

## АГРОХИМИЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.4

### ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ ПРЯМОМ ПОСЕВЕ

© 2020 г. В. П. Белобров<sup>а, \*</sup>, С. А. Юдин<sup>а</sup>, Н. В. Ярославцева<sup>а</sup>, А. В. Юдина<sup>а</sup>, В. К. Дридигер<sup>б</sup>, Р. С. Стукалов<sup>б</sup>, Н. Н. Ключев<sup>с</sup>, И. В. Замотаев<sup>с</sup>, Н. Р. Ермолаев<sup>а</sup>, А. Л. Иванов<sup>а</sup>, В. А. Холодов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия

<sup>б</sup>Северо-Кавказский ФНАЦ, ул. Никонова, 49, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, 356241 Россия

<sup>с</sup>Институт географии Российской академии наук, Старомонетный пер., 29, Москва, 119017 Россия

\*e-mail: belobrovvp@mail.ru

Поступила в редакцию 07.08.2019 г.

После доработки 17.12.2019 г.

Принята к публикации 26.12.2019 г.

Приводятся результаты исследований по влиянию прямого посева в сравнении с традиционной технологией обработки почв (отвальной вспашкой с аналогичным плодосменом) в поверхностном (0–20 см) слое на естественную плотность до посева и в период вегетации, микро- и макроагрегатный составы в разных подтипах черноземов. Рассмотрены типичные, обыкновенные и южные черноземы. Для всех подтипов показано улучшение физических свойств при введении прямого посева в сравнении с контрольными вариантами. Возделывание сельскохозяйственных культур без обработки почвы в течение четырех и шести лет не привело к уплотнению типичных и обыкновенных черноземов. Микроагрегатный состав типичных черноземов под прямым посевом демонстрировал большую долю крупных фракций (>50 мкм) по сравнению с контролем. Вероятно, это указывает на возникновение при переходе на прямой посев процессов формирования микроагрегатов, сходных с естественными ценозами, для которых характерно относительно большее содержание фракции 50–250 мкм. Во всех подтипах черноземов под прямым посевом увеличилась водоустойчивость макроагрегатов. В типичном черноземе возросла доля агрономически ценных агрегатов. По-видимому, увеличение водоустойчивости связано с возрастанием поступления в почву водорастворимого органического вещества при прямом посеве, связанное с особенностями технологии (отсутствием заделки растительных остатков). При этом в южных черноземах это влияние проявлялось только во фракциях >7 мм, а для меньших агрегатов этого подтипа хорошая водоустойчивость обеспечивается высоким содержанием кальция вне зависимости от вида обработки.

*Ключевые слова:* равновесная плотность, микро- и макроагрегатный состав, коэффициент структурности, средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов, no-till, нулевая обработка, Chernozems

DOI: 10.31857/S0032180X20070023

#### ВВЕДЕНИЕ

Биологизация земледелия как тренд развития мирового сельского хозяйства, обусловленный биосферной ориентацией природопользования, предполагает его адаптацию к изменяющимся климатическим факторам, усиливающейся техногенной нагрузке и другим социально-экономическим вызовам. Биологизация земледелия направлена на увеличение в агроценозе содержания органического углерода и азота, оптимизацию применения промышленных удобрений и химических средств защиты, использование биологических средств защиты растений, и, как основное условие, минимизацию или полный отказ от обработки почвы (no-till), приводящей к деградации земель, интенсивно используемых в сельском хозяйстве [20, 37].

На данный момент деградация почв остается нерешенной проблемой как мирового, так и российского земледелия по многим причинам, среди которых естественные природные катаклизмы существенно уступают агрогенному воздействию – традиционному “пахотному” земледелию. Апробированное веками и связанное с механической обработкой почвы традиционное земледелие остается до настоящего времени основной агропроизводственной технологией в России. Обработки почвы любыми почвообрабатывающими орудиями (плоскорез, чизель, культиватор и пр.), потери биомассы растений, изымаемой с урожаем, с течением времени приводят к уменьшению содержания органического вещества (ОВ), одного из параметров плодородия большинства почв мира [29, 30, 40].

За время использования черноземов в сельском хозяйстве России, взяв за начало отсчета первые научные данные, полученные В.В. Докучаевым около 150 лет назад [11], потери ОВ составили более половины от исходного содержания [16]. Процессы деградации черноземов также проявляются в ухудшении многих других параметров, связанных с плодородием почвы — макроструктуре, микроагрегатном составе, плотности и пористости и др.

Плодородие пахотных почв частично поддерживается внесением органических и минеральных удобрений. Вместе с тем они не решают фундаментальной проблемы — восстановления утраченного плодородия. Как показывают многочисленные эксперименты в разных частях мира, это достигается отказом от любого физического воздействия на почву техникой с переходом на технологию no-till и общую биологизацию земледелия [1, 13, 15].

В нашей стране биологизация сельского хозяйства началась более 100 лет назад работами И.Е. Овсинского и Н.М. Тулайкова, затем в середине XX в. Т.С. Мальцева, А.И. Бараева и др. В силу объективных причин, главной из которых было отсутствие альтернативных методов борьбы с сорняками, переход к прямому посеву носил постепенный характер, так как требовал научного обоснования, и в силу этого — времени и средств на научно-производственные эксперименты.

Прямой посев (ПП) возвращает почву в состояние, близкое к естественному, восстанавливая структуру, плотность, улучшая воздушно-тепловой режим, приводя к увеличению содержания ОВ за счет дополнительного поступления биомассы растений. Экосистема при ПП в отличие от традиционной технологии приближена и адаптирована к природной. Она имеет свои особенности в севооборотах и обусловлена культивируемыми растениями, видовыми различиями в почвопокровных культурах, архитектонике корневых систем и отвечает общему процессу биологизации земледелия [20, 37].

Органическое вещество является одним из основных факторов стабилизации структуры почв. Разрушение почвенных агрегатов в результате действия почвообрабатывающих орудий приводит к потере устойчивости почвы к действию неблагоприятных факторов окружающей среды. Особо остро это проявляется в климатических зонах, где почвы подвержены процессам водной и ветровой эрозии, аридизации [35, 38, 39].

Эрозия почв при сельскохозяйственном использовании земель вынуждает земледельцев искать новые нетрадиционные технологические системы и способы возделывания культур, которые позволили бы не только уменьшить негативное воздействие процессов деградации, но и восстановить исходное плодородие почвы [3].

