

Поле люпина – способ биологизации севооборота и основа плодородия

Е. И. Исаева✉, Г. Л. Яговенко

Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., п. Мичуринский, Россия

✉E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru

Аннотация. Целью данной работы является оценка различных способов возделывания люпина в севообороте как фактора его биологизации и сохранения плодородия почвы. **Научная новизна.** Во Всероссийском научно-исследовательском институте люпина на серой лесной легкосуглинистой почве юго-запада Нечерноземной зоны Брянского региона проведено исследование по изучению влияния различных способов возделывания люпина в севообороте на продуктивность культур и плодородие почвы. **Методы.** Наблюдения проведены в течение двух контрастных временных периодов. Первый период, 1999–2003 гг., в третьей ротации двух пятипольных севооборотов «овес – люпин – кормовая свекла – ячмень – озимая пшеница» и «сидеральный пар – озимая пшеница – люпин – кормовая свекла – ячмень». Второй период, 2010–2015 гг., во второй ротации двух шестипольных севооборотов «рапс яровой – люпин – ячмень – рапс озимый – люпин – яровая пшеница» и «сидеральный пар – озимая тритикале – люпин – яровая пшеница – рапс яровой – ячмень». **Результаты.** Было выявлено, что введение в севооборот сидерального поля люпина наряду с полем люпина на семенные цели обеспечивало стабилизацию, и рост продуктивности культур во времени при полном отсутствии химической нагрузки на 1 га с 43,6 т/га до 44,4 т/га в среднем за период с 1999 по 2003 гг. и с 12,9 до 13,9 т за период 2010–2015 гг. Использование люпина в сидеральном пару севооборота способствует стабилизации плодородия почвы. Происходит увеличение содержания гумуса как с 1999 по 2003 гг. на 0,08 %, так и с 2010 по 2015 гг. – на 0,08 %, причем в альтернативной технологии возделывания культур, полностью лишенной применения каких-либо средств химизации, при которой является непосредственное действие самого севооборота. Это подтверждается положительным балансом от 0,06 т/га при минимальной степени химизации до 0,15 при интенсивной химизации гектара севооборотной площади.

Ключевые слова: севооборот, удобрение, сидерация, люпин, плодородие, урожайность

Для цитирования: Исаева Е. И., Яговенко Г. Л. Поле люпина – способ биологизации севооборота и основа плодородия // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 163–171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-163-171>.

Дата поступления статьи: 22.06.2023, **дата рецензирования:** 14.08.2023, **дата принятия:** 10.10.2023.

The lupine field as a method of biologization crop rotation and the base for fertility

E. I. Isaeva✉, G. L. Yagovenko

The All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, settlement Michurinskiy, Russia

✉E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru

Abstract. The purpose of this study is to evaluate different ways of lupine cultivation in a crop rotation as a factor for its biologization and soil fertility's conservation. **Scientific novelty.** The effect of different techniques of lupine cultivation in a crop rotation on the productivity and soil fertility has been studied in the All-Russian Lupine Scientific Research Institute on the gray forest sandy-loam soil like loam of the Non-Chernozem zone of

Bryansk region. **Methods.** The tests have been done during two contrast periods. The first period, 1999–2003, is the third rotation of two five-field crop rotations “oat – lupine – fodder beet – barley – winter wheat” and “green-manure fallow – winter wheat – lupine – fodder beet – barley”. The second one, 2010 – 2015, is the second rotation of two six-field crop rotations “spring rape – lupine – barley – winter rape – lupine – spring wheat” and “green manure fallow – winter triticale – lupine – spring wheat – spring rape – barley”. **Results.** It was revealed that the inclusion of lupine green manure field together with lupine field for grain provided the stability and the average crop productivity increase in time as in the complete absence of chemical load from 43.6 t/ha to 44.4 t/ha in 1999–2003, and from 12.9 t/ha to 13.9 t/ha in 2010–2015. Lupine use for the green-manured fallow in a crop rotation contributes to the stability of soil fertility. The humus content increased by 0.08 % both in 1999–2003 and in 2010–2015 by 0.08 %; it occurs at alternative crop cultivation technology which is completely chemicals free when there is a possibility to observe direct action of the crop rotation itself. It is confirmed by a positive balance from 0.06 t/ha at the minimal level of chemicals’ use to 0.15 t/ha at intensive chemicals’ use per a hectare of the crop rotation area.

