Научная статья
УДК. 631.472
doi: 10.55186/25876740_2022_65_2_188

ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА И СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАВНОВЕСНОЙ ПЛОТНОСТИ ТИПИЧНОГО ЧЕРНОЗЕМА

В.П. Белобров[1], Д.А. Шаповалов[2], С.А. Юдин[1], Н.Р. Ермолаев[1]

[1] Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия
[2] Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. На примере многолетнего полевого опыта в четырехпольном зерновом севообороте описана динамика равновесной плотности (РП) типичного чернозема в пространстве и времени (две ротации) при применении традиционной технологии (ТТ) в виде вспашки, комбинированной и минимальной обработок и no-till (прямого посева — ПП). Четыре опытных поля, каждое площадью 2,4 га, характеризуются неоднородным составом почвенного покрова. Зональный подтип типичных черноземов формируется в комбинации с перерытыми и выщелоченными, которые в среднем составляют 12 и 6% при вариабельности встречаемости по полям 1,7-23,0 и 2,8-8,9% соответственно. Перерытые и выщелоченные черноземы формируют на полях элементарные почвенные ареалы (ЭПА) и структуры почвенного покрова (СПП), определяя характер вариабельности РП. Равновесная плотность типичных черноземов при использовании ПП имеет тенденцию к росту во времени, в большей степени в подповерхностном горизонте 10-20 см. В слое 0-10 см эта тенденция выражена слабее в силу разуплотняющего воздействия растительности и процессов восстановления структуры при отсутствии обработок почв. Тренд роста РП в прямом посеве не выходит за рамки оптимальных значений для типичных черноземов в 1,3 г/см^3. Компоненты СПП усиливают вариабельность РП черноземов в пространстве, а восстановление в ПП структуры агрегатов и их водоустойчивости к эрозии является фактором смены водно-теплового режима на экологически более устойчивый и стабильный к глобальным изменениям климатических параметров.

Ключевые слова: *традиционная технология, прямой посев, перерытые и выщелоченные черноземы*

Original article

INFLUENCE OF NO-TILL AND SOIL COVER STRUCTURE ON THE VARIABILITY BULK DENSITY OF A TYPICAL CHERNOZEM

V.P. Belobrov[1], D.A. Shapovalov[2], S.A. Yudin[1], N.R. Ermolaev[1]

[1]V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia
[2]State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Abstract. On the example of many years of field experience in a four-field grain crop rotation, the dynamics of the bulk density of a typical chernozem in space and time (two rotations) is described using traditional tillage (TT) in the form of plowing, combined and minimum tillage and no-till (NT). Four experimental fields, each with an area of 2.4 ha, are characterized by a heterogeneous composition of the soil cover. The zonal subtype of typical chernozems is formed in combination with dug up and leached ones, which average 12 and 6% with a variability of occurrence in the fields of 1.7-23.0 and 2.8-8.9%, respectively. The dug up and leached chernozems form elementary soil areas (EAA) and soil cover structures (SSC) in the fields, determining the nature of the bulk density variability. The bulk density of typical chernozems when using NT tends to increase over time, to a greater extent in the subsurface horizon of 10-20 cm. In the 0-10 cm layer, this trend is less pronounced due to the decompacting effect of vegetation and the processes of structure restoration in the absence of tillage. The growth trend of bulk density in NT does not go beyond the optimal values for typical chernozems of 1.3 g/cm3. The components of the SSC increase the variability of the bulk density of chernozems in space, and the restoration of the structure of aggregates and their water resistance to erosion in the NT is a factor in the change of the water-thermal regime to an ecologically more stable one and stable to global changes in climatic parameters.

Keywords: *traditional tillage, no-till, dug up and leached chernozems*

Введение. Достижение технологического прорыва в АПК на базе цифровой трансформации сельского хозяйства возможно лишь при формировании оптимальных почвенно-агротехнических и организационно-территориальных условий производства сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих на всем жизненном цикле существенное повышение урожайности на основе учета ключевых почвенных характеристик.

Одним из важнейших критериев, характеризующих физические свойства почв и их плодородие в земледелии является *равновесная плотность*. Стабильность плотности зависит от технологии возделывания культур, применяемой техники, севооборота и др. причин. Она меняется в пространственно-временном режиме в процессе роста растений и погодных условий [1, 2], что отражается на урожайности культур. Для равновесной плотности пахотного слоя черноземов разработаны зонально-провинциальные нормативы, имеющие три градации: оптимальные, допустимые и критические, которые служат базовыми оценочными показателями [3]. Периодичность и длительность во времени обработок показала, что типичные черноземы Курской области имеют оптимальную равновесную плотность, тогда как южные черноземы Ставрополья оцениваются критическими нормативами [4].

В традиционной технологии (ТТ) земледелия для разуплотнения почв используется вспашка. Она применяется на протяжении длительного времени во всем мире и служит универсальным методом для борьбы с сорняками и подготовкой почв к внесению удобрений и севу культур. Постоянные во времени обработки почв с одной стороны поддерживают плотность на оптимальном уровне характерном для естественных почв, с другой, приводят к деградации структуры, увеличению процента микроагрегатов и свободных илистых частиц минерального состава, снижению водоустойчивости агрегатов к эрозии. Как следствие, при этом падает потенциальное плодородие почв [5], урожайность возделываемых культур и ее стабильность, зависящая от экологических и климатических рисков, флуктуаций погодных условий в течение отдельных

© Белобров В.П., Шаповалов Д.А., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., 2022

сезонов и года в целом [1]. Это может привести к выводу черноземов из сельскохозяйственного оборота и смене землепользования [6].

