

Земледелие и мелиорация

УДК 631.434:631.51.01

DOI: 10.31857/S2500262722030012, EDN: GBOSBZ

ИЗМЕНЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СОИ

Е.В. Дубовик, доктор биологических наук,
Д.В. Дубовик, доктор сельскохозяйственных наук

Курский федеральный аграрный научный центр,
305021, Курск, ул. К.Маркса, 70б
E-mail: dubovikdm@yandex.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния различных способов обработки почвы (вспашка, комбинированная обработка, поверхностная обработка, No-till) на структурное состояние чернозема типичного (Haplic Chernozems). Объект исследований – чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый. Для анализа данных использовали метод интерпретации макроструктурного состояния по Хитрову Н.Б. и Чечуевой О.А. По результатам сухого и мокрого просеивания независимо от способа обработки почвы в слое 10...20 см были установлены следующие общие закономерности, по сравнению со слоем 0...10 см: рост средневзвешенного диаметра воздушно-сухих агрегатов (Dc), снижение средневзвешенного диаметра агрегатов после мокрого просеивания (Dm), увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенного диаметра частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻), а также повышение количества разрушающихся при увлажнении агрегатов (S). Анализ взаимосвязи суммы водоустойчивых агрегатов по Савинову и по показателю неустойчивости к разрушению при увлажнении показал, что при комбинированной и поверхностной обработках почва в слоях 0...10 см и 10...20 см, а также при вспашке и применении технологии No-till в слое 0...10 см обладала отличной агрегированностью и хорошей водоустойчивостью, что позволяет отнести ее к IVb классу. В слое 10...20 см на вспашке и при применении технологии No-till отмечена отличная агрегированность почвы в увлажненном состоянии при средней водоустойчивости, что характеризует качество структуры как среднее и дает возможность отнести ее к IIIв классу. Поскольку в слое 10...20 см формируются агрегаты, которые обладают высокой плотностью и низкой пористостью, это впоследствии отражается на росте Rws и снижении качества почвенной структуры.

CHANGES IN THE MACROSTRUCTURAL SOIL STATE WITH VARIOUS TILLAGE METHODS OF TYPICAL CHERNOZEM IN SOYBEAN CULTIVATION

Dubovik E.V., Dubovik D.V.

Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, ul. Karla Marksa, 70b
E-mail: dubovikdm@yandex.ru

The purpose of this work was to study the influence of various methods of tillage (plowing, combined tillage, surface tillage, No-till) on the structural state of typical chernozem (Haplic Chernozems). The object of research was typical deep heavy loamy chernozem. The method of interpretation of macrostructural state according to Khitrov N.B. and Chechuyeva O.A. was used to analyze the data obtained. According to the results of dry and wet sieving, regardless of the method of tillage in a layer of 10-20 cm, general patterns were established: an increase in the weighted average diameter of air-dry aggregates (Dc), a decrease in the weighted average diameter of aggregates after wet sieving (Dm), an increase in the weighted average diameter of aggregates collapsing during moistening (D⁺), and the weighted average diameter of particles, into which aggregates (having a weighted average diameter D⁺) disintegrate when moistened (D⁻), as well as an increase in the number of aggregates collapsing when moistened (S). The analysis of the relationship between the total waterproof aggregates obtained by the Savinov method and the index of instability against destruction during moistening showed that the soil in layers 0-10 cm and 10-20 cm when treated with combined and surface tillage, as well as during plowing and when No-till technology in a layer of 0-10 cm was used had excellent aggregation and good water resistance, which allows the soil to be attributed to IVb class. Excellent aggregation of the soil in a moistened state with average water resistance is noted in a layer of 10-20 cm when plowing and No-till technology were used, which characterizes the quality of the structure as average and refers the soil to Class III. Since aggregates with high density and low porosity are formed in a layer of 10-20 cm, this subsequently affected the growth of Rws and a decrease in the quality of the soil structure.

Ключевые слова: чернозем типичный (Haplic Chernozems), способы обработки почвы, вспашка, комбинированная обработка, поверхностная обработка, прямой посев (No-till)

Key words: typical chernozem (Haplic Chernozems), tillage methods, plowing, combined tillage, surface tillage, direct sowing (No-till).

