
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕВООБОРОТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР

**Анатолий Владимирович Дедов
Марина Анатольевна Несмеянова**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

В многофакторном стационарном опыте проведены исследования по изучению влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур при использовании различных приёмов органического земледелия. Проведённые исследования показали, что после первой ротации севооборота при размещении озимой пшеницы по различным парам на фоне внесения органических удобрений получено в среднем 2,37–3,14 т/га зерна. При этом более высокой урожайность была при размещении по чистому пару, что свидетельствует о возможности чернозёмных почв формировать хороший урожай без применения техногенных средств. Совместное применение органических и минеральных удобрений повышало урожайность озимой пшеницы на 1,15 т/га (на 37%). Сахарная свёкла, более требовательная к плодородию почвы культура, сильно реагирует на его изменение. Результаты свидетельствуют о большой роли лабильного органического вещества в создании оптимальных условий для формирования массы корнеплодов. Насыщение севооборотов бобовыми культурами при использовании сидератов, запашке соломы озимой пшеницы, внесении в среднем 10 т навоза на 1 га позволяет получить 30 т/га корнеплодов сахарной свёклы и более 30 т/га зелёной массы кукурузы на силос. Дополнение биологических факторов плодородия техногенными обеспечивает увеличение урожайности всех культур севооборота. Показано, что для повышения плодородия чернозёмных почв необходимо использовать такие приёмы биологизации, как введение в структуру посевных площадей севооборота многолетних бобовых трав, использование бинарных посевов с многолетними бобовыми травами, возделывание пожнивных сидеральных культур, замена чистого пара на сидеральный, запашка соломы зерновых культур на удобрение. При отказе от использования средств защиты растений и минеральных удобрений отмечали недобор урожая культур по всем севооборотам, поэтому переход на органические методы хозяйствования может быть оправданным при оказании господдержки, покрывающей снижение прибыли сельхозтоваропроизводителей органической продукции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: севооборот, приёмы биологизации земледелия, приёмы обработки почвы, органическое вещество, чернозём типичный, продуктивность севооборотов.

STUDIES OF THE INFLUENCE OF CROP ROTATION ON THE CONTENT OF SOIL ORGANIC MATTER AND THE CROP PRODUCTIVITY

**Anatoliy V. Dedov
Marina A. Nesmeyanova**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The authors have conducted a multi-factor stationary experiment to study the effect of crop rotation on the content of organic matter and crop yields using various techniques of organic farming. Among these techniques the leading one should be the saturation of crop rotation with legumes. The performed research has shown that after the first rotation cycle when winter wheat was sown after various fallows on the background of application of organic fertilizers the average yield of grain amounted to 2.37–3.14 t/ha. The yield was higher when winter wheat was sown after complete fallow, which indicates the capability of chernozem soils to produce good crop yields without the use of man-made means. The combined use of organic and mineral fertilizers increased the yield of winter wheat by 1.15 t/ha, or by 37%. Sugar beet being more demanding of soil fertility is highly responsive to its changes. The experimental results indicate a great role of labile organic matter in creating the optimal conditions for the formation of root crops mass. Saturation of crop rotations with legumes by green manuring, winter wheat straw plowback, or application of manure at an average rate of 10 tons per 1 ha of crop rotation area allows obtaining 30 t/ha of sugar beet roots and more than 30 t/ha of green maize for silage. When biological factors of fertility are complemented with technogenic ones (e.g. mineral fertilizers) the yield of all crops in the rotation increases. Thus, in order to increase the fertility of chernozem soils it is necessary to use different techniques of biologization, e.g. introduction of perennial legumes into the structure of crop rotation areas, application of binary plantings with perennial legumes, cultivation of break postharvest crops, replacement of complete

fallow by green-manured one, plowback of such nonmarketable part of yield as straw for fertilizer. When plant protection products and mineral fertilizers were not applied, the authors noted a shortfall in crop yields in all crop rotations. Therefore, the transition to organic farming techniques may be justified in cases when state support is provided to cover the decline in profits of agricultural producers of organic products.

KEYWORDS: crop rotation, agricultural biologization techniques, soil tillage techniques, organic matter, typical chernozem, crop rotation productivity.

Введение

Проблемы организации земледелия в ЦЧР обусловлены не только большим количеством возделываемых сельскохозяйственных культур, но и значительным удельным весом в структуре посевных площадей высокоинтенсивных пропашных культур.

