



## ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В СЕВЕРНОМ ЗАУРАЛЬЕ

✉ Перфильев Н.В., Вьюшина О.А.

*Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук  
Тюмень, Россия*

✉ e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

В длительном стационарном опыте (1988–2019 гг.) изучено воздействие отвальной, безотвальной, комбинированной, дифференцированной, поверхностной, плоскорезной систем основной обработки на изменение агрегатного состава темно-серой лесной почвы. Исследования проводили в северной лесостепи Северного Зауралья (Тюменская область). За 30-летний период использования в пашне почва слоя 0–20 см сохраняла структурное состояние, не уступающее исходному по большинству исследуемых вариантов обработки. С увеличением глубины профиля почвы до слоя 0–30 см за счет повышения доли глыбистой фракции в нижнем слое 10–30 см происходило снижение содержания агрономически ценной структуры в сравнении со слоем 0–20 см, а также с исходным состоянием по большинству исследуемых систем обработки. Самое высокое содержание агрономически ценной структуры в слое почвы 0–20 см было по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки (72,8–77,8%). За 30-летний период содержание агрономически ценной структуры (10–0,25 мм) в слое почвы 0–20 см увеличилось по данным обработкам на 6,12–13,45%, коэффициент структурности – на 21,9–60,3%. По остальным системам обработки содержание данной фракции (67,5–69,8%) и коэффициент структурности (2,07–2,31) были близкими исходному состоянию – 68,6% и 2,19 соответственно. Средневзвешенный диаметр агрономически ценных агрегатов увеличился от 2,71 мм при исходном состоянии до 3,00–3,29 мм (7,7–21,2%) за счет существенного увеличения доли этих агрегатов в слое 0–10 см. В целом по профилю почвы 0–30 см самые высокие показатели структурного состояния оставались по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки. Безотвальная, комбинированная и поверхностная обработки снижали в сравнении с отвальной системой содержание агрономически ценной структуры на 9,7–15,9%, вели к снижению коэффициента структурности на 0,99–1,39 ед.

**Ключевые слова:** структура почвы, система основной обработки, коэффициент структурности, средневзвешенный диаметр агрегатов

## EFFECT OF TILLAGE SYSTEMS ON CHANGES IN THE AGGREGATE COMPOSITION OF DARK GRAY FOREST SOILS IN THE NORTHERN TRANS-URALS

✉ Perfilyev N.V., Vyushina O.A.

*Scientific Research Institute of Agriculture for Northern Trans-Ural Region - Branch of Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
Tyumen, Russia*

✉ e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

In a long-term stationary experiment (1988-2019) the impact of mouldboard, non-mouldboard, combined, differentiated, surface and sweep-blade tillage systems on the change in the aggregate

composition of dark gray forest soils was studied. The research took place in the northern forest-steppe of the Northern Trans-Ural (Tyumen Region). Over a 30-year period of use in arable land, the soil of 0-20 cm layer retained its structural condition not inferior to the initial one for most of the studied variants of cultivation. With increasing the depth of the soil profile up to 0-30 cm layer due to an increase in the proportion of clumpy fraction in the lower layer 10-30 cm there was a decrease in the content of agronomically valuable structure compared to the layer 0-20 cm, as well as with the initial state on most of the studied systems of cultivation. The highest content of agronomically valuable structure in the soil layer 0-20 cm was on the mouldboard, sweep-blade and differentiated tillage systems (72.8-77.8%). Over the 30-year period, the agronomically valuable structure content (10-0.25 mm) in the soil layer 0-20 cm increased by 6.12-13.45% in these treatments, the structure coefficient by 21.9-60.3%. For the other treatment systems, the content of this fraction (67.5-69.8%) and the structure coefficient (2.07-2.31) were close to the initial condition - 68.6% and 2.19, respectively. The average weighted diameter of agronomically valuable aggregates increased from 2.71 mm in the initial condition to 3.00-3.29 mm (7.7-21.2%) due to a significant increase in the proportion of these aggregates in the 0-10 cm layer. In general, the highest indicators of the structural condition of the soil profile of 0-30 cm remained on the mouldboard, sweep-blade and differentiated systems of cultivation. Non-mouldboard, combined and surface tillage reduced the content of agronomically valuable structure by 9.7-15.9% compared with the mouldboard system, and led to a decrease in the coefficient of structure by 0.99-1.39 units.

**Keywords:** soil structure, tillage system, structure coefficient, average weighted diameter of aggregates

**Для цитирования:** *Перфильев Н.В., Вьюшина О.А.* Влияние систем основной обработки на изменение агрегатного состава темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 2. С. 5–15. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-1>

**For citation:** Perfilyev N.V., Vyushina O.A. Effect of tillage systems on changes in the aggregate composition of dark gray forest soils in the Northern Trans-Urals. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 2, pp. 5–15. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-2-1>

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

#### **Благодарность**

Работа выполнена в соответствии с программой НИР по государственному заданию № 121041600037-3.