В современном сельскохозяйственном производстве, при преобладании интенсивных технологий возделывания культур, достаточно остро стоит вопрос сохранения почвенной структуры как одного из основных агрофизических показателей почвенного плодородия. Для ее восстановления и сохранения необходимо распространение почвозащитных способов обработки почвы [1]. Один из способов сохранения плодородия,

как в нашей стране, так и за рубежом, – снижение механического воздействия на почву, вплоть до отказа от ее обработки [2, 3]. В этой связи, актуально изучение технологии прямого посева или No-till [4, 5]. Ее применение исключает механическую обработку почвы, при этом посев, внесение питательных веществ средств защиты растений проводятся специализированной техникой [6, 7].

Однако длительное влияние минимизации обработки почвы, а также технологии прямого посева, на изменение агрофизических свойств почвы, и в частности, направленности процессов структурообразования, изучено недостаточно, а имеющиеся результаты зачастую противоречивы.

Так, при снижении глубины обработки, при возделывании различных культур, можно наблюдать увеличение глыбистой структуры почвы, что обусловлено как биологическими особенностями самих культур, так и технологиями их возделывания [8]. При этом глыбистая почва, с преобладанием агрегатов >10 мм, теряет в 2,0...2,5 раза больше влаги, чем почва с мелкокомковатой (3...1 мм) структурой [9, 10].

В тоже время на черноземах обыкновенных при переходе от глубокой вспашки к прямому посеву отмечается увеличение водопрочности почвенных агрегатов коэффициента структурности, что обусловлено как распределением структурных отдельных, так и их водостойчивостью [11]. Также, по сравнению с глубокой обработкой почвы, минимальные способы обработки способствуют улучшению почвенной структуры [12, 13], повышению водопроницаемости и водостойчивости [14].

Такое неоднозначное влияние способа обработки на структурное состояние почвы требует дальнейшего изучения.

Цель исследований – изучение влияния различных способов обработки почвы на структурное состояние чернозема типичного, выражающееся изменением средневзвешенного диаметра сухих и водостойчивых агрегатов, а также энтропией их распределения, для более полной оценки макроструктурного состояния почвы.

Методика. Исследования проводили в полевом стационарном опыте ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (Курская область, Курский район, п. Черемушки, 51°37'46"N; 36°15'40"E) в четырехпольном севообороте.

Севооборот развернут в пространстве и во времени четырьмя полями, со следующим чередованием культур:

горох – озимая пшеница – соя – ячмень. Схема опыта включала следующие варианты: вспашка с оборотом пласта (20...22 см); комбинированная обработка (дискование 8...10 см + чизель 20...22 см); поверхностная обработка (дискование) до 8 см; прямой посев (No-till). Вариант No-till предусматривал прямой посев сеялкой Дон 114. Способы обработки почвы применяли с 2015 г. Размещение вариантов было систематическим в один ярус. Площадь посевной делянки 6000м² (60×100м), повторность трехкратная. В 2020 г. была начата вторая ротация севооборота. Отбор почвенных образцов проводили под посевами сои в 2020 и 2021 гг.

Технология возделывания сои (сорт Казачка) общепринятая для региона и по вариантам не различалась, за исключением способов основной обработки почвы. При этом особое внимание уделяли технологии прямого посева (No-till), так же было учтено, что она начинает действовать не ранее 4-го года систематического применения [15].

Объект исследования – чернозем типичный мощный тяжелосуглинистый (Haplic Chernozems). Содержание (среднее) гумуса в пахотном слое составляло 5,1%, щелочногидролизующего азота – 15,4 мг/100 г почвы, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 20,1 и 13,1 мг/100 г почвы соответственно. Реакция почвенной среды – слабо кислая (рН_{KCl} 5,4).

Образцы для определения структурно-агрегатного состава отбирали после уборки сои (сентябрь), в 3-кратной повторности в слоях 0...10 см и 10...20 см, что обусловлено различной глубиной обработки чернозема типичного. Для этого по диагонали делянки были выбраны 3 площадки радиусом 5 м, и в этих пределах проводили выемку почвенных образцов ненарушенного сложения размером 25×25×10 см. Непосредственное определение структурно-агрегатного состава осуществляли по методу Н.И. Саввинова путем сухого и мокрого просеивания [16]. Полученные результаты обрабатывали с методом интерпретации данных макро- и микроструктуры почвы Хитрова и Чечуевой [17]. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Excel, Statistica.

