

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742>
УДК 631.51.01:631.435



Влияние минимальных способов основной обработки почвы на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы в Чувашской Республике

© 2020. В. Г. Антонов ✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Изучали (2006-2019 гг.) влияние ресурсосберегающих систем обработки почвы на основе комбинированных почвообрабатывающих агрегатов KOS-3 (1-й минимальный), БДМ-3,2х4 (2-й минимальный), Паук-6 (3-й минимальный без осенней обработки) в зернопаропропашном и зернопаропропашном сидеральном севооборотах на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. В год закладки опыта доля агрегатов (0,25-10 мм) в почве зернопаропропашного севооборота составила 72,2-74,4 %, зернопаропропашного сидерального – 70,1-73,2 % при коэффициенте структурности (K) 2,60-2,91 и 2,41-2,73 соответственно. За две ротации севооборотов структурное состояние почвы улучшилось под воздействием сидерального севооборота ($K = 3,07$, $НСР_{05} = 0,13$) по сравнению с зернопаропропашным без сидератов ($K = 2,93$). Более существенные различия по коэффициенту структурности почвы получены по изучаемым обработкам: 3,03 (вспашка), 3,41 (1-й минимальный), 2,91 (2-й минимальный), 2,65 (3-й минимальный) при $НСР_{05} = 0,17$. Первый и второй способы минимальной обработки имели преимущество над вспашкой по увеличению агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) в сравнении с исходной почвой. В среднем по севооборотам урожайность зерновых при классическом и первом минимальном способах обработки почвы (3,65-3,66 т/га) существенно превысила (на 0,15-0,43 т/га, $НСР_{05} = 0,10$) показатели остальных вариантов с минимальными обработками. Урожайность картофеля во всех вариантах с минимальными обработками почвы была существенно ниже (на 5,1-8,3 т/га, $НСР_{05} = 1,44$), чем при использовании вспашки – 27,8 т/га. Оценка рентабельности возделывания зерновых культур показала целесообразность замены отвальной вспашки на ресурсосберегающие способы с использованием комбинированных почвообрабатывающих агрегатов KOS-3 и БДМ-4-3,2, обеспечивающих урожайность яровой и озимой пшеницы, ячменя и яровой вики на уровне 2,42-4,50 и 2,33-4,41 т/га соответственно при рентабельности возделывания 51-64 и 44-59 %. Третий минимальный способ обработки снизил рентабельность возделывания зерновых и вики на 10-15 %. Лучшие показатели рентабельности производства картофеля (67-82 %) достигнуты при классическом варианте обработки почвы.

Ключевые слова: севооборот, почвообрабатывающий агрегат, структурное состояние, урожайность, экономическая эффективность

Благодарности: научное исследование выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема №0767-2019-0091).

Автор благодарит рецензентов за вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Антонов В. Г. Влияние минимальных способов основной обработки почвы на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы в Чувашской Республике. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):733-742. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742>

Поступила: 28.05.2020

Принята к публикации: 17.11.2020

Опубликована онлайн: 10.12.2020

The effect of minimum methods of primary tillage on the structural and aggregate composition of gray forest soil in the Chuvash Republic

© 2020. Vitaly G. Antonov ✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article informs on the 2006-2019 studies of the effect of resource-saving methods of tillage based on the use of combined tillage units KOS-3 (1st minimum), BDM-3.2x4 (2nd minimum), Spider-6 (3rd minimum without autumn tillage) in two crop rotations (grain-fallow-row crop rotation and grain-fallow-row green manure crop rotation) on the structural-aggregate composition of gray forest soil and crop yields. During the year of laying the experiment the percentage of structural aggregates (0.25-10 mm) in the soil of a grain-fallow-row crop rotation ranged from 72.2 to 74.4 %, in a grain-fallow-row green manure crop rotation – from 70.1 to 73.2 %, with the structural coefficient (K) 2.60-2.91 and 2.41-2.73, respectively. For two crop rotations the structural state of the soil improved due to the effect of green manure crop rotation ($K = 3.07$, $LSD_{05} = 0.13$) as compared to the grain-row without green manure ($K = 2.93$). More significant differences according to the soil structure coefficient were obtained in studied tillages: 3.03 (plowing), 3.41 (1st minimum), 2.91 (2nd minimum), 2.65 (3^d minimum) with $LSD_{05} = 0.17$. The first and the second methods of minimal tillage had an advantage over plowing as to the increase in agronomically valuable aggregates (0.25-10 mm) as compared with the original soil. On the average among the crop rotations the yield of grain crops by classical and 1st minimum methods of tillage (3.65-3.66 t/ha) exceeded signifi-

cantly the indicators of all the rest variants with minimum tillage (by 0.15-0.43 t/ha, $LSD_{05} = 0.10$). The yield of potato in all variants with minimal soil tillage was significantly lower (by 5.1-8.3 t/ha, $LSD_{05} = 1.44$) than with plowing (27.8 t/ha). The assessment of profitability of grain crops cultivation showed the advantages of replacing the moldboard plowing for resource-saving methods using combined tillage units KOS-3 and BDM-4-3.2 which provided the yield of spring and winter wheat, barley and spring vetch at the level of 2.42-4.50 and 2.33-4.41 t/ha, respectively, with cultivation profitability of 51-64 and 44-59 %. The third minimum method of tillage decreased the cultivation profitability of grain crops and vetch by 10-15 %. The best indicators of potato production profitability (67-82 %) were achieved when using the classical variant of soil tillage.

