



Влияние способов обработки на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожайность культур севооборотов

© 2023. Д. А. Дементьев[✉], А. А. Фадеев

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

В условиях Чувашской Республики в многолетнем стационарном опыте изучали влияние видов севооборотов (зернопаровой и сидеральный) и способов основной обработки почв (плугом ПЛН-3-35 на 24-26 см; комбинированным агрегатом КОС-3.0 на 14-16 см; дисковым БДМ-4-3,2 на 10-12 см; без осенней обработки) на целлюлозоразлагающую активность почвы методом закладки льняных полотен и урожайность культур. В статье приводятся данные за 2016-2020 гг. Установлено, что вспашка увеличивала общую скважность почвы (55,3...63,5 %) и способствовала максимальному разложению льняных полотен (42,9...51,3 %). Отказ от основной обработки почвы приводил к статистически значимому снижению ее скважности (50,8...59,3 %) и целлюлозоразлагающей активности (36,1...43,9 %). Максимальная урожайность культур севооборота получена при их возделывании по традиционной плужной обработке почвы. При замене вспашки безотвальными обработками наилучшим вариантом было использование комбинированного стерневого культиватора КОС-3.0. Отказ от вспашки в пользу основной обработки почвы на глубину 14-16 см агрегатом КОС-3.0 привел к существенному снижению урожайности только вики яровой (на 0,29 т/га), по остальным культурам севооборота статистически значимого снижения урожайности не отмечено. При полном отказе от осенней обработки почвы потери урожайности по зерновым культурам составили от 16 до 25 %. Применение вспашки на глубину пахотного горизонта (24-26 см) в качестве основной осенней обработки почвы повысило показатели плодородия темно-серой лесной почвы (общую скважность, целлюлозоразлагающую активность) и урожайность культур севооборота. Но, при переходе на ресурсосберегающие технологии, для основной осенней обработки почвы под зерновые культуры рекомендуется использовать комбинированный агрегат – стерневой культиватор КОС-3.0.

Ключевые слова: минимальная обработки почвы, целлюлозоразлагающая способность почвы, льняные полотна, общая скважность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0005).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дементьев Д. А., Фадеев А. А. Влияние способов обработки на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожайность культур севооборотов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):430-439.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.430-439>

Поступила: 19.01.2023

Принята к публикации: 30.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The effect of tillage methods on the cellulose-decomposing activity of the soil and on crop yields in crop rotations

© 2023. Dmitrii A. Dementiev[✉], Andrey A. Fadeev

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

In the conditions of the Chuvash Republic in a long-term stationary experiment there has been studied the effect of crop rotations (grain-fallow and green manure) and methods of primary tilling of soil (by the plow PLN-3-35 to the depth of 24-26 cm; by the combined unit KOS-3.0 to 14-16 cm; by the disc header BDM-4-3.2 to 10-12 cm without autumn tilling) on the cellulose-decomposing activity of the soil by the method of setting up flax linen and on the crop yield. The article provides 2016-2020 data. It has been established that plowing increased the total soil porosity (55.3...63.5 %) and provided maximum decomposing of flax linen (42.9...51.3 %). Absence of primary soil tilling led to the statistically significant decrease in the porosity (50.8...59.3 %) and cellulose-decomposing activity (36.1...43.9 %). Maximum yield of crops in crop rotation was obtained by cultivation according to traditional plowing. When replacing plowing by subsoil tillage the use of combined stubble cultivator KOS-3.0 was the best variant. Primary tillage of soil to the depth of 14-16 cm using KOS-3.0 unit instead of plowing led to the significant yield decrease (by 0.29 t/ha) of spring vetch only. Among other cultures of crop rotation there was no significant yield decrease. Complete rejection of autumn soil tillage led to 16-25 % yield loss in grain crops. Plowing to the depth of arable layer (24-26 cm) as primary autumn tillage of soil increased the fertility indicators of dark-gray wooded soil (its total porosity, cellulose-decomposing activity) and yield of cultures in crop rotation. But when changing over to resource saving technologies for primary autumn tilling of soil under grain crops the combined unit stubble cultivator KOS-3.0 should be used.

Keywords: minimum tillage, cellulose-decomposing capacity of the soil, flax linen, total porosity

Acknowledgments: 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 the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0005).

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

Conflict of Interest: The authors have declared no conflict of interest.

For citations: Dementiev D. A., Fadeev A. A. The effect of tillage methods on the cellulose-decomposing activity of the soil and on crop yields in crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):430-439. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.430-439>

Received: 19.01.2023 Accepted for publication: 30.05.2023 Published online: 28.06.2022

