,4
23-30	3,09 <u>4,37</u>	1,94 <u>6,84</u>	53,69 <u>61,60</u>	9,84 <u>13,13</u>	11,26 <u>10,92</u>	16,97 <u>3,30</u>	80,1
<i>2NPK + навоз</i>							
2-23	2,57 <u>4,88</u>	2,11 <u>4,80</u>	54,43 <u>62,18</u>	9,50 <u>13,07</u>	10,65 <u>11,35</u>	15,68 <u>3,68</u>	76,5
23-30	2,99 <u>5,22</u>	2,03 <u>4,64</u>	53,90 <u>61,52</u>	9,91 <u>13,19</u>	11,23 <u>11,71</u>	16,52 <u>3,69</u>	78,6

* K_c — Коэффициент структурности по Н.А. Качинскому.

Т а б л и ц а 3

Содержание водоустойчивых агрегатов (%) размером > 0,25 мм

Слой, см	Система удобрения	
	без удобрений	2NPK + навоз
<i>Отвальная система обработки почвы</i>		
2—23	54,5	54,7
23—30	52,7	58,3*
<i>Фрезерная система обработки почвы</i>		
2—23	56,5	57,2
23—30	57,6	56,8

* Здесь и в других таблицах — статистически значимо на 0,05% уровне.

Т а б л и ц а 4

Изменение дифференциальной пористости почвы при длительном мелком фрезеровании в слоях 8—16 см (числитель) и 22—30 см (знаменатель)

Система удобрения	Содержание пор, % к объему размером, мкм			
	> 60	60—10	10—3	< 3
<i>Отвальная обработка почвы (контроль)</i>				
Без удобрений	<u>16,4</u>	<u>6,8</u>	<u>5,9</u>	<u>25,8</u>
	13,0	5,0	4,2	22,4
2NPK + навоз	<u>14,0</u>	<u>6,4</u>	<u>4,0</u>	<u>29,9</u>
	12,5	4,4	4,6	29,0
<i>Фрезерная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>12,6</u>	<u>5,0</u>	<u>6,0</u>	<u>30,7</u>
	13,1	5,7	3,7	24,1
2NPK + навоз	<u>12,6</u>	<u>5,8</u>	<u>4,2</u>	<u>32,4</u>
	11,7	5,6	5,4	24,8

физического параметра плодородия на корректность применяемых методов статистического анализа, мы вынуждены вместе со средними арифметическими одновременно пользоваться робастными (медиа-

ной) оценками (табл. 5). Во всех остальных случаях в силу значительной трудоемкости анализов заключение строилось по арифметическим средним определения.

Таблица 5

**Средние арифметические (числитель) и медианы (знаменатель)
физических свойств почвы на 23-й год опыта**

Система удобрения	Слой, см			
	2—9	9—16	16—23	23—30
<i>Плотность, г/см³</i>				
<i>Отвальная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>1,15</u>	<u>1,29</u>	<u>1,37</u>	<u>1,42</u>
	1,17	1,28	1,39	1,43
2NPK + навоз	<u>1,14</u>	<u>1,27*</u>	<u>1,32</u>	<u>1,42</u>
	1,13	1,26	1,31	1,41
<i>Фрезерная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>1,13</u>	<u>1,30</u>	<u>1,38</u>	<u>1,43</u>
	1,13	1,30	1,38	1,43
2NPK + навоз	<u>1,14</u>	<u>1,24*</u>	<u>1,33</u>	<u>1,43</u>
	<u>1,15*</u>	<u>1,24*</u>	<u>1,32</u>	<u>1,42</u>
<i>Твердость N/мм²</i>				
<i>Отвальная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>1,9</u>	<u>3,4</u>	<u>3,9</u>	<u>4,0</u>
	1,5	<u>3,6</u>	4,0	4,1
2NPK + навоз	<u>2,1</u>	<u>3,4</u>	<u>3,8</u>	<u>4,1</u>
	2,2	<u>3,5</u>	4,0	4,2
<i>Фрезерная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>1,9</u>	<u>3,5</u>	<u>4,0</u>	<u>4,1</u>
	1,8	<u>3,5</u>	4,0	4,2
2NPK + навоз	<u>2,0</u>	<u>3,1</u>	<u>3,6</u>	<u>3,9</u>
	<u>1,8*</u>	<u>3,1*</u>	3,8	4,0
<i>Водопроницаемость, мм/ч</i>				
<i>Отвальная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>0,30</u>	<u>0,11</u>	<u>0,10</u>	<u>0,08</u>
	<u>0,30</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	<u>0,06</u>
2NPK + навоз	<u>0,28</u>	<u>0,11</u>	<u>0,08</u>	<u>0,06</u>
	0,24	0,12	0,06	0,06
<i>Фрезерная обработка почвы</i>				
Без удобрений	<u>0,31</u>	<u>0,11</u>	<u>0,10</u>	<u>0,08</u>
	<u>0,30</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	<u>0,06</u>
2NPK + навоз	<u>0,34*</u>	<u>0,10</u>	<u>0,10</u>	<u>0,10*</u>
	<u>0,30*</u>	0,12	<u>0,12*</u>	<u>0,12*</u>

* Статистически значимо на 0,05% уровне.