Key words: crop rotation, tillage unit, structural state, productivity, economic efficiency

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0091).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Antonov V. G. The effect of minimum methods of primary tillage on the structural and aggregate composition of gray forest soil in the Chuvash Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(6):733-742. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742>

Received: 28.05.2020

Accepted for publication: 17.11.2020

Published online: 10.12.2020

Выбор способа обработки почвы является одним из важнейших факторов, влияющих на рост и развитие растений, формирование урожая сельскохозяйственных культур. Пути совершенствования систем основной обработки почвы, проблемы снижения энергозатрат, степень адаптивности различных способов обработки почвы к конкретным условиям, накопление и сохранение продуктивной влаги, снижение засоренности, оптимизация агрохимических показателей и агрофизических свойств почвы, в т. ч. ее структурно-агрегатного состава, продолжают оставаться актуальными задачами в земледелии [1, 2, 3].

Основная обработка (вспашка) почвы, оставаясь наиболее энергоёмким и продолжительным по сроку выполнения приёмом в технологии возделывания, пока в недостаточной мере удовлетворяет требованиям максимального влагонакопления, влагосохранения, энергосбережения, и не отвечает требованиям щадящего воздействия на почву и окружающую среду. В связи с этим поиск путей минимализации основной обработки почвы без снижения урожаев сельскохозяйственных культур с учётом экологии среды имеет большое практическое значение [4]. Снижение затрат материальных, трудовых, энергетических ресурсов в системе обработки почвы в севооборотах возможно и при сокращении или исключении некоторых приёмов за счет применения комбинированных почвообрабатывающих орудий, выполняющих за один проход несколько операций, если это не оказывает отрицательного действия на плодородие почвы и урожай культур.

Многочисленный отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о том, что

система земледелия с ресурсосберегающими способами обработки почвы позволяет избежать ухудшения агрофизических свойств почвы, снизить темпы ее деградации [5, 6, 7]. Доказано положительное влияние на почвенное плодородие минимальных обработок при использовании их на фоне соломы и сидератов [8, 9]. Под влиянием обработок улучшается структурно-агрегатное состояние почвы, оказывая благоприятное воздействие на ее водно-воздушный и тепловой режимы, микробиологические процессы и плодородие, рост и развитие растений, способствуя формированию высоких урожаев сельскохозяйственных культур [10, 11, 12].

Цель исследований – выявить наиболее эффективные способы обработки серой лесной почвы при возделывании основных зерновых, зернобобовых культур и картофеля в севооборотах с чистым и сидеральным парами. В задачи исследований входило выявление способов минимальной обработки почвы, обеспечивающих её благоприятное структурно-агрегатное состояние.

Материал и методы. Исследования (2006...2019 гг.) проводили в Чувашском НИИСХ – филиале ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» в двухфакторном стационарном опыте.

Фактор А – севообороты:

Зернопаропропашной (С):

1. Яровая.
2. Чистый.
3. Оз. пшеница.
4. Картофель.
5. Ячмень.
6. Яровая вика.

Зернопаропропашной сидеральный (Д):

1. Яровая пшеница + клевер.
2. Клевер (сидерат).
3. Оз. пшеница.
4. Картофель.
5. Ячмень.
6. Яровая вика.

Возделываемые сорта сельскохозяйственных культур в севооборотах за время исследований: яровая пшеница Московская 35, озимая пшеница Московская 39, картофель Чайка, ячмень Эльф, яровая вика Цивилинка.

Фактор В – Способы обработки почвы, глубина обработки:

1. Контроль: Классический (традиционный) – ПОН-3+1, 24-26 см (осенняя обработка); Паук-6, 4-6 см (весенняя обработка); севообороты С-1 и Д-1.
2. Минимальный-1: KOS-3,0, 14-16 см (осенняя); Паук-6, 4-6 см (весенняя) (С-2 и Д-2).
3. Минимальный-2: БДМ-3,2х4, 14-16 см (осенняя), Паук-6, 4-6 см (весенняя) (С-3 и Д-3).
4. Минимальный-3: (без осенней обработки), Паук-6, 4-6 см (весенняя) (С-4 и Д-4).

Орудия, применяемые в опыте для обработки почвы:

1. Плуг оборотный навесной – ПОН-3+1.
2. Комбинированное орудие KOS-3 производства Польши. Имеет широкие стрельчатые лапы усиленного типа, за задним рядом лап установлены загортаци и трубчатый каток. Производит рыхление без выворачивания пласта на глубину до 17 см, выравнивание и прикатывание почвы.
3. Комбинированное орудие Паук-6 Пензенского завода ЗАО «Пензаагропромаш». Имеет усиленные культиваторные стрельчатые лапы, секции коноидальных ножевых (игольчатых) дисков и спиральный планчатый каток. Производит рыхление на глубину до 16 см, выравнивание и прикатывание.
4. Бороны дисковые модифицированные (дискатор) – БДМ-3,2х4.