#### **Acknowledgements**

The work was performed in accordance with the research program under the state assignment No. 121041600037-3.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В процессе активного сельскохозяйственного использования пашни в течение многих лет состояние плодородия почвы может изменяться как в положительную, так и в отрицательную сторону. Это зависит от условий использования пашни, степени соблюдения базисных научно обоснованных параметров зональных систем земледелия, касающихся ее основных элементов.

При учете важности всех составляющих этих элементов обработка почвы, особенно основная, занимает важное место в формировании почвенного плодородия. Обработка – основной инструмент регулирования

агрофизических свойств почвы, от которых зависят ее биологическая активность, питательный режим, фитосанитарное состояние посевов, плодородие [1].

Одним из важных показателей агрофизических свойств почвы является ее структура, т.е. способность почвы распадаться на отдельные агрегаты (комочки), которые различаются по форме и размерам [2, 3]. В свою очередь, изменение агрегатного состава приводит к изменению физических свойств почвы [4, 5]. Уменьшение содержания агрономически ценных агрегатов и увеличение глыбистости ведет к снижению продуктивности культур [6].

В настоящее время существует множество приемов и способов обработки почвы различной степени интенсивности, а также противоречивых мнений о том, какие из них наиболее эффективнее влияют на улучшение ее агрофизических свойств. Одни ученые считают, что при минимизации обработка улучшает структуру почвы [7–10], другие являются сторонниками традиционной технологии обработки [11, 12]. Перед исследователями стоит задача преодолеть эти противоречия [13]. В связи с этим разработка систем обработки почвы, обеспечивающих формирование и устойчивое поддержание оптимальных параметров агрофизических свойств почвы, в том числе ее структурного состояния, является актуальной задачей современного земледелия [14].

Цель исследования – определить влияние различных систем основной обработки на структурно-агрегатный состав темно-серой лесной почвы при их длительном применении в условиях северной лесостепи Тюменской области.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучено влияние различных систем основной обработки почвы с элементами минимизации при длительном применении (завершение 6-й ротации севооборота) на структурно-агрегатное состояние темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы. Опыт заложен в стационаре на опытном поле Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра СО РАН (57006°, 39°с.ш.; 65025°, 22° в.д.), высота над уровнем моря – 101 м. Опыт проходил в 1988–2019 гг. в зернопаровом севообороте чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница – зернобобовые – яровой ячмень, развернутого во времени и в пространстве. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса 4,2–5,0%, рН солевой вы-

тяжки – 6,0–6,4, глубина гумусного горизонта – 25–27 см. Сумма поглощенных оснований в пахотном слое 18,6–25,6 мг-экв./100 г почвы. Содержание подвижных питательных элементов в слое 0–20 см перед посевом: N-NO<sub>3</sub> – 4,26–6,57 мг/кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 12,5–15,6 мг/100 г почвы, K<sub>2</sub>O – 15,7–17,2 мг/100 г.

Схема опыта включала шесть вариантов системы основной обработки почвы:

- отвальная – вспашка на глубину 20–22 см;
- безотвальная – безотвальное рыхление на 20–22 см;
- комбинированная – чередование вспашки и безотвального рыхления на 20–22 см;
- дифференцированная – в пару и после озимой ржи культивация на 12–14 см, вспашка на 20–22 см под зернобобовые, под ячмень и после него дискование на 10–12 см;
- плоскорезная – ежегодно обработка культиватором Смарагд-6 на 12–14 см;
- поверхностная – ежегодно дискование на 10–12 см.

Варианты опыта заложены на удобренном фоне из расчета N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> кг д.в. на 1 га севооборотной площади. Весной проводили общепринятую предпосевную обработку и посев сеялкой СЗП-3,6. Обработку против сорняков осуществляли гербицидами общим фоном. Растительные остатки от возделываемых культур измельчали в процессе уборки и оставляли на поле с последующей заделкой в почву при основной обработке. Отбор почвы для анализа проводили в начале опыта (1988 г.) и по завершении 6-й ротации (2019 г.) севооборота в 6-кратной повторности по слоям 0–10, 10–20, 20–30 см. Агрегатный состав почвы определяли по методу Н.И. Саввинова, коэффициент структурности рассчитывали в соответствии с имеющимися рекомендациями. Математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову, О.Д. Сорокину<sup>1–3</sup>. Величину средневзвешенного диаметра (ВСД) агрегатов определяли по формуле

<sup>1</sup>Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. 1986. 416 с.

<sup>2</sup>Доспехов Б.А. Методика полевого опыта; изд. 4-е, перероб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

<sup>3</sup>Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.

$$ВСД = d_1 \times P_1 + d_2 \times P_2 + d_n \times P_n / 100,$$

где  $d_1, d_2, d_n$  – средний диаметр фракции агрегатов, мм;  $P_1, P_2, P_n$  – содержание соответствующей фракции, %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наши результаты определения структуры почвы показали, что исходное состояние слоя почвы 0–30 см опытного участка было в целом вполне удовлетворительным (см. табл. 1).