В постсоветское время, начиная с 1991 г., российская аграрная сфера претерпела сильные транс-

формации: возникла частная собственность на землю, ликвидирована колхозно-совхозная система. На уровне товарного производства сформировались фермерские хозяйства и крупные агрохолдинги. На фоне этого произошли существенные изменения в самих почвах и структуре сельскохозяйственного использования земель страны. За 1990—2015 гг. посевные площади сельскохозяйственных культур сократились на треть от всех посевных площадей 1990 г. Этот в целом экологически позитивный процесс, особенно в степных и лесостепных районах страны, в силу стихийного развития снижает потенциальную экономическую и природоохранную эффективность [22].

В настоящий момент в сельском хозяйстве РФ наблюдается парадоксальное расхождение индексов производства сельскохозяйственной продукции с индексами используемых ресурсов (посевных площадей, применения органических и минеральных удобрений, техники, электроэнергии и т.п.). На единицу продукции расходуется все меньше ресурсов. Прирост производства достигается за счет использования новой техники, технологий, урожайных сортов растений, приводящих к усилению эксплуатации земельных ресурсов, что чревато деградацией почв [18, 19] и снижением почвенного плодородия [22]. Вследствие неэффективной аграрной реформы отечественный землевладелец не заинтересован в повышении почвенного плодородия, что отрицательно сказывается на эколого-почвенном потенциале страны.

В качестве позитивных результатов аграрных реформ обычно отмечается увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. Однако рост урожайности достигается, в частности, за счет концентрации земледелия на лучших по плодородию почвах — черноземах. В условиях некомпенсируемого (внесением удобрений) земледелия это приводит к быстрой деградации земель и в дальнейшем вынужденному перемещению сельского хозяйства на менее плодородные земли.

Целью работы является оценка направлений изменений физических свойств типичных, обыкновенных и южных черноземов европейской части России под воздействием традиционной вспашки и прямого посева как перспективного подхода к управлению агроэкосистемами по восстановлению свойств деградированных земель.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

**Объекты исследования.** Типичные черноземы Курской области, обыкновенные и южные черноземы Ставропольского края. Типичные черноземы [21] (согласно международной классификации ФАО — *haplic Chernozems (Loamic, Agric, Pachic)* [25, 36]) были исследованы на полевом стационаре Курского НИИ АПП (п. Черемушки, Курского района, 51°37'46" с. ш.; 36°15'40" в. д.).

В 2013 г. на типичных черноземах был заложен научно-полевой опыт в четырехпольном зерновом севообороте (озимая пшеница, кукуруза, ячмень и горох). На поле площадью 2,4 га изучается влияние четырех систем обработки (вспашки, комбинированной обработки, минимальных — поверхностной обработки и без обработки — прямого посева) на участках размером  $60 \times 100$  м. В течение четырех лет ежегодно определялась равновесная плотность почв на глубинах 2–7 и 10–15 см [5]. После первой ротации в 2017 г. были взяты образцы для оценки макро- и микроструктурного состояния почв на вариантах “вспашка” и “прямой посев”, а также в качестве контроля в лесополосе, расположенной в 200 м от участка [30]. Лесополоса была заложена в 1964 г. и характеризуется высокими показателями плодородия и структурности черноземов.

Обыкновенные черноземы (Haplic Chernozems (Loamic, Agric, Pachic)) изучались на опытном поле стационара ФГБНУ “Северо-Кавказского ФНАЦ”, расположенного в Шпаковском районе ( $45^{\circ}07'34.9''$  с. ш.;  $42^{\circ}03'24.0''$  в. д.), площадью 2 га и размером участков  $50 \times 18$  м. Полевой опыт направлен на оценку влияния технологии no-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края (заложена в 2012 г.) на агрофизические свойства черноземов обыкновенных и продуктивность полевых культур в севообороте соя, озимая пшеница, подсолнечник и кукуруза [15].

Южные черноземы (Haplic Chernozems (Loamic, Agric)) исследовались в производственных условиях на территории ООО “Урожайное” ( $45^{\circ}49'04.8''$  с. ш.;  $42^{\circ}03'25.2''$  в. д.) Ипатовского района Ставропольского края, где 12 лет успешно используется система ПП [14].

Следует отметить, что в европейской части черноземной зоны России помимо вышеописанных объектов, нет опытов подобной длительности, в которых бы соблюдали технологию ПП и был бы адекватный контроль с традиционными системами обработки.

**Методы исследования.** Для агрегатного анализа почв на вариантах опытов и фермерских полях, где применяется традиционная обработка и ПП, были выбраны методом конверта 5 площадок радиусом 5 м, в пределах которых с глубины 0–15 см отобраны образцы ненарушенного сложения размером  $15 \times 15 \times 25$  см и массой около 5 кг каждый. Такой подход позволил избежать искусственного перераспределения размерных фракций агрегатов [29, 30]. Перед проведением анализа образцы были высушены на воздухе. Сухое просеивание пяти полученных образцов почв проводили по методу Саввинова с диаметром ячейки сит 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 7,0 и 10,0 мм [30]. Для оценки водостойчивости использовали подход Хана [28], согласно которому в воде просеивают не весь образец почвы, а агрегаты целевой раз-

мерной фракции. В данной работе по методу Хана на анализ были взяты фракция размером  $>10$  мм и крупные агрегаты 10–7, 7–5 и 5–3 мм. По результатам сухого и мокрого просеивания рассчитаны средневзвешенные диаметры сухих и водостойчивых агрегатов почв.

Плотность почв в естественном состоянии определена в трехкратной повторности буровым методом с использованием цилиндра объемом  $100 \text{ см}^3$ . Образцы вариантов прямого посева отбирали в пространствах между бороздами этого года, оставленными сеялкой. Микроагрегатный и гранулометрический состав почв определяли методом лазерной дифракции на анализаторе MicrotracBluewave (США) [33].