Повторность опыта 3-кратная. Количество делянок $8 \times 3 = 24$. Общая площадь каждой элементарной делянки – 900 м² (6 х 150 м), учетная – 600 м².

Исследования и дисперсионный анализ данных проводили согласно методическим указаниям¹.

Почвенные образцы отбирали перед закладкой опыта (2006 г.) и после прохожде-

ния второй ротации севооборотов (2019 г.). Содержание гумуса определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора – колориметрическим методом по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), подвижного калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91), обменную кислотность (рН солевой вытяжки в растворе хлористого калия) – потенциометрическим методом (ГОСТ 26207-91); макроагрегатный анализ почвы пахотного слоя почвы (30 см) выполнен по методу Н. И. Савинова. Определение плотности сложения – с помощью бура Некрасова, твердость почвы – прибором Wile Soil. Учет урожая проводили поделочно зерноуборочным комбайном Сампо-500. Урожай пересчитывали на 14 % влажность зерна и 100 % чистоту.

Экономическую оценку эффективности вариантов обработок проводили путем сопоставления стоимости полученной продукции с произведенными затратами согласно технологическим картам.

Стационарный опыт расположен на слабопологом склоне северо-восточной экспозиции со слабовыраженным микрорельефом. Почва опытного участка серая лесная тяжело-суглинистая, слабосмытая на лессовидном покровном суглинке. Содержание гумуса – 5,5 %, подвижного фосфора – 225 мг/кг, обменного калия – 146 мг/кг, рН – 5,3.

Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах общепринятая для природно-климатических условий Чувашской Республики, за исключением изучаемых обработок. Выращивали картофель по «Западноевропейской» технологии с шириной междурядья 90 см. Обязательный прием – измельчение побочной продукции. Удобрение (нитроаммофоска) под зерновые культуры вносили в дозе N₄₀P₄₀K₄₀, под картофель – N₆₀P₆₀K₆₀, из них 2/3 части под предпосевную обработку почвы разбрасывателем МВУ-6, 1/3 часть в рядки при посеве или посадке. Против сорной растительности по вегетации на посевах зерновых культур использовали гербицид Балерина (0,3 л/га) + Мортира (11 г/га), на картофеле – Эскудо (25 г/га).

Результаты и их обсуждение. Результаты анализов структурно-агрегатного состава исходных образцов серой лесной почвы с тяжелосуглинистым гранулометрическим составом показали преобладание фракции размером 1 мм (с 21,3 до 28,3 %) (табл. 1).

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 335 с.

Таблица 1 – Структурно-агрегатный состав пахотного слоя почвы в год закладки опыта (2006 год, исходный – начало ротации севооборотов), % /
Table 1 – Structural and aggregate composition of the top soil in the year of laying the experiment (2006, the beginning of crop rotations), %

Размер агрегата, мм / Size of aggregate, mm	Зернопаропашной севооборот / Grain-fallow-row crop rotation			Зернопропашной сидеральный севооборот / Grain-row green manure crop rotation					
	Способ обработки почвы / Method of tillage			контроль / control			минимальный-1 / minimal-1		
	контроль / control	минимальный-1 / minimal-1	минимальный-2 / minimal-2	минимальный-3 / minimal-3	контроль / control	минимальный-1 / minimal-1	минимальный-2 / minimal-2	минимальный-3 / minimal-3	минимальный-3 / minimal-3
>10	13,0	15,1	16,1	16,7	14,5	16,7	18,7	17,8	
7-10	12,0	10,2	7,8	9,4	10,8	8,7	12,3	9,0	
5-7	6,0	5,7	6,6	6,8	6,9	6,3	7,2	7,5	
3-5	9,3	6,9	6,9	7,7	7,1	11,3	7,7	10,4	
2-3	10,9	8,8	8,9	10,4	9,3	9,2	9,9	9,8	
1	27,0	28,3	26,6	23,0	26,8	24,9	21,3	22,2	
Σ 1-5	53,2	49,7	49,0	47,9	50,1	51,7	48,1	49,9	
0,5-1,0	7,2	6,8	7,2	7,5	7,0	7,2	6,6	7,1	
0,25-0,5	6,6	6,3	6,4	7,8	7,6	6,7	5,2	6,8	
<0,25	12,6	11,9	11,7	10,2	12,3	12,6	11,1	9,4	
Σ 0,25-1,0	74,4	74,0	72,2	73,1	73,2	70,7	70,1	72,8	
K	2,91	2,74	2,60	2,71	2,73	2,41	2,35	2,68	
P	1,15	1,16	1,14	1,15	1,12	1,13	1,16	1,15	
Y	-0,78	-0,82	-0,76	-0,77	-0,85	-0,88	-0,81	-0,78	