Плодородие почвы напрямую зависит от ее биологической активности. Фактически – это тождественные понятия, так как плодородие, в первую очередь, основано на биохимических процессах, отвечающих за почвообразование [1]. Понятие биологической активности включает в себя множественные биологические процессы. Важнейшие из них – деятельность почвенных микроорганизмов, перерабатывающих органические и минеральные соединения, а также различных ферментов, аккумулируемых в почве и изменяющих состояние почвенной среды. Корни растений также выделяют набор органических веществ, способствующих трансформации элементов питания [2, 3]. Способов измерения биологической активности множество [4, 5, 6]. Один из них – определение целлюлозоразлагающей способности почвенных микроорганизмов. Известно, что в зависимости от степени обработки почвы изменяется и ее способность разлагать волокна целлюлозы. Однако единого мнения по изучаемому вопросу не имеется. Согласно исследованиям Е. Х. Нечаевой с соавт. [7], интенсивность разложения волокон целлюлозы снижается при поверхностной обработке почвы по сравнению с глубокой основной. Объясняется это тем, что основная часть микроорганизмов, способных переработать целлюлозу, является аэробами, а при поверхностной обработке степень аэробности почвы снижается. Близкие результаты получены в исследованиях Б. А. Смирнова с соавт. [8], в которых поверхностно-отвальная обработка дерново-среднеподзолистой почвы, в сравнении с поверхностной, способствовала усилению интенсивности разложения целлюлозы и поддержанию процессов гумификации на более высоком уровне.

Выявлено, что любые антропогенные факторы оказывают воздействие на микробиоту и биохимию почв [9, 10]. Как отмечают Н. А. Мельникова и Е. Х. Нечаева [11], количество в почве актиномицетов, активно участвующих в разложении лигнина, при уменьшении механической нагрузки на почву или её отсутствии снижается, при этом ферментативная активность почвенной микрофлоры увеличивается в сравнении со вспашкой. В этом направлении вел исследования С. В. Богомазов [12]. Стоит

отметить, что Г. К. Марковская и Н. А. Кирясова [13] выявили некоторое увеличение численности актиномицетов при минимальной обработке, а также её снижение в слое 0-10 см при прямом посеве по сравнению со вспашкой и рыхлением. Здесь важно учитывать, что интенсивность дыхания почвы (ИДП), как показатель ее биологической активности, зависит от любого воздействия на почву и значительно возрастает при интенсификации использования органических и минеральных удобрений [14, 15].

Интересно и то, что внесение извести и навоза провоцировало увеличение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, а внесение минеральных удобрений, наоборот, ингибировало. Также их численность изменялась под влиянием различных культур [16]. Однако в опытах Л. В. Гринев с соавт. [17], средняя степень разложения льняного полотна в севообороте отмечена выше по нулевой технологии, чем по традиционной. Похожие данные были получены М. В. Новиковым [18].

Так как результаты исследований различных учёных не всегда совпадают, а иногда и прямо противоположны, было принято решение изучить данный вопрос в условиях Чувашской Республики.

Цель исследований – изучить влияние различных систем обработки тёмно-серой лесной почвы и видов севооборотов на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов и урожайность сельскохозяйственных культур.

Научная новизна – в процессе многолетних исследований получены новые данные по воздействию различных почвообрабатывающих орудий на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов и урожайность сельскохозяйственных культур.

Материал и методы. Исследования проводили в 2016-2020 гг. на тёмно-серой лесной тяжелосуглинистой иловато-среднепылевой почве в условиях многолетнего стационарного опыта Чувашского НИИСХ [19, 20].

Агрохимическая характеристика почвы участка следующая: гумус (по Тюрину) – 5,6 %, подвижный фосфор – 156,3 мг/кг и обменный калий – 59,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), сумма

поглощённых оснований (по Каппену) – 16,4 ммоль/100 г почвы, рН_{KCl} – 5,01.

Опыт двухфакторный, в трёх повторностях. Повторности размещены систематически. Общая площадь каждой элементарной делянки – 300 м² (6 м х 50 м), учетная – 200 м².

Фактор А – виды севооборотов: зернопаровой; сидеральный.

Состав культур в изучаемых севооборотах идентичный, за исключением того, что в сидеральном вместо чистого пара в качестве сидерата использовался клевер, подсеиваемый к яровой пшенице. Схема севооборота: 1. Яровые зерновые (яровые зерновые с подсевом клевера). 2. Чистый пар (клеверный сидеральный пар). 3. Озимые зерновые. 4. Яровые зерновые. 5. Яровые зерновые. 6. Зернобобовые. В 2017 году завершилась вторая ротация севооборота и в 2018 году началась третья ротация.

Фактор В – способы обработки почвы: классический; комбинированный-1; комбинированный-2; без осенней обработки.

Классический способ обработки – осенняя вспашка ПЛН-3-35 на глубину 24-26 см; *комбинированный-1* – осенняя обработка в качестве основной обработки почвы комбинированным агрегатом КОС-3.0 на глубину 14-16 см; *комбинированный-2* – осенняя обработка в качестве основной обработки почвы дискатором БДМ-4-3,2 на глубину 10-12 см; *без осенней обработки* – полное отсутствие основной осенней обработки. Во всех вариантах проводили предпосевное поверхностное рыхление почвы на глубину 4-6 см комбинированным агрегатом «Паук-6».

В опытах использовали следующие комбинированные агрегаты:

- стерневой культиватор КОС-3 производства Польши. Имеет широкие стрельчатые лапы усиленного типа, позади заднего ряда лап установлены загортачи и трубчатый каток. Производит рыхление без выворачивания пласта, выравнивание, прикатывание почвы.