В настоящее время для сохранения и повышения плодородия чернозёмных почв необходимо совершенствовать технологии возделывания, основанные на использовании различных приёмов биологизации [1, 3–4, 6–9, 11–12]. По мнению многих исследователей, важным источником поступления органического вещества в почву являются корневые и пожнивные растительные остатки, актуальность использования которых возрастает в связи с ограниченными возможностями сельскохозяйственных предприятий приобретать органические и минеральные удобрения. Научно обоснованные севообороты с многолетними бобовыми травами позволяют поддерживать бездефицитный баланс органического вещества в почве без внесения удобрений или при их ограниченном применении за счёт поступления в почву пожнивных остатков.

Представлены результаты исследований, проведённых с целью установления степени и характера изменения содержания органического вещества и гумуса при различных приёмах органического земледелия, а также выявления лучших вариантов, обеспечивающих сохранение плодородия чернозёмов.

Методика исследования

Приёмы воспроизводства плодородия чернозёма изучаются сотрудниками кафедры земледелия Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I в многофакторных стационарных и краткосрочных опытах, разработанных профессорами М.И. Сидоровым и Н.И. Зезюковым в соответствии с утверждённым тематическим планом. Так, в 1990 г. был заложен опыт по изучению продуктивности севооборотов с различным насыщением бобовыми культурами.

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный тяжелосуглинистый средне-мощный с содержанием гумуса 3,0–3,2% (слой 0–30 см). Содержание подвижного фосфора – 6,8–13 мг/100 г почвы (по Чирикову), содержание обменного калия – 16–28 мг/100 г почвы (по Масловой). Насыщенность основаниями – 85%. Величина pH – 6,3.

Полевой опыт был заложен по общепринятой методике [5]. Общая площадь делянки составляла 200 м², учётной – 100 м².

Опыты проводили как на органическом фоне, так и на органо-минеральном. Навоз вносили под сахарную свёклу в дозе 70 т/га, минеральные удобрения – в следующих дозах, кг/га д. в.: (NPK)₁₅₀ – под сахарную свёклу и кукурузу на силос, (NPK)₁₂₀ – под озимую пшеницу, (NPK)₉₀ – под ячмень, (PK)₉₀ – под люцерну, сою, горох.

Также в качестве удобрения использовали солому озимой пшеницы, гороха и сои в измельчённом виде. После уборки озимых высевали горчицу сарептскую в качестве поживного сидерата. Многолетние травы и сою выращивали с междурядьями 45 см.

В севооборотах применяли следующие способы обработки почвы:

- под сахарную свёклу, кукурузу – отвальная вспашка на глубину 25–27 см;
- под сою – плоскорезная обработка на глубину 23–25 см;
- чистый пар – плоскорезная обработка на глубину 20–22 см;
- под зерновые культуры – поверхностная обработка на глубину 12–14 см.

Схемы севооборотов с различным насыщением бобовыми культурами приведены в таблице 1.

Таблица 1. Схемы севооборотов с различным насыщением бобовыми культурами

Севооборот 1 (28-72-0)*	Севооборот 2 (28-28-44)*
Сидеральный пар (донник) – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – горох – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – кукуруза на силос – ячмень + донник	Занятый пар (эспарцет) – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – люцерна 1-го года жизни – люцерна 2-го года жизни – кукуруза на силос – ячмень + эспарцет
Севооборот 3 (28-44-28)	Севооборот 4 (57-43-0)*
Занятый пар (в/овёс) – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – люцерна 1-го года жизни – люцерна 2-го года жизни – кукуруза на силос – соя	Чёрный пар – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – горох – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – кукуруза на силос – соя

Примечание: * – первая цифра – процент пропашных и чистого пара, вторая – зерновых и однолетних трав, третья – многолетних трав.

На посевах сои, сахарной свёклы, кукурузы на силос проводили две междурядные обработки почвы.

Технология возделывания культур севооборота была общепринятой для лесостепи ЦЧР, за исключением изученных приёмов.

Содержание растительных остатков определяли по Станкову [10], общего гумуса – по Тюрину, детрита – по методике ТСХА.

После отмывки растительных остатков и их высушивания в них определяли содержание углерода по Анстету, азота, фосфора и калия – колориметрически на пламенном фотометре [2].

Отбор почвенных проб проводили ежегодно в следующие фазы:

- озимая пшеница – отрастание, уборка;
- ячмень, соя, кукуруза – посев, уборка;
- многолетние травы и пар – отрастание многолетних трав, перед посевом озимой пшеницы.

Образцы почвы отбирали по слоям 0–30 см.

В модельном полевом опыте 2 изучали темпы разложения биомассы культур севооборотов. В капроновые сетчатые мешочки размером 15 × 30 см помещали 0,6 кг абсолютно сухой почвы, которую предварительно просеивали через сито с диаметром отверстий 3 мм. Все образцы сразу же заделывали в пахотный слой 0–30 см почвы. Повторность опыта трёхкратная.