Оценка значимости обнаруженных различий проведена по наименьшей существенной разнице с уровнем значимости  $\alpha$  равном 0,05 (НСР  $\alpha = 0,05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Равновесная плотность.** Измеренные плотности соответствовали приводимым характерным диапазонам для минеральных почв [32]. Пахотный горизонт типичного чернозема до перехода на технологию no-till (2013 г.) характеризовался оптимальными значениями плотности [5, 6]. После завершения первой ротации зернового севооборота в 2017 г. состояние пахотного горизонта в варианте “вспашка” не изменилось. Использование технологии ПП в течение четырех лет не оказало существенного влияния на плотность пахотного горизонта, хотя некоторые авторы [9, 31] считают, что применение ПП приводит к переуплотнению пахотного слоя и снижению урожайности. Средние значения по глубинам 2–7 и 10–15 см, в вариантах вспашка и ПП близки друг к другу и находятся в пределах доверительного интервала (рис. 1). В то же время следует отметить тенденцию к увеличению плотности горизонта почв (10–15 см) под ПП по сравнению с почвой при отвальной вспашке.

Результаты исследований плотности почв обыкновенного чернозема на опытном поле ФГБНУ “Северо-Кавказский ФНАЦ” представлены в табл. 1. Перед уходом в зиму и рано весной плотность почвы в слое 0–10 см в результате зяблевой отвальной обработки составила в среднем за годы исследования 0,85–0,86, а в слое 10–20 см — 0,91–0,93 г/см<sup>3</sup>. В то же самое время при ПП плотность была существенно больше, соответственно 1,07–1,08 и 1,13 г/см<sup>3</sup>.

Плотность почвы в варианте ПП во все годы исследования и под всеми культурами в слое 0–10 см была достоверно больше по сравнению с пахотным вариантом и составляла 1,13–1,15 г/см<sup>3</sup>, что также находится в пределах оптимальных значений для получения всходов и первоначального роста растений. Увеличение плотности почвы до

1.25–1.28 г/см<sup>3</sup> перед посевом сои с использованием ПП в 2015 и 2018 гг. (табл. 1) было обусловлено не технологией возделывания, а засухой, наблюдававшейся перед посевом культуры в эти годы.

Плотность почвы на глубине 10–20 см в варианте ПП под яровыми культурами также была достоверно больше плотности в варианте “вспашка”, но в пределах оптимальных значений и составляла в среднем за годы исследования 1.16–1.21 г/см<sup>3</sup>. При посеве озимой пшеницы по обеим технологиям плотность на глубине 10–20 см во все годы исследования была одинаковой, небольшие различия находились в пределах погрешности.

В технологии ПП слой почвы 10–20 см не подвергался обработке семь лет подряд (включая уравнильный посев в 2012 г.). Судя по его плотности, одинаковой с пахотным вариантом, можно заключить, что переуплотнения чернозема обыкновенного в течение всех лет исследования не происходило. Различия по плотности между технологиями во все годы исследования были статистически не достоверны, с тенденцией роста плотности в варианте ПП (табл. 1).

Тем не менее, даже при таком тренде плотность слоя почвы 0–10 см была оптимальной для произрастания озимой пшеницы, подсолнечника и кукурузы [15]. Исключение для обеих технологий составляла плотность почвы под соей, равная в среднем за годы исследования 1.30 г/см<sup>3</sup>, с колебаниями по годам от 1.20 до 1.35 г/см<sup>3</sup>. Вероятно,

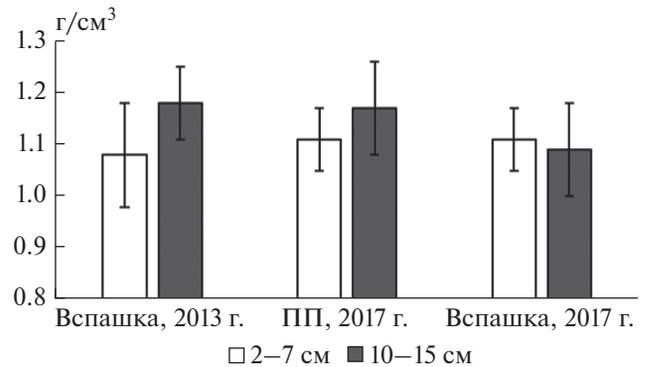


Рис. 1. Влияние технологии земледелия на плотность пахотного горизонта типичных черноземов (Курский НИИ АПП).

такое уплотнение связано с особенностями строения корневой системы сои, не способной разрыхлить почву. Следствием переуплотнения является уменьшение вегетативной массы растений и сокращение урожайности культуры. Под остальными культурами севооборота за годы исследований плотность слоя 10–20 см находилась в среднем в интервале 1.22–1.28 г/см<sup>3</sup>, существенно не отличаясь при сравнении технологий. Вариабельность плотности была незначительной 5–6%, значимых различий при сопоставлении технологий отмечено не было.

Таблица 1. Влияние технологии возделывания полевых культур на плотность (г/см<sup>3</sup>) обыкновенного чернозема в слое 0–10 см перед посевом (над чертой) и во время вегетации растений (под чертой)

Технология	Культура	Год						среднее	
		2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Вспашка	Соя	0.91	0.95	1.00	1.03	1.03	1.06	1.00	
		1.29	1.34	1.31	1.20	1.35	н.о.*	1.30	
	Пшеница	1.04	0.92	0.99	1.15	0.99	1.18	1.05	
		1.09	1.14	1.19	1.11	1.26	н.о.	1.16	
	Подсолнечник	1.03	1.08	0.96	1.06	1.05	1.11	1.05	
		1.22	1.40	1.06	1.07	1.03	н.о.	1.16	
	Кукуруза	0.93	1.10	1.08	1.01	1.01	1.06	1.03	
		1.23	1.19	1.19	1.11	1.15	н.о.	1.17	
	ПП	Соя	1.07	1.01	1.25	1.16	1.10	1.28	1.15
			1.25	1.30	1.33	1.26	1.35	н.о.	1.30
Пшеница		1.11	1.13	1.13	1.18	1.05	1.27	1.14	
		1.13	1.20	1.20	1.20	1.27	н.о.	1.19	
Подсолнечник		1.21	1.08	1.09	1.23	1.00	1.18	1.13	
		1.15	1.31	1.22	1.21	1.18	н.о.	1.19	
Кукуруза		1.24	1.10	1.16	1.20	1.10	1.07	1.15	
		1.21	1.17	1.18	1.21	1.29	н.о.	1.21	
НСР для α = 0.05		0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	
		0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	н.о.	0.06	

Здесь и далее: н.о. — не определяли.