Примечания: K – коэффициент структурности определяется отношением суммы агрегатов размером от 0,25 до 10 мм к сумме агрегатов >10 и <0,25 мм; P – плотность почвы, г/см³; Y – коэффициент корреляции Пирсона по шкале Челдока – связь между величиной плотности и коэффициентом структурности почвы (±0,3-0,1 – слабая связь; ±0,5-0,7 – заметная; ±0,7-0,9 – высокая; ±0,9-1,0 – очень высокая) /

Note: K – coefficient of structure is determined by the ratio of the sum of aggregates from 0.25 to 10 mm to the sum of aggregates >10 and <0.25 mm; P – soil density, g/cm³; Y – Pearson correlation coefficient on the Cheldock scale – the relationship between the value of the density of addition and the coefficient of soil structure (±0.3-0.1 – weak connection; ±0.5-0.7 – noticeable; ±0.7-0.9 – high; ±0.9-1.0 – very high).

Доля агрегатов свыше 10 мм составила 13,0-18,7 % (глыбистая фракция), менее 0,25 мм (пылеватая фракция) – 9,4-12,6 %. В исходной почве под зернопаропропашной севооборот агрегаты размером 0,25-10 мм составили 72,2-74,4 %, из них сумма агрегатов размером 1...5 мм (наиболее ценных с агрономической точки зрения) – 47,9-53,2 %, коэффициент структурности – 2,60-2,91; в исходной почве под зернопаропропашной сидеральный севооборот – 70,1-73,2 % (0,25-10 мм), 48,1-51,7 % (1-5 мм), $K=2,35-2,73$ соответственно.

По существующим критериям агрегатное состояние исходной почвы под севооборотами по коэффициенту структурности оценивалось как отличное ($K > 1,5$), по количеству агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) как хорошее (80-60 % по шкале С. И. Долгова, П. У. Бахтина).

В наших [13] и других исследованиях [14, 15] выявлено, что длительное применение минимальных способов обработки почвы приводит к увеличению плотности сложения пахотного слоя почвы и изменению структурно-агрегатного состава. В рассматриваемом опыте при использовании комбинированного агрегата КОС-3 (минимальный-1) плотность почвы по сравнению с ее исходным состоянием увеличилась на 0,03-0,06 г/см³, а при применении агрегата БДМ-4-3,2 (минимальный-2) на 0,05-0,08 г/см³ (табл. 2, 3). Более значительное уплотнение пахотного слоя до 1,31 (+0,16 г/см³) произошло в почве зернопаропропашного севооборота без осенней обработки (минимальный-3). Выявлена обратная корреляционная связь между величиной плотности сложения и коэффициентом структурности почвы.

Таблица 2 – Структурно-агрегатный состав и плотность пахотного слоя почвы в зернопаропропашном севообороте и их изменение за две его ротации, % /

Table 2 – Structural and aggregate composition and density of the top soil in the grain-fallow-row crop rotation and their changes during its two rotations, %

Размер агрегата, мм / Size of aggregate, mm	Способ обработки почвы / Method of tillage				Изменения агрегатного состава (± к исходной почве) / Changes in aggregate composition (± to the original soil)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
>10	8,5	14,1	17,7	21,8	-4,5	-1,0	+1,6	+5,1
7-10	7,3	10,3	9,2	9,9	-4,7	+0,1	+1,4	+0,5
5-7	5,1	7,9	7,7	8,8	-0,9	+2,2	+1,1	+2,0
3-5	7,4	6,3	9,5	7,7	-1,9	-0,6	+2,6	0
2-3	12,9	10,3	11,6	10,7	+2,0	+1,5	+2,7	+0,3
1	31,2	30,1	23,8	22,2	+4,2	+1,8	-2,8	-0,8
Σ 1-5	56,6	54,6	52,6	49,4	+3,4	+4,9	+3,6	+1,5
0,5-1,0	8,2	6,8	7,0	6,5	+1,0	0	-0,2	-1,0
0,25-0,5	7,1	5,3	6,4	5,6	-0,1	-1,5	-0,8	-1,9
<0,25	16,7	8,9	8,1	6,8	+4,1	-3,0	-3,6	-3,4
Σ 0,25-10	74,8	77,0	74,2	71,4	+0,4	+3,0	+2,0	-1,7
K	2,97	3,35	2,88	2,50	+0,06	+0,61	+0,28	-0,21
P, г/см ³	1,16	1,22	1,24	1,31	+0,01	+0,06	+0,08	+0,16
Y	-0,78	-0,82	-0,71	-0,77	-0,80	-0,89	-0,77	-0,87

Примечания: 1 – ПОН-3+1, 24-26 см (вспашка, контроль); 2 – КОС-3,0, 14-16 см (минимальный-1); 3 – БДМ-3,2х4, 14-16 см (минимальный-2); 4 – без осенней обработки (минимальный-3) /

Note: 1 – MRP (mounted reversible plow)-3+1, 24-26cm (plowing, control); 2 – КОС-3,0, 14-16 cm (minimal-1); 3 – BDM-3,2x4, 14-16 cm (minimal-2); 4 – without autumn tillage (minimal-3)