Равновесная плотность не окультуренных почв создается за счет корневых систем растений. В степных и лесостепных условиях, в черноземах формируется уникальная зернистая структура с наиболее благоприятной плотностью для возделывания культурных видов растений. Ее состояние поддерживается за счет количества и разнообразия растений, имеющих универсальную систему корней, разрыхляющих поверхностные горизонты почв.

Результаты оригинальных полевых опытов по изучению воздействия прямого посева на равновесную плотность черноземов показали, что она превышает таковую в естественных почвах, но не выходит за рамки оптимальной для роста растений [7, 2]. Процессы восстановления структуры при прямом посеве («самосборка» или самоорганизация) [8] улучшают агрегатное состояние черноземов, приводят к формированию более прочной и водоустойчивой консистенции агрегатов, а также увеличивают трещиноватость и улучшают водопроницаемость почв [9, 2].

Таким образом в увеличении плотности почв при использовании технологии прямого посева, есть определенные плюсы, связанные с изменением агрегированности, которые, как минимум, ограничивают необходимость проведения обработок. Более того, при использовании в севооборотах культур со стержневой системой, проблема снижения плотности, особенно в период вегетации растений, решается без предварительного вмешательства почвообрабатывающих механизмов [10]. Уплотнение почв остается проблемным звеном и в ПП, но в целом уже не является критическим [11], так как техника используется обычно только при посеве культур и уборке урожая, причем ее перемещение по полю ежегодно меняет направление под определенным углом, не создавая локального переуплотнения и формирование антропогенного нано- и микрорельефа [9].

Вместе с тем остается не решенным вопрос о пространственном распределении равновесной плотности почв на полях при использовании прямого посева, которая связана со структурой почвенного покрова, особенностями свойств отдельных ее компонентов [12,13]. Для этого нужны многолетние данные на примере больших по площади опытных участков, где почва не подвержена давлению техники и удовлетворяет условиям репрезентативности, а также достоверности полученных результатов [1].

Цель работы, на примере многолетнего полевого опыта в четырехпольном зерновом севообороте, показать динамику равновесной плотности типичных черноземов на локальном уровне в пространстве и времени при применении ТТ (вспашки) и прямого посева (ПП).

Объекты и методы. Объекты исследований — типичные черноземы (Haplic chernozem) стационара «Курского ФАНЦ» (GPS — 51^0 37′,71 с.ш. 36^0 15′,73 в.д.) на участке из четырех полей, каждое площадью 2.4 га, на которых ведется научно-производственный полевой опыт с 2013 г. по изучению влияния минимизации обработок и прямого посева на свойства почв (рис. 1). Равновесная плотность измерялась в одно и тоже время после уборки уравнительной овсяно-гороховой смеси в августе месяце на поле 1 в 2013 г. и последовательно на поле 2 (2014), поле 3 (2015) и поле 4 (2016). В традиционной технологии (ТТ) используются три варианта обработок: вспашка с оборотом пласта, комбинированная — чизель + дискование, минимальная — дискование. В качестве альтернативы обработкам применяется прямой посев (ПП). Специальной сеялкой с разрезающими почву дисками и катками, закрывающими почву с зерном на определенную глубину (прикатыванием с двух сторон), осуществляется посев культур.

Большая площадь делянок 60х100 м обеспечивает сменный характер прохода техники по полю для сева и уборки, а также дает возможность с большей достоверностью оценивать урожайность по вариантам с учетом различий в компонентном составе почвенного покрова полей. Оцениваются результаты исследований равновесной плотности на всех полях до начала эксперимента (2013-2016 гг.) и на поле 1 после первой (2017) и второй ротации (2021). Полевые исследования включали детальную топографическую (рис. 2), а также почвенную съемку каждого поля ручным бурением скважин до глубины Вса (45 скважин на каждое поле).

Отбор образцов для определения равновесной плотности, характеризующих каждый вариант технологии, проводился режущими кольцами в 3-х точках с глубин 0-10 и 10-20 см в 3-х кратной повторности. Местоположение пробы на делянке фиксировалось по GPS с целью достоверности повторного отбора и полученных результатов [14]. Статистическая обработка данных проведена с помощью программы Excel 2016 и вычислением НСР$_{05}$ [15].

Рисунок 1. **Ортофотоплан (2019 , цифрами обозначены номера полей)**
Figure 1. **Orthophotoplan (2019, numbers indicate field numbers)**

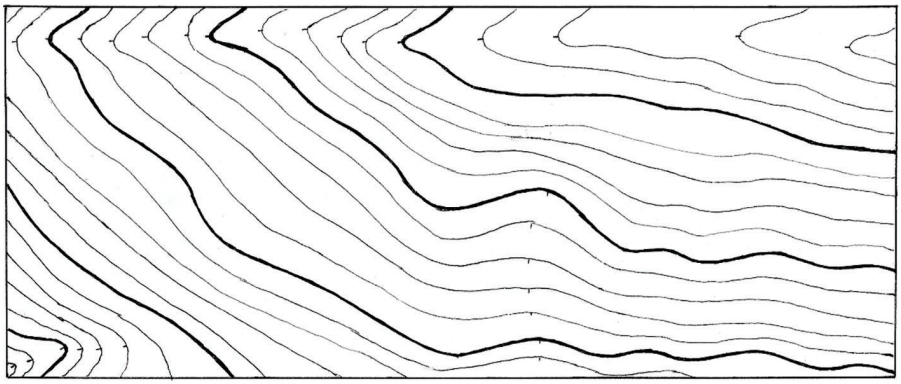

Рисунок 2. **Рельеф поля 1 (2013 г., горизонтали через 10 см, масштаб 1:2000)**
Figure 2. **Field relief 1 (2013, horizontals every 10 cm, scale 1:2000)**