Keywords: crop rotation, fertilizer, green manuring, lupine, fertility, yield

For citation: Isaeva E. I., Yagovenko G. L. The lupine field as a method of biologization crop rotation and the base for fertility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (02): 163–171. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-02-163-171>.

Date of paper submission: 22.06.2023, **date of review:** 14.08.2023, **date of acceptance:** 10.10.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Интерес к культуре люпина достаточно высок. Однако широкое его использование ограничивается рядом факторов, одним из которых, по нашему мнению, является недооценка значения этой культуры непосредственно на пашне. На пахотных землях в последние 30 лет практически не вносятся органические удобрения. Общепринятой тенденцией стало использование «быстрой» минеральной формы, позволяющей интенсифицировать гектар пашни здесь и сейчас, не закладывая перспективы воспроизводства почвенного плодородия во времени. Необходима рациональная комбинация минеральных и органических видов удобрений в зависимости от степени «износа» органического вещества той или иной почвы. К почве необходимо относиться не как к субстрату, а как к живой экосистеме. Минеральные удобрения, как правило, питают растение, но не насыщают почву, поскольку их синтетические питательные формы не могут вступить в биологический круговорот веществ, поддерживать и активизировать естественные процессы в природе. Поэтому остается актуальным вопрос внедрения органоминеральных систем удобрений при производстве сельскохозяйственной продукции в полевых условиях [1; 2].

Азот является основным элементом питания растений, но его вынос из почвы урожаем культивируемых растений преобладает над поступлением. Как следствие, происходит реорганизация органического вещества почвы, что приводит к истощению гумусового слоя. Вынос мобильного азота с урожаем не возобновляется, и его баланс получается отрицательным, не выходя даже на простое воспроизводство в регионах России. Роль сельско-

хозяйственных культур в регулировании почвенного плодородия и стабилизации среды почвенного профиля не соответствует их возможностям. Урожайность в результате интенсивной обработки гектара пашни формируется в основном за счёт минерализации органического вещества и запасного азотного фонда естественного плодородия почвы, что в итоге приводит к утрате энергетического баланса почвы [3–5].

В современных условиях ведения хозяйства остро назревает необходимость поиска решений по регулированию режима органического вещества и вариантов накопления биологического азота агроэкосистемой естественным путем. Есть два основных способа введения в агрофитоценозы органики – это «животный» и «растительный». Тем не менее в современных укладах ведения хозяйства значительная их часть зернового направления. Поэтому они не имеют животных или птицы, следовательно, не применяют навоз в качестве органического удобрения. Путем решения данной проблемы является внедрение в севообороты этих хозяйств культур, которые обеспечивают севооборотную площадь самым доступным и самовосстанавливающимся биологическим азотным удобрением. Сидерацию нужно рассматривать как использование одной культуры для создания благоприятных условий развития другой и индентифицировать с системой растениеводства, которая определяется почвенно-климатическими условиями и структурой посевных площадей. Сущность биологизации земледелия в первую очередь в том, чтобы поддерживать круговорот вещества и энергии в агроэкосистемах, уделяя особое внимание биологическому азоту [1; 6].

Плодородие почвы является материальной основой урожая. Потеря почвой ее естественного плодородия, ее деградация, при любых условиях, приводит к падению урожайности сельскохозяйственных культур во времени. Даже длительное применение минеральных удобрений в севообороте не способствует стабилизации данного процесса. Решению этого вопроса может содействовать введение в севооборот зернобобовых культур. Ярким представителем этой группы сельскохозяйственных растений является люпин, который может сыграть основную роль в стабилизации естественного цикла органического вещества и азота в почве, «поскольку его органическая масса минерализуется быстрее других растительных остатков и в большей степени гумифицируется с образованием „лабильных“ гумусовых веществ, которые являются показателем эффективного плодородия почвы» [7–9].