Почву участка в течение вегетационного периода поддерживали в чистом от сорняков состоянии. Отмывку образцов проводили через год методом декантации, растительные остатки отделяли от почвы водой, сливая через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Отмытую массу растительных остатков высушивали в термостате ($t \leq 70^\circ\text{C}$) до абсолютно сухого состояния, а затем взвешивали. Скорость разложения биомассы определяли по убыли массы органического вещества за указанный период.

Уборку урожая зерновых и зернобобовых культур в севооборотах проводили комбайном «Сампо», сахарной свёклы, кукурузы, многолетних и однолетних трав – вручную. Урожай с учётных делянок пересчитывали на 100% чистоту и стандартную влажность.

Результаты исследований обрабатывали методами дисперсионного анализа с использованием типовых программ [5].

Годы исследований были различными по гидротермическим условиям:

- 1992, 1995, 1998, 1999 гг. – засушливые (ГТК 0,75–0,82);
- 1991, 1996, 1997, 2001, 2002 гг. – недостаточно увлажнённые (ГТК 1,0–1,13);
- 1993, 1994, 2000 гг. – влажные (ГТК 1,4–1,5);
- 1990 г. – избыточно увлажнённый (ГТК 2,2),

Результаты и их обсуждение

Одной из основных задач, стоящих перед органическим земледелием, является формирование бездефицитного баланса органического вещества в почве. Важная роль в

решении данной задачи отводится растительным остаткам, поступающим в почву после уборки культур севооборотов [6–10].

Исследованиями установлено, что содержание растительных остатков в пахотном слое почвы зависит от набора культур и вида пара в севообороте.

Отмечены следующие значения показателя поступления растительных остатков в пахотный слой соответственно на органо-минеральном и органическом фоне:

- при замене чистого пара на сидеральный и посеве вместо сои ячменя (севооборот 1) – 3,7 и 3,5 т/га;

- при уменьшении площади посева пропашных культур до 28%, а также площадей посева однолетних трав и зерновых культур до 28% и увеличении многолетних трав до 44% (севооборот 2) – 4,5 и 4,0 т/га;

- при уменьшении площади посева пропашных культур и чистого пара до 28%, увеличении площадей посева однолетних трав и зерновых культур до 44% и многолетних трав до 28% (севооборот 3) – 4,2 и 3,8 т/га;

- при максимальном насыщении севооборота 4 (контроль) пропашными культурами (43%) и чистым паром (57%) – соответственно 3,5 и 3,0 т/га.

Разложение растительных остатков

Поступившие в почву после уборки растительные остатки возделываемых культур (солома, биомасса сидератов) подвергались процессу разложения, темпы которого зависели не только от вида остатков, но и года возделывания той или иной культуры (табл. 2).

Таблица 2. Скорость разложения растительных остатков сельскохозяйственных культур (модельный полевой опыт)

Вид остатков (культура, смесь культур)	Разложилось от исходного, %			
	за 1-й год	за 2 года	за 3 года	за 4 года
Солома ячменя	26,0	78,8	83,8	94,2
Солома озимой пшеницы (C _{оз})	25,0	71,9	86,5	98,1
Солома сои	57,6	69,8	80,3	97,4
Солома яровой вики	56,9	73,4	83,5	96,2
Солома гороха	60,5	72,8	86,4	95,5
C _{оз} + горчица сарептская (ГC _п)	38,0	79,8	97,7	98,1
C _{оз} + минеральные удобрения (N ₁₀)	40,3	76,6	83,4	93,5
Эспарцет 1-го года жизни	60,0	80,3	96,0	97,3
Эспарцет 2-го года жизни	69,5	82,4	91,5	98,8
Люцерна 1-го года жизни	66,0	88,4	97,9	98,5
Люцерна 2-го года жизни	62,4	83,1	92,7	96,8
Донник 2-го года жизни	58,9	77,8	92,5	95,8
Горчица сарептская (ГC _п)	82,0	91,1	97,1	98,6
Редька масличная	83,6	90,2	93,4	96,7
Ботва сахарной свёклы	55,2	77,3	80,6	98,2
Кукуруза на силос	49,2	82,7	94,6	97,8
НСП ₀₅	1,29	1,54	1,72	1,96

В первый год наиболее интенсивно разлагались послеуборочные остатки редьки масличной (83,6%) и горчицы сарептской (82,0%), медленнее – озимой пшеницы (25,0%), ячменя (26,0%), кукурузы на силос (49,2%), сахарной свёклы (55,2%), яровой вики (56,9%), сои (57,6%), гороха (60,5%).