**Таблица 2.** Микроагрегатный и гранулометрический состав типичных черноземов (%), глубина 0–15 см,  $K_d$  – коэффициент дисперсности по Качинскому (%),  $A_g$  – степень агрегированности по Бэйверу (%)

Методы обработки	Размер частиц в микрометрах (мкм)									$K_d$ , %	$A_g$ , %
	<1	1–5	5–10	10–50	50–250	250–500	500–1000	<10	<50		
	Микроагрегатный состав										
Вспашка	2.2	15.2	12.4	56.8	11.9	1.0	0.5	29.8	86.6	32	42
ПП	2.3	14.1	11.3	53.2	17.0	1.4	0.6	27.7	80.9	32	55
	Гранулометрический состав										
Вспашка	6.8	31.1	15.0	39.3	7.2	0.5	0.1	52.9	92.2	–	–
ПП	7.1	29.4	15.0	40.0	7.8	0.5	0.2	51.5	91.5	–	–

Плотность почвы на глубине 20–30 см изменялась в связи с сезонными колебаниями во все годы исследований. Весной при наступлении физической спелости почвы она в среднем составляла 1.19–1.20 г/см<sup>3</sup>, к посеву уплотнялась до 1.20–1.22 г/см<sup>3</sup>, достигая максимальных значений во время вегетации растений – 1.30–1.31 г/см<sup>3</sup> и уменьшаясь к полной спелости до 1.25–1.26 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, использование технологии ПП на обыкновенных черноземах Ставрополя в течение шести лет не приводит к уплотнению почвы в слое 0–20 см.

**Микроагрегатный и гранулометрический состав.** Исследованные типичные черноземы характеризуются удовлетворительной микроструктурностью по Качинскому (табл. 2). Почва варианта ПП отличается несколько лучшей по сравнению с традиционной вспашкой микроагрегированностью по Бэйверу [32]. Более детальное рассмотрение микроагрегатного состава показывает, что при использовании технологии ПП по сравнению со вспашкой отмечается значимая разница между суммой фракций микроагрегатов <50 мкм и больше >50 мкм ( $t$ -тест при  $\alpha = 0.05$ ). Для пахотных черноземов характерно преобладание микроагрегатов из малых размеров, тогда как в черноземах с ПП преобладают микроагрегаты более крупных фракций. Причем наибольшие значимые различия во фракции 50–250 мкм (17.0% при ПП и 11.9% – для традиционной технологии ( $t$ -тест при  $\alpha = 0.05$ )). Идентичные данные были получены при анализе агрегатов 1–2 мм [23]. Увеличение количества фракции микроагрегатов 50–250 мкм и возрастание микроагрегированности по Бэйверу можно рассматривать как фактор восстановления микроструктурного состояния типичных черноземов с введением ПП. Это предположение подкрепляется ранее полученными данными о том, что средневзвешенный диаметр (СВД) микроагрегатов черноземов больше в целинных (или восстановленных) черноземах по сравнению с обрабатываемыми [26].

По данным гранулометрического анализа, сумма фракций <10 мкм, характеризующая физическую глину для вариантов вспашка и ПП равна со-

ответственно 52.9 и 51.5%. По этому показателю черноземы не демонстрировали значимых различий ( $t$ -тест при  $\alpha = 0.05$ ) и были классифицированы как тяжелосуглинистые [32]. В целом отличий в гранулометрическом составе между сравниваемыми видами использования обнаружено не было.

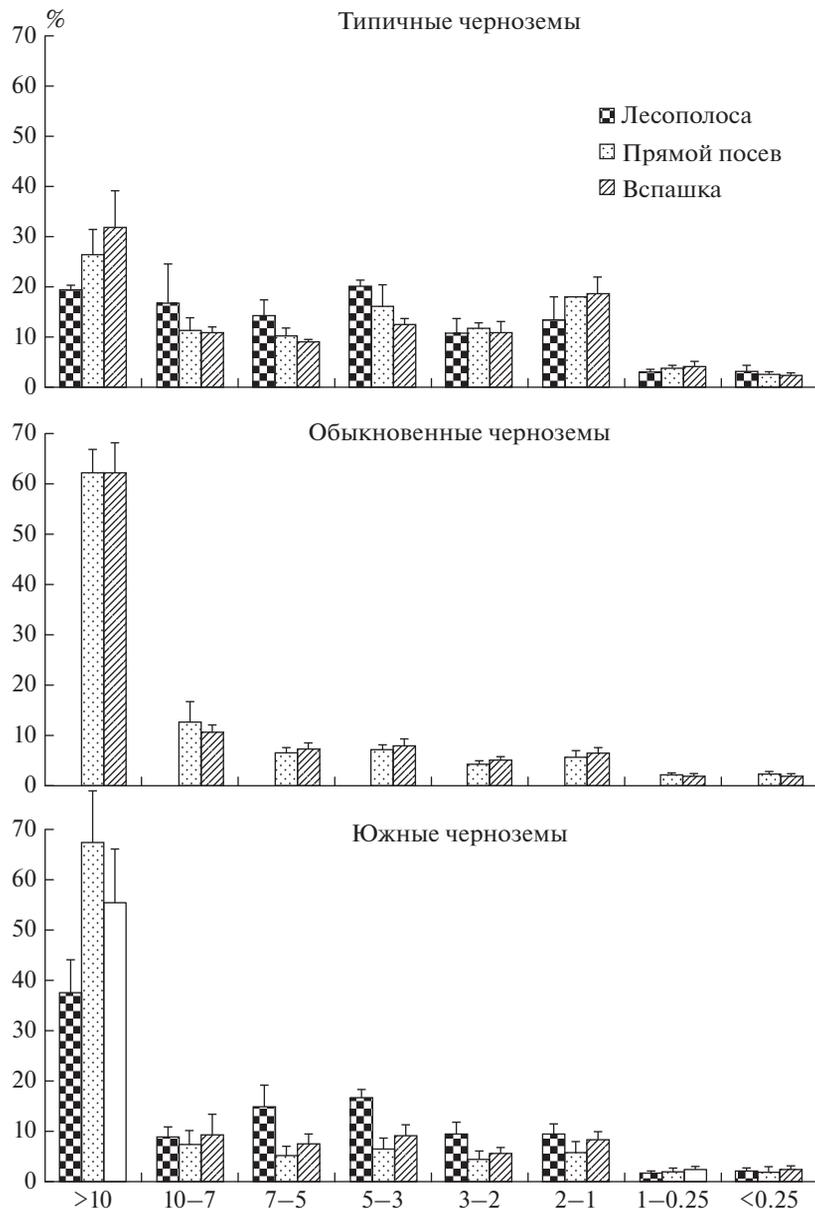
**Макроагрегатный состав.** Распределение по размерам сухих структурных отдельностей в черноземах приводится на рис. 2. В черноземах под лесополосами, которые длительное время не обрабатывались, распределение агрегатов существенно отличается от пахотных аналогов. В них меньше глыб >10 мм и больше крупных агрегатов от 3 до 10 мм в случае типичных черноземов и от 2 до 10 мм – в южных. Такая тенденция (уменьшение глыбистости и увеличение доли крупных агрегатов) характерна для восстанавливаемых почв [2, 24, 30].