- «Паук-6» Пензенского завода ЗАО «Пенза-агрореммаш». Имеет усиленные культиваторные стрельчатые лапы, секции коноидальных ножевых (игольчатых) дисков и спиральный планчатый каток. Производит рыхление на глубину до 16 см, выравнивание и прикатывание.

Уборку проводили комбайном Samro 500 с оставлением неизмельчённой соломы в поле.

Степень разложения органического вещества в пахотном слое определяли по методу И. С. Вострова и А. Н. Петровой¹ Кусочки льняной ткани закладывали весной в фазе

«всходы растений» на глубину 5, 10, 15 и 20 см. Извлечение полотен проводили в предуборочный период либо сразу после уборки культуры.

Общую скважность почвы определяли в слоях 0-10 и 10-20 см. Измерение агрофизических показателей почвы для определения общей скважности проводили три раза за вегетацию – по всходам, в середине вегетации и перед уборкой с выведением средних значений. Опытные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа².

Результаты и их обсуждение. Погодные условия за исследуемый период не всегда складывались благоприятными для роста и развития сельскохозяйственных культур. Самым оптимальным был 2019 год, в течение которого осадки относительно равномерно распределились по месяцам и были на уровне многолетних показателей. Средние температуры за тот же период превысили многолетние данные на 2,1 °С. 2016 год выделился сильной засушливостью – за вегетацию осадков выпало лишь 54 % от нормы, а средняя температура превысила среднемноголетнюю на 3,2 °С. Урожайность этого года по большей степени формировалась за счёт паводковых вод и интенсивных дождей апреля. За сентябрь 2016 года выпало 290 % от нормы осадков по региону. 2017 год отмечен тем, что с апреля по июль осадки почти каждый месяц превышали среднегодовые показатели. Среднее их количество за 4 месяца составило 157 % от нормы. Температурный же режим был близок к оптимальному. 2018 год был засушливым: преобладали повышенные температуры на фоне низкого количества осадков. Так, с мая по август средняя температура воздуха зафиксирована на 5,0 °С выше, а осадков на 28 % ниже средних многолетних показателей. Таким же засушливым был и 2020 год, когда с мая по август осадков выпало на 38 % меньше, а средняя температура на 2,8 °С превысила средние значения.

Несмотря на то, что разложение льняных полотен это лишь один из многих показателей, которые рассматриваются при изучении биологической активности почвы, он является достаточно существенным показателем, по которому можно судить о заселённости почвенного покрова и интенсивности деятельности почвенных микроорганизмов в целом. Увеличение этого показателя демонстрирует общую способность почвы к разложению растительных остатков [21].

Данные нашего опыта по разложению льняных полотен за вегетационные периоды 2016-2020 гг. представлены в таблице 1.

¹Теплер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по биологии. М.: Колос, 1979. 216 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агротехиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1 – Потеря массы льняного полотна в различных почвенных горизонтах (за вегетационный период), % / Table 1 – Loss of flax linen mass in various soil horizons (during the growing season), %