Люпин – это ценное звено севооборота при концентрации и специализации возделывания зерновых культур, поскольку современное сельскохозяйственное производство России может рассчитывать в основном на биологический путь интенсификации производства продуктов питания, кормов для животных и сырья для перерабатывающей промышленности. Сейчас на первый план выходит производство прибыльной продукции, то есть с наименьшими затратами, более качественной и конкурентоспособной на рынке. Этого можно добиться путем биологической интенсификации продукционных и средообразующих процессов, ведущих к росту продуктивности с сохранением окружающей среды при наименьших техногенных затратах. В конкретном хозяйстве, севообороте и поле исходным и конечным пунктами системы земледелия являются рациональное использование каждого гектара пашни, каждого миллиметра осадков и килограмма удобрений, каждой калории солнечного света, упавшей на поверхность поля [10–13]. Люпин занимает в севообороте совершенно особое место, так как имеет самый экологически чистый и энергосберегающий механизм накопления азота в почве за счет работы клубеньковых бактерий, при этом сам возделывается без внесения минеральной формы, значительно разгружая гектар севооборотной площади от химической нагрузки. Урожай биомассы люпина может варьировать от 30 до 60 т/га, или 2–8 т/га сухого вещества. При полной заправке биомассы в почву поступает от 100 до 250 кг азота, 30–90 кг P_2O_5 и 35–250 кг K_2O .

По валовому содержанию азота зеленая масса люпина близка к навозу (люпин – 2,1 %, навоз – 2,65 % к сухой массе). Коэффициент использования азота люпина – 20–25 %, т. е. не меньше, чем навоза. Однолетний люпин, возделываемый на корм, оставляет 0,8–1,6 т/га корневых и пожнивных остатков.

Многолетний люпин накапливает до 20–30 т/га и более корней, из которых при коэффициенте гумификации 0,15–0,20 в почве образуется до 2–4 т/га свежего гумуса. Заправка всей массы люпина на удобрение, исходя из содержания в ней азота, может заменить собой внесение в почву 30–40 тонн навоза.

При фиксации молекулярного азота первичным продуктом является аммоний, который потом выводится из бактериоидов в растительные клетки как продукт обмена, впоследствии ассимилируется с образованием аминокислот и аминов. В дальнейшем азот транспортируется по ксилеме в форме аспарагиновой и глутаминовой аминокислот. Люпин относится к так называемым амидным бобовым, поэтому важно отметить, что он обладает более высокой симбиотической эффективностью, чем, например, соя и фасоль. Доля фиксированного азота в общем азоте урожая у люпина достигает 90 %. Вследствие узкого соотношения между углеродом и азотом запаханная биомасса люпина минерализуется быстрее растительных остатков других культур. Особенно эффективно и экономически выгодно применение сидеральных удобрений на удаленных полях сельхозпредприятий [14; 15].

Методология и методы исследований (Methods)

Цель исследований – оценка различных способов возделывания люпина в севообороте как фактора его биологизации и сохранения плодородия почвы.

Почва опытного поля серая лесная, развивающаяся на лессовидном карбонатном суглинке. По гранулометрическому составу легкосуглинистая. Глубина пахотного слоя – 20–27 см, с плотностью сложения в слое 0–10 см 1,24 г/см³ почвы и 1,38 г/см³ в слое 10–20 см. До закладки стационарного опыта в слое почвы 0–20 см содержание гумуса по Тюрину было 2,8–3,0 %, подвижного фосфора по Кирсанову – свыше 30 мг на 100 грамм почвы, обменного калия по Масловой 16–19 мг / 100 г почвы. Реакция почвенного раствора слабокислая ближе к нейтральной, рН солевой вытяжки 5,8–6,0 и степень насыщенности основаниями 85–90 %.

Экспериментальная работа осуществлялась в длительном стационарном опыте Всероссийского научно-исследовательского института люпина в 1999–2003 гг., 2010–2015 гг. в севооборотах:

1. Овес – люпин узколистый (семена) – кормовая свекла – ячмень – озимая пшеница (1999–2003 гг.).
2. Сидеральный пар (люпин узколистый) – озимая пшеница – люпин узколистый (семена) – кормовая свекла – ячмень (1999–2003 гг.).
3. Рапс яровой – люпин узколистый (семена) – ячмень – рапс озимый – люпин узколистый (семена) – яровая пшеница (2010–2015 гг.).

4. Сидеральный пар (люпин узколистный) – озимая тритикале – люпин узколистный (семена) – яровая пшеница – рапс яровой – ячмень (2010–2015 гг.).

На каждый вариант чередований (2010–2015 гг.), накладываются технологические схемы возделывания культур (степень химизации):

1. Альтернативная (АТ) – полное отсутствие внесения минеральных удобрений, первичная защита растений – протравливание, агротехнические способы борьбы с сорняками (довсходовое и послевсходовое боронование поперек посева).

2. Интенсивная (ИТ) – система удобрений – на 1 га д. в.; рапс яровой Подмосковный – N150, ячмень Раушан – N180P120K120, рапс озимый Северянин – N180, яровая пшеница Ирень – N120P120K120, система защиты – применение полного спектра защитных мер от болезней, вредителей, сорных растений для каждой культуры.

