

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕВООБОРОТА И ЧАСТИ СКЛОНА

Д.В. Митрофанов, к.с.-х.н., ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

*Россия, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, e-mail: dvm.80@mail.ru,
тел. 89878559895*

*Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2020-2021 гг.
ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0003)*

Выявлено воздействие четырёхпольных севооборотов и частей склона на агрофизические свойства, микроагрегатный состав южных чернозёмов, содержание органического вещества, гумуса и продуктивность полевых культур в засушливых условиях восточной зоны Оренбургского Зауралья. Установлено, что применение почвозащитного севооборота и глубокой плоскорезной обработки почвы под полевые культуры в нижней части склона обеспечивало улучшение агрофизических свойств тяжелосуглинистого чернозёма и положительно влияло на повышение плодородия. Использование почвозащитного пара в севообороте по сравнению с чёрным на пахотном склоне увеличивало выход зерна и энергетических кормовых единиц твёрдой пшеницы на 0,30 т/га (31 %), мягкой пшеницы на 0,57 т/га (49,5 %) и ячменя – на 0,43 т/га (37,9 %).

Ключевые слова: зернопаровой севооборот, почвозащитный севооборот, часть склона, плоскорезная обработка почвы, плотность почвы, общая пористость почвы, микроагрегатный состав почвы, плодородие почвы, продуктивность, зерно, энергетическая кормовая единица.

Для цитирования: Митрофанов Д.В. Плодородие почвы и продуктивность полевых культур в зависимости от севооборота и части склона// Плодородие. – 2021. – №5. – С. 15-18. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.04.

Плодородие почвы – важнейший фактор повышения продуктивности полевых культур. Запасы естественно плодородия неограничены. В современном земледелии происходят ежегодные большие потери органического вещества и гумуса в почву. Сохранение и повышение почвенного плодородия имеет важное значение в системе шестипольных севооборотов [7].

Севооборот является ведущим звеном в любой системе земледелия и ему принадлежит важнейшая роль в рациональном использовании земли, повышении плодородия почвы, культуры земледелия в целом, что приводит к росту урожайности. Севооборот – важнейшее звено увеличения продуктивности пашни [3]. Продуктивность севооборотов зависит, в основном, от плодородия и основной обработки почвы [9]. В почвенно-климатических условиях применяют приёмы биологизации земледелия для повышения плодородия почвы [1]. Ресурсосберегающие приёмы возделывания сельскохозяйственных культур и другие, сильно влияют на воспроизводство почвенного плодородия [4, 8]. Содержание гумуса в почве даёт возможность исследователям наблюдать за состоянием плодородия почвы [10]. Агрофизические свойства определяют состояние почвы. К физическим свойствам почвы относятся структура, плотность и общая пористость. Основной причиной падения урожайности полевых культур является уплотнение почвы в результате многократной механической обработки в период вегетации [2].

Резервы почвенного плодородия истощаются за счёт усиленной минерализации гумуса и эрозии почвы на пахотных склонах Южного Урала. В Оренбургской области 4,5 млн га пашни расположены на склонах от 1 до 8° и нуждаются в защите от почвенной эрозии. В степной зоне Южного Урала проявляется водная и ветровая эрозия, наносящая ущерб плодородию почвы [5]. Влияние основных показателей плодородия чернозёма южного на продуктивность севооборотов играет важней-

шую роль на склоновых землях Оренбуржья [6]. В связи с этим на пахотных склонах, подверженных водной, биологической эрозии и дефляции чернозёма южного Оренбургского Зауралья, проводили исследования в системе контурно-полосного земледелия.

Цель исследований – изучить влияние вида севооборота и части склона на агрофизические свойства чернозёмов, содержание органического вещества, гумуса и продуктивность полевых культур в засушливых условиях восточной зоны Оренбургской области.