| Способ обработки почвы (фактор В) / Method of tillage (factor B) | Зернопаровой севооборот (фактор А) / Grain-fallow crop rotation (factor A) | | | | Сидеральный севооборот (фактор А) / Green manure crop rotation (factor A) | | | | Среднее по фактору В / Average by factor B | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|-------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|------|--------------------------------------------|------|
| | глубина расположения полотна, см / the depth of the linen, cm | | среднее / average | глубина расположения полотна, см / the depth of the linen, cm | | среднее / average | | | | |
| | 0-5 | 5-10 | | 10-15 | 15-20 | | | | | |
| 2016 г. – ячмень / 2016 – barley; НСР ₀₅ A=2,2; НСР ₀₅ B=1,9 / LSD ₀₅ A=2,2; LSD ₀₅ B=1,9 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 52,4 | 57,2 | 45,6 | 46,0 | 50,3 | 47,3 | 47,2 | 45,5 | 48,7 | 49,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 48,0 | 49,9 | 42,0 | 46,4 | 46,6 | 48,4 | 47,2 | 48,7 | 48,6 | 47,6 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 46,1 | 46,1 | 43,2 | 42,1 | 44,4 | 47,1 | 44,0 | 45,7 | 46,1 | 45,3 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 42,8 | 46,2 | 41,2 | 40,0 | 42,6 | 43,4 | 43,2 | 41,8 | 43,9 | 43,3 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 46,0 | | | | - | 46,8 | | | | - |
| 2017 г. – яровая вика / 2017 – spring vetch НСР ₀₅ A = 4,3; НСР ₀₅ B = 2,9 / LSD ₀₅ A = 4,3; LSD ₀₅ B = 2,9 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 62,3 | 57,2 | 45,2 | 36,0 | 50,2 | 64,6 | 47,2 | 40,5 | 52,4 | 51,3 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 58,6 | 52,9 | 43,0 | 33,4 | 47,0 | 60,0 | 47,2 | 35,7 | 50,0 | 48,5 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 56,1 | 50,1 | 43,2 | 32,1 | 45,4 | 57,6 | 44,0 | 33,7 | 45,6 | 45,5 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 52,8 | 50,2 | 41,5 | 30,0 | 43,6 | 53,6 | 43,2 | 31,8 | 44,2 | 43,9 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 46,5 | | | | - | 47,9 | | | | - |
| 2018 г. – яровая пшеница/яровая пшеница + клевер / 2018 – spring wheat/ spring wheat + clover; НСР ₀₅ A = 2,8; НСР ₀₅ B = 1,9 / LSD ₀₅ A = 2,8; LSD ₀₅ B = 1,9 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 50,3 | 54,2 | 43,2 | 35,3 | 45,8 | 53,8 | 46,9 | 38,5 | 49,1 | 47,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 45,6 | 50,9 | 42,0 | 33,6 | 43,0 | 56,2 | 47,2 | 35,3 | 48,4 | 45,7 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 44,1 | 46,1 | 40,2 | 33,1 | 40,9 | 49,3 | 44,6 | 33,8 | 43,8 | 42,4 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 40,8 | 47,2 | 39,5 | 30,2 | 39,4 | 46,6 | 42,2 | 30,8 | 41,2 | 40,3 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 42,3 | | | | - | 45,6 | | | | - |
| 2019 г. – чёрный пар/сидеральный пар / 2019 – black fallow/ green manure fallow; НСР ₀₅ A = 2,4; НСР ₀₅ B = 1,7 / LSD ₀₅ A = 2,4; LSD ₀₅ B = 1,7 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 42,7 | 44,3 | 48,2 | 36,6 | 43,0 | 43,9 | 47,1 | 51,6 | 38,3 | 44,1 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 38,3 | 42,4 | 44,1 | 33,4 | 39,6 | 38,8 | 46,8 | 49,2 | 35,6 | 41,1 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 36,2 | 41,6 | 42,8 | 31,1 | 37,9 | 37,3 | 44,3 | 33,7 | 39,9 | 38,9 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 32,8 | 35,8 | 40,4 | 30,3 | 34,8 | 36,7 | 40,2 | 30,8 | 37,3 | 36,1 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 38,8 | | | | - | 41,3 | | | | - |
| 2020 г. – озимая пшеница / 2020 – winter wheat; НСР ₀₅ A = 2,1; НСР ₀₅ B = 1,6 / LSD ₀₅ A = 2,1; LSD ₀₅ B = 1,6 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 41,4 | 42,3 | 46,5 | 33,7 | 41,0 | 42,8 | 46,3 | 51,1 | 38,6 | 42,9 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 37,6 | 40,1 | 43,3 | 30,6 | 37,9 | 39,1 | 46,9 | 34,2 | 42,5 | 40,2 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 35,3 | 39,6 | 40,8 | 30,1 | 36,5 | 36,3 | 42,4 | 33,8 | 39,4 | 38,0 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 33,7 | 36,6 | 40,0 | 30,1 | 35,1 | 33,6 | 40,8 | 32,7 | 37,4 | 36,3 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 37,6 | | | | - | 41,0 | | | | - |

Примечания: Классический – осенняя обработка плугом ПЛН-3-35 на 24-26 см (стандарт); Комбинированный-1 – осенняя обработка комбинированным агрегатом КОС-3,0 на 14-16 см; Комбинированный-2 – осенняя обработка дисковой бороной БДМ-4х3,2 на 10-12 см / Notes: Classic – autumn plough tillage with PLN-3-35 to 24-26 cm (standard); Combined-1 – autumn tillage with combined unit КОС-3,0 to 14-16 cm; Combined-2 – autumn tillage with disc harrow БДМ-4х3,2 to 10-12 cm

Независимо от варианта способа почвообработки и погодных условий почти во всех случаях слой почвы 15-20 см имел самый низкий процент разложения льняных полотен (35,1...44,2 % по средним показателям). Очевидно это связано со снижением аэробности

данного слоя почвы в сравнении с вышележащими её слоями, что привело к сокращению содержания аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Это подтверждается и показателями общей скважности почвы (табл. 2).

Табл. 2 – Общая скважность почвы в зависимости от способа обработки, %/
Table 2 – The total porosity of the soil depending on the method of tillage, %