Табл. 1. Средневзвешенный диаметр агрегатов и энтропия распределения структурных отдельных чернозема типичного при различных способах обработки почвы

Обработка	Слой, см	Показатель								
		Dс, мм*	Hс	Dm, мм	Hm	D ⁺ , мм	H ⁺	D ⁻ , мм	H ⁻	
Вспашка	0...10	3,15	2,51	0,81	2,03	4,26	1,42	0,27	1,13	
	10...20	3,38	2,46	0,71	2,08	4,61	1,39	0,30	1,26	
Комбинированная	0...10	3,62	2,36	1,81	2,38	4,49	1,21	0,26	1,06	
	10...20	3,68	1,98	1,43	2,47	5,31	1,04	0,33	1,31	
Поверхностная	0...10	3,40	2,42	1,34	2,30	4,47	1,27	0,26	1,08	
	10...20	3,93	2,26	0,90	2,23	4,94	1,33	0,32	1,33	
No-till	0...10	3,88	2,28	1,58	2,53	4,86	1,21	0,29	1,20	
	10...20	4,18	2,11	1,01	2,38	5,18	1,20	0,34	1,38	
HCP ₀₅	слой	0,31	0,22	0,31	0,17	0,36	0,15	0,03	0,09	
	обработка	0,44	0,31	0,45	0,25	0,52	0,22	0,04	0,13	

*Dс – средневзвешенный диаметр воздушно-сухих агрегатов, мм; Hс – энтропия распределения содержания воздушно-сухих агрегатов; Dm – средневзвешенный диаметр агрегатов после мокрого просеивания, мм; Hm – энтропия распределения содержания агрегатов после мокрого просеивания; D⁺ – средневзвешенный диаметр агрегатов, разрушающихся при увлажнении, мм; H⁺ – энтропия распределения содержания агрегатов со средневзвешенным диаметром D⁺; D⁻ – средневзвешенный диаметр частиц на которые распадаются агрегаты имеющие средневзвешенный диаметр D⁺ при увлажнении, мм; H⁻ – энтропия распределения содержания агрегатов со средневзвешенным диаметром D⁻.

Результаты и обсуждение. По результатам сухого просеивания, независимо от способа обработки чернозема типичного, в почве преобладали воздушно-сухие агрегаты размером >10 мм (28,97±1,82 %). При этом выход структурных отдельностей 1,0...0,5 мм был минимальным и составлял в среднем 6,02±0,65 %. Количество агрономически ценных агрегатов размером 10...0,25 мм в слое 0...20 см было преобладающим при вспашке и применении No-till (65,74...65,25 %) и имело тенденцию к снижению в ряду: поверхностная обработка (63,92 %) → комбинированная обработка (59,49 %).

Интерпретация макроструктурного состояния по методу Хитрова, Чечуевой [17] показала большей средне-взвешенный диаметр сухих агрегатов (Dc) в слое 10...20 см, по сравнению со слоем 0...10 см, не зависимо от способа обработки почвы (табл. 1). При этом максимальная в опыте величина этого показателя отмечена в варианте с технологией No-till, наименьшая – после вспашки, при использовании комбинированной и поверхностной обработки она занимала промежуточное положение.

Характер распределения воздушно-сухих агрегатов почвы можно оценить с помощью энтропии (Hs). По результатам наших исследований энтропия распределения сухих агрегатов чернозема типичного была выше при применении вспашки (Hs = 2,51...2,46) и снижалась в вариантах с минимизацией обработки почвы, что обусловлено ростом агрегатов >5 мм и снижением количества структурных отдельностей <1 мм. Повышение количества агрегатов >5 мм свидетельствует о формировании более глыбистой структуры, что указывает на тенденцию к ухудшению агрегатного состояния при вспашке.

Средневзвешенный диаметр структурных отдельностей чернозема типичного сохраняющегося после увлажнения (Dm) независимо от изучаемого слоя при комбинированной обработке был наибольшим (1,81...1,43 мм), а после вспашки наименьшим (0,81...0,71 мм). Общей закономерностью не зависимо от способа обработки почвы для величины этого показателя было снижение с глубиной обрабатываемого слоя, что в свою очередь свидетельствует о роли корневой системы растений в верхнем слое 0...10 см в водоустойчивости почвы (r=0,75).