Таблица 3 – Структурно-агрегатный состав и плотность пахотного слоя почвы в зернопаропропашном сидеральном севообороте и их изменение за две его ротации, % /

Table 3 – Structural and aggregate composition and density of the top soil layer in the grain-fallow-row green manure crop rotation and their changes during its two rotations, %

Размер агрегата, мм / Size of aggregate, mm	Способ обработки почвы / Method of tillage				Изменения агрегатного состава (± к исходной почве) / Changes in aggregate composition (± to the original soil)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
>10	8,1	12,1	17,5	20,2	-6,4	-4,6	+1,2	+2,4
7-10	7,7	11,2	9,2	9,0	-3,1	+2,4	-3,1	0
5-7	6,9	8,3	7,7	9,7	0	+2,0	+0,5	+2,2
3-5	6,2	7,5	9,5	8,7	-0,9	-3,8	+1,8	-1,7
2-3	11,3	10,9	11,6	10,2	+2,0	+1,7	+1,7	+0,4
1	28,0	27,9	23,2	23,2	+1,2	+3,0	+1,9	+1,0
Σ 1-5	52,4	54,6	52,0	51,8	+2,3	+2,9	+2,9	+1,9
0,5-1,0	8,8	6,0	7,0	5,6	+1,8	+1,2	+0,4	-1,5
0,25-0,5	6,6	5,8	6,4	7,3	-1,0	-0,9	+1,2	+0,5
<0,25	16,4	10,3	7,9	6,1	+4,1	-2,3	-3,2	-6,3
Σ 0,25-10	75,5	77,6	74,6	73,7	+2,3	+6,9	+4,5	+0,9
К	3,08	3,46	2,94	2,80	+0,35	+1,05	+0,60	+0,12
Р, г/см ³	1,10	1,16	1,21	1,23	-0,02	+0,03	+0,05	+0,08
Υ	-0,78	-0,82	-0,71	-0,77	-0,77	-0,83	-0,79	-0,87

Примечания: 1 – ПОН-3+1, 24-26 см (вспашка, контроль); 2 – КОС-3,0, 14-16 см (минимальный-1); 3 – БДМ-3,2х4, 14-16 см (минимальный-2); 4 – без осенней обработки (минимальный-3) /

Note: 1 – MRP (mounted reversible plow)-3+1, 24-26cm (plowing, control); 2 – КОС-3,0, 14-16 cm (minimal-1); 3 – BDM-3,2x4, 14-16 cm (minimal-2); 4 – without autumn tillage (minimal-3)

При длительном использовании способов обработок «минимальный-2 и -3» в структуре почвы возросла доля глыбистой фракции (>10 мм) на 1,6-5,1 % в зернопропашном и 1,2-2,4 % зернопропашном сидеральном севооборотах, а количество пылеватых фракций (менее 0,25 мм), наоборот, уменьшилось во всех вариантах с минимальными обработками на 2,3-6,3 %. Применение способа обработки почвы «минимальный-1» способствовало наибольшему увеличению доли агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) и коэффициента структурности почвы, максимально в сидеральном севообороте – на 6,9 % и 1,05 соответственно. Менее выраженное влияние на структурное состояние почвы оказал способ обработки «минимальный-2»: увеличение содержания суммы фракций 0,25-10 мм составило 2,0-4,5 %, коэффициента структурности почвы – 0,28-0,60, с максимальными значениями в сидеральном севообороте. Использование только весенней обработки почвы (мини-

мальный-3) привело в зернопропашном севообороте к снижению коэффициента структурности почвы на 0,22.

В среднем по опыту структурное состояние почвы улучшалось под воздействием сидерального севооборота ($K = 3,07$, $НСР_{05} = 0,13$) по сравнению с зернопропашным без сидератов ($K = 2,93$). Более существенные различия по коэффициенту структурности почвы получены по изучаемым обработкам (в среднем по севооборотам): 3,03 (контроль), 3,41 (минимальный-1), 2,91 (минимальный-2), 2,65 (минимальный-3) при $НСР_{05} = 0,17$.

Влияние способов обработки почвы (фактор В) на урожайность сельскохозяйственных культур представлено в таблице 4. В среднем по севооборотам урожайность зерновых при классическом и «минимальный-1» способах обработки почвы (3,65-3,66 т/га) существенно превысила урожайность в остальных вариантах с минимальными (2 и 3)

обработками – на 0,15...0,16-0,42...0,43 т/га (НСР₀₅ по фактору В = 0,10). Урожайность картофеля во всех вариантах с минимальными обработками почвы была существенно ниже

(на 5,1, 6,6 и 8,3 т/га, НСР₀₅ = 1,44), чем при использовании вспашки – 27,8 т/га. Значимого влияния севооборотов (фактор А) на урожайность культур не выявлено.