| Способ обработки почвы (фактор B) / Method of tillage (factor B) | Зернопаровой севооборот (фактор A) / Grain-fallow crop rotation (factor A) | | | Сидеральный севооборот (фактор A) / Green manure crop rotation (factor A) | | | Среднее по фактору B / Average by factor B |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------|-----------------------------------------------------|
| | слой почвы, см / soil layer, cm | | среднее/ average | слой почвы, см / soil layer, cm | | среднее/ average | |
| | 0-10 | 10-20 | | 0-10 | 10-20 | | |
| 2016 г. – ячмень / 2016 – barley; HCP ₀₅ A = 1,4; HCP ₀₅ B = 2,7 / LSD ₀₅ A = 1,4; LSD ₀₅ B = 2,7 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 58,0 | 51,0 | 54,5 | 60,0 | 52,0 | 56,0 | 55,3 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 55,0 | 51,0 | 53,0 | 56,0 | 51,0 | 53,5 | 53,3 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 55,0 | 49,0 | 52,0 | 54,0 | 51,0 | 52,5 | 52,3 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 54,0 | 47,0 | 50,5 | 53,0 | 49,0 | 51,0 | 50,8 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 52,5 | | - | 53,3 | | - | |
| 2017 г. – яровая вика / 2017 – spring vetch; HCP ₀₅ A = 2,4; HCP ₀₅ B = 1,9 / LSD ₀₅ A = 2,4; LSD ₀₅ B = 1,9 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 62,0 | 56,0 | 59,0 | 59,0 | 53,0 | 56,0 | 57,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 59,0 | 54,0 | 56,5 | 55,0 | 51,0 | 53,0 | 54,8 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 55,0 | 54,0 | 54,5 | 54,0 | 50,0 | 52,0 | 53,3 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 54,0 | 50,0 | 52,0 | 53,0 | 49,0 | 51,0 | 51,5 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 55,5 | | - | 53,0 | | - | - |
| 2018 г. – яровая пшеница/яровая пшеница + клевер / 2018 – spring wheat/spring wheat + clover HCP ₀₅ A = 1,4; HCP ₀₅ B = 2,7 / LSD ₀₅ A = 1,4; HCP ₀₅ B = 2,7 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 66,0 | 58,0 | 62,0 | 68,0 | 62,0 | 65,0 | 63,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 62,0 | 55,0 | 58,5 | 64,0 | 57,0 | 60,5 | 59,5 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 62,0 | 54,0 | 58,0 | 62,0 | 57,0 | 59,5 | 58,8 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 61,0 | 43,0 | 52,0 | 61,0 | 48,0 | 54,5 | 53,3 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 57,6 | | - | 59,9 | | - | - |
| 2019 г. – чёрный пар/сидеральный пар / 2019 – black fallow/green manure fallow HCP ₀₅ A = 1,8; HCP ₀₅ B = 2,5 / LSD ₀₅ A = 1,8; LSD ₀₅ B = 2,5 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 67,0 | 61,0 | 64,0 | 61,0 | 63,0 | 62,0 | 63,0 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 66,0 | 60,0 | 63,0 | 60,0 | 55,0 | 57,5 | 60,3 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 70,0 | 57,0 | 63,5 | 61,0 | 55,0 | 58,0 | 60,8 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 64,0 | 53,0 | 58,5 | 59,0 | 54,0 | 56,5 | 57,5 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 62,3 | | - | 58,5 | | - | - |
| 2020 г. – озимая пшеница / 2020 – winter wheat; HCP ₀₅ A = 1,7; HCP ₀₅ B = 2,5 / LSD ₀₅ A = 1,7; LSD ₀₅ B = 2,5 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 60 | 62 | 61,0 | 65 | 62 | 63,5 | 62,3 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 61 | 61 | 61,0 | 66 | 59 | 62,5 | 61,8 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 59 | 58 | 58,5 | 62 | 65 | 63,5 | 61,0 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 57 | 58 | 57,5 | 60 | 62 | 61,0 | 59,3 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 59,5 | | - | 62,6 | | - | - |

Важно отметить и то, что по слоям почвы большинство льняных полотен лучше разложилось при осенней почвообработке плугом – 33,7...62,3 % во всех вариантах полевого опыта. Тот же результат показали и средние значения – во всех вариантах обработка плугом привела к максимальному сокращению массы льняных полотен (41,0...52,4 %).

В 2016 году в посевах ячменя (вторая ротация севооборота, третий год после запашки клевера) достоверного влияния сидерального севооборота на степень разложения льняного полотна не отмечено – увеличение составило 0,8 % при $HCp_{05}(A) = 2,2$ %. Существенно снижалась активность микрофлоры по сравнению с классической обработкой в вариантах с обработкой БДМ и без осенней обработки (на 4,2 и 6,2 % соответственно при $HCp_{05}(B) = 1,9$ %). Вариант с обработкой KOS-3,0 существенно не отличался по активности микрофлоры от варианта со вспашкой (снижение на 1,9 % – в пределах ошибки опыта ($HCp_{05} = 1,9$ %)). На посевах яровой вики в 2017 году влияние фактора сидерации также не отмечалось – при $HCp_{05}(A) = 4,3$ увеличение разложения полотна составило 1,4 %. Запашка клевера на сидерат в 2019 году (начало третьей ротации севооборота) оказала достоверное положительное влияние на активизацию микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, в последующие годы изучения.

Изменение способа обработки почвы в 2017 и 2018 годах повлияло на сокращение массы льняного полотна следующим образом: при осенней обработке стерневым культиватором микробиологическая активность почвы, как и в 2016 году, не имела существенных отклонений от вспашки. Замена плуга на БДМ, а также полный отказ от основной обработки достоверно сократили активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов. В 2019 и 2020 годах все варианты имели достоверное снижение изучаемого показателя от контрольного варианта – вспашки.