Таблица 1. **Равновесная плотность типичных черноземов на опытных полях до начала эксперимента в слоях 0-10 и 10-20 см**
Table 1. **Bulk density of typical chernozems on experimental fields before the start of the experiment in layers of 0-10 and 10-20 cm**

Технологии и статистические параметры*	Поле 1 2013 г.		Поле2 2014 г.		Поле 3 2015 г.		Поле 4 2016 г.		НСР по полям	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Вспашка	***0,96***	***1,17***	***0,95***	***1,08***	***1,08***	***1,22***	***1,12***	***1,15***	**0,17**	**0,11**
СО	0,14	0,11	0,04	0,04	0,10	0,17	0,06	0,14		
КВ	11,6	9,4	4,2	3,7	9,3	13,9	5,4	12,2		
Комбинированная	***1,17***	***1,17***	***0,93***	***1,07***	***1,17***	***1,13***	***1,08***	***1,11***	**0,22**	**0,08**
СО	0,16	0,13	0,06	0,04	0,14	0,09	0,09	0,1		
КВ	13,6	11,1	6,5	3,7	12,0	8,0	6,8	9,0		
Минимальная	***0,96***	***1,17***	***0,95***	***1,04***	***0,98***	***1,23***	***1,03***	***1,09***	**0,07**	**0,16**
СО	0,14	0,11	0,09	0,04	0,08	0,17	0,07	0,06		
КВ	14,6	9,4	9,5	3,8	8,2	13,8	6,8	5,5		
Прямой посев	***1,04***	***1,21***	***1,05***	***1,03***	***0,96***	***1,15***	***1,06***	***1,14***	**0,09**	**0,15**
СО	0,03	0,19	0,07	0,08	0,12	0,16	0,03	0,02		
КВ	2,8	15,7	6,7	8,8	12,5	13,9	2,8	1,8		
Среднее	***1,03***	***1,18***	***0,97***	***1,06***	***1,05***	***1,18***	***1,07***	***1,12***	**0,08**	**0,11**
$НСР_{05}$ технологии	**0,19**	**0,04**	**0,11**	**0,05**	**0,19**	**0,1**	**0,07**	**0,05**		

*/ здесь и далее: СО — стандартное отклонение, КВ — коэффициент вариации

Результаты и обсуждение. Равновесная плотность на полях (табл. 1) отражает изменчивость типичных черноземов в почвенном пространстве, которая варьирует в среднем в слое 0-10 см 0,97 — 1,07 г/см^3 и в слое 10-20 см 1,06 — 1,18 г/см^3. Можно подчеркнуть, что почвенный покров опытных полей в совокупности характеризует преобладающую на территории участка почву — в данном случае типичный чернозем с оптимальной для возделывания зерновых культур равновесной плотностью. Эти усредненные показатели по технологиям демонстрируют изначальную гомогенность почвенного покрова по равновесной плотности, которая обусловлена использованием традиционной технологии (вспашки) как в пространстве, так и во времени.

Таблица 2. **Распространение подтипов черноземов (2013-2016) на опытных полях, (%)**
Table 2. **Distribution of subtypes of chernozems (2013-2016) on experimental fields, (%)**

№ поля	Типичные	Перерытые	Выщелоченные
1	95,5	1,7	2,8
2	70,2	23,0	6,8
3	88,2	6,5	5,3
4	74,0	17,1	8,9
Среднее	***82,0***	***12,0***	***6,0***

В тоже время при сравнении этих показателей между отдельными полями по глубинам 0-10 и 10-20 см вариабельность плотности значительно выше 0,93 — 1,17 г/см^3 и 1,03 — 1,23 г/см^3 соответственно. Она вдвое выше средней для всего опытного участка, что подчеркивает различия в компонентном составе почвенного покрова полей (табл. 2). Достоверность различий в равновесной плотности по НСР между технологиями на разных глубинах также неоднозначна (более значима для слоя 0-10 см), что подчеркивает неоднородность поверхностных горизонтов черноземов по показателю плотности. Различия в $НСР_{05}$ по полям на глубине 0-10 см отмечены только между полем 2 и 4, а по глубине 10-20 см между полем 2 с одной стороны и полями 1 и 3 с другой.

Объяснение этому мы видим в том, что на участке стационара доминирует зональный подтип черноземов — типичные, в комбинации с которыми встречаются перерытые и выщелоченные [16], обычные «спутники», характеризующие СПП в черноземной зоне. В среднем перерытых и выщелоченных черноземов на участке не так много (табл. 2), но перерытых черноземов на поле 2, например, в два раза больше средней по участку.