Таблица 4 – Урожайность сельскохозяйственных культур (среднее) за две ротации севооборотов, т/га /
Table 4 – Crop yield (average) for two crop rotations, t/ha

Способ обработки (В) / Tillage method (B)	Яровая пшеница / Spring. wheat	Озимая пшеница / Winter wheat	Карто- фель / Potato	Ячмень / Barley	Вика / Vetch	Среднее (В) / Average (B)	
						по зерно- вым / for grain	по карто- фелю / for potatoes
Зернопаропропашной (А) / Grain-fallow-row (A)							
1. Классический / Classic	4,21	4,48	27,3	3,14	2,58	3,65	27,8
2. Минимальный-1 / Minimal-1	4,40	4,46	22,2	3,32	2,42	3,66	22,7
3. Минимальный-2 / Minimal-2	4,19	4,25	20,4	3,18	2,33	3,50	21,2
4. Минимальный-3 / Minimal-3	3,95	4,14	19,5	2,61	2,09	3,23	19,5
Среднее (А) / Average (A): по зерновым / for grain по картофелю / for potatoes	3,48 22,3					- -	- -
Зернопаропропашной сидеральный (А) / Grain-fallow-row green manure (A)							
1. Классический / Classic	4,26	4,57	28,4	3,26	2,69	-	-
2. Минимальный-1 / Minimal-1	4,29	4,50	23,3	3,43	2,46	-	-
3. Минимальный-2 / Minimal-2	4,03	4,41	21,9	3,24	2,41	-	-
4. Минимальный-3 / Minimal-3	3,94	4,23	19,5	2,71	2,18	-	-
Среднее (А) / Average (A): по зерновым / for grain по картофелю / for potatoes	3,50 23,3					- -	- -

Примечания: для зерновых: НСР₀₅ по фактору А – 0,14 т/га, НСР₀₅ по фактору В – 0,10 т/га НСР₀₅ для факторов АВ – 0,31; для картофеля: НСР₀₅ по фактору А – 1,85 т/га, НСР₀₅ по фактору В – 1,44 т/га, НСР₀₅ для факторов АВ – 2,26 /

Note: for grain: LSD₀₅ factor A – 0.14 t/ha, LSD₀₅ factor B – 0.10 t/ha. LSD₀₅ for factors AB – 0.31 t/ha; for potatoes: LSD₀₅ factor A – 1.85 t/ha, LSD₀₅ factor B – 1.44 t/ha, LSD₀₅ for factors AB – 2.26 t/ha

Использование комбинированного почвообрабатывающего агрегата КОС-3 (минимальный-1) и дисковой бороны БДМ-3,2х4 (минимальный-2) для осенней обработки почвы в течение двух ротаций обеспечивали урожайность яровой и озимой пшениц и ячменя 3,18-4,50 т/га, яровой вики – 2,33-2,46 т/га при уровне рентабельности соответственно 44-59 и 54-64 % (табл. 5). При возделывании картофеля лучшие условия формирования урожая создавались в классическом варианте обработки почвы в севооборотах, где его урожайность составила 27,3-28,4 т/га, рентабельность производства 67 и 82 %.

Возделывание культур без осенней обработки почвы (минимальный-3) привело

к недобору урожая как зерновых культур, так и картофеля.

Лучшие результаты экономической эффективности в технологии возделывания зерновых культур и яровой вики получены за две ротации севооборотов при замене классического способа обработки почвы на «минимальный-1». Замена обеспечила получение дополнительного чистого дохода с 1 га посевов в севооборотах от 2,2 до 2,8 тыс. руб. и повышение уровня рентабельности производства соответственно на 10-17 % (табл. 5).

Эффективность второго варианта минимальной обработки почвы при возделывании яровой и озимой пшениц получена на уровне классического способа, а при возделывании

ячменя и яровой вики превосходила его на 5-10 %. Третий минимальный способ обработки значительно ухудшил основные экономи-

ческие показатели, при его применении рентабельность возделывания этих культур снизилась на 10-15 %.

Таблица 5 – Рентабельность возделывания сельскохозяйственных культур (среднее) за две ротации севооборотов по способам обработки, % /

Table 5 – Profitability of agricultural crops cultivation (averaged) for two crop rotations according to the tillage methods, %

Способ обработки / Tillage method	Яровая пшеница / Spring wheat	Озимая пшеница / Winter wheat	Картофель / Potatoes	Ячмень / Barley	Вика / Vetch
Зернопаропропашной / Grain-fallow-row					
1. Классический / Classic	42	44	67	39	48
2. Минимальный-1 / Minimal-1	56	55	51	54	62
3. Минимальный-2 / Minimal-2	44	48	47	46	54
4. Минимальный-3 / Minimal-3	31	34	34	26	34
Зернопропашной сидеральный / Grain-row green manure					
1. Классический / Classic	45	45	82	42	49
2. Минимальный-1 / Minimal-1	55	56	76	59	64
3. Минимальный-2 / Minimal-2	45	48	50	47	59
4. Минимальный-3 / Minimal-3	30	35	36	30	38

Выводы. В условиях Чувашской Республики на серых лесных почвах в зернотравяно-пропашных севооборотах возможна замена традиционного способа обработки почвы, основанного на отвальной вспашке, на ресурсосберегающие способы с использованием комбинированных почвообрабатывающих агрегатов KOS-3 и БДМ-3,2х4. При их применении в течение двух ротаций, по сравнению со вспашкой, большинство параметров структурно-агрегатного состояния почвы не ухудшилось. При минимальной обработке почвы агрегатом KOS-3 наблюдали наибольшее увеличение доли агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) до 77,0-77,6 % и коэффициента структурности почвы до 3,35-3,46.