Темпы разложения растительных остатков многолетних бобовых трав зависели от года их возделывания. Так, за первый год разложилось 58,9–69,5%, за четыре года – 95,8–98,8%. При этом следует отметить, что чем старше были многолетние травы, тем медленнее разлагались их растительные остатки.

При добавлении к соломе озимой пшеницы пожнивного сидерата (биомасса горчицы сарептской) растительные остатки разлагались быстрее – уже в течение первого года разложилось 38,0% (увеличение на 13,0%), а при добавлении минеральных удобрений – 40,3% (увеличение на 15,3%).

Темпы разложения смеси растительных остатков культур за четыре года снижались в следующем убывающем порядке:

- эспарцет 2-го года жизни (98,8%);
- горчица сарептская (98,6%);
- люцерна 1-го года жизни (98,5%);
- сахарная свёкла (98,2%);
- озимая пшеница (98,1%);
- кукуруза на силос (97,8%);
- соя (97,4%);
- донник 1-го года жизни (97,3%);
- люцерна 2-го года жизни (96,8%);
- редька масличная (96,7%);
- яровая вика (96,2%);
- донник 2-го года жизни (95,8%);
- ячмень (94,2%).

При смешивании соломы озимой пшеницы с пожновым сидератом горчицы сарептской за четыре года разложилось 98,1% исходной биомассы, а при смешивании биомассы соломы озимой пшеницы с минеральным азотом – 93,5%.

Проведённые исследования показали, что растительные остатки культур севооборотов различаются между собой по содержанию углерода, азота, фосфора и калия (табл. 3).

**Таблица 3. Химический состав растительных остатков культур
(модельный полевой опыт)**

Вид остатков (культура, смесь культур)	Содержание питательных элементов в растительных остатках культур, %				Соотношение С : N
	С	N	P	K	
Эспарцет 1-го года жизни	35	1,46	0,28	1,35	24,3
Эспарцет 2-го года жизни	38	1,68	0,28	1,37	22,6
Люцерна 1-го года жизни	39	1,12	0,28	1,41	34,8
Люцерна 2-го года жизни	41	1,75	0,28	1,37	23,4
Донник 2-го года жизни	39	1,12	0,28	1,41	34,8
Солома яровой вики	46	1,23	0,24	0,57	37,3
Солома ячменя	48	0,58	0,27	1,10	83,0
Солома гороха	44	1,28	0,26	0,44	34,3
Солома сои	35	1,22	0,30	0,42	28,7
Солома озимой пшеницы (C ₀₃)	48	0,56	0,12	0,91	86,0
C ₀₃ + минеральные удобрения (N ₁₀)	48	0,71	0,13	0,90	67,6
C ₀₃ + горчица сарептская (ГС _п)	41	0,71	0,25	1,05	57,7
Редька масличная	40	0,75	0,20	0,84	53,3
Горчица сарептская (ГС _п)	35	0,85	0,22	1,20	41,1
Кукуруза на силос	45	1,08	0,24	1,15	41,7
Ботва сахарной свёклы	34	1,66	0,25	2,24	20,5
НСР ₀₅	0,3	0,14	0,06	0,10	-

Больше азота содержалось в растительных остатках люцерны 2-го года жизни (1,75%), эспарцета 2-го года жизни (1,68%), ботве сахарной свёклы (1,66%), эспарцета 1-го года жизни (1,46%). В биомассе других культур содержание азота варьировало от 0,56 до 1,28%.

Показатели содержания фосфора в растительных остатках культур практически не отличались, находясь в пределах 0,20–0,30%, исключением являлись варианты использования растительных остатков озимой пшеницы (0,12%) и смешивания биомассы соломы озимой пшеницы с минеральным азотом (0,13%).

Меньше всего калия было в растительных остатках (соломе) сои (0,42%), гороха (0,44%), яровой вики (0,57%). По остальным культурам содержание этого элемента варьировало от 0,84 до 2,24%.

Многие учёные для оценки скорости разложения растительных остатков используют значения содержания в них углерода и азота, а также соотношение этих элементов (C : N). К настоящему времени установлено, что скорость разложения растительных остатков достигает своего максимума при соотношении C : N ниже 25.

Проведённые исследования показали, что растительные остатки культур севооборотов различаются по содержанию углерода и азота.

В остатках бобовых трав, зернобобовых культур, ботве сахарной свёклы соотношение C : N варьировало от 20,5 до 34,8. Благодаря такому узкому соотношению эти остатки способны к быстрой минерализации. Сразу же после их заделки начинается бурный микробный процесс [9], в результате чего большая часть биомассы разлагается, что создаёт благоприятные условия для роста и развития последующих культур севооборота.