При этом отмечается существенное (HCP₀₅ = 0,25) влияние способа обработки почвы на энтропию распре-

деления содержания водоустойчивых агрегатов почвы (Hm). Так, минимизация обработки почвы способствовала более равномерному распределению водоустойчивых агрегатов, по сравнению со вспашкой, и величина Hm при этих способах обработки была выше в 1,1...1,2 раза. Это связано с повышением количества агрегатов сохраняющихся после увлажнения >2 мм.

Средневзвешенный диаметр агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенный диаметр частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻) независимо от способа обработки почвы в слое 10...20 см был существенно выше (HCP₀₅=0,36 и 0,03), чем в слое 0...10 см. При возделывании сои в варианте со вспашкой D⁺ был ниже, чем при минимизации обработки почвы на 5...15 %.

Количество разрушающихся при увлажнении агрегатов (S) зависело от слоя почвы, в слое 0...10 см оно было значительно ниже (HCP₀₅=10,15), чем в слое 10...20 см (табл. 2). При этом в слое 0...10 см после вспашки количество разрушающихся при увлажнении агрегатов было наибольшим – 58 %, в то время как при использовании технологии No-till подвержено разрушению 50 % агрегатов, а при поверхностной и комбинированной обработках, соответственно 48 и 43 %. Количество разрушающихся агрегатов (S) находится в тесной связи с массой корневых остатков (r=-0,91) и содержанием гумуса (r=-0,64).

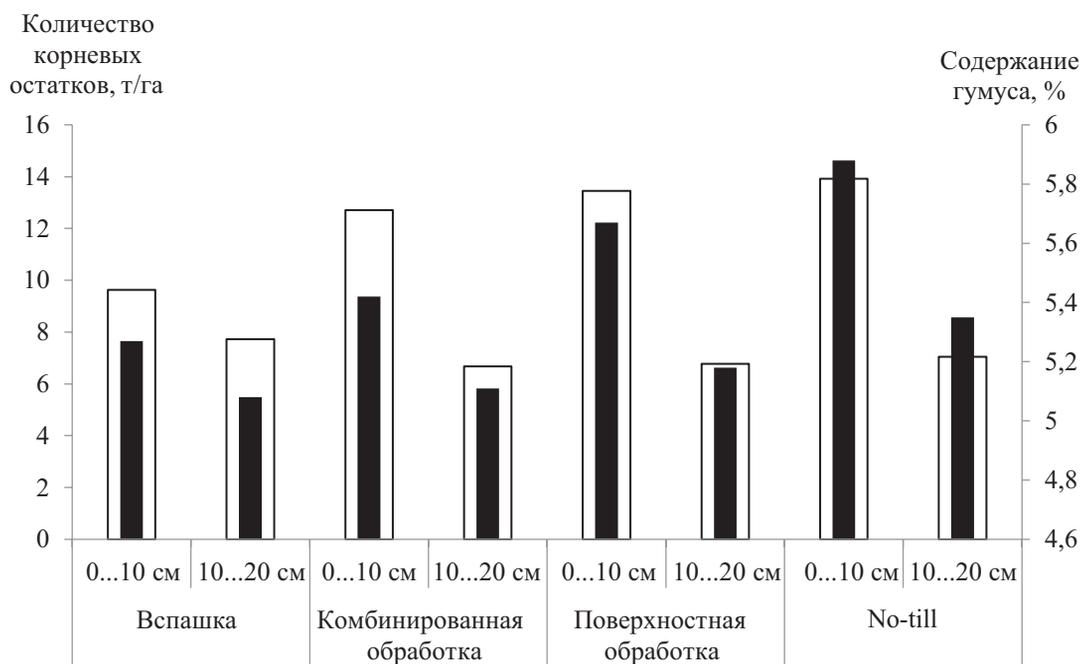
Установлено, что в слое 0...10 см при применении технологии No-till и поверхностной обработки количество корневых остатков было выше, по сравнению с комбинированной обработкой и вспашкой, на 9...31 %, содержание гумуса – на 8...10 % (см. рисунок). В слое 10...20 см масса корневых остатков по вспашке была наибольшей (7,73 т/га) и в зависимости от способа обработки почвы снижалась в ряду: No-till (7,05 т/га) → поверхностная обработка (6,78 т/га) → комбинированная обработка (6,67 т/га). При этом содержание гумуса в слое 10...20 см при использовании технологии No-till было на 3...5 % выше, чем в остальных вариантах.