Содержание агрономически ценной фракции агрегатов (10,00–0,25 мм) составляло 68,0%, т.е. несколько не достигало отличной оценки (80%) по критерию оценки С.И. Долгова и П.У. Бахтина, что объясняется особенностью механического состава тя-

желосуглинистой почвы – их большой связностью, значительным содержанием в такой почве физической глины<sup>4,5</sup>. При незначительном присутствии в общей структуре микроструктуры частиц менее 0,25 мм (5,11%) более четверти (26,8%) составляли агрегаты глыбистой фракции более 10 мм, которые в результате увлажнения почвы, замерзания и оттаивания способны разрушаться и за счет этого пополнять долю агрономически ценной структуры (10,00–0,25 мм) [15]. При этом коэффициент структурности ( $K_{стр}$ ) в слое 0–30 см составлял 2,13, что характеризует структурное состояние как отличное (см. табл. 1)<sup>6</sup> [2].

Использование темно-серой лесной почвы в пашне при возделывании зерновых в зернопаровом севообороте в течение шести

**Табл. 1.** Влияние систем основной обработки почвы на структурное состояние слоев почвы 0–20 и 0–30 см по завершении 6-й ротации зернопарового севооборота (1988–2019 гг.)

**Table 1.** Effect of tillage systems on the structural condition of 0–20 and 0–30 cm layer at the end of the 6th rotation of grain and fallow crop rotation, (1988-2019).

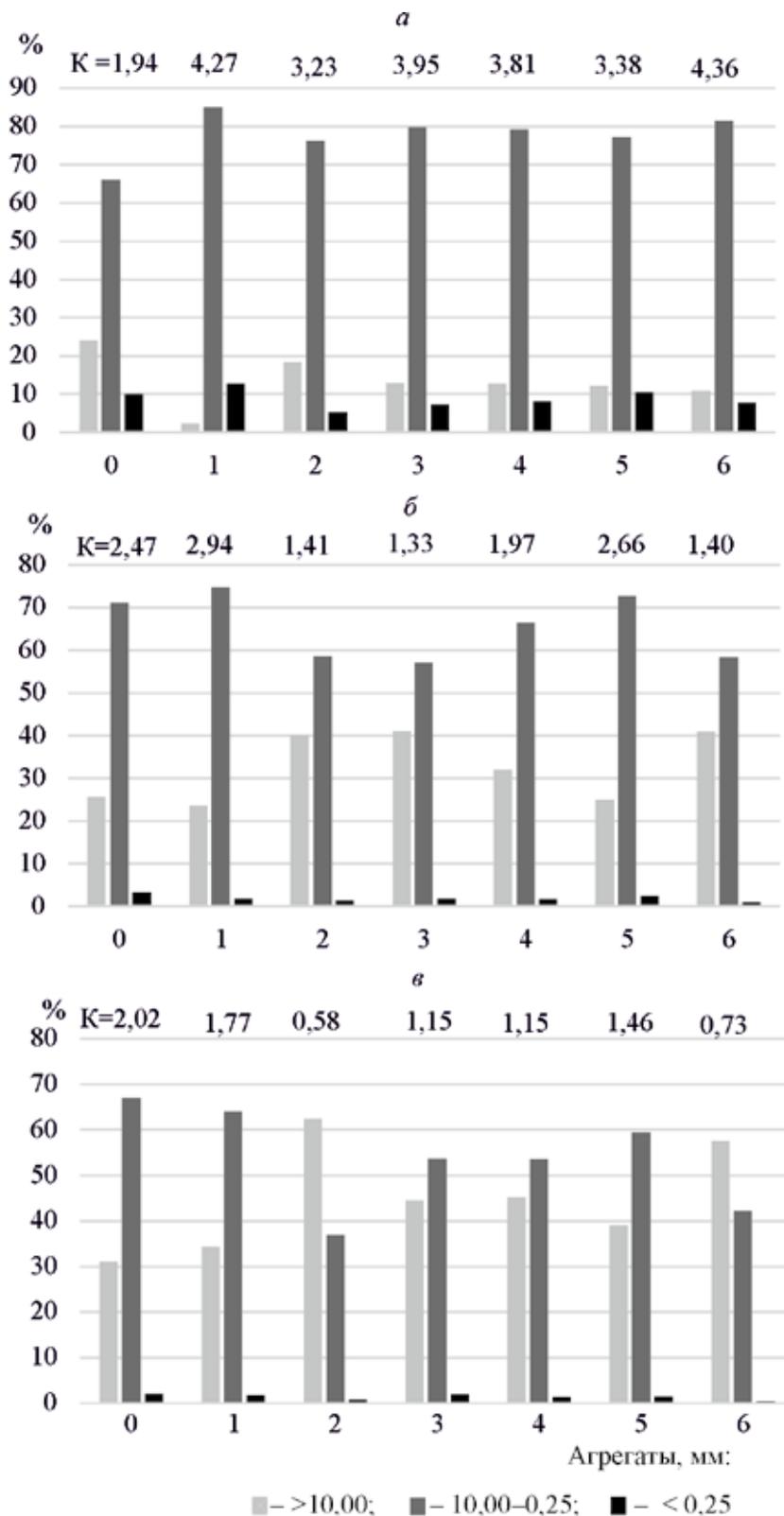
Номер обработки	Слой почвы, см	Содержание агрегатов (%) размером (мм)			Коэффициент структурности	Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм	
		> 10,0	10,00–0,25	< 0,25		Всего агрегатов	10,00–0,25
<i>Исходное состояние (1988 г.)</i>							
0	0–20	24,7	68,6	6,7	2,19	5,13	2,71
	0–30	26,9	68,0	5,1	2,13	5,53	2,88
<i>По завершении 6-й ротации (2019 г.)</i>							
1	0–20	15,4	77,8	6,8	3,51	4,26	2,70
	0–30	21,7	73,2	5,1	2,73	5,00	2,81
2	0–20	29,2	67,5	3,3	2,07	6,22	3,29
	0–30	40,3	57,3	2,4	1,34	6,91	2,88
3	0–20	27,0	68,5	4,5	2,17	5,63	2,92
	0–30	32,8	63,5	3,7	1,74	6,20	2,90
4	0–20	22,4	72,8	4,8	2,67	5,38	3,13
	0–30	30,0	66,4	3,6	1,97	6,02	3,01
5	0–20	18,6	74,9	6,5	2,99	4,88	3,00
	0–30	25,4	69,8	4,8	2,30	5,63	3,07
6	0–20	25,8	69,8	4,4	2,31	5,70	3,10
	0–30	36,4	60,6	3,0	1,54	6,49	2,84
НСР <sub>05</sub>	0–20	6,9	5,1	1,8	0,62	1,10	0,58
	0–30	7,3	6,4	2,2	0,73	1,36	0,45