В соломе зерновых культур, кукурузе на силос, горчице сарептской соотношение C : N составляло от 41,1 до 86,0, поэтому эти остатки разлагались медленно. При смешивании биомассы зерновых культур с пожнивным сидератом содержание азота повышалось, соотношение C : N становилось уже, поэтому скорость разложения увеличивалась.

Содержание детрита

В стационарном опыте при внесении удобрений в почву увеличивалась масса негумифицированных растительных остатков, при разложении которых образуется детрит (табл. 4).

Таблица 4. Влияние насыщенности севооборотов различными группами культур на содержание детрита и гумуса в пахотном слое почвы (среднее за 1990–2002 гг.)

Схема севооборота	Содержание детрита, %	Содержание гумуса, %		
		исходное	через 13 лет	отклонение от исходного
1. Сидеральный пар (донник) – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – горох – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – кукуруза на силос – ячмень + донник	<u>0,108</u> 0,123	<u>3,16</u> 3,02	<u>3,28</u> 3,11	<u>+0,12</u> +0,09
2. Занятый пар (эспарцет) – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – люцерна 1-го года жизни – люцерна 2-го года жизни – кукуруза на силос – ячмень + эспарцет	<u>0,114</u> 0,128	<u>3,12</u> 3,03	<u>3,32</u> 3,30	<u>+0,20</u> +0,27
3. Занятый пар (в/овёс) – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – люцерна 1-го года жизни – люцерна 2-го года жизни – кукуруза на силос – соя	<u>0,118</u> 0,165	<u>3,28</u> 3,06	<u>3,48</u> 3,35	<u>+0,20</u> +0,29
4. Чёрный пар – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – сахарная свёкла – горох – озимая пшеница + пожнивной посев горчицы сарептской – кукуруза на силос – соя	<u>0,136</u> 0,165	<u>3,10</u> 3,06	<u>3,11</u> 3,10	<u>+0,01</u> +0,04

Примечание: числитель – на органо-минеральном фоне; знаменатель – на фоне органических удобрений.

На фоне внесения органо-минеральных удобрений содержание детрита было самым высоким в севообороте 4 (в среднем 0,136%), в севооборотах 3, 2 и 1 значения этого показателя были ниже – соответственно 0,118%, 0,114% и 0,108%.

На фоне внесения только органических удобрений детрита накапливалось больше всего в севооборотах 4 и 3 с люцерной (0,165%), в севооборотах 2 и 1 значения этого показателя были меньше – соответственно 0,128 и 0,123%.

Содержание гумуса

На основании результатов проведённых исследований можно говорить о достоверных изменениях показателя содержания гумуса в пахотном слое почвы под влиянием изучаемых приёмов.

В полевых опытах установлено, что в севообороте 4 (контроль) при максимальном насыщении севооборота пропашными культурами и чистым паром (57%) содержание гумуса, определённое через 13 лет, было самым низким:

- на фоне внесения органо-минеральных удобрений – 3,11%;
- на фоне внесения органических удобрений – 3,10% (табл. 4).

При меньшем насыщении пропашными культурами и чистым паром процессы минерализации гумуса снижаются.

Отмечены следующие значения показателя увеличения массы гумуса по сравнению с исходным соответственно на органо-минеральном и органическом фоне:

- в севообороте 1 при уменьшении площади посева пропашных культур до 28%, увеличении площади посева зерновых культур до 72% и замене чистого пара на сидеральный – соответственно на 0,12 и 0,09%;
- в севообороте 2 при введении в структуру севооборота многолетних бобовых трав (44%) и уменьшении площадей посева пропашных культур до 28% и зерновых культур до 28% – соответственно на 0,20 и 0,27%;
- в севообороте 3 при уменьшении площади посева пропашных культур и чистого пара до 28%, увеличении площадей посева однолетних трав и зерновых культур до 44% и многолетних трав до 28% – соответственно 0,20 и 0,29%.

Такое увеличение массы гумуса объясняется, по нашему мнению, большим поступлением растительных остатков и их лучшей минерализацией.

Урожайность культур

В ходе проведённых исследований получены следующие данные урожайности культур севооборотов (табл. 5).

Высокой урожайность зерна озимой пшеницы была в севообороте 4 при её размещении по чистому пару: на органо-минеральном фоне – 3,99 т/га, на органическом – 3,19 т/га; при размещении после гороха – соответственно 3,79 и 2,68 т/га, что свидетельствует о возможности чернозёмных почв формировать хороший урожай. На остальных вариантах опыта показатели урожайности озимой пшеницы варьировали в следующих интервалах: на органо-минеральном фоне – от 2,73 до 3,72 т/га, на органическом – от 2,40 до 3,33 т/га.