Ресурсосберегающие способы обработки серой лесной почвы с использованием KOS-3 и БДМ-3,2х4 при возделывании яровой и озимой пшениц, ячменя и яровой вики обеспечили их продуктивность 2,42-4,50 и 2,33-4,41 т/га соответственно при уровне рентабельности 51-64 и 44-59 %.

При возделывании картофеля лучшие условия формирования урожая создавались в варианте с классической обработкой почвы в севооборотах, где его урожайность составила 27,3-28,4 т/га при рентабельности производства в зернопропашном севообороте 67 %, зернопропашном сидеральном – 82 %. Урожайность картофеля во всех вариантах с минимальными обработками почвы была существенно ниже, чем при использовании зяблевой вспашки.

Список литературы

1. Кирюшин В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России. Земледелие. 2018;(3):3-8. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-nauchnoinnovatsionnogo-obespecheniya-zemledeliya-rossii/viewer>
2. Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы. Земледелие. 2017;(1):33-36. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-pochvy-deystvitelnost-i-mify>
3. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г., Гостев А. В. Современный подход к систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(1):5-8. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-sistematizatsii-obrabotok-pochvy-v-agrotekhnologiyah-novogo-pokoleniya>

4. Ивенин В. В., Ивенин А. В., Шубина К. В., Минеева Н. А. Сравнительная эффективность технологий возделывания зерновых культур в звене севооборота на светло-серых лесных почвах Волго-Вятского региона. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(3(6)):27-32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36759589>
5. Кирюшин В. И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований. Земледелие. 2013;(7):3-6. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-minimizatsii-obrabotki-pochvy-perspektivy-razvitiya-i-zadachi-issledovaniy>
6. Мазиров М. А., Матюк Н. С., Полин В. Д., Малахов Н. В. Влияние разных систем обработки и удобрений на плодородие дерново-подзолистей почвы. Земледелие. 2018;(2):33-36. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-raznyh-sistem-obrabotki-i-udobreniy-na-plodorodie-dernovo-podzolistoy-pochvy>
7. Мансуров Р. М. Ресурсосберегающие технологии: работа над ошибками. Аграрный эксперт. 2007;(3):4-7.
8. Козлова Л. М., Макарова Т. С., Попов Ф. А., Денисова А. В. Севооборот как биологический прием сохранения почвенного плодородия и повышения продуктивности пашни. Достижения науки и техники АПК. 2011;(1):16-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16333605>
9. Дзюин А. Г. Влияние соломы в севообороте на численность микроорганизмов и биологическую активность почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018; (1(62)):58-64. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.58-64>
10. Сорокина М. В. Структурно-агрегатный состав и водопрочность почвы в зависимости от интенсивности обработки. Вестник сельского развития и социальной политики. 2018;(1 (17)):20-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32560946>
11. Байбеков Р. Ф. Природоподобные технологии – основа стабильного развития земледелия. Земледелие. 2018;(2):5-8. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/prirodopodobnye-tehnologii-osnova-stabilnogo-razvitiya-zemledeliya>
12. Беленков А. И., Сабо У., Кунафин Р. И. Теория и практика основной обработки почвы в современных системах земледелия. Владимирский земледелец. 2017;(1 (79)):8-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28984050>
13. Антонов В. Г., Ермолаев А. П. Эффективность длительного применения минимальных способов обработки почвы в севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018; (4(65)):87-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>
14. Солодовников А. П., Летучий А. В., Степанов Д. С., Шагиев Б. З., Линьков А. С. Динамика плотности почвы чернозема южного при минимизации основной обработки. Земледелие. 2015;(1):5-7. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-plotnosti-pochvy-chnozema-yuzhnogo-pri-minimalizatsii-osnovnoy-obrabotki>
15. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А. Параметры темно-серой почвы при длительном применении различных систем обработки. Земледелие. 2016;(2):23-25. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-temno-seroy-lesnoy-pochvy-pri-dlitelnom-primenenii-razlichnyh-sistem-osnovnoy-obrabotki>