Методика. Территория опытного участка расположена в Адамовском районе Оренбургской области. Полевые опыты закладывали на среднемощных малогумусных тяжелосуглинистых (на жёлто-бурых карбонатных делювиальных суглинках) южных чернозёмах, подверженных почвенной эрозии, с контурно-полосной организацией пахотных склонов, размещённых в северо-восточной части экспозиции. В пахотном слое (0-30 см) опытного участка содержание гумуса 4,0 %, азота – 8,6 мг/100 г, фосфора – 1,7, калия – 36,6 мг/100 г почвы, pH 7,4.

Полевые исследования по контурно-полосной организации территории проводили в 2013-2020 г. на многолетнем опытном почвозащитном стационаре (заложен в 1987 г.) Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН по следующей схеме: 2А × 3В, где

Фактор А – вид 4-польного севооборота:

А₁ – зернопаровой севооборот 1 – чёрный пар; 2 – яровая твёрдая пшеница; 3 – яровая мягкая пшеница; 4 – яровой ячмень;

А₂ – почвозащитный севооборот 1 – занятый пар с посевом суданской травы; 2 – яровая твёрдая пшеница; 3 – яровая мягкая пшеница; 4 – яровой ячмень.

Фактор В – часть склона:

В₁ – верхняя с уклоном 2-3°;

В₂ – средняя с уклоном 1-2°;

В₃ – нижняя с уклоном 0-1°.

Склон на территории делится на три части длиной 400 м и шириной 500 м. На опытном поле изучали шесть четырёхпольных севооборотов. Повторность полевого опыта трёхкратная в пространстве и восьмикратная во времени. На каждой повторности делянки имели прямоугольную форму размером 40 м x 160,7 м и $S^2 = 6428 \text{ м}^2$. Делянки располагали систематически последовательно в один ярус, длинной стороной поперёк склона. Общая площадь опытного поля 60 га. В полевом опыте севообороты занимали 48 га, буферные полосы (из многолетних трав) – 10,8, однорядные кустарниковые кулисы (из смородины золотистой) – 1,2 га.

Система основной обработки почвы под чёрный пар и культуры севооборота унифицирована. Осеннюю основную обработку почвы проводили плоскорезом (КПП-2-150) на глубину 25-27 см. Весеннее боронование вели при наличии небольшого количества стерни зубowymi боронами. Первую культивацию паров осуществляли на глубину 8-10 см стерневыми сеялками. Последующие три культивации проходили с уменьшением глубины на 1,5-2,0 см. Посев семян проводили сеялкой СЗС-2,1 на глубину 6-8 см. Норма высева всхожих семян по культурам следующая: яровая твёрдая пшеница – 3,5 млн шт/га, яровая мягкая пшеница и яровой ячмень – 4,0, суданская трава – 3,0 млн шт/га. Ранний срок посева яровых зерновых культур – 15-20 мая. Поздний срок посева суданской травы на паровом поле – 20-30 июня. На делянках высевали районированные сорта яровой твёрдой пшеницы, такие как Харьковская 46, Оренбургская 10 и Оренбургская 21; яровой мягкой пшеницы – Саратовская 42, Учитель, Варяг, Оренбургская 13; ячменя ярового Анна, Натали, Первоцелинник; суданской травы – Бродская 2, Волгоградская 77 и Юбилейная 20. Во второй декаде августа уборку зерна пшеницы и ячменя проводили прямым комбайнированием (Tertron SR2010) с одновременным измельчением и разбрасыванием соломы по полю, образуя мульчированный покров на почве. В фазе выметывания метёлки (третья декада августа) косили суданскую траву на сено с оставлением стерни на паровом поле. Агротехника полевых культур в севообороте рекомендуемая для данной зоны. Полевые и лабораторные наблюдения, учёт, отборы образцов, анализы проводили по общепринятым методическим указаниям.

Результаты и их обсуждение. Основным агрофизическим фактором плодородия почвы является плотность её сложения, которая зависит от технологических свойств и качества обработки. Важнейшие показатели плотности почвы – объёмная масса и общая пористость. Эти показатели влияют на режим почвы (водный, воздушный, питательный, тепловой) и концентрацию в ней физико-химических, химических и микробиологических процессов, что приводит к изменению урожайности полевых культур.