Встречаемость выщелоченных черноземов по сравнению с перерытыми на участке существенно ниже (в среднем в два раза). Они формируются в большей степени на поле 4, превышая средние показатели по участку в 1,5 раза. Перерытые и выщелоченные черноземы на полях определяют формирование элементарных почвенных ареалов (ЭПА) и СПП, которые в совокупности и в силу природной неоднородности свойств почв, воздействуют на изменчивость равновесной плотности даже с учетом гомогенизации поверхностных горизонтов при вспашке, например, на поле 1 на глубине 0-10 см (см. табл.1).

Структура почвенного покрова полей имеет топогенно-зоогенный генезис, обусловленный формированием мезо- и микрорельефа эрозионно-зоогенной и агрогенной природы. Вытянутые ложбинообразные контуры (рис. 3 и 4) характеризуют глубококарбонатные и мощные черноземы, маркируя зоны формирования выщелоченных черноземов. Отдельные округлой формы и небольшие по площади ареалы типичны для запаханных микроповышений сурчинно-слепышового микрорельефа, имеющего характерную зоогенную перерытость черноземов, маломощный и высококарбонатный профиль идентифицирующий перерытые черноземы.

По равновесной плотности эти почвы различаются между собой и чем выше неоднородность почвенного покрова, тем сильнее. Наиболее рельефно корреляция проявляется на видовом уровне между плотностью почв с одной стороны и мощностью А1 и карбонатностью черноземов, с другой (табл. 3, рис. 3-5).

Таблица 3. **Встречаемость черноземов (%) по видовым признакам (мощность гумусового горизонта и карбонатность, 2013-2016)**
Table 3. **Occurrence of chernozems (%) by species characteristics (thickness of the humus horizon and carbonate content, 2013-2016)**

№ поля	Черноземы — Ч*							Равновесная плотность, г/см^3	
	Мощность А1			Карбонатность (степень выщелоченности)					
	$Ч_{мм}$	$Ч_{см}$	$Ч_{м}$	$Ч_{к}$	$Ч_{вк}$	$Ч_{ск}$	$Ч_{гк}$	0-10	10-20
1	9,3	*78,0*	12,7	-	6,2	*62,5*	31,3	***1,03***	***1,18***
2	40,0	*60,0*	-	1,0	25,3	*43,3*	30,4	***0,97***	***1,06***
3	1,5	*78,9*	19,6	-	3,8	*65,8*	30,4	***1,05***	***1,18***
4	0,5	*85,7*	13,8	-	9,0	*58,1*	32,9	***1,07***	***1,12***
Среднее	*12,8*	*75,7*	*11,5*	*0,3*	*11,1*	*57,4*	*31,2*	***1,03***	***1,13***

*/ мм — маломощные, см — среднемощные, м — мощные, к — карбонатные, вк — высоко карбонатные, ск — средне карбонатные, гк — глубоко карбонатные

Она имеет опосредованный характер и зависит от технологии вспашки (отвальная, безотвальная и глубина пахоты), посева семян (глубина и равномерность), степени увлажнения почв в разных элементах микрорельефа, внутрипочвенного запаханного мезорельефа, определяющих равномерность всходов.

На полях доминируют два вида типичных черноземов: среднемощные и средне карбонатные, занимающие в среднем соответственно 75,7 и 57,4 процентов от общей обследованной площади (табл.3). Отличительной особенностью поля 2 является высокий процент встречаемости маломощных и высококарбонатных черноземов [17] соответственно 40 и 25,3%, тогда как на поле 3 мощные черноземы занимают 19,6% территории, а высоко карбонатные только 3,8 %. Эти видовые отличия почв в СПП создают основное разнообразие по равновесной плотности черноземов. На поле 2 она, например, ниже на обеих глубинах, относительно других полей.

В качестве примера изменения равновесной плотности типичного чернозема в севообороте и по ротациям выбрано поле 1 (табл. 4). Сравнительная оценка равновесной плотности между вспашкой и ПП показывает, что после начала опыта в 2013 г. отмечаются изменения равновесной плотности черноземов в прямом посеве, которые по $НСР_{05}$ имеют в среднем статистически достоверный характер в поверхностном слое 0-10 см. При этом плотность черноземов при вспашке практически постоянна, независимо от возделываемой культуры севооборота.

После первой ротации различия в плотности черноземов между вспашкой и ПП в слое 0-10 см практически отсутствуют, а после второй ротации они выше в ПП на 0.15 г/см^3 (табл. 5). В подповерхностном горизонте наблюдается тренд роста равновесной плотности в прямом посеве. Тем не менее отмеченные различия не значимы по обеим глубинам и технологиям. Рассматривая равновесную плотность черноземов на примере всего пахотного 20 см слоя, отмечается тенденция роста плотности по годам (ротациям), которая не имеет статистически достоверного характера по критерию $НСР_{05}$.

Тенденция увеличения уплотнения черноземов отмечается на всех полях, не только на поле 1 [18]. При вспашке это увеличение в слое 10-20 см можно объяснить глобальной сменой климатических условий на аридизацию, которая в летние периоды дефицита осадков приводит к уплотнению черноземов. В прямом посеве это непосредственно связано с прекращением традиционных обработок черноземов.