В таблице 2 приведены показатели скважности в слоях почвы 0-10 и 10-20 см. Скважность влияет на состояние водно-воздушного режима, а значит и на развитие аэробных микроорганизмов. Согласно полученным данным, изменение скважности практически идентично динамике разложения льняных полотен. В целом по опыту почва в варианте с классической обработкой характеризовалась наибольшими значениями скважности 55,3...63,5 %, остальные обработки в большинстве случаев

существенно понижали общую скважность почвы в слое 0-20 см, особенно ее минимальная обработка – на 3...10 %. В качестве исключения следует отметить, что скважность почвы в посевах ячменя (2016 г.) при ее обработке комбинированным стерневым культиватором оставалась на уровне варианта с классической вспашкой (сокращение в пределах ошибки опыта – 2 % при $HCp_{05}B = 2,7$). Прочие способы обработки почвы статистически значимо сократили содержание пор более чем на 3 %. При применении на озимой пшенице разных способов обработки почвы (2020 г.) только вариант без осенней обработки существенно превысил отклонение от классического способа на 3 % ($HCp_{05}B = 2,5$), применение культиватора и дискатора не оказало достоверного влияния на исследуемый показатель.

На последних культурах второй ротации севооборота (2016-2017 гг.) положительного влияния клеверного сидерального пара на пористость почвы не отмечено, однако в начале третьей ротации севооборота подсев клевера под яровую пшеницу (2018 г.) и возделывание озимой пшеницы по сидерату (2020 г.) существенно улучшили показатели общей скважности почвы.

В таблице 3 представлена урожайность культур в зависимости от изучаемых факторов.

Показатели урожайности демонстрируют её зависимость от способа обработки почвы. Во все годы исследований вспашка способствовала наибольшему выходу продукции. Отсутствие осенней обработки за весь период исследования привело к снижению урожайности зерновых на 18-25 % в сравнении со вспашкой. Анализ воздействия различных почвообрабатывающих агрегатов на выход основной продукции с гектара показал существенное снижение показателя при использовании БДМ в качестве основной осенней обработки почвы, а также в варианте без осенней обработки. Наибольшее уменьшение отмечено именно в последнем варианте за все годы, где урожайность снизилась от 0,47 т/га у вики яровой до 0,94 т/га – у ячменя. Значимых отличий в урожайности культур после вспашки плугом и подготовки почвы с помощью комбинированного стерневого культиватора KOS-3.0 на глубину 14-16 см не выявлено, кроме яровой вики, где при $HCp_{05}B = 0,13$ разность составила 0,29 т/га, то есть продуктивность культуры существенно увеличилась именно при классическом способе обработки.

Табл. 3 – Урожайность культур в зависимости от способа осенней обработки почвы и типа севооборота, т/га / Table 3 – Crop yield depending on the method of autumn tillage and type of crop rotation, t/ha

| Способ обработки почвы (фактор В) / Method of tillage (factor B) | Вид севооборота (фактор А) / View of crop rotation (factor A) | | Среднее по фактору В / Average by factor B |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|
| | зернопаровой / grain-fallow | сидеральный / green manure | |
| 2016 г. – ячмень / 2016 – barley HCP ₀₅ A = 0,15; HCP ₀₅ B = 0,11 / LSD ₀₅ A = 0,15; LSD ₀₅ B = 0,11 | | | |
| Классический / Classic | 3,96 | 4,04 | 4,00 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 3,92 | 3,99 | 3,96 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 3,64 | 3,77 | 3,71 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 2,98 | 3,13 | 3,06 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 3,63 | 3,73 | - |
| 2017 г. – яровая вика / 2017 – spring vetch HCP ₀₅ A = 0,12; HCP ₀₅ B = 0,13 / LSD ₀₅ A = 0,12; LSD ₀₅ B = 0,13 | | | |
| Классический / Classic | 2,53 | 2,65 | 2,59 |
| Комбинированный -1 / Combined-1 | 2,26 | 2,33 | 2,30 |
| Комбинированный -2 / Combined-2 | 2,11 | 2,28 | 2,20 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 2,07 | 2,17 | 2,12 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 2,24 | 2,36 | - |
| 2018 г. – яровая пшеница/яровая пшеница + клевер / 2018 – spring wheat/ spring wheat + clover HCP ₀₅ A = 0,14; HCP ₀₅ B = 0,11 / LSD ₀₅ A = 0,14; HCP ₀₅ B = 0,11 | | | |
| Классический / Classic | 3,28 | 3,34 | 3,31 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 3,21 | 3,23 | 3,22 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 2,96 | 3,05 | 3,01 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 2,66 | 2,75 | 2,71 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 3,03 | 3,09 | - |
| 2019 г. – чёрный пар/сидеральный пар (клевер) / 2019 – black fallow/green manure fallow (clover) HCP ₀₅ B = 3,8 / LSD ₀₅ B = 3,8 | | | |
| Классический / Classic | - | 27,2 | - |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | - | 26,8 | - |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | - | 21,0 | - |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | - | 19,0 | - |
| 2020 г. – озимая пшеница / 2020 – winter wheat HCP ₀₅ A = 0,14; HCP ₀₅ B = 0,21 / LSD ₀₅ A = 0,14; LSD ₀₅ B = 0,21 | | | |
| Классический / Classic | 4,68 | 4,72 | 4,70 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 4,49 | 4,58 | 4,54 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 4,24 | 4,10 | 4,17 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 3,94 | 3,97 | 3,96 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 4,34 | 4,34 | - |

Статистически значимого влияния сидерации на изменение урожайности культур севооборота не отмечено. Исключение – яровая вика в 2017 году, когда средняя урожайность в сидеральном севообороте повысилась на 0,12 т/га при НСР₀₅ = 0,12 т/га.