Вместе с тем, количество «стабильных» (Ss) агрегатов, при минимизации обработки почвы в среднем был выше, чем по вспашке, в 1,1...1,2 раза. При этом количество «стабильных» агрегатов в слое 0...10 см, по сравнению со слоем 10...20 см, было достоверно выше

Табл. 2. Показатели водоустойчивости чернозема типичного при различных способах обработки почвы

Обработка	Слой, см	Показатель					
		S, %*	Ss, %	Ds, мм	Hs	Sm, %	Rws
Вспашка	0...10	58,73	41,26	2,27	1,57	62,43	2,40
	10...20	62,07	37,92	1,38	1,51	64,15	2,70
Комбинированная	0...10	42,88	57,11	2,97	1,89	68,47	1,81
	10...20	58,64	41,36	2,99	1,62	70,87	2,32
Поверхностная	0...10	48,49	51,50	2,40	1,83	63,87	2,07
	10...20	65,59	34,41	1,98	1,47	67,38	2,46
No-till	0...10	50,45	49,55	2,89	1,82	69,44	2,33
	10...20	65,62	34,38	2,29	1,47	69,56	3,18
HCP ₀₅	слой	10,15	10,15	0,19	0,22	2,25	0,38
	обработка	14,36	14,36	0,27	0,31	3,18	0,54

S – количество агрегатов, разрушающихся при переходе из одних условий определения к другим,%; Ss – количество «стабильных» агрегатов,%; Ds – средневзвешенный диаметр «стабильных» агрегатов и частиц, мм; Hs – энтропия распределения содержания «стабильных» агрегатов и частиц; Sm – сумма водоустойчивых агрегатов >0,25 мм, %; Rws – показатель оценки водоустойчивости макроструктуры почвы.



Изменение содержания гумуса и количество корневых остатков при различных способах обработки почвы при возделывании сои (среднее за 2 года): □ – корни, т/га; ■ – гумус, %.

(НСР₀₅=10,15) в вариантах с поверхностной и комбинированной обработками, а также при использовании технологии No-till. Это объясняется ролью корневой системы и гумуса в процессе формирования «стабильных» агрегатов, поскольку коэффициент корреляции между количеством «стабильных» агрегатов и массой корней составляет 0,91, содержанием гумуса – 0,64.

Средневзвешенный диаметр «стабильных» агрегатов и частиц (Ds), а также энтропия распределения «стабильных» агрегатов и частиц (Hs) в слоях почвы 0...10 см и 10...20 см при минимизации обработки почвы были в 1,1...1,6 раза выше, чем во вспашке. При этом независимо от способа обработки почвы в слое 0...10 см, по сравнению со слоем 10...20 см, величина Ds после вспашки была достоверно выше, чем в вариантах с поверхностной обработкой и применением технологии No-till (НСР₀₅=0,19), а достоверно наибольшая энтропия их распределения отмечена при минимизации обработки почвы (НСР₀₅=0,22). Вместе с тем, для Ds была установлена средняя связь с массой корневых остатков и содержанием гумуса (r=0,54...0,47), а для Hs – высокая (r=0,90...0,72).

Результаты анализа качества почвенной структуры по сумме частиц >0,25 мм, полученных при мокром просеивании по Саввинову (Sm), и показателю неустойчивости структуры к внешним воздействиям – Rws, то есть увлажнению, согласно классификации Хитрова и Чечуевой [17], свидетельствуют, что почва в слоях 0...10 см и 10...20 см при комбинированной и поверхностной обработках, а также в слое 0...10 см при вспашке и применении технологии No-till обладала отличной агрегированностью и хорошей водоустойчивостью. Это дает возможность отнести их к IVб классу.

В слое 10...20 см при вспашке и применении технологии No-till отмечена отличная агрегированность почвы в увлажненном состоянии при средней водоустойчивости, что характеризует качество структуры как среднее и соответствует IIIв классу. Это снижение качества обусловлено ростом Rws, и свидетельствует об уменьшении водоустойчивости почвенной структуры.