В типичных черноземах (рис. 2) распределение структурных отдельностей естественного сложения указывает на тенденцию восстановления структуры в варианте ПП. В ряду пашня–ПП–лесополоса уменьшается содержание глыб и фракции 2–1 мм за счет увеличения количества крупных агрегатов размером 3–10 мм. Содержание фракций 3–2, 2–3 и <1 мм практически не меняется.

В южных черноземах при ПП по сравнению с пахотным вариантом и вариантом почвы под лесополосой увеличивается содержание глыб на фоне уменьшения фракций агрегатов в диапазоне размеров от 10 до 1 мм.

Для обыкновенных черноземов в варианте ПП по сравнению с пахотным можно отметить некоторое увеличение содержания агрегатов фракции 7–10 мм. Этот процесс можно отнести к восстановлению структуры, так как эти структурные отдельности накапливаются на фоне уменьшения доли глыбистых частиц.

Таким образом, данные по агрегатному составу указывают на процессы восстановления структуры при применении технологии ПП на типичных черноземах. В обыкновенных черноземах разница между традиционной обработкой и ПП не отмечена, а в южных наблюдается небольшое ухудшение структурного состояния. Вероятно, это объясня-



**Рис. 2.** Распределение структурных отдельных естественного сложения по размерам в подтипах черноземов разного вида использования.

ется большей ролью кальция в структурообразовании южного и обыкновенного черноземов по сравнению с типичным. При переходе от интенсивной технологии к почвосберегающей, активизируются процессы восстановления структуры. Если ведущую роль в этом играет ОВ, то восстановление идет относительно быстро, что и наблюдается в типичных черноземах, а если существенную роль в этих процессах играет кальций (вероятнее всего гумус-кальциевых взаимодействий), то отклик может не наблюдаться достаточно долго, или вообще не наблюдаться, так как поток ОВ слабо влияет на режим кальция. Как результат, полученные данные указывают на необходимость

тщательного дальнейшего изучения влияния применения ПП на структуру различных подтипов черноземов.

Интегральные показатели агрегатного состава приведены в табл. 3. По нормативным показателям структурности варианты почв под лесополосой и ПП в типичном черноземе относятся к оптимальным [27]; пахотный вариант в этом подтипе – к допустимым. При сельскохозяйственном использовании черноземов обыкновенного и южного практически во всех вариантах структурное состояние почвы является критическим [27]. Только полный отказ от какой-либо обработки в варианте лесополоса (ООО “Урожайное”) увели-

**Таблица 3.** Показатели агрегатного состава черноземов разного вида использования по результатам сухого просеивания: “++” – отличное агрегатное состояние, “+” – хорошее, “–” – неудовлетворительное

Показатель	Вид использования		
	лесополоса	ПП	вспашка
	Типичные черноземы		
Глыбистость, %	19	26	32
Сумма агрономически ценных агрегатов (10–0.25 мм), %	78 ++	71 ++	66 ++
СВД, мм	4.6	4.0	3.8
$K_{стр}$	3.5 ++	2.5 ++	1.9 ++
	Обыкновенные черноземы		
Глыбистость, %	н.о.	62	62
Сумма агрономически ценных агрегатов (10–0.25 мм), %	н.о.	36 –	37 –
СВД, мм	н.о.	5.2	4.9
$K_{стр}$	н.о.	0.6 –	0.6 –
	Южные черноземы		
Глыбистость, %	37	67	55
Сумма агрономически ценных агрегатов (10–0.25 мм), %	61 ++	31 –	42 +
СВД, мм	4.4	4.5	4.4
$K_{стр}$	1.5 ++	0.4 –	0.7 +

чивает содержание агрегатов 0.25–10 мм до 61% (допустимый уровень).

Коэффициент структурности ( $K_{стр}$ ), как показатель сохранности в почве агрономически ценных агрегатов [32], отражает сильную выпаханность обыкновенных и южных черноземов Ставрополя. Даже в лесополосе (заложена в 50-е годы XX в.) не наблюдается оптимальный агрегатный состав ( $K_{стр} < 2$ ) агрономически ценных агрегатов при сухом просеивании, что говорит о медленном восстановлении структуры черноземов после длительного сельскохозяйственного воздействия. Однако водоустойчивость агрегатов после интенсивных нагрузок восстанавливается гораздо быстрее, чем естественное распределение структурных отдельностей по размерам [29, 30]. Поэтому следующим шагом для оценки влияния технологии ПП на структуру черноземов была оценка их водоустойчивости.

Поведение размерных фракций естественного сложения в черноземах различно в зависимости от вида его использования [30]. В связи с этим проведенная для отдельных фракций оценка водоустойчивости более информативна, нежели оценка содержания и распределения водоустойчивых агрегатов для среднего образца по Саввинову. В табл. 4 приводятся СВД водоустойчивых агрегатов, полученных из частиц >10 мм и крупных агрегатов 10–7, 7–5 и 5–3 мм. Ранее было показано, что эти фракции по сравнению с более мелкими агрегатами наиболее отзывчивы на вид использования черноземов [30].

Ожидаемо, варианты с лесополосой в типичном черноземе характеризуются большими значениями СВД водоустойчивых агрегатов. Во всех подтипах водоустойчивость агрегатов варианта

ПП в целом лучше по сравнению с пахотным вариантом. Однако в южных черноземах это отличие проявляется только во фракциях >10 и 7–10 мм. Для фракций 5–7 и 3–5 СВД водоустойчивых агрегатов не отличается от пахотных вариантов (попарное сравнение,  $t$ -тест при  $\alpha = 0.05$ ).