Микроморфология и томография образцов черноземов поля 1 и 2 показали, что применение прямого посева приводит к уплотнению материала, уменьшению доли сложных пор упаковки в поровом пространстве, увеличению доли пор-трещин и каналов, а также формированию угловато-округло-блоковых агрегатов [19]. В тоже время этот процесс сопровождается самосборкой агарегатов по размерам в более крупные, водоустойчивые и прочные [5]. Следы биогенной переработки не исчезают, что диагностируется наличием копролитов с разным составом, а во внутрипедной массе отмечается увеличение количества и разнообразия по степени разложенности растительных тканей. В межпоровом пространстве преобладают относительно свежие остатки.

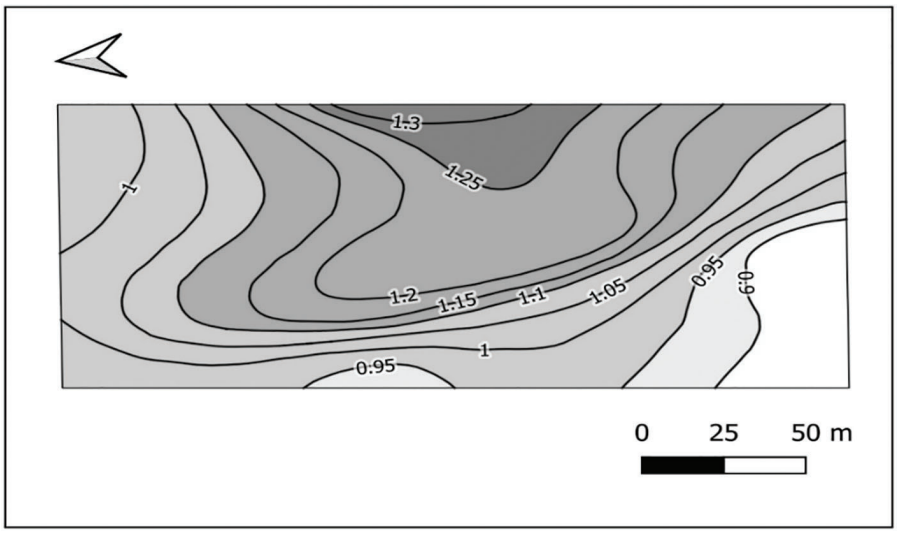

Рисунок 3. **Карта плотности типичных черноземов на поле 1в слое 0-10 см до начала опыта (2013)**
Figure 3. **Map of the density of typical chernozems in field 1 in a layer of 0-10 cm before the start of the experiment (2013)**

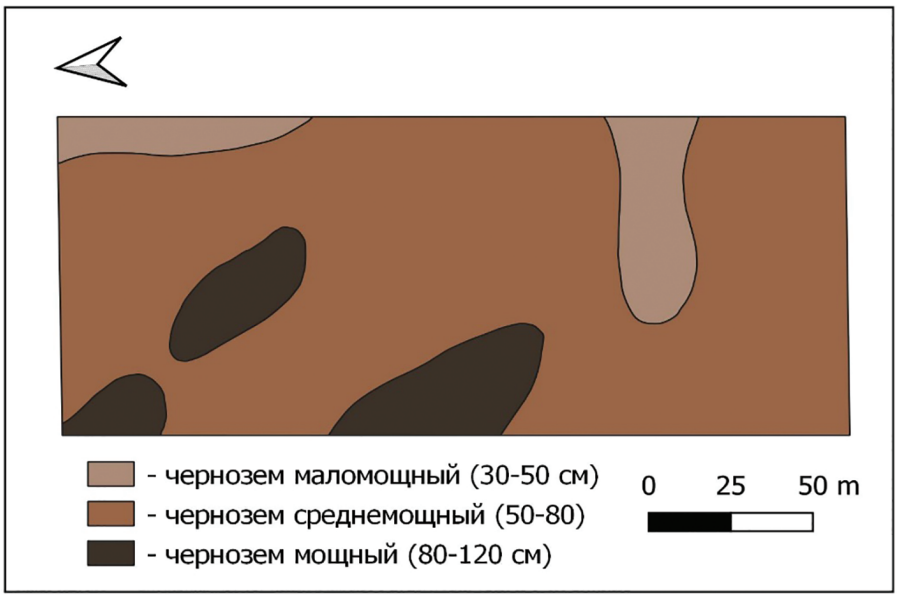

Рисунок 4. **Мощность гумусового горизонта черноземов на поле 1 (2013)**
Figure 4. **The thickness of the humus horizon of chernozems in field 1 (2013)**

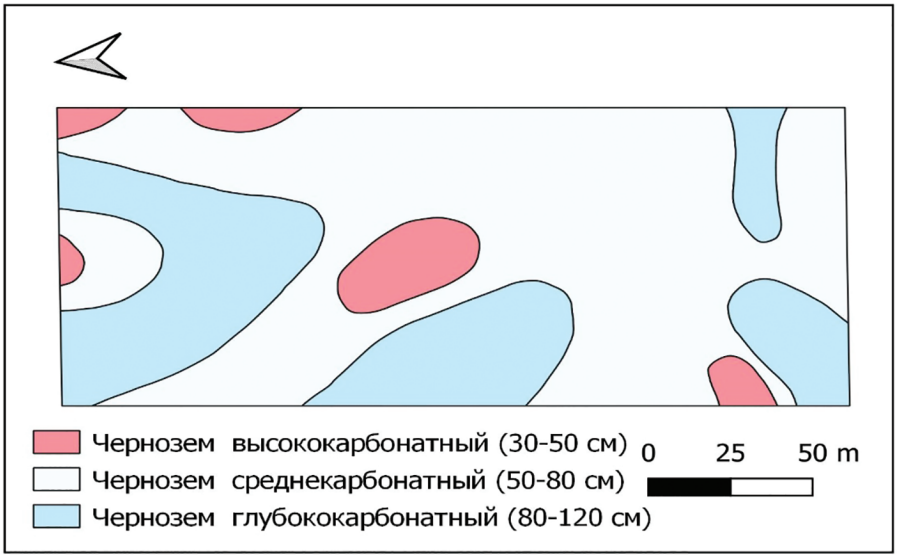

Рисунок 5. **Карбонатность черноземов на поле 1 (2013)**
Figure 5. **Chernozems carbonate in field 1 (2013)**