В результате проведённых исследований выявлено, что за две ротации четырёхполя изменяются плотность и общая пористость почвы в зависимости от вида севооборота и части склона (табл. 1).

Оптимальные показатели плотности и общей пористости почвы для выращивания полевых культур складываются в севообороте при применении почвозащитного пара и составляют после посева и уборки 1,04-1,14 г/см³ и 60,1-56,3 % соответственно. В почве зернопарового севооборота с чёрным паром по склону наблюдаются наибольшая объёмная масса (больше на 0,19-0,22

г/см³) и наименьшая (на 7,3-8,5 %) общая порозность. В общем плотность сложения и пористость по всем севооборотам и частям склона снижаются после уборки культур за счёт разуплотнения чернозёма в результате основной обработки почвы.

1. Влияние четырёхпольного севооборота и части склона на плотность и общую пористость пахотного (0-30 см) слоя чернозёма (в среднем за 2013-2020 г.)

Севооборот (фактор А)	Часть склона (фактор В)	Плотность почвы, г/см ³ *		Общая пористость, %
		после посева	после уборки	
Зернопаровой	Верхняя	1,35/1,30**		48,3/50,2
	Средняя	1,33/1,28		49,0/50,9
	Нижняя	1,30/1,25		50,2/52,1
Почвозащитный	Верхняя	1,14/1,11		56,3/57,5
	Средняя	1,11/1,08		57,5/58,6
	Нижняя	1,08/1,04		58,6/60,1
НСР ₀₅ по фактору А/В		0,01/0,02		0,33/0,40

*Удельная масса твёрдой фазы почвы (0-100 см) 2,61 г/см³.

**Перед чертой – после посева, после черты – после уборки.

Наблюдения показали, что применение глубокой плоскорезной обработки почвы под сельскохозяйственные культуры севооборота приводит к наилучшей плотности сложения и общей пористости в нижней части склона. В почве почвозащитного севооборота в нижней части склона отмечается объёмная масса после посева и уборки на 0,21-0,22 г/см³ ниже и общая порозность – на 8,0-8,4 % выше по сравнению с зернопаровым четырёхполем.

Плодородие характеризуется структурой пахотного слоя, определяющей водные, воздушные, физико-механические и технологические свойства почвы. Комплекс агрегатов разных формы, размера и качественного состава определяют структуру почвы. В результате возделывания различных полевых культур в севооборотах, многократной обработки почвы и поступления в неё пожнивных, корневых остатков и соломы происходит разрушение чернозёма и образование (оструктуривание) агрегатов почвенной массы.

Установлено, что применение почвозащитного пара в севообороте по склону приводит к наименьшим показателям микроагрегатного состава слоя почвы 0-30 см и составляет от 6,9 до 42,9 % (табл. 2).

2. Влияние севооборота с короткой ротацией и части склона на микроагрегатный состав пахотного слоя чернозёма (в среднем за 2013-2020 г.)

Горизонт, см	Гранулометрический состав почвы, мм	Содержание микроагрегатной фракции, %		
		часть склона		
		верхняя	средняя	нижняя
0-30	0,25-0,05	20,0/18,8	17,7/16,6	16,0/14,9
	0,05-0,01	44,5/42,4	43,0/42,3	43,5/42,2
	0,01-0,005	9,2/8,1	8,6/7,6	8,0/6,9
	0,005-0,001	17,3/16,2	15,3/14,2	15,0/13,8
	<0,001	23,3/21,8	20,5/19,2	16,2/15,0
	∑ <0,01	44,6/42,9	42,4/41,0	39,4/38,7
	Среднее	26,5/25,0	24,6/23,5	23,0/21,9
НСР ₀₅				0,68 ¹ 0,84 ²

Примечания. 1. Перед чертой – зернопаровой севооборот, после черты – почвозащитный.

2. НСР₀₅ по фактору А (вид севооборота), ² НСР₀₅ по фактору В (часть склона).