Заключение. Изучаемые способы обработки темно-серой лесной почвы выявили преимущество традиционной плужной обработки почвы во все годы исследований как по биологической активности почвы, так и урожайности. Вспашка является самой энергоёмкой операцией в системе обработок под сельскохозяйственные культуры, в связи с этим многие хозяйства отказываются от данной операции, заменяя её на альтернативные.

В наших опытах замена осенней плужной обработки на поверхностное рыхление комбинированным стерневым культиватором КОС-3.0 при возделывании большинства культур севооборота привела к результатам, близким к вспашке как по целлюлозоразлагающей активности почвы, так и урожайности ячменя, яровой пшеницы, клевера и озимой пшеницы. Из трёх изучаемых способов осенней подготовки почвы использование дисковой бороны существенно снизило разложение льняных

полотен, скважность почвы и урожайность культур в сравнении с классической вспашкой и поверхностным рыхлением комбинированным стерневым культиватором. Отказ от осенней обработки с применением только предпосевной культивации почвы комбинированным орудием «Паук-б» привел к существенному снижению как общей скважности и целлюлозоразлагающей активности почвы, так и урожайности культур севооборота.

Сидерация несмотря на то, что в большинстве случаев улучшала изучаемые показатели, значимого влияния на них не оказала.

Производству можно рекомендовать следующее: при отказе от вспашки и переходе на ресурсосберегающую обработку почвы с оставлением соломы на полях под зерновые культуры в качестве основной осенней обработки темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы оптимально применение комбинированного стерневого культиватора КОС. Его использование взамен плуга, в том числе в севооборотах с сидеральным паром, позволяет приблизить агрофизические и биологические показатели почвы, урожайность культур к оптимальным значениям, получаемым при использовании вспашки.

Список литературы

1. Гельцер Ю. Г. Показатели биологической активности в почвенных исследованиях. Почвоведение. 1990;(9):47-60. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403536>
2. Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М., Доросинский Л. М., Круглов Ю. В., Муромцев Г. С., Тарвис Т. В., Туев Н. А., Чундерова А. И. Биологические основы плодородия почвы. М.: Колос, 1984. 287 с.
3. Мергель А. А., Тимченко А. В., Кудеяров В. Н. Роль корневых выделений растений в трансформации азота и углерода в почве. Почвоведение. 1996;(10):1234-1239. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403609>
4. Двойных В. В. Особенности биологической активности почв. Плодородие почв и эффективное применение удобрений: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Ч. 1. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. С. 61-66. Режим доступа: http://www.brissa.by/wp-content/uploads/2021/06/Conference_Minsk_2021_1.pdf#page=61
5. Аристовская Т. В., Чугунова Т. В. Экспресс – метод определения биологической активности почвы. Почвоведение. 1989;(11):142-147. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403526>
6. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Технологический институт ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет» в г. Таганроге, 2003. 204 с.
7. Нечаева Е. Х., Марковская Г. К., Мельникова Н. А. Параметры оценки биологической активности почвы. Эпоха науки. 2015;(4):92. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429490> EDN: VKMNXB
8. Смирнов Б. А., Котьяк П. А., Чебыкина Е. В. Влияние разных по интенсивности систем обработки и удобрений на изменение биологических показателей плодородия почвы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008;(10(48)):16-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11639001> EDN: JUSCOV
9. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы. Почвоведение. 2003;(2):202-210. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403685>
10. Wołejko E., Jabłońska-Trypuć A., Wydro U., Butarewicz A., Łozowicka B. Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides – a review. Applied soil ecology. 2020;147:103356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.006>

11. Мельникова Н. А., Нечаева Е. Х. Влияние различных способов основной обработки на биологическую активность почвы при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Заволжья. Эпоха науки. 2015;(4):125. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429523> EDN: VKMIJT
12. Богомазов С. В., Ткачук О. А., Павликова Е. В., Кочмин А. Г. Роль агротехнических приёмов в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях черноземных почв Среднего Поволжья. Нива Поволжья. 2014;(2(31)):2-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21616984> EDN: QJTGCD
13. Марковская Г. К., Кирясова Н. А. Влияние минимализации обработки почвы на её биологическую активность. Достижения науки и техники АПК. 2007;(1):16-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10293102> EDN: IRGIVJ
14. Мельникова О. В. Технологии возделывания культур и биологическая активность почвы. Земледелие. 2009;(1):22-24. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vozdelyvaniya-kultur-i-biologicheskaya-aktivnost-pochvy/viewer>
15. Макаров Б. Н. Дыхание почвы и роль этого процесса в углеродном питании растений. Агротехника. 1993;8:94-104.
16. Дзюин Г. П., Дзюин А. Г., Белоусова Л. А., Ложкина С. В. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы. Аграрная наука Евро-северо-Востока. 2006;(8):75-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12881629> EDN: KVXCQR
17. Гринейц Л. В., Сенькова Л. А., Мингалев С. К. Биологическая активность почвы. Аграрное образование и наука. 2019;(2):14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41104857> EDN: BQHDDE
18. Новиков В. М. Влияние агротехнических приёмов и погодных условий на биологическую активность тёмно-серой лесной почвы при возделывании зернобобовых и крупяных культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(4(20)):116-120. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27471668> EDN: XDEFQD
19. 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> EDN: LCXZWB
20. 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> EDN: XVLNZJ
21. Мишустин Е. Н. Ассоциация почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 105 с.