Примечание. Здесь и в табл. 2: 0 – исходное состояние; 1 – отвальная обработка; 2 – безотвальная; 3 – комбинированная; 4 – дифференцированная; 5 – поверхностная; 6 – плоскорезная.

<sup>4</sup>Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1990. 258 с.

<sup>5</sup>Сафонов А.Ф., Стратонович М.В. Практикум по земледелию с почвоведением. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.

<sup>6</sup>Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков, 2008. 406 с.



Содержание фракций агрегатов (%) по горизонтам почвы. Коэффициент структурности в начале ротации севооборота (исходное 1988 г.) и по завершении 6-й ротации севооборота (2019 г.).

Примечание. 0 – исходное состояние; 1 – отвальная обработка; 2 – безотвальная; 3 – комбинированная; 4 – дифференцированная; 5 – поверхностная; 6 – плоскорезная. Слой почвы, см: а – 0-10; б – 10-20; в – 20-30

Aggregate fraction content (%), by soil horizon. Structure coefficient at the beginning of crop rotation (initial 1988) and at the end of the 6th rotation of the crop rotation (2019).

Note. 0 - initial; 1 - mouldboard; 2 - no-till; 3 - combined; 4 - differentiated; 5 - surface; 6 - sweep blade. Soil layer, cm: а - 0-10; б - 10-20; в - 20-30

ротаций с применением различных систем основной обработки привело к изменениям структурного состояния почвы, которое заключается в количественном перераспределении в сравнении с исходным состоянием фракционного состава структуры по горизонтам почвы.

Произошло снижение глыбистой фракции (более 10 мм) в слое 0–10 см от исходного значения 24,0% до 7,3–18,4%, в относительных значениях на 23,3–69,5%. В слоях почвы 10–20 и 20–30 см, наоборот, содержание глыбистой фракции увеличивалось в основном по всем изучаемым системам обработки, кроме отвальной: в слое 10–20 см – от 25,5 до 32,0–40,8%, 20–30 см – от 31,0 до 34,3–57,5%, в абсолютных значениях соответственно в слое почвы 10–20 см на 6,5–15,3%, 20–30 см – на 3,3–26,5% (см. рисунок).

В целом в слое 0–20 см за счет отмеченного перераспределения по слоям почвы содержание глыбистой фракции не имело столь значительных отличий от исходного состояния в этом слое. Содержание агрегатов >10 мм в слое 0–20 см в начале исследований составляло 24,7%, по истечении 30 лет – 15,4–29,5%. В слое почвы 0–30 см исходное содержание этих агрегатов равнялось 26,8%, в конце исследований – 21,7–40,3%. Глыбистость в слое 0–30 см не увеличивалась только по отвальной системе обработки (21,7%).