Таблица 4. **Равновесная плотность (г/см³) на поле 1 в среднем по технологиям, годам и культурам севооборота**
Table 4. **Bulk density (g/cm3) in field 1 on average for technologies, years and crop rotation**

Технологии* и статистические параметры	2013 г. Горохово-овсяная смесь		2014 г. Озимая пшеница		2015 г. Кукуруза		Средняя	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
В	0,96	1,17	0,94	1,01	0,94	1,06	0,95	1,08
КО	1,17	1,17	0,96	1,10	0,92	1,09	1,02	1,12
МО	1,15	1,15	0,95	1,00	0,89	0,92	1,00	1,02
ПП	1,04	1,21	1,13	1,07	0,95	1,10	1,04	1,13
Средняя	1,08	1,17	1,00	1,04	0,92	1,04	1,00	1,09
СО	0,10	0,02	0,09	0,05	0,03	0,08	0,04	0,05
КВ	9,3	1,7	9,0	4,8	3,3	7,7	4,0	4,6
$НСР_{05}$ технологии	**0,19**	**0,05**	**0,17**	**0,09**	**0,05**	**0,16**	**0,08**	**0,10**
$НСР_{05}$ годы	**0,15**							

*/ В — вспашка, КО — комбинированная обработка, МО — минимальная обработка, ПП — прямой посев

Таблица 5. **Равновесная плотность черноземов (г/см³) на поле 1 в слоях 0-10, 10-20 и 0-20 см в технологиях вспашка и прямой посев до начала опыта (2013) и после ротаций (2017 и 2021)**
Table 5. **Equilibrium density of chernozems (g/cm3) on field 1 in layers 0-10, 10-20 and 0-20 cm in plowing and direct sowing technologies before the start of the experiment (2013) and after rotations (2017 and (2021)**

Технологии и статистические параметры	Начало опыта, 2013		Первая ротация, 2017		Вторая ротация, 2021		$НСР_{05}$	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Вспашка	0,96	1,17	1,11	1,09	1,08	1,20	**0,18**	**0,13**
СО	0,14	0,11	0,05	0,07	0,02	0,08		
КВ	11,6	9,4	4,5	6,4	1,9	6,7		
Прямой посев	1,04	1,21	1,11	1,17	1,23	1,28	**0,21**	**0,12**
СО	0,03	0,19	0,05	0,08	0,08	0,04		
КВ	2,8	15,7	4,5	6,8	6,8	3,0		
	0-20 см		0-20 см		0-20 см			
Вспашка	1,06		1,10	+0,04	1,14	+0,08	**0,09**	
СО	0,15		0,01		0,08			
КВ	13,9		1,3		7,4			
Прямой посев	1,12		1,14	+0,02	1,25	+0,13	**0,16**	
СО	0,12		0,04		0,11			
КВ	10,7		3,5		8,7			

Эти признаки на микроуровне проведенных исследований демонстрируют, что процесс разуплотнения типичных черноземов начинается практически одновременно с увеличением плотности, но протекает постепенно на макро- и микроагрегатном уровне, с ростом разнообразия и обилия корневых систем растений в севооборотах, где желательно чередование мочковатых и стержневых культур, а также в результате посева покровных видов, которые не оставляют на полях ни времени, ни пространства для роста и развития сорняков.

Это приводит в ПП к снижению плотности на всю мощность бывшего пахотного горизонта, разуплотнению плужной подошвы и изменению водно-теплового баланса почв, приближая его к естественному. Несмотря на то, что на опытных полях в севообороте использовали преимущественно злаковые культуры с мочковатой корневой системой к окончанию первой и второй ротации равновесная плотность не выходит за рамки оптимальных показателей для типичных черноземов [3].

Заключение. Изменчивость плотности типичных черноземов при использовании прямого посева имеет тенденцию к росту во времени, в большей степени в подповерхностном горизонте 10-20 см. В горизонте 0-10 см эта тенденция выражена слабее в силу разуплотняющего воздействия растительности и процессов восстановления структуры при отсутствии обработок почв. Опосредованно рост уплотнения черноземов подтверждается трендом снижения мощности гумусового горизонта А1 при использовании прямого посева за счет перегруппировки агрегатов почв. Визуально за ротацию в поверхностном горизонте черноземов формируются не характерные для пашни крупные блоки, ограниченные трещинами, которые служат основными водо- и воздухопроводящими системами. Фронтальная фильтрация влаги вглубь профиля черноземов снижается, но увеличивается локальная по трещинам, что приводит к увеличению влагозапаса на большей глубине почв, в том числе за счет снижения испаряемости с поверхности почв, покрытой растительными остатками. Неоднородный компонентный состав СПП усиливает вариабельность равновесной плотности черноземов в пространстве, что сказывается на снижении урожайности культур. По мере восстановления агрегатов и их водоустойчивости к эрозии в ПП происходит смена водно-теплового режима на экологически более устойчивый, что выступает катализатором роста и стабильности урожая зерновых культур на фоне глобальных изменений климатических параметров.