Применение в севообороте чёрного пара по сравнению с почвозащитным увеличивает содержание в слое 0-30 см пылевидных частиц размером менее 0,25 мм, соответственно, на 1,5 % в верхней и на 1,1 % в средней и нижней частях склона, за счёт интенсивной обработки почвы, что снижает запасы гумуса. Почвозащитный севооборот ведёт к наилучшему структурно-агрегатному состоянию пахотного слоя почвы в нижней части, в сравнении с другими частями склона, в результате снижения эрозионных процессов.

Использование в севообороте почвозащитного пара и плоскореза (КПГ-2-150) в системе основной обработки способствует улучшению структурного состояния почвы и наибольшему накоплению в ней органического вещества.

Изучаемые факторы (вид севооборота и часть склона) оказывают значительное влияние на количество поступившего органического вещества (пожнивные, корневые остатки и солома) и гумуса в пахотном горизонте почвы (табл. 3).

3. Влияние севооборота и части склона на содержание органического вещества и гумуса в пахотном слое чернозёма, % (в среднем за 2013-2020 г.)

Вид севооборота	Часть склона	За две ротации севооборота	
		всего органического вещества*	содержание гумуса**
Зернопаровой	Верхняя	10,3	3,17
	Средняя	11,1	3,21
	Нижняя	12,8	3,69
Почвозащитный	Верхняя	13,3	4,18
	Средняя	14,5	4,25
	Нижняя	15,6	4,34

* В органическое вещество входят пожнивные, корневые остатки и солома. ** Содержание гумуса в залежи (многолетние травы) 4,45 %.

В почве опытного участка почвозащитного стационара до внедрения четырёхпольных севооборотов содержалось 13,0 % органического вещества и 4,0 % гумуса. В результате наблюдений установлено, что вид севооборота и часть склона влияли на содержание органического вещества и гумуса в пахотном слое почвы. За две ротации зернопарового севооборота с чёрным паром количество органики почвы в зависимости от части склона стало ниже: в верхней части на 2,7 %, средней – 1,9, нижней – 0,2 % и гумуса, соответственно, на 0,83; 0,79 и 0,31 %.

В результате полевых опытов определено, что наибольшее снижение содержания органического вещества и гумуса, соответственно, до 10,3 и 3,17 % в слое 0-30 см отмечается в верхней части склона при плоскорезной обработке почвы в зернопаровом севообороте. Это объясняется тем, что в верхней части склона создаются благоприятные условия для минерализации гумуса (биологическая эрозия) при основной обработке почвы.

Накопление в почве пожнивных и корневых остатков суданской травы положительно влияет на содержание органического вещества и устойчивость гумуса во всех частях склона. В залежи многолетних трав происходит накопление и сохранение гумуса до 4,45 %. За восемь лет исследований в почвозащитном севообороте в системе основной обработки почвы наибольшее количество органического вещества было в нижней части – 15,6 % и гумуса – 4,34 %. Применение почвозащитного пара и плоскорезной обработки почвы под полевые культуры севооборота в нижней части склона в системе кон-

турно-полосного земледелия восточной зоны Оренбургского Зауралья улучшает агрофизические свойства чернозёма.

Важнейший показатель продуктивности полевых культур в севообороте – выход зерна и энергетических кормовых единиц (ЭКЕ) с 1 га пашни. Проведённые наблюдения показали, что вид севооборота и часть склона оказывают воздействие на продуктивность сельскохозяйственных культур (табл. 4).

4. Продуктивность полевых культур в зависимости от вида севооборота и части склона, т/га (в среднем за 2013-2020 г.)

Вид севооборота (фактор А)	Часть склона (фактор В)	Твёрдая пшеница	Мягкая пшеница	Ячмень	Сбор зерна и ЭКЕ
Зернопаровой	Верхняя	0,78/0,58	0,88/0,67	0,95/0,65	2,61/1,90
	Средняя	1,00/0,67	0,95/0,73	1,05/0,74	3,00/2,14
	Нижняя	1,12/0,74	1,09/0,82	1,26/0,85	3,47/2,41
Почвозащитный*	Верхняя	0,93/0,70	1,14/0,86	1,17/0,79	3,24/3,77
	Средняя	1,14/0,78	1,24/0,97	1,31/0,92	3,69/4,47
	Нижняя	1,33/0,90	1,50/1,14	1,55/1,05	4,38/5,14
НСП ₀₅ (фактор А)		0,08	0,05	0,06	
НСП ₀₅ (фактор В)		0,10	0,06	0,08	

* Выход энергетических кормовых единиц (ЭКЕ) суданской травы составляет в верхней части склона 1,42 т/га, средней – 1,80, нижней – 2,05 т/га.