Увеличение глыбистости в слое почвы 0–30 см на 22,3–50,0% в сравнении с исходным состоянием отмечено по вариантам безотвальной, комбинированной, поверхностной системам обработки. Оно происходило преимущественно за счет увеличения фракции агрегатов >10 мм в нижнем слое 20–30 см от 31,1% при исходном состоянии до 57,5–62,4%, в относительных значениях на 85,0–100%.

Микроструктура (фракции менее 0,25 мм) в общей структуре не была преобладающей. Максимальное ее содержание отмечено в слое почвы 0–10 см – 7,80–11,65%, 10–30 см – 0,91–1,86% (см. рисунок), в целом по слоям почвы 0–20 и 0–30 см – соответственно

3,30–6,74 и 3,00–5,10% (см. табл. 1). В связи с этим содержание агрономически ценной фракции в основном слое, в особенности в слое 10–30 см, обуславливалось присутствием и величиной содержания глыбистой фракции.

Снижение глыбистости вело к увеличению содержания агрономически ценной фракции структуры и, наоборот, увеличение глыбистости – к снижению содержания агрономически ценных агрегатов.

Обобщая изменения структурного состояния почвы за 30-летний период использования пашни по содержанию агрономически ценной фракции 10,00–0,25 мм в целом по слою 0–20 см, можем сказать следующее. Отмеченные изменения структурного состава почвы в слое 0–10 см в пользу устойчивого улучшения на 15,6–22,8%, сохранение близких показателей, в особенности по отвальной и плоскорезной системам обработки, или некоторое снижение ее по остальным изучаемым вариантам обработки в слое 10–20 см в сравнении с исходным состоянием способствовали тому, что почва слоя 0–20 см сохраняла структурное состояние, не уступающее исходному по большинству исследуемых вариантов обработки почвы (см. табл. 1).

В начале опыта исходный коэффициент структурности был равен 2,19, по окончании исследований – 2,07–3,51. При этом в слое почвы 0–20 см по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки произошло увеличение содержания агрономически ценной структуры 10,0–0,25 мм в абсолютных значениях на 4,20–9,23%, что составляет 6,12–13,45% по отношению к исходному значению 68,6%. Коэффициент структурности 2,67–3,51 по ним был выше исходного на 0,48–1,32, или 21,9–60,3%. По безотвальной, комбинированной, поверхностной системам обработки содержание данных структурных отдельных было практически равным (67,5–69,8%,  $K_{стр} = 2,07–2,31$ ) исходному уровню.

В слое почвы 0–20 см самый высокий показатель содержания агрономически ценной структуры отмечен по отвальной – 77,8%,

плоскорезной – 74,9% и по дифференцированной – 72,8% системам обработки с коэффициентом структурности 2,67–3,51. Остальные системы уступали отвальной по содержанию агрономически ценных агрегатов 8,0–10,4%, по  $K_{стр}$  – 0,60–1,44 ед.

Средневзвешенный диаметр агрегатов в слое 0–20 см, как правило, по всем вариантам основной обработки, кроме отвальной и плоскорезной, составлял 4,26–4,88 мм. Данный показатель за исследуемый период увеличивался в сравнении с исходным от 5,13 до 5,38–6,22 мм, т.е. на 0,25–1,09 мм (4,9–21,2%) в основном за счет увеличения содержания комочков >10 мм в слое 10–20 см (см. табл. 2).

Наиболее значительным увеличением размера агрегатов в сравнении с исходным состоянием было по безотвальной и поверхностной системам обработки – на 0,57–1,09 мм (11,1–21,2%). Подобная тенденция увеличения СВД агрегатов при минимизации обработки также установлена Е.В. Дубовик и другими на типичном черноземе [12].

Средневзвешенный размер агрономически ценной фракции (10,0–0,25 мм) по боль-

шинству изучаемых вариантов обработки составил 3,00–3,29 мм. Он повысился на 0,21–0,58 мм, или 7,7–21,2%, в сравнении с исходным (2,71 мм) за счет существенного увеличения доли данной фракции (10,0–0,25 мм) в слое 0–10 см. По отвальной системе средневзвешенный размер агрономически ценной фракции оставался близким к исходному состоянию – 2,70 мм.

Анализ структурного состояния в целом слоя почвы 0–30 см показал, что с увеличением глубины профиля почвы, вовлечением (в отличие от слоя 0–20 см) дополнительно нижнего слоя 20–30 см, с еще большим, чем в слое 10–20 см, возрастанием в сравнении с исходным состоянием доли содержания глыбистой структуры почвы вело к еще большему, чем в слое 0–20 см, снижению содержания агрономически ценной структуры.