Чтобы судить о действии длительного фрезерования на агрофизическое состояние почвы, необходимо принять главные установки для понимания сущности использования анализируемых показателей. Эвристически ясно и экспериментально доказано [5] преимущество мелких обработок в сочетании с удобрением для оптимизации агрономических свойств в верхней части корнеобитаемого слоя. Однако при чрезмерно интенсивных антропогенных воздействиях на локальные части профиля почвы естественно предположить и возможные необратимые деградационные изменения. Если принять положение, что при удовлетворительной системе земледелия происходит внутриагрегатная реорганизация минеральных фаз, в меньшей мере затрагивающая содержание воднопептизированного ила, то значительное уменьшение его в обрабатываемом слое как по удобренному фону, так и без удобрений при фрезеровании свидетельствует об активной пептизации тонкодисперсной массы и, возможно, начинающейся физической деградации (табл. 1). Поскольку одновременно отмечено снижение содержания агрегированного ила, определяющего основную функцию взаимодействия с органическим веществом, становится объяснимым снижение устойчивости почвы к воздействию воды на микроагрегатном уровне (табл. 2). Такие процессы при фрезеровании не могли отрицательно сказаться на способности к созданию агрономически ценной, пористой и водопропускной структуры. Упомянутые выше причины, опре-

деляющие вектор агрегированности на уровне элементарных частиц и микроагрегатов, не согласуются с результатами определения содержания водоустойчивых макроагрегатов (табл. 3). Однако этот феномен находит объяснение с позиции временного скрепления почвенных частиц и агрегатов корневыми системами возделываемых растений. Подобные изменения структурного состояния почвы отражаются на дифференциальной пористости (табл. 4), т.е. отмечается образование качественно новой структуры с низкой внутриагрегатной пористостью.

Рассмотрение влияния длительного фрезерования на физическое состояние почвы нельзя ограничивать только структурно-агрегатным уровнем и не оценивать при этом тесно сопряженные с вышеназванными показателями параметры плодородия. Поэтому вслед за уборкой зерновой культуры были определены показатели плотности, твердости и водопроницаемости (табл. 5).

Анализ полученных эффектов показывает, что снижение плотности сложения и твердости почвы при фрезеровании не вызвано улучшением физического состояния на агрегатном уровне. Однако этот феномен может быть объяснен следующим образом. Поскольку масса сухого вещества почвы в единице объема ненарушенного сложения определяется соотношением твердой и живой фаз, то естественно полагать существенное увеличение последней (корневых систем) к концу вегетации полевых культур. Плотность же единицы истинного объема вещества корней в 2 раза и более ниже

плотности минеральной части педоматрицы. Поэтому снижение массы единицы объема сухого вещества почвы может не сопровождаться увеличением рбщей и воздухоносной пористости. Что касается повышения при фрезеровании водопроницаемости, то это в большей мере определялось не межагрегатной, а биологической пористостью. Так, суммарная площадь капролитных и ризогенных биопор, регистрируемая на срезе режущего кольца перед определением водопроницаемости, при фрезеровании на глубине 9 и 30 см превышала на 2,1—2,0 мм² биологическую пористость при обычной технологии обработки почвы.

Заключение

Анализ экспериментального материала по оценке агрофизического состояния дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы на уровне микроагрегатов и элементарных частиц дает достаточно оснований для заключения о начале физической деградации почвы при проведении в течение 23 лет в зернопропашном севообороте мелкого фрезерования. Подтверждением корректности такой интерпретации является также повышенная склонность почвы к слитизации и коркообразованию. Снижение массы сухого вещества интенсивно пронизанной корневыми системами растений почвы в единице ее объема при ненарушенном сложении и сопротивлении почвы пенетрации создают иллюзорную картину оптимизации агрофизического состояния при длительном фрезеровании.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронин А.Д.* Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во МГУ, 1984. — 2. *Воронин А.Д.* Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. — 3. *Доспехов Б.А., Васильев И.П., Верещак М.В., Маймусов В.Н.* Действие длительной фрезерной обработки на свойства среднесуглинистой почвы и урожай сельскохозяйственных культур. — Изв. ТСХА, 1977, вып. 4, с. 23—32. — 4. *Певнев М.И.* Влияние разных систем обработки дерново-подзолистой почвы в интенсивном земледелии на ее окультуренность и плодородие. — Автореф. канд. дис. М., 1985. — 5. *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. — 6. *Сапожников П.А.* Физические параметры плодородия почв при антропогенных воздействиях. — Автореф. докт. дис. М., 1994. — 7. *Хохлов Н.Ф., Эльмер Ф.* К методике оценки твердости почвы в полевом стационарном опыте. Изв. ТСХА, 1994, вып. 4, с. 181—188. — 8. *Чигаев А.М.* Влияние различных по интенсивности и качеству систем обработки на свойства почвы и урожайность растений. — Автореф. канд. дис. М., 1991. — 9. *Чижикова Н.П. и др.* Влияние удобрений и пара на тонкодисперсную часть почв. — Почвоведение, 1992, № 12, с. 93—105. — 10. *Чижикова Н.П.* Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза. — Автореф. докт. дис. М., 1992.

*Статья поступила 17 августа
1995 г.*

SUMMARY

In field stationary experiment in grain row rotation the effect of long-term (23 years) shallow rototilling with yearly fertilization (111N138P112K, manure — 14.4 t/ha) on agrophysical condition of soody-podzolic medium loamy soil has been studied. According to the results in determining changes in microstructurization, differential porosity, content of water-soluble and aggregated silts, the conclusion about starting physical degradation of the soil has been made.