Список источников

1. Дридигер В.К. Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву (методические рекомендации). Ставрополь. ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». 2020. 68 с.

2. Иванов А.Л., Кулинцев В.В., Дридигер В.К., Белобров В.П. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России // Достижения науки и техники АПК. 2021. № 4. Том 35. С. 8-16.

3. Фрид А.С., Кузнецова И.В., Королева И.Е., Бондарев А.Г., Когут 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.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2010. 176 с.

4. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Yu.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aydiev A.Ya., Lazarev V.I., Frid A.S. Changes in the Ratio of Aggregate Fractions in Humus Horizons of Chernozems in Response to the Type of Their Use/Eurasian Soil Science, 2019, Vol. 52, no. 2, pp. 162-170.

5. 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.

6. Рухович Д.И., Шаповалов Д.А. Об особенностях мониторинга почвенно-земельного покрова как информационной основы эффективного землепользования // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2015. № 12 (131). С. 31-49.

7. Дридигер В.К., Стукалов Р.С., Матвеев А.Г. Влияние типа почвы и ее плотности на урожайность озимой пшеницы, возделываемой по технологии no-till в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края // Земледелие. 2017. № 2. С. 19-22.

8. Холодов В.А., Ярославцева Н.В. Агрегаты и органическое вещество почв восстанавливающихся ценозов. М.: ГЕОС. 2021. 120 с.

9. Кирюшин В.И., Дридигер В.К., Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Козлов Д.Н., Кирюшин С.В., Конищев А.А. Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева. М.: ООО «Издательство МБА». 2019. 136 с.

10. Blanco-Canqui H., Ruis S.J. No-tillage and soil physical environment // Geoderma. Elsevier, 2018. Vol. 326. P. 164–200.

11. 20. Keller T. et al. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning // Soil Tillage Res. Elsevier, 2019. Vol. 194. P. 104293.

12. Конищев А.А. Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры // Аграрный вестник Урала. 2020. № 03 (194). С. 21-27.

13. Шаповалов Д.А., Белоброва Д.В., Белобров В.П. Структура почвенного покрова как информационное обеспечение земельно-оценочных работ и реестра почвенных ресурсов на локальном уровне // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 2 (362). С. 6-11.

14. Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гребенников А.М., Айдиев А.Я., Ильин Б.С., Ермолаев Н.Р. К вопросу о методике проведения многолетних опытов по изучению влияния технологии прямого посева на свойства почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 98. С. 132-152.

15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 352 с.

16. Классификация и диагностика почв СССР. М. Колос. 1977. 223 с.

17. Классификация и диагностика почв России. Смоленск. Ойкумена. 2004. 342 с.

18. Ермолаев Н.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.И., Ильин Б.С. Вариабельность плотности типичных черноземов при использовании прямого посева // Сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1 (14). С.14-20.

19. Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я. и др. Чернозем типичный. Прямой посев, Курская область. Опыт, ротация 1.1. М.: ГЕОС. 2021. 128 с.

References

1. Dridiger V.K. (2020). Osobennosti provedeniya nauchnykh issledovaniy po minimizatsii obrabotki pochvy i pryamomu posevu (metodicheskiye rekomendatsii) [Features of conducting scientific research on minimizing tillage and no-till(guidnes)]. Stavropo: *FGBNU «Severo-Kavkazskiy FNATS»* l, 68 p.

2. Ivanov A.L., Kulintsev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P. (2021). O tselesoobraznosti osvoyeniya sistemy pryamogo poseva na chernozemakh Rossii [On the expediency of developing a system of no-till on the chernozems of Russia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achivements of science and technology], no. 4, pp. 8-16.

3. Frid A.S., Kuznetsova I.V., Koroleva I.Ye., Bondarev A.G., Kogut B.M., Utkayeva V.F., Azovtseva N.A. (2010). Zonalno-provintsial'nyye normativy izmeneniy agrokhimicheskikh, fiziko-khimicheskikh i fizicheskikh pokazateley osnovnykh pakhotnykh pochv yevropeyskoy territorii [Zonal-provincial standarts for changes in agrochemical, physico-chemical and physical indicators of the main arable soils of the European territory of Russia under antropogenic imapcts]. Moscow: V.V. Dokuchaev soil science institute publ., 176 p.

4. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Yu.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aydiev A.Ya., Lazarev V.I., Frid A.S. (2019). Changes in the ratio of aggregate fractions in humus horizons of chernozems in response to the type of their use/eurasian soil science, vol. 52, no. 2, pp. 162–170.

5. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov YU. R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aydiyev A. YA., Lazarev V.I., Frid A.S.(2019). Izmeneniye sootnosheniya fraktsiy agregatov v gumusovykh gorizontakh chernozemov v razlichnykh usloviyakh zemlepolzovaniya [Change ratios of fractions of aggregates in humus horizons of chernozems under different land use conditions]. *Pochvovedeniye* [Soilscience], no. 2, pp. 184-193.