Интересно отметить, что в южном черноземе СВД водоустойчивых агрегатов структурных отдельностей >7 мм варианта лесополоса были меньше, чем в варианте ПП. Возможно, это объясняется высокой долей дефляционного материала в составе почвы лесополосы. Морфологические признаки чернозема лесополосы носят явные признаки наличия привнесенного материала, лесополоса расположена перпендикулярно направлению господствующих ветров и, соответственно, в ней оседает много мелкого материала. Видимо, навеванный материал не успевает быстро приобрести водоустойчивость, что и выражается в наблюдаемых размерах СВД крупных структурных отдельностей.

Таким образом, при отсутствии значимых различий в распределении сухих агрегатов по размерам между пахотным вариантом и ПП в обыкновенном и южном черноземах применение ПП благоприятно сказывается на водоустойчивости структуры. Вероятно, это указывает на то, что водоустойчивость восстанавливается быстрее по сравнению с распределением агрегатов по размерам [30].

В южных черноземах подобная трансформация идет медленнее, поэтому она заметна только в крупных структурных отдельностях. Возможно, водоустойчивость этих почв в большей мере, чем в других рассмотренных подтипах черноземов, определяется карбонатами кальция, поэтому их отклик на смену технологии обработки выражен не так ярко.

**Многолетние травы и биологизация земледелия.**

В земледелии большая роль отводится многолетним травам, корневые и пожнивные остатки которых по содержанию азота, фосфора, калия и других элементов питания равноценны внесению 40–60 т/га навоза. Многолетние бобовые травы, благодаря наличию на корнях клубеньковых бактерий, фиксируют азот из воздуха и накапливают до 150–200 кг/га и более биологического азота, который способствует росту урожайности последующих культур севооборота [10].

Важную роль многолетним травам отводил В.Р. Вильямс [7], считавший, что только они создают водопрочную структуру почвы: “... главное условие плодородия пахотных земель”. Кроме того, они предотвращают ветровую и водную эрозии. А.И. Бараев на эрозионно-опасных участках рекомендовал посевы яровых культур чередовать с полосами многолетних трав, которые размещались поперек склона или господствующих ветров, и их ширина зависела от опасности проявления эрозии (крутизны склона и скорости ветра) [4].

Не менее важную роль выполняют многолетние травы в качестве санитаров почвы, освобождая ее от многих вредителей и возбудителей болезней культурных растений. Например, введение в севооборот донника приводит к существенному сокращению поражений растений пшеницы корневыми гнилями и зерновой нематодой (*Heterodera avenae*) [12]. Широко известна способность многолетних трав усваивать труднодоступные для растений питательные вещества из глубоких слоев почвы, переводя их в доступные. Накапливаясь в верхних слоях почвы, они используются для формирования урожая последующими культурами севооборота. Большое количество растительных остатков повышает жизнедеятельность микрофлоры и улучшает биологическую активность почвы. Все эти положительные свойства многолетних трав используются в системе ПП. Кроме того, они выполняют роль биологического рыхлителя почвы, обеспечивая ей оптимальную плотность сложения, хорошую воздухо- и водопроницаемость, что является непрерывным условием роста и развития растений, получения высоких урожаев полевых культур при их возделывании по технологии без механической обработки [15].

Многолетние травы обеспечивают дополнительное поступление ОВ, способствуют увеличению видового разнообразия полезной и подавлению патогенной микрофлоры в почве, что снижает поражение болезнями культурных растений, особенно корневыми гнилями [8].

Развивая мощную надземную массу, многолетние травы подавляют сорные растения, а остающийся после них на поверхности почвы слой растительных остатков обеспечивает надежную защиту гумусового горизонта почв от ветровой и

**Таблица 4.** Средневзвешенные диаметры водоустойчивых агрегатов черноземов при разном виде использования (мм), полученные по результатам мокрого просеивания фракций сухих структурных отдельных размеров >10, 10–7, 7–5 и 5–3 мм черноземов разного вида использования

Фракции сухих агрегатов, мм	Вид использования		
	лесополоса	ПП	вспашка
	Типичные черноземы		
>10	10.1	5.2	2.0
10–7	7.1	1.6	1.3
7–5	5.3	0.9	0.7
5–3	3.4	0.7	0.7
	Обыкновенные черноземы		
>10	н.о.	3.8	3.2
10–7	н.о.	2.1	1.8
7–5	н.о.	1.8	1.3
5–3	н.о.	1.4	1.0
	Южные черноземы		
>10	3.8	5.0	2.8
10–7	2.7	3.3	2.5
7–5	2.3	2.1	2.1
5–3	1.5	1.3	1.3

водной эрозии, лучшее накопление, сохранение и более экономное расходование почвенной влаги культурными растениями, обеспечивая необходимые условия для обитания дождевых червей и другой полезной фауны [34].

В системе ПП многолетние травы можно выращивать в качестве основной или промежуточной (почвопокровной) культуры, когда они произрастают (покрывают почву) в промежутке от уборки одной и до посева следующей культуры севооборота. В качестве почвопокровной культуры их сеют под покров основной культуры севооборота (например, ярового ячменя), после уборки которого травы произрастают до посева следующей культуры севооборота.

Зеленский рекомендует многолетние бобовые травы (донник, эспарцет) сеять одновременно с подсолнечником, после уборки которого в вегетирующие травы сеять озимую пшеницу [17]. Многолетние травы произрастают под покровом подсолнечника и до фазы кушения озимой пшеницы, обогащают почву ОВ, а своей корневой системой рыхлят ее. В засушливых условиях Ставрополя растительные остатки предшествующих культур способствуют большему накоплению и лучшему сохранению влаги в почве, что положительно влияет на полевую всхожесть семян.

При использовании системы ПП весьма продуктивны смешанные посевы многолетних трав, аккумулирующие все определяющие плодородие почв позитивные процессы. Внедрение многолетних трав и их смешанных посевов в севообороты зависит от региональных почвенно-климатических

условий. В качестве важного компонента биологизации земледелия введение в севообороты многолетних трав представляется необходимой и своевременной мерой снижения деградации и восстановления плодородия черноземов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют, что при соблюдении технологии, введение прямого посева на типичных и обыкновенных черноземах не приводит к переуплотнению почв. За короткий период времени в 4 года на типичных черноземах и 6 лет на обыкновенных черноземах равновесная плотность при использовании технологии ПП восстанавливается до исходного уровня.