Таким образом, независимо от способа обработки почвы в слое 10...20 см установлено преобладание большего диаметра воздушно-сухих агрегатов (Dc), снижение средневзвешенного диаметра агрегатов после мокрого просеивания (Dm), увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенного диаметра частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻), а также повышение количества разрушающихся при увлажнении агрегатов (S), по сравнению со слоем 0...10 см. Такая картина свидетельствует о том, что в этом слое формируются агрегаты, которые обладают высокой плотностью и низкой пористостью, при этом плотность и пористость слоя 10...20 см в среднем составляла соответственно 1,12...1,19 г/см³ и 51...53 %, в слое 0...10 см – величины этих показателей были равны 0,99...1,04 г/см³ и 58...61 %, что впоследствии отразилось на росте Rws и снижении качества почвенной структуры.

Минимизация обработки почвы приводит к росту размера воздушно-сухих агрегатов (Dc) и агрегатов, полученных после мокрого просеивания (Dm), а также к повышению средневзвешенного диаметра агрегатов, разрушающихся при увлажнении (D⁺), и средневзвешенного диаметра частиц, на которые распадаются агрегаты (имеющие средневзвешенный диаметр D⁺) при увлажнении (D⁻), и снижению количества разрушающихся при увлажнении агрегатов (S), но в тоже время и к росту «стабильных» агрегатов (Ss), по сравнению с применением вспашки. Это свидетельствует о том, что минимизация обработки почвы способствует улучшению водоустойчивости чернозема типичного, а, следовательно, и повышению качества его структуры.

Литература.

1. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А.Л. Иванов, В.В. Кулинцев, В.К. Дридигер и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. №4. С. 8-16.

2. Комиссаров М.А., Клик А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии // Почвоведение. 2020. №4. С. 473-782.
3. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве / В.П. Белобров, С.А. Юдин, Н.В. Ярославцева и др. // Почвоведение. 2020. №7. С. 880-890.
4. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева / В.К. Дридигер, А.Л. Иванов, В.П. Белобров и др. // Почвоведение. 2020. №9. С. 1111-1120.
5. Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных / В.А. Холодов, В.П. Белобров, Н.В. Ярославцева и др. // Почвоведение. 2021. №2. С. 240-246.
6. Динамика изменения агрофизических свойств почвы при возделывании полевых культур по технологии No-till / В.К. Дридигер, В.В. Кулинцев, Р.С. Стукалов и др. // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2018. № 5(73). С. 35-38.
7. Ипатовский опыт возделывания полевых культур без обработки почвы (No-till) / В.К. Дридигер, А.В. Невечеря, Г. Таран и др. // АгроСнабФорум. 2017. №3 (151). С. 35-40.
8. Магомедов Н.Р., Халилов М.И., Бедоева С.В. Ресурсосберегающие приемы обработки почвы под озимую пшеницу в равнинной зоне Дагестана // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. №1. С. 33-35.
9. Власенко А.Н., Власенко Н.Г. Система No-till на черноземных почвах северной лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2021. №3. С. 81-83.
10. Мнатсаканян А.А. Влияние систем основной обработки почвы на агрофизические и агрохимические показатели и урожайность сои // Плодородие. 2021. №5. С. 22-25.
11. Влияние традиционной технологии возделывания и прямого посева полевых культур на агрофизические факторы почвенного плодородия чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения / И.А. Вольтерс, О.И. Власова, Л.В. Грубачева и др. // Агрофизика. 2018. №4. С. 24-30.
12. Поляков Д.Г. Обработка почвы и прямой посев: агрофизические свойства черноземов и урожайность полевых культур // Земледелие. 2021. №2. С. 37-43.
13. Soil wet aggregate distribution and pore size distribution under different tillage systems after 16 years in the Loess Plateau of China / L. Gao, B. Wang, S. Li et al. // Catena. 2019. Vol. 173. P. 38-47.
14. Влияние способов обработки и средств биологизации на агрофизические свойства чернозема типичного тяжелосуглинистого среднемоющего низкогумусного, подстилаемого галечником / Х.А. Хусайнов, А.В. Тунтаев, М.С. Муртазалиев и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №6. С. 19-23.
15. Дридигер В.К. Особенности проведения научных исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву: методические рекомендации. Ставрополь: Сервисшкола, 2020. 69 с.
16. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
17. Хитров Н.Б., Чечуева О.А. Способ интерпретации данных макро- и микроструктурного состояния почв // Почвоведение. 1994. №2. С. 84-92.

Поступила в редакцию 01.04.2022
После доработки 28.04.2022
Принята к публикации 12.05.2022