В то же время в слое почвы 0–30 см самые высокие показатели структурного состояния агрономически ценной фракции были по отвальной системе обработки (73,2%), плоскорезной (69,8%) и дифференцированной (66,4%) с коэффициентом структурности 1,97–2,73. Перечисленные системы обра-

**Табл. 2.** Величина средневзвешенного диаметра агрегатов по почвенным горизонтам в зависимости от системы основной обработки почвы по завершении 6-й ротации зернопарового севооборота  
**Table 2.** Value of average weighted diameter of aggregates by soil horizons depending on the systems of main tillage at the end of the 6th rotation of grain and fallow crop rotation

Номер варианта	Слой почвы, см					
	0–10		10–20		20–30	
	Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм					
	Всего агрегатов	10,00–0,25	Всего агрегатов	10,00–0,25	Всего агрегатов	10,00–0,25
<i>Исходное состояние (1988 г.)</i>						
0	4,77	2,35	5,62	3,07	6,33	3,22
<i>По завершении 6-й ротации (2019 г.)</i>						
1	2,80	2,04	5,71	3,35	6,48	3,05
2	5,38	3,53	7,07	3,05	8,29	2,05
3	4,28	2,96	6,98	2,87	7,32	2,87
4	4,26	2,97	6,49	3,29	7,29	2,78
5	3,93	2,67	5,83	3,34	7,11	3,20
6	4,22	3,12	7,18	3,09	8,06	2,31
НСР <sub>05</sub>	1,44	0,95	1,36	0,50	1,10	0,29

ботки обеспечивали поддержание структурного состояния в сравнении с исходным – 68,0% и коэффициента структурности – 2,13 (отвальная система – выше). Безотвальная, комбинированная и поверхностная обработки приводили к снижению содержания данной структуры в сравнении с отвальной системой на 9,7–15,9%, снижению коэффициента структурности на 0,99–1,39, главным образом, за счет повышенного в сравнении с контролем содержания глыбистой фракции в слое почвы 10–20 см на 8,5–17,5%, 20–30 см – на 10,3–28,1% (см. табл. 1).

С увеличением глубины профиля почвы до 0–30 см отмечено еще большее, чем в слоях 0–10 и 0–20 см, увеличение общего средневзвешенного размера агрегатов до 5,00–6,91 мм, что объясняется увеличением объема почвы глыбистой фракции. При исходном значении средневзвешенного размера агрегатов 5,53 мм в слое почвы 0–30 см к завершению 6-й ротации севооборота средневзвешенный размер несколько снизился – на 0,53 мм, или на 9,6%, только по отвальной системе обработки, оставаясь на уровне с исходным состоянием по плоскорезной обработке – 5,63 мм. По всем остальным вариантам обработки произошло увеличение средневзвешенного размера агрегатов на 0,49–1,38 мм, или 8,9–25,0% (см. табл. 2).

Данные определения средневзвешенного размера агрономически ценных агрегатов свидетельствуют о высокой стабильности этого показателя в слое почвы 0–30 см. По всем изучаемым системам обработки показатель был благоприятным, близким к оптимальным значениям, так как средневзвешенный размер 2,81–3,07 мм соответствует зернистому состоянию почвенной структуры [10]. Системы обработки за наблюдаемый период исследований оказывали в основном равноценное влияние на показатель средневзвешенного размера. Тенденция некоторого увеличения его в сравнении с контрольным вариантом на 0,20–0,26 мм, или 7,1–9,2%, отмечена лишь по плоскорезной и дифференцированной системам обработки.

Определение урожайности зерновых в среднем по заключительной ротации сево-

оборота (2014–2019 гг.) показало, что исследуемые системы основной обработки почвы обеспечивали довольно близкий уровень урожайности зерновых – 2,85–3,07 т/га, что свидетельствует о благоприятных и близких условиях структурно-агрегатного состояния, а также условиях обеспеченности влагой и плотности почвы [16].

## ВЫВОДЫ

1. Темно-серые лесные почвы лесостепной зоны обладают благоприятным и устойчивым структурно-агрегатным состоянием. За 30-летний период использования пашни почва слоя 0–20 см сохраняла структурное состояние, не уступающее исходному по большинству исследуемых вариантов обработки. С увеличением глубины профиля почвы за счет увеличения за период исследований доли глыбистой фракции в нижнем слое (10–30 см) в слое 0–30 см происходило снижение содержания агрономически ценной структуры в сравнении со слоем 0–20 см, а также с исходным состоянием по большинству исследуемых вариантов систем обработки.

2. Продолжительное использование пашни привело к качественным изменениям структурного состояния, заключающимся в количественном перераспределении в сравнении с исходным состоянием фракционного состава структуры по горизонтам почвы. Произошло снижение содержания глыбистой фракции (>10 мм) в слое 0–10 см в относительных значениях на 23,3–69,5%. В слое почвы 10–30 см содержание глыбистой фракции увеличивалось на 25,5–85,5%. При незначительной доле в общей структуре агрегатов менее 0,25 мм отмеченные изменения содержания глыбистой фракции вели к увеличению содержания агрономически ценной фракции в слое 0–10 см на 15,6–22,8%, коэффициента структурности от 1,94 при исходном состоянии до 3,23–4,27 и, наоборот, к снижению агрономически ценной фракции агрегатов в слое 10–30 см на 6,7–44,8%.