Сахарная свёкла, более требовательная к плодородию почвы культура, сильно реагирует на его изменение. Проведённые исследования показали, что урожайность корнеплодов была выше в севообороте 2: на органо-минеральном фоне – 40,5 т/га, на органическом – 33,4 т/га. На остальных вариантах опыта урожайность сахарной свёклы изменялась следующим образом: на органо-минеральном фоне – от 32,9 до 38,2 т/га, на органическом – от 26,8 до 30,5 т/га. Полученные результаты свидетельствуют о значительной роли лабильного органического вещества в создании оптимальных условий для формирования массы корнеплодов.

Таблица 5. Урожайность культур севооборотов при различном насыщении бобовыми культурами

Культуры севооборота	Среднее, т/га	Снижение урожая культур органической системы удобрения по отношению к органо-минеральной, %	Культуры севооборота	Среднее, т/га	Снижение урожая культур органической системы удобрения по отношению к органо-минеральной, %
Севооборот 1					
1. Сидеральный пар (донник)	$\frac{21,2}{14,7}$	$\frac{100}{-44,2}$	1. Занятый пар (в/овёс)	$\frac{18,8}{15,6}$	$\frac{100}{-20,5}$
2. Озимая пшеница	$\frac{3,72}{2,85}$	$\frac{100}{-45,8}$	2. Озимая пшеница	$\frac{3,53}{2,95}$	$\frac{100}{-19,6}$
3. Сахарная свёкла	$\frac{32,9}{30,5}$	$\frac{100}{-7,8}$	3. Сахарная свёкла	$\frac{38,2}{30,2}$	$\frac{100}{-26,4}$
4. Горох	$\frac{15,3}{14,0}$	$\frac{100}{-9,2}$	4. Люцерна 1	$\frac{12,1}{9,47}$	$\frac{100}{-27,7}$
5. Озимая пшеница	$\frac{3,44}{3,33}$	$\frac{100}{-3,3}$	5. Люцерна 2	$\frac{35,8}{31,1}$	$\frac{100}{-15,1}$
6. Кукуруза на силос	$\frac{34,3}{25,3}$	$\frac{100}{-35,5}$	6. Кукуруза на силос	$\frac{45,0}{37,2}$	$\frac{100}{-34,1}$
7. Ячмень	$\frac{3,05}{2,48}$	$\frac{100}{-22,9}$	7. Соя	$\frac{2,74}{2,31}$	$\frac{100}{-18,6}$
Севооборот 2					
1. Занятый пар (эспарцет)	$\frac{15,6}{13,8}$	$\frac{100}{-13,0}$	1. Чёрный пар	-	-
2. Озимая пшеница	$\frac{2,73}{2,40}$	$\frac{100}{-43,6}$	2. Озимая пшеница	$\frac{3,99}{3,19}$	$\frac{100}{-25,0}$
3. Сахарная свёкла	$\frac{40,5}{33,4}$	$\frac{100}{-42,6}$	3. Сахарная свёкла	$\frac{34,3}{26,8}$	$\frac{100}{-27,9}$
4. Люцерна 1	$\frac{11,7}{9,58}$	$\frac{100}{-22,1}$	4. Горох	$\frac{14,6}{11,3}$	$\frac{100}{-29,2}$
5. Люцерна 2	$\frac{25,9}{22,3}$	$\frac{100}{-2,4}$	5. Озимая пшеница	$\frac{3,79}{2,68}$	$\frac{100}{-41,1}$
6. Кукуруза на силос	$\frac{50,8}{37,8}$	$\frac{100}{-34,3}$	6. Кукуруза на силос	$\frac{45,8}{35,7}$	$\frac{100}{-28,3}$
7. Ячмень	$\frac{3,36}{2,62}$	$\frac{100}{-28,2}$	7. Соя	$\frac{2,01}{1,60}$	$\frac{100}{-25,6}$
Севооборот 3					
Севооборот 4					

Примечание: числитель – урожайность культур на фоне внесения органо-минеральных удобрений; знаменатель – на фоне органических удобрений.