References

1. Kiryushin V. I. *Zadachi nauchno-innovatsionnogo obespecheniya zemledeliya Rossii*. [Tasks of scientific and innovative support of agriculture in Russia]. *Zemledelie*. 2018;(3):3-8. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zadachi-nauchno-innovatsionnogo-obespecheniya-zemledeliya-rossii/viewer>
2. Pykhtin I. G. *Obrabotka pochvy: deystvitel'nost' i mify*. [Tillage: reality and myths]. *Zemledelie*. 2017;(1):33-36. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-pochvy-deystvitelnost-i-mify>
3. Cherkasov G. N., Pykhtin I. G., Gostev A. V. *Sovremennyy podkhod k sistematizatsii obrabotok pochvy v agrotekhnologiyakh novogo pokoleniya*. [Modern approach to tillage systematization in agricultural technologies of new generation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(1):5-8. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-sistematizatsii-obrabotok-pochvy-v-agrotekhnologiyah-novogo-pokoleniya>
4. Ivenin V. V., Ivenin A. V., Chubina K. V., Mineeva N. A. *Sravnitel'naya effektivnost' tekhnologiy vozde-lyvaniya zernovykh kul'tur v zvene sevooborota na svetlo-serykh lesnykh pochvakh Volgo-Vyatskogo regiona*. [Comparative efficiency of technologies of cultivation of grain crops in the crop rotation link on light grey forest soils of the Volga-Vyatka region]. *Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Vestnik Chuvash State Agricultural Academy*. 2018;(3(6)):27-32. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36759589>
5. Kiryushin V. I. *Problema minimizatsii obrabotki pochvy: perspektivy razvitiya i zadachi issledovaniy*. [The problem of minimization of soil cultivation: prospects and challenges in research]. *Zemledelie*. 2013;(7):3-6. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-minimizatsii-obrabotki-pochvy-perspektivy-razvitiya-i-zadachi-issledovaniy>

6. Mazirov M. A., Matyuk N. S., Polin V. D., Malakhov N. V. *Vliyaniye raznykh sistem obrabotki i udobreniy na plodorodie dernovo-podzolistoy pochvy*. [Systems and fertilizers on fertility of sod-podzolic soil]. *Zemledelie*. 2018;(2):33-36. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-raznykh-sistem-obrabotki-i-udobreniy-na-plodorodie-dernovo-podzolistoy-pochvy>

7. Mansurov R. M. *Resursosberegayushchie tekhnologii: rabota nad oshibkami*. [Resource-saving technologies: correction work]. *Agrarnyy ekspert*. 2007;(3):4-7. (In Russ.).

8. Kozlova L. M., Makarova T. S., Popov F. A., Denisova A. V. *Sevooborot kak biologicheskiy priem sokhraneniya pochvennogo plodorodiya i povysheniya produktivnosti pashni*. [Crop rotation as biological method of preservation of soil fertility and of increasing of efficiency of arable land]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(1):16-18. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16333605>

9. Dzyuin A. G. *Vliyaniye solomy v sevooborote na chislennost' mikroorganizmov i biologicheskuyu aktivnost' pochvy*. [Effect of straw on the number of microorganisms and biological activity of soil in crop rotation]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; (1(62):58-64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.58-64>

10. Sorokina M. V. *Strukturno-agregatnyy sostav i vodoprochnost' pochvy v zavisimosti ot intensivnosti obrabotki*. [Structural- aggregate composition and water resistance of the soil depending on the intensity of treatment]. *Vestnik sel'skogo razvitiya i sotsial'noy politiki*. 2018;(1 (17)):20-22. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32560946>

11. Baibekov R. F. *Prirodopodobnye tekhnologii – osnova stabil'nogo razvitiya zemledeliya*. [Nature-like technologies is the basis for sustainable development of agriculture]. *Zemledelie*. 2018;(2):5-8. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prirodopodobnye-tehnologii-osnova-stabilnogo-razvitiya-zemledeliya>

12. Belenkov A. I., Umar Sabo, Kunafin R. I. *Teoriya i praktika osnovnoy obrabotki pochvy v sovremennykh sistemakh zemledeliya*. [Theory and practice of principle soil treatment in modern agricultural systems]. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir agricolist*. 2017;(1 (79)):8-11. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28984050>

13. Antonov V. G., Ermolaev A. P. *Effektivnost' dlitel'nogo primeneniya minimal'nykh sposobov obrabotki pochvy v sevooborotakh*. [The efficiency of continuous application of minimum soil tillage methods in crop rotations]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; (4(65):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>

14. Solodovnikov A. P., Letuchiy A. V., Stepanov D. S., Shagiev B. Z., Linkov A. S. *Dinamika plotnosti pochvy chernozema yuzhnogo pri minimalizatsii osnovnoy obrabotki*. [The dynamics of the southern chernozem density while minimizing the primary tillage]. *Zemledelie*. 2015;(1):5-7. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-plotnosti-pochvy-chernozema-yuzhnogo-pri-minimalizatsii-osnovnoy-obrabotki>

15. Perfiliev N. V., Vyushina O. A. *Parametry temno-seroy pochvy pri dlitel'nom primenении razlichnykh sistem obrabotki*. [Parameters of dark grey forest soil at prolonged application of different tillage systems]. *Zemledelie*. 2016;(2):23-25. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-temno-seroy-lesnoy-pochvy-pri-dlitenom-primenenii-razlichnykh-sistem-osnovnoy-obrabotki>

Сведения об авторе

✉ **Антонов Виталий Григорьевич**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», п. Опытный, ул. Центральная д. 2, Цивильский район, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6783-8228>, e-mail: antonOff.vital@yandex.ru

Information about the author

✉ **Vitaly G. Antonov**, PhD in Agricultural science, senior researcher, Chuvash Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Opytny, Tsentralnaya str., 2, Tsvil'sky district, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6783-8228>, e-mail: antonOff.vital@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author