3. Самое высокое содержание агрономически ценной структуры в слое почвы

0–20 см отмечено по отвальной, плоскорезной и дифференцированной системам обработки (72,8–77,8%). За 30-летний период содержание агрономически ценной структуры (10–0,25 мм) в слое 0–20 см увеличивалось по данным обработкам на 6,12–13,45%, коэффициент структурности – на 21,9–60,3%. По остальным изучаемым системам обработки содержание данной фракции (67,5–69,8%) и коэффициент структурности (2,07–2,31) были близкими исходному состоянию 68,6% и  $K_{стр} = 2,19$ . Средневзвешенный диаметр агрономически ценных агрегатов увеличивался от 2,71 мм при исходном состоянии до 3,00–3,29 мм (на 7,7–21,2%) за счет существенного увеличения доли этих агрегатов в слое 0–10 см.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков Д.Г. Обработка почвы и прямой посев: агрофизические свойства черноземов и урожайность полевых культур // Земледелие. 2021. № 2. С. 37–43. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10208.
2. Еремينا Д.В., Груздева Н.А., Еремин Д.И. Сравнительная оценка структурно-агрегатного состава темно-серых лесных почв лесостепной зоны Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2019. № 12 (153). С. 57–63. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-57-63.
3. Polakowski C., Sochan A., Ryżak M., Beczek M., Mazur R., Majewska K., Turski M., Bieganowski A. Measurement of soil dry aggregate size distribution using the laser diffraction method // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 211. P. 105023. DOI: 10.1016/j.still.2021.105023.
4. Chris Bluett, Jeff N. Tullberg, John E. McPhee, Diogenes L. Soil and Tillage Research: Why still focus on soil compaction? // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. P. 104282. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.028.
5. Самофалова И.А. Влияние способов основной обработки на структурно-агрегатный состав дерново-подзолистой почвы в Нечерноземной зоне // Земледелие. 2019. № 1. С. 24–28. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10107.
6. Мамонтов В.Г., Байбеков Р.Ф., Лазарев В.И., Юдин С.А., Цветков С.А., Таллер Е.Б. Изменение структурного состояния чернозема типичного Курской области под влиянием беспахотных пара и озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 1. С. 7–10. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10102.
7. Blanco-Canqui H., Ruis S.J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. 2018. Vol. 326, P. 164–200. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.011.
8. Kuntal M., Hatiab Pramod Jhaab, Ram C. Dalal, Somasundaram Jayaraman, Yash P. Dang Peter, M. Kopittke, Gunnar Kirchhofs Neal W. Menzies. 50 years of continuous no-tillage, stubble retention and nitrogen fertilization enhanced macro-aggregate formation and stabilization in a Vertisol // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 214. P. 105163. DOI: 10.1016/j.still.2021.105163.
9. Udayakumar Sekaran, Kavya Laxmisagara Sagar, Sandeep Kumar. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 208. P. 104885. DOI: 10.1016/j.still.2020.104885.
10. Пегова Н.А. Изменение агрегатного состава и водопрочности пахотного слоя под влиянием систем обработки почвы и вида пара // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 8–11.
11. Антонов В.Г. Влияние минимальных способов основной обработки почвы на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы в Чувашской Республике // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21 (6). С. 733–742. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742.
12. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Шумаков А.В. Влияние приемов основной обработки почвы на макроструктуру чернозема типичного // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1195–1206. DOI: 10.31857/S0032180X21100051.
13. Романов В.Н., Ивченко В.К., Ильченко И.О., Луганцева М.В. Влияние приемов основной обработки почвы в севообороте на динамику влажности и агрофизические свойства чернозема выщелоченного // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10508.
14. Воронцов В.А., Скорочкин Ю.П. Зависимость структурно-агрегатного состояния чернозема типичного от различных систем основной обработки почвы // Владимирский