Повышение плодородия почвы благоприятно сказывалось на увеличении урожайности кукурузы. Выше урожай зелёной массы кукурузы был после люцерны в севообороте 2: на органо-минеральном фоне – 50,8 т/га, на органическом – 37,8 т/га. В севообороте 1 при размещении кукурузы после озимой пшеницы количество силоса снижалось на органо-минеральном фоне на 16,5 т/га, на органическом фоне – на 12,5 т/га. При размещении кукурузы после люцерны в севообороте 3 урожайность на органо-минеральном фоне составила 45,0 т/га, на органическом – 37,2 т/га, а при размещении после сои – соответственно 45,1 и 37,2 т/га. Таким образом, эту культуру целесообразнее возделывать в кормовом зернотравяном севообороте, насыщенном многолетними бобовыми травами.

Люцерну возделывали в севооборотах 2 и 3, высевая её весной беспокровно после сахарной свёклы. В первый год жизни проводили два подкашивания сорняков по мере их отрастания, и в конце августа убирали полноценный урожай зелёной массы люцерны. На второй год убирали три укоса люцерны. Урожайность люцерны была высокой в севообороте 3: на органо-минеральном фоне – 35,8 т/га, на органическом – 31,1 т/га. В севообороте 2 урожайность люцерны была ниже – соответственно на 9,9 и 8,8 т/га.

В исследованиях показатели урожайности зерна ячменя были следующими:

- в севообороте 2 при размещении ячменя после кукурузы на силос на органо-минеральном фоне – 3,36 т/га, на органическом – 2,62 т/га;

- в севообороте 1 после этого же предшественника – соответственно 3,05 и 2,48 т/га.

При введении в севооборот сои вместо ячменя (севообороты 4 и 3), урожайность этой культуры была выше после кукурузы на силос:

- в севообороте 3 на органо-минеральном фоне – 2,74 т/га, на органическом – 2,31 т/га;

- в севообороте 4 после озимой пшеницы ниже – соответственно на 0,73 и 0,71 т/га.

Как свидетельствуют результаты проведённых исследований, при переходе на ресурсо- и энергосберегающие технологии возделывания культур в полевых севооборотах необходима активизация биологических факторов. Ведущим фактором в этом процессе должны стать бобовые культуры, при их введении в севообороты урожайность зерновых культур, сахарной свёклы и кукурузы на силос увеличивается.

Лучшим предшественником кукурузы оказывается люцерна. Для уменьшения транспортных расходов на перевозку зелёной массы к местам потребления целесообразна концентрация посевов вблизи ферм. Люцерна, повышая плодородие почвы, увеличивает урожайность всех культур севооборота.

Насыщение севооборотов бобовыми культурами при использовании сидератов, запашке соломы озимой пшеницы, внесении в среднем 10 т навоза на 1 га севооборотной площади позволяет получить 30 т/га корнеплодов сахарной свёклы и более 30 т/га зелёной массы кукурузы на силос.

Дополнение биологических факторов плодородия техногенными (в частности, внесение минеральных удобрений) способствует увеличению урожайности всех культур севооборота.

При отказе от использования средств защиты растений и минеральных удобрений отмечали недобор урожая культур по всем севооборотам, поэтому переход на органические методы хозяйствования может быть оправданным при оказании господдержки, покрывающей снижение прибыли сельхозтоваропроизводителей органической продукции.

Выводы

1. В севооборотах при уменьшении площади посева пропашных культур и замене чистого пара на сидеральный или занятый пар введение многолетних бобовых трав увеличивает массу растительных остатков по сравнению с контролем на органоминеральном фоне на 6–29%, на органическом – на 17–33%.

2. Скорость разложения растительных остатков культур снижалась в убывающем порядке: эспарцет 2-го года жизни (98,8%), горчица сарептская (98,6%), люцерна 1-го года жизни (98,5%), сахарная свёкла (98,2%), озимая пшеница (98,1%), кукуруза на силос (97,8%), соя (97,4%), донник 1-го года жизни (97,3%), люцерна 2-го года жизни (96,8%), редька масличная (96,7%), яровая вика (96,2%), донник 2-го года жизни (95,8%), ячмень (94,2%).

3. Соотношение С : N в растительных остатках культур севооборотов возрастало в следующем порядке: сахарная свёкла (20,5), эспарцет 2-го года жизни (22,6), люцерна 2-го года жизни и эспарцет 1-го года жизни (23,4), соя (28,7), горох (34,3), люцерна 1-го года жизни и донник 2-го года жизни (34,8), яровая вика (37,3), горчица сарептская (41,1), кукуруза на силос (41,7), редька масличная (53,3), ячмень (83,0), озимая пшеница (86,0).

При смешивании соломы озимой пшеницы с минеральным азотом соотношение С : N снижалось до 67,6.

4. На фоне внесения органоминеральных удобрений содержание детрита было самым высоким в севообороте 4, в севооборотах 3, 2 и 1 значения этого показателя были ниже.