Примечание. Перед чертой – выход зерна, после черты – выход энергетических кормовых единиц.

В среднем за восемь лет исследований наибольшая продуктивность зерновых культур наблюдается в почвозащитном севообороте в нижней части склона. Более высокая продуктивность твёрдой пшеницы после почвозащитного пара – выход зерна составляет 1,33 и ЭКЕ – 0,90 т/га. Максимальный выход зерна и энергетических кормовых единиц отмечается по мягкой пшенице – 1,50 и 1,14 т/га в сравнении с возделыванием в севообороте с чёрным паром. Наиболее высокая продуктивность ячменя при возделывании в севообороте с почвозащитным паром: выход зерна 1,55 и ЭКЕ – 1,05 т/га в отличии от других частей склона. Почвозащитный пар в севообороте имеет дополнительную продукцию в виде зелёной высокостебельной массы суданской травы, выраженную в энергетических кормовых единицах и составляет в верхней части склона 1,42 т/га, средней – 1,80, нижней – 2,05 т/га.

В среднем за две ротации четырёхполья в зависимости от части склона и с учётом дополнительной продукции суданской травы наибольший сбор зерна и энергетических кормовых единиц отмечен в севообороте с почвозащитным паром при применении глубокой плоскорезной обработки почвы. По частям склона в почвозащитном севообороте сбор зерна составляет: в верхней – 3,24, средней – 3,69, нижней – 4,38 т/га и, соответственно, ЭКЕ – 3,77; 4,47 и 5,14 т/га. При использовании чёрного пара в зернопаровом севообороте сбор зерна снижается до 2,61 и ЭКЕ – до 1,90 т/га.

В сельскохозяйственном производстве для увеличения зерновой, кормовой продукции и плодородия на склоновых почвах, доступных воздействию эрозии, предпочтительно внедрять почвозащитный севооборот (занятый пар с посевом суданской травы → яровая твёрдая пшеница → яровая мягкая пшеница → яровой ячмень) с оставлением стерни на паровом поле. При истощении земель для восстановления плодородия почвы необходимо высевать многолетние травы.

Выводы. 1. Наилучшие показатели плотности и общей пористости почвы после посева и уборки полевых культур 1,08-1,04 г/см³ и 58,6-60,1 % создаются при применении в севообороте почвозащитного пара в нижней части склона. В зернопаровом севообороте увеличивается объёмная масса до 1,35 г/см³ и уменьшается общая порозность до 48,3 % за счёт интенсивной обработки почвы и проявления усиленной ветровой и водной эрозии чернозёма в верхней части склона.

2. Глубокая плоскорезная обработка почвы в почвозащитном севообороте снижает микроагрегатный состав пахотного слоя в нижней части склона по сравнению с другими в результате усиленной защиты от ветровой и водной эрозии. Особенно, содержание агрегатов размером 0,01-0,005 мм, которое уменьшается до 6,9 % в сравнении с зернопаровым севооборотом.

3. Наибольшее уменьшение органического вещества и гумуса, соответственно, до 10,3 и 3,17 % в пахотном слое наблюдается в верхней части склона на основании повышенной минерализации (биологическая эрозия) и при применении глубокой плоскорезной обработки почвы в севообороте с чёрным паром.

4. Пожнивные и корневые остатки суданской травы в почвозащитном севообороте увеличивают содержание органического вещества до 15,6 % и гумуса – до 4,34 % в нижней части склона. Таким образом, использование в севообороте почвозащитного пара и плоскорезного орудия (КПГ-2-150) под зерновые культуры в нижней части склона в системе контурно-полосного земледелия приводит к улучшению агрофизических свойств почвы.