6. Rukhovich D.I., Shapovalov D.A. (2015). Ob osobennostyakh monitoringa pochvenno-zemelnogo pokrova kak informatsionnoy osnovy effektivnogo zemlepolzovaniya [On the features of soil and land cover monitoring as an information basis for effective land use]. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel* [Land management, cadaster and monitoring], no. 12, pp. 31-49.

7. Dridiger V.K., Stukalov R.S., Matveyev A.G. (2017). Vliyaniye tipa pochvy i yeye plotnosti na urozhaynost ozimoy pshenitsy, vozdelyvayemoy po tekhnologii no-till v zone neustoychivogo uvlazhneniya Stavropolskogo kraya [Influence of soil type and its density on the yield of winter wheat cultivated using no-till technology in the zone of unstable moisture in the Stavropol Territory]. *Zemledeliye* [Agriculture], no. 2, pp. 19-22.

8. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V. (2021). Agregaty i organicheskoye veshchestvo pochv vosstanavlivayushchikhsya tsenozov [Aggregates and organic matter of soils in recovering cenoses]. Moscow: *GEOS*, 120 p.

9. Kiryushin V.I., Dridiger V.K., Vlasenko A.N., Vlasenko N.G., Kozlov D.N., Kiryushin S.V., Konishchev A.A. (2019). Metodicheskiye rekomendatsii po razrabotke minimalnykh sistem obrabotki pochvy i pryamogo poseva [Guidelines for the development of minimum tillage and no-till systems]. Moscow: *OOO «Izdatelstvo MBA»*, 136 p.

10. Blanco-Canqui H., Ruis S.J. (2018). No-tillage and soil physical environment. Geoderma. Elsevier, vol. 326, pp. 164–200.

11. Keller T. et al. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil tillage res. elsevier, vol. 194, pp. 104293.

12. Konishchev A.A. (2020). Proshloye i budushcheye obrabotki pochvy pod zernovyye kultury [Past and future of soil cultivation for grain crops]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian bulletin of Urals], no. 03, pp. 21-27.

13. Shapovalov D.A., Belobrova D.V., Belobrov V.P. (2018). Struktura pochvennogo pokrova kak informatsionnoye obespecheniye zemelno-otsenochnykh rabot i reyestra pochvennykh resursov na lokalnom urovne [The structure of the soil cover as information support for land assessment work and the register of soil resources at the local level]. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal* [International agricultural journal], no. 2, pp 6-11

14. Yudin S.A., Belobrov V.P., Dridiger V.K., Grebennikov A.M., Aydiyev A.YA., Ilyin B.S., Ermolayev N.R. (2019). K voprosu o metodike provedeniya mnogoletnikh opytov po izucheniyu vliyaniya tekhnologii pryamogo poseva na svoystva pochv [On the question of the methodology for conducting long-term experiments to study the effect of no-till technology on soil properties]. *Bulleten pochvennogo instituta* [Bulletin of soil science institute], no. 98, pp. 132-152.

15. Dospekhov B.A. (1985). Metodika polevogo opyta [Methods of field experience]. Moscow: *Agropromizdat*, 352 p.

16. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR [Classification and diagnostics of soil in USSR]. Moscow: *Kolos*, 1977, 223 p.

17. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soil in Russian]. Smolensk: *Oikumena*, 2004, 342 p.

18. Ermolaev N.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Aydiyev A.I., Ilin B.S. (2021). Variabelnost plotnosti tipichnykh chernozemov pri ispolzovanii pryamogo poseva [Variability in the density of typical chernozems in no-till]. *Selskokhozyaystvennyy zhurnal* [Agricultural journal], no. 1, pp. 14-20.

19. Belobrov V.P., Yudin S.A., et. all. (2021). Chernozem tipichnyi. Pryamoi posev, Kurskaya oblast. Opyt, rotatsiya 1.1 [Typical chernozem. No-till, Kursk region. Experience, rotation 1.1.]. Moscow: *Geos*, 128 p.

Информация об авторах:

Белобров Виктор Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий Межинститутским отделом по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6126-5676, belobrovvp@mail.ru

Шаповалов Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, проректор по научной инновационной деятельности, профессор кафедры почвоведения, экологии и природопользования, Государственный университет по землеустройству, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0001-8268-911X, shapoval_ecology@mail.ru

Юдин Сергей Анатольевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Межинститутского отдела по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2199-8474, yudin_sa@esoil.ru

Ермолаев Никита Романович, младший научный сотрудник, Межинститутского отдела по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: http://orcid.org/0000-0001- 6126-5676, n.r.ermolaev94@gmail.com

Information about authors:

Victor P. Belobrov, doctor of agricultural sciences, V.V. Dokuchaev soil science institute, head of the inter-institute department for the study of chernozem soils, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0001-6126-5676, belobrovvp@mail.ru

Dmitry A. Shapovalov, doctor of technical sciences, professor, pro-rector for research and innovation, professor department of soil sciences, ecology and environmental sciences, State university of land use planning, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8268-911X, shapoval_ecology@mail.ru

Sergey A. Yudin, candidate of biological sciences, V.V. Dokuchaev Soil Science institute, leading researcher of the inter-institute department for the study of chernozem soils, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2199-8474, yudin_sa@esoil.ru

Nikita R. Ermolaev, Junior researcher V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Junior Researcher, Inter-Institute Department for the Study of Chernozem Soils, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0001- 6126-5676, n.r.ermolaev94@gmail.com