- земледелец. 2019. № 2 (88). С. 24–27. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10062.
15. Никитин В.В., Соловиченко В.Д., Навальнев В.В., Карабутов А.П. Влияние севооборотов, способов обработки почвы и удобрений на изменения органического вещества в черноземе типичном // *Агрохимия*. 2017. № 2. С. 3–10.
  16. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Агрофизические и агрохимические свойства темносерых лесных почв при различных системах основной обработки // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2021. № 3 (51). С. 15–23. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-2.
- ## REFERENCES
1. Polyakov D.G. Tillage and direct seeding: agrophysical properties of chernozems and yield of field crops. *Zemledelie = Zemledelie*, 2021, no. 2, pp. 37–43. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10208.
  2. Eremina D.V., Gruzdeva N.A., Eremin D.I. Comparative assessment of the structural and aggregate composition of dark gray forest soils of the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Vestnik KraSGAU = Bulletin of KrasSAU*, 2019, no. 12 (153), pp. 57–63. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-57-63.
  3. Polakowski C., Sochan A., Ryżak M., Bczek M., Mazur R., Majewska K., Turski M., Bieganowski A. Measurement of soil dry aggregate size distribution using the laser diffraction method. *Soil and Tillage Research*, 2021, vol. 211, pp. 105023. DOI: 10.1016/j.still.2021.105023.
  4. Chris Bluett, Jeff N. Tullberg, John E. McPhee, Diogenes L. Soil and Tillage Research: Why still focus on soil compaction? *Soil and Tillage Research*, 2019, vol. 194, pp. 104282. DOI: 10.1016/j.still.2019.05.028.
  5. Samofalova I.A. Influence of tillage methods on structural and aggregate composition of sod-podzolic soil in the Non-Chernozem zone. *Zemledelie = Zemledelie*, 2019, no. 1, pp. 24–28. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10107.
  6. Mamontov V.G., Baibekov R.F., Lazarev V.I., Yudin S.A., Tsvetkov S.A., Taller E.B. Change of the structure of typical chernozem in Kursk region under the influence of permanent fallow and winter wheat monoculture. *Zemledelie = Zemledelie*, 2019, no. 1, pp. 7–10. (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10102.
  7. Blanco-Canqui H., Ruis S.J. No-tillage and soil physical environment *Geoderma*, 2018, vol. 326, pp. 164–200. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.011.
  8. Kuntal M., Hatiab Pramod Jhaab, Ram C. Dalal, Somasundaram Jayaraman, Yash P. Dang Peter, M. Kopittke, Gunnar Kirchhofa Neal W. Menzies. 50 years of continuous no-tillage, stubble retention and nitrogen fertilization enhanced macro-aggregate formation and stabilization in a Vertisol. *Soil and Tillage Research*, 2021, vol. 214, pp. 105163. DOI: 10.1016/j.still.2021.105163.
  9. Udayakumar Sekaran, Kavya Laxmisagara Sagar, Sandeep Kumar. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. *Soil and Tillage Research*, 2021, vol. 208, pp. 104885. DOI: 10.1016/j.still.2020.104885.
  10. Pegova N.A. Changes in the aggregate composition and water resistance of the arable layer depending on the soil treatment systems and fallow type. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2016, no. 6 (62), pp. 8–11. (In Russian).
  11. Antonov V.G. The effect of minimum methods of primary tillage on the structural and aggregate composition of gray forest soil in the Chuvash Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2020, no. 21 (6), pp. 733–742. (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742.
  12. Dubovik E.V., Dubovik D.V., Shumakov A.V. Influence of primary tillage practices on the macrostructure of typical chernozem. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2021, no. 10, pp. 1195–1206. (In Russian). DOI: 10.31857/S0032180X21100051.
  13. Romanov V.N., Ivchenko V.K., Il'chenko I.O., Lugantseva M.V. Influence of tillage methods in a crop rotation on moisture dynamics and agrophysical properties of leached chernozem. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 5, pp. 32–34. (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10508.
  14. Vorontsov V.A., Skorochkin Yu.P. Dependence of structural-physical state of typical black soil on various systems of main tillage. *Vladimirskii zemledelets = Vladimir agriculturist*,

- 2019, no. 2 (88), pp. 24–27. (In Russian). DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10062.
15. Nikitin V.V., Solovichenko V.D., Naval'nev V.V., Karabutov A.P. The effects of crop rotation, soil tillage methods and fertilizers on organic matter content in typical chernozem. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry*, 2017, no. 2, pp. 3–10. (In Russian).
16. Perfil'ev N.V., Vyushina O.A. Agrophysical and agrochemical properties of dark gray forest soils with different systems of basic tillage. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, no. 3 (51), pp. 15–23. (In Russian). DOI: 10.26898/0370-8799-2021-3-2.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Перфильев Н.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 625501, Тюмень, пос. Московский, ул. Бурлаки, 2; e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

**Вьюшина О.А.**, научный сотрудник; e-mail: vyushina63@yandex.ru

#### AUTHOR INFORMATION

✉ **Nikolay V. Perfil'yev**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; **address:** 2, Burlaki St., Moskovskiy vil., Tyumen, 625501, Russia; e-mail: p.nikolay52@yandex.ru

**Olga A. Vyushina**, Researcher; e-mail: vyushina63@yandex.ru

*Дата поступления статьи / Received by the editors 26.05.2022*  
*Дата принятия к публикации / Accepted for publication 25.08.2022*  
*Дата публикации / Published 20.03.2023*