Микроагрегатный анализ типичных черноземов показал, что в пахотных почвах преобладают мелкие микроагрегаты, в необрабатываемых – более крупные фракции. Вероятно, наблюдаемые особенности микроагрегатного состава объясняется повышенным поступлением слаборазложившихся растительных остатков. Схожие распределения были выявлены ранее для ненарушенных почв [26]. Видимо ПП, в отличие от традиционных обработок, меньше аэрирует почву, образуются микрозоны с анаэробными условиями, что замедляет разложение и способствует формированию крупных микроагрегатов. Подобный процесс был описан при разработке концептуальной модели формирования микроагрегатов внутри макроагрегатов [38]. Таким образом, с прекращением обработок в типичных черноземах идет процесс восстановления микроструктурного состояния.

Введение ПП на типичных черноземах приводит к улучшению макроструктурного состояния, как в плане распределения структурных отдельных естественного сложения, так и их водостойкости. На обыкновенных черноземах введение ПП не оказывает существенного влияния на распределение агрегатов по размерам, но существенно повышает их водостойкость.

В случае южных черноземов, введение ПП только увеличивает водостойкость структурных отдельных >7 мм. Вероятно, это связано с различиями в отзывчивости на улучшение внешних условий, обусловленную принадлежностью рассматриваемых черноземов к разным подтипам. Поясним нашу мысль. Рассматриваемые подтипы черноземов: типичный, обыкновенный и южный – в своем естественном состоянии характеризуются несколько разными биоклиматическими условиями. Соответственно, при улучшении внешних условий, подтипы будут стремиться к несколько разным новым квазиравновесным состояниям, в пространстве признаков стремясь к природному ненарушенному состоянию. При этом логично предположить, что эти

состояния будут по многим физико-химическим характеристикам (например, содержанию углерода, структурному состоянию) образовывать ряд, соответствующий подтиповым особенностям. Например, по содержанию углерода будет ряд: типичные черноземы > обыкновенные > южные. С этих позиций можно объяснить наблюдаемые изменения при введении ПП.

Во всех подтипах в той или иной мере увеличивается водоустойчивость агрегатов. Процесс объясняется количественным увеличением поступления растительных остатков. Кроме того, изменяется их качественное состояние: при традиционных обработках растительные остатки заделываются в почву, а при ПП стерня остается. В связи с этим в ПП поверхностные растительные остатки разлагаются медленнее, так как нет непосредственного контакта с почвенной массой. Поселяющиеся на пожнивных наземных остатках микроорганизмы разлагают их, но из-за отсутствия влияния мощного пула иммобилизованных в почве ферментов этот процесс идет менее интенсивно по сравнению с заделанными в почву растительными остатками. Видимо, режим ПП способствует попаданию в почву большего количества растворенного ОВ: оно просто смывается с наземных растительных остатков в процессе разложения, в то время как в почвенной массе, растительные остатки преимущественно сорбируются твердой фазой и затем уже разлагаются [38]. Растворенное ОВ попадает в почву, пропитывает агрегаты, повышая их водоустойчивость.

Биотермодинамические условия, способствующие формированию устойчивых ОВ, наиболее благоприятны в типичных черноземах, затем следуют обыкновенные, потом южные – это отражается в запасах углерода в этих почвах. Логично предположить, что водорастворимых веществ при ПП в типичных и обыкновенных черноземах будет образовываться больше, по сравнению с южным подтипом. Соответственно в первых двух подтипах быстрее восстановится водоустойчивость. Как уже упоминалось, для южных черноземов водоустойчивость значительно возросла при ПП только в крупных агрегатах, видимо, эти размерные фракции лучше отзываются на обработку растворенным ОВ. Кроме того, в южных черноземах больше кальция (они вскипают с поверхности). С одной стороны, кальций, взаимодействуя с растворенным ОВ, может осаждать его, уменьшая концентрацию и подвижность. С другой, кальций сам способствует формированию водоустойчивой структуры, видимо, его влияние больше проявляется для фракции <7 мм. Если сопоставить данные (табл. 4) для пахотных вариантов, видно, что СВД водоустойчивых агрегатов <7 мм в южном черноземе в 2–3 раза больше, чем в обыкновенных. Таким образом, эти агрегаты вполне водоустойчивы и дополнительное влияние ОВ не заметно.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 19-16-00053 (анализ структурного состояния, микроагрегатный и гранулометрический анализ), Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-016-00078 (отбор образцов), а также с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием “Функции и свойства почв и почвенного покрова” Почвенного института им. В.В. Докучаева.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллен Х.П. Прямой посев и минимальная обработка почвы. М.: Агропромиздат, 1985. 207 с.
2. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес Де Гереню В.О., Овсян Л.А., Телеснина В.М. Цветкова Ю.Д. Изменение агрегатного состава различных типов почв в ходе залежной сукцессии // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Т. 88. С. 47–74. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-47-74>
3. Банькин В.А. Нужна другая система земледелия // Земледелие. 2019. № 1. С. 45–48.
4. Бараев А.И. Почвозащитное земледелие. М.: Колос, 1975. 304 с.
5. Белобров В.П., Абросимов К.Н., Скворцова Е.Б., Айдиев А.Я., Юдин С.А., Куленкамп А.Ю. Микроструктура и поровое пространство черноземов // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Курск, 2016. С. 37–41.
6. Белобров В.П., Айдиев А.Я., Юдин С.А., Воронин А.Я., Артемьева З.С., Куленкамп А.Ю. База данных в многолетнем полевом опыте по минимизации обработок типичного чернозема // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Курск, 2014. С. 22–27.
7. Вильямс В.Р. Земледелие с основами почвоведения. М.: Сельхозгиз, 1951. Соч. Т. IV. 576 с.
8. Власенко Н.Г., Коротких Н.А., Бокина И.Г. К вопросу о формировании фитосанитарной ситуации в посевах в системе No-till. Новосибирск: Сиб. НИИ земледелия и химизации, 2013. 124 с.
9. Гармашов В.М., Чевердин Ю.И., Белобров В.П., Гребенников А.М., Исаев В.А., Беспалов В.А. Влияние способа основной обработки почв на агрофизические свойства миграционно-мицелярных агрочерноземов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 3. С. 26–29.
10. Гончаров П.Л. Научные основы травосеяния в Сибири. М.: Агропромиздат, 1986. 288 с.
11. Докучаев В.В. Русский чернозем. СПб., 1883. 376 с.
12. Дригидер В.К. Донник. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. 256 с.
13. Дригидер В.К. Практические рекомендации по освоению технологии возделывания сельскохозяйственных культур без обработки почвы в засушливой зоне Ставропольского края. Ставрополь: СНИИСХ. 2016. 80 с.
14. Дригидер В.К., Кулинец В.В., Стукалов Р.С., Гаджиумаров Р.Г. Динамика изменения агрофизических свойств почвы при возделывании полевых культур по технологии No-till // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2018. № 5(73). С. 35–38.
15. Дригидер В.К., Невечеря А.В., Таран Г., Шаповалова Н.В. Ипатовский опыт возделывания полевых культур без обработки почвы (no-till) // АгроСнаб-Форум. 2017. № 3. 2017. С. 35–40.
16. Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В. Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Львовского района Курской области // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 97–114.
17. Зеленский Н.А., Авдеенко А.П., Луганцев Е.П., Мокриков Г.В. Бинарные посева озимой пшеницы на эродированных черноземах Ростовской области. Донской ГАУ. 2010. 205 с.
18. Иванов А.Л., Кирюшин В.И., Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Анализ земельной реформы и агропромышленного производства за четверть века. Почвенно-экологические, технологические институциональные и инфраструктурные аспекты модернизации. Земельная служба (доклад). М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2016. 93 с.
19. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Качество почв России для сельскохозяйственного использования // Российская сельскохозяйственная наука. 2013. № 6. С. 41–45.
20. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии. СПб.: Лань, 2015. 464 с.
21. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
22. Клюев Н.Н. Сельское хозяйство России в “экологическом зеркале” // Природа. 2017. № 6. С. 26–32.
23. Козут Б.М., Артемьева З.С., Кириллова Н.П., Яшин М.А., Сошникова Е.И. Компонентный состав органического вещества воздушно-сухих и водостойчивых макроагрегатов 2–1 мм типичного чернозема в условиях контрастного землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 161–170.
24. Медведев В.В. Механизмы образования макроагрегатов черноземов // Почвоведение. 1994. № 11. С. 24–30.
25. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014: Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2017. 203 с.
26. Филиппова О.И., Холодов В.А., Сафронова Н.А., Юдина А.В., Куликова Н.А. Микроагрегатный, гранулометрический и агрегатный состав гумусовых горизонтов зонального ряда почв европейской России // Почвоведение. 2019. № 3. С. 335–347.
27. Фрид А.С., Кузнецова И.В., Королева И.Е., Бондарев А.Г., Козут Б.М., Уткаева В.Ф., Азовцева Н.А. Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 176 с.