References

1. Gel'tser Yu. G. Biological activity parameters in soil investigations. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1990;(9):47-60. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403536>
2. Berestetskiy O. A., Voznyakovskaya Yu. M., Dorosinskiy L. M., Kruglov Yu. V., Muromtsev G. S., Tarvis T. V., Tuev N. A., Chunderova A. I. Biological basis of soil fertility. Moscow: *Kolos*, 1984. 287 p.
3. Mergel' A. A., Timchenko A. V., Kudayarov V. N. The role of root exudates in transformation of nitrogen- and carbon-bound compounds in soils. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1996;(10):1234-1239. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403609>
4. Dvoynikh V. V. Features of the biological activity of soils. Soil fertility and efficient use of fertilizers: Proceedings of the International scientific and practical conf. Part 1. Minsk: *Institut sistemnykh issledovaniy v APK NAN Belarusi*, 2021. pp. 61-66. URL: http://www.brissa.by/wp-content/uploads/2021/06/Conference_Minsk_2021_1.pdf#page=61
5. Aristovskaya T. V., Chugunova T. V. Express determination of soil biological activity. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1989;(11):142-147. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403526>
6. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Valkov V. F. Biological diagnostic and indication of soils: the methodology and methods of researches. Rostov-na-Donu: *Izd-vo Tekhnologicheskoy institut FGBOU VO "Yuzhnyy federal'nyy universitet" v g. Taganroge*, 2003. 204 p.
7. Nechaeva E. Kh., Markovskaya G. K., Melnikova N. A. Assessment parameters of biological activity of soil. *Epokha nauki*. 2015;(4):92. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429490>
8. Smirnov B. A., Kotyak P. A., Chebykina E. V. Influence of different by intensity systems of tillage and fertilizing on the change of biological indices of soil fertility. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2008;(10(48)):16-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11639001>
9. Svirskene A. Microbiological and biochemical indicators of anthropogenic impacts on soils. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2003;(2):202-210. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403685>
10. Wołejko E., Jabłońska-Trypuć A., Wydro U., Butarewicz A., Łozowicka B. Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides – a review. *Applied soil ecology*. 2020;147:103356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.006>

11. Melnikova N. A., Nechaeva E. Kh. Influence of different ways of basic treatment on biological activity of soil at till of spring wheat in the conditions of forest-steppe of Zavolzhyia. *Epokha nauki*. 2015;(4):125. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429523>
12. Bogomazov S. V., Tkachuk O. A., Pavlikova E. V., Kochmin A. G. The role of agrotechnical methods in the technology of winter wheat cultivation in the conditions of black soil region of middle Volga area. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*. 2014;(2(31)):2-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21616984>
13. Markovskaya G. K., Kiryasova N. A. Influence of minimization of soil tillage on its biological activity. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2007;(1):16-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10293102>
14. Melnikova O. V. Cultivation technologies and soil biological activity. *Zemledelie*. 2009;(1):22-24. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vozdelyvaniya-kultur-i-biologicheskaya-aktivnost-pochvy/viewer>
15. Makarov B. N. Soil respiration and the role of this process in carbon nutrition of plants. *Agrokimiya*. 1993;8:94-104. (In Russ.).
16. Dzyuin G. P., Dzyuin A. G., Belousova L. A., Lozhkina S. V. Biological activity of sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2006;(8):75-79. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12881629>
17. Grinets L. V., Senkova L. A., Mingalev S. K. Soil biological activity. *Agrarnoe obrazovanie i nauka = Agrarian education and science*. 2019;(2):14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41104857>
18. Novikov V. M. Effect of agrotechnological techniques and weather conditions on the biological activity of a dark gray forest soil in the cultivation of legumes and cereals. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2016;(4(20)):116-120. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27471668>
19. 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>
20. Antonov V. G., Ermolaev A. P. The efficiency of continuous application of minimum soil tillage methods in crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>
21. Mishustin E. N. Association of Soil Microorganisms. Moscow: *Nauka*, 1975. 105 p.

Сведения об авторах

✉ **Дементьев Дмитрий Алексеевич**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: tymondem@mail.ru

Фадеев Андрей Анатольевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

Information about the authors

✉ **Dmitrii A. Dementiev**, PhD in Agricultural Science, researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: tymondem@mail.ru

Andrey A. Fadeev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

✉ – Для контактов / Corresponding author