На фоне внесения только органических удобрений детрита накапливалось больше всего в севооборотах 4 и 3 с люцерной, несколько меньше – в севооборотах 2 и 1.

5. В зернопаропропашном севообороте 4 (контроль) при максимальном насыщении севооборота пропашными культурами и чистым паром (57%) содержание гумуса было самым низким: на фоне внесения органоминеральных удобрений – 3,11%, на фоне внесения органических удобрений – 3,10%.

При уменьшении площади посева пропашных культур, замене чистого пара на сидеральный или занятый, введении многолетних бобовых трав содержание гумуса по сравнению с контролем увеличивалось на органоминеральном фоне на 0,17–0,37%, на органическом – на 0,01–0,25%.

6. Внесение 10 т/га навоза и запланированных доз минеральных удобрений, насыщение севооборотов бобовыми культурами, запашка сидератов, соломы озимой пшеницы, гороха повышали урожайность культур на 2–45% по сравнению с внесением только органических удобрений.

Насыщение полевых севооборотов бобовыми культурами должно стать обязательным элементом биологизированных систем земледелия, переход к которым позволяет в определённой мере смоделировать природные фитоценозы, но с более высоким потенциалом продуктивности, и снизить деградационные процессы.

Таким образом, для повышения плодородия чернозёмных почв необходимо шире использовать следующие приёмы биологизации:

- введение в структуру посевных площадей севооборота многолетних бобовых трав, в том числе возделывание их в выводных полях;
- использование бинарных (смешанных) посевов культур севооборотов с многолетними бобовыми травами;
- возделывание пожнивных сидеральных культур;
- запашка соломы зерновых культур на удобрение;
- замена чистого пара на сидеральный.

Библиографический список

1. Авдеенко А.П. Формирование высокопродуктивных агрофитоценозов и разработка элементов биологизации системы земледелия в степной зоне Северного Кавказа : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.09; 06.01.01 / А.П. Авдеенко. – пос. Персиановский : Донской гос. аграр. ун-т, 2009. – 45 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – Москва : Изд-во Московского государственного университета, 1970. – 487 с.
3. Биологизация земледелия в основных земледельческих регионах России / В.А. Семькин, Н.И. Картамышев, В.Ф. Мальцев, А.В. Дедов и др. ; под ред. Н.И. Картамышева. – Москва : КолосС, 2012. – 471 с.
4. Дедов А.В. Биологизация земледелия ЦЧР : учеб. пособие / А.В. Дедов, Н.А. Драчев. – Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2010. – 171 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б.А. Доспехов. – 6-е изд., стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва : Альянс, 2011. – 350 с.
6. Зезюков Н.И. Научные основы воспроизводства плодородия чернозёмов ЦЧЗ : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Н.И. Зезюков. – Воронеж, 1993. – 36 с.
7. Каталог проектов агроландшафтов в земледелии (сохранение плодородия, территориальная организация систем земледелия, устойчивость к изменению климата) / М.И. Лопырев, В.Д. Постолов, А.В. Дедов и др. ; под ред. Лопырева М.И. – Воронеж : Изд-во «Полиарт», 2010. – 164 с.
8. Несмеянова М.А. Плодородие чернозёма типичного и урожайность подсолнечника при различных приемах биологизации и обработки почвы в лесостепи ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / М.А. Несмеянова. – Воронеж, 2014. – 23 с.
9. Придворев Н.И. Научные основы оптимизации содержания органического вещества в чернозёме выщелоченном : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Н.И. Придворев. – Воронеж, 2002. – 42 с.
10. Станков Н.З. Корневая система полевых культур / Н.З. Станков. – Москва : Колос, 1964. – 280 с.
11. Тарабрина Г.Г. Влияние комплекса приёмов биологизации на показатели плодородия чернозёма выщелоченного и урожайность культур севооборота : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Г.Г. Тарабрина. – Воронеж, 2005. – 19 с.
12. Турусов В.И. Изменение потенциального плодородия чернозёма при различных способах основной обработки почвы / В.И. Турусов, А.М. Новичихин, В.М. Гармашов, С.А. Гаврилова // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 12–14.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Анатолий Владимирович Дедов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dedov050@mail.ru.

Марина Анатольевна Несмеянова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: marina-nesmeyanova2012@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 16.01.2020

Дата принятия к печати 28.02.2020

AUTHOR CREDENTIALS
Affiliations

Anatoliy V. Dedov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dedov050@mail.ru.

Marina A. Nesmeyanova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: marina-nesmeyanova2012@yandex.ru.

Received January 16, 2020

Accepted after revision February 28, 2020