28. Хан Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. М.: Наука, 1969. 140 с.
29. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019 № 2. С. 184–193.
30. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Лазарев В.И., Фрид А.С. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1093–1100.
31. Черкасов Г.Н., Пыхтин И.Г., Гостев А.В. Теоретические основы формирования агротехнологической политики применения нулевых и поверхностных обработок почвы под зерновые культуры для модернизации земледелия. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2012. 74 с.
32. Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
33. Юдина А.В., Милановский Е.Ю. Микроагрегатный анализ почв методом лазерной дифракции: особенности пробоподготовки и интерпретации результатов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. № 89. С. 3–20.
34. Dridiger V.K., Godunova E.I., Eroshenko F.V., Stukalov R.S., Gadzhumarov R.G. Effect of No-till technology on erosion resistance, the population of earthworms and humus content in soil // Res. J. Pharm., Biol. and Chem. Sci. 2012. № 9(2). P. 766–770.
35. Garcia-Oliva F., Oliva M., Sveshtarova B. Effect of soil macroaggregates crushing on C mineralization in a tropical deciduous forest ecosystem // Plant and Soil. 2004. V. 259(1–2). P. 297–305.
36. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // FAO. World Soil Resources Reports. 2014. № 106. 203 p.
37. Montgomery D.R. Soil erosion and agricultural sustainability // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. V. 104(33). P. 13268–13272.
38. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // Soil and Tillage Res. 2004. V. 79. P. 7–31.
39. Six J., Elliott E.T., Paustian K., Doran J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1998. V. 62. P. 1367–1377.
40. Six J., Gregorich E.G., Kogel-Knabner. Commentary on the impact of Tisdall & Oades (1982) Landmark Papers. № 1.
41. Tisdall J.M., Oades J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils // Soil Sci. 2012. V. 63. P. 1–21.

## Changes in Physical Properties of Chernozems under No-Till Technology

V. P. Belobrov<sup>1,\*</sup>, S. A. Yudin<sup>1</sup>, N. V. Yaroslavtseva<sup>1</sup>, A. V. Yudina<sup>1</sup>, V. K. Dridiger<sup>2</sup>, R. S. Stukalov<sup>2</sup>, N. N. Kluev<sup>3</sup>, I. V. Zamotaev<sup>3</sup>, N. R. Ermolaev<sup>1</sup>, A. L. Ivanov<sup>1</sup>, and V. A. Holodov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

<sup>2</sup>North-Caucasian FNAC, Stavropol territory, Shpakovsky district, Mikhailovsk, 356241 Russia

<sup>3</sup>Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia

\*e-mail: belobrovvp@mail.ru

This article presents the results of research on the effect of no-till on the natural density before sowing and during the growing season, micro- and macroaggregate composition in comparison with traditional technology of soil treatment (dump plowing and similar crop rotation) in the surface (0–20 cm) layer of chernozems. Haplic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic) and Haplic Chernozems (Loamic, Aric) were study objects. For all chernozems subtypes, improvement of physical properties was recorded when no-till was introduced in comparison with the control. Four and six years of crop growing without tillage did not cause any compaction of Haplic Chernozems (typical and ordinary subtypes). In the microaggregate composition of typical chernozems under direct sowing there was a higher proportion of coarse fractions (>50 microns) compared to the control. Probably, this indicates the occurrence of microaggregate formation processes similar to that under natural cenoses, which are characterized by a relatively higher content of the 50–250 microns fraction during the transition to no-till. In all subtypes of chernozems under no-till, the water stability of aggregates increased. The share of agronomically valuable aggregates in typical chernozem also increased; which may be associated with an increase in the ingress of water-soluble organic matter into the soil during no-till, since this technology excludes translocation of plant residues into the soil. In southern chernozems, this effect was manifested only for fractions >7 mm, while water stability of finer aggregate is provided by high calcium content, regardless of the type of tillage.

**Keywords:** equilibrium density, micro- and macro-aggregate composition, coefficient of structure, the average diameter of the water-stable units, no-till, conservation tillage, chernozems