5. Более высокая продуктивность обеспечена в почвозащитном севообороте с учётом дополнительной продукции суданской травы. Максимальный сбор зерна и энергетических кормовых единиц в почвозащитном севообороте наблюдается в нижней части склона и составляет, соответственно, 4,38 и 5,14 т/га. Низкий сбор зерна отмечен в севообороте с чёрным паром в верхней части склона, соответственно, 2,61 и 1,90 т/га.

6. В результате улучшения агрофизических свойств и

состояния почвы, сохранения и повышения плодородия в нижней части склона происходит увеличение продуктивности полевых культур в почвозащитном севообороте.

Литература

1. Беседин Н.В. Влияние приёмов биологизации земледелия на плодородие почвы в зернопаропропашном севообороте / Н.В. Беседин, С.С. Балабанов, Н.И. Картамышев и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №9. – С. 43-45.
2. Кафтан Ю.В. Агрофизические свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур в севооборотах / Ю.В. Кафтан, Н.А. Зенкова // [Известия Оренбургского государственного аграрного университета](#). – 2019. – №3 (77). – С. 27-30.
3. Козлова Л.М. Севооборот как биологический приём сохранения почвенного плодородия и повышения продуктивности пашни / Л.М. Козлова, Т.С. Макарова, Ф.А. Попов и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №1. – С. 16-18.
4. Максютов Н.А. Ресурсосберегающие почвозащитные приёмы и технологии обработки почвы, повышение её плодородия, урожайности и качества продукции в полевых севооборотах Оренбуржья / Н.А. Максютов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – №1 (51). – С. 19-21.
5. Максютов Н.А. Агротехнические приёмы предотвращения эрозийных процессов в степной зоне Южного Урала / Н.А. Максютов, А.А. Зоров, В.Ю. Скороходов и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – №3(83). – С. 9-13.
6. Максютов Н.А. Основные показатели плодородия чернозёма южного на склонах степной зоны Оренбургского Зауралья / Н.А. Максютов, Д.В. Митрофанов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2018. – №2. – 7 с. [Электронный ресурс] URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2018-2/Articles/NAM-2018-2.pdf>.
7. Митрофанов Д.В. Повышение плодородия почвы и пути его сбережения на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / Д.В. Митрофанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – №5 (37). – С. 27-30.
8. Насиев Б.Н. Приёмы повышения плодородия темно-каштановых почв / Б.Н. Насиев // Плодородие. – 2012. – №3. – С. 14-16.
9. Новоселов С.И. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота / С.И. Новоселов, А.Н. Кузьминых, Р.В. Еремеев // Плодородие. – 2019. – №6. – С. 22-25.
10. Скороходов В.Ю. Образование и содержание гумуса на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Н.А. Зенкова // Плодородие. – 2019. – №6. – С. 28-32.

SOIL FERTILITY AND PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS DEPENDING ON THE CROP ROTATION AND PART OF THE SLOPE ON THE SOIL PROTECTION EXPERIMENTAL SITE

*D.V. Mitrofanov,
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the
Russian Academy of Sciences
29, 9 January Street, Orenburg, 460000, Russia, e-mail: dvm.80@mail.ru*

The influence of four-field crop rotations and parts of the slope on the agrophysical properties, microaggregate composition of southern chernozems, the content of organic matter, humus and productivity of field crops in the arid conditions of the eastern zone of the Orenburg Trans-Urals was revealed. It was found that the use of soil protection rotation and deep flat-cut tillage for field crops on the lower part of the slope provided an improvement in the agrophysical properties of heavy loamy chernozem and positively affected the increase in productivity. The use of soil-protective steam in crop rotation compared to black on the arable slope increased the total yield of grain and energy feed units of durum wheat by 0.30 tons (31 %), soft wheat by 0.57 tons (49.5%) and barley by 0.43 tons (37.9%) from 1 ha.

Key words: grain-pair crop rotation, soil-protective crop rotation, part of the slope, flat-cut tillage, soil density, total soil porosity, microaggregate composition of the soil, soil fertility, productivity, grain, energy feed unit.