В 1999–2003 гг. фоны удобрений; фон без удобрений и максимальный NPK: озимая пшеница Московская 39 – N90 P90 K60, ячмень Раушан – N90P90K90, кормовая свекла – N90+30 P85 K200, овес Комес – N60P60K60.

Независимо от целевого назначения люпина в севооборотах (семена или сидерация) удобрений под него не вносили во все годы исследований.

Система защиты – согласно списку разрешенных препаратов на территории Российской Федерации. Использовались общепринятые нормы высева семян: люпин – 1,2 млн шт., овес – 5,5 млн шт., пшеница озимая – 5,5 млн шт., тритикале озимая – 5,5 млн шт.

Уборку культур проводили прямым комбайнированием. Учет урожая возделываемых культур проводился сплошным поделяночным взвешиванием со всех делянок и повторений. Урожай зерна приводился к стандартной влажности 14% и чистоте 100 %.

На сидеральные цели высевались два сорта люпина узколистного. С 1999 по 2003 гг. сорт Брянский 123 с технологической спелостью зеленой массы (фаза блестящего боба) – 55–60 дней при урожайности укосной массы 4,0–6,0 т/га. В период с 2010 по 2015 гг. высевался сорт Сидерат 38, который по настоящее время включен в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации и разрешен к использованию в производстве по Центральному, Северо-Западному и Волго-Вятскому регионам России. Технологическая спелость для запашки наступает в среднем на 60-й день после посева, что примерно соответствует по времени второй половине июля, и фазе развития «блестящий боб». Урожай укосной массы составляет 4,5–5,0 т/га. Данный сорт относится к быстрорастущим, интенсивно наращивает зеленую массу, поэтому его также можно возделывать поукосно и пожнивно в севообороте. Применение минеральных удобрений не требуется.

Эффективным агроприемом может служить перераспределение удобрений во времени в севообороте. Возможно внесение дозы удобрений основной культуры под сидерат, что приведет к увеличению урожайности укосной массы, поступившей под последующую культуру. При этом поступят органические вещества и элементы питания в наиболее доступной форме, чем при непосредственном использовании минеральных удобрений.

Результаты (Results)

Продуктивность культур севооборота наряду со структурой посевных площадей в современном земледелии относят к основным, регулируемым низкочастотным факторам поддержания бездефицитного баланса гумуса. С ростом урожайности увеличивается поступление в почву органического вещества корневых и пожнивных остатков полевых культур. Средние показатели урожайности культур при сравнительно высокой обеспеченности почвы питательными веществами не показали резких перепадов в зависимости от количества полей и культур севооборота. С агрономической точки зрения все севообороты пригодны для возделывания данных культур. Стоит отметить, что люпин узколистный практически не реагировал на последствие интенсивной степени химизации в севообороте, обеспечивая достаточно высокие урожаи как без применения минеральной формы удобрений в севообороте (1999–2003 гг.) – 2,3 и 2,2 т/га, так и при полном отсутствии средств химизации, (2010–2015 гг.) в альтернативной технологии возделывания – 2,1, 2,3, 2,5 т/га (таблицы 1, 2).

Введение в севооборот сидерального парового поля люпина увеличивало суммарный выход товарной продукции с 1 га по севообороту, несмотря на то что продуктивность данного поля как бы «выпадала» из товарного учета и запахивалась. Четко прослеживается не только стабилизация урожайности культур во времени, но и ее увеличение. В частности, урожайность озимой пшеницы после сидерального люпинового пара увеличилась на 0,5 т/га в среднем за 1999–2003 гг.

В варианте без применения удобрений суммарная продуктивность гектара севооборотной площади в севообороте с полем люпина на семена составила 43,6 т/га, при введении в севооборот поля люпина на сидерацию продуктивность увеличилась до 44,4 т/га в среднем за 5 лет исследований (таблица 1).

В севооборотах с крестоцветной составляющей, яровым и озимым рапсом, при альтернативной технологии, с полным освобождением от химической нагрузки увеличение урожайности составило 1 т/га площади севооборота (таблица 2).

Уровень содержания органического вещества является основой плодородия почвы. Использование люпина в качестве удобрения для пополнения ор-

ганического вещества и азота почвы имеет давнюю историю. Большинство исследований подтверждается, что «в севооборотах с сидеральным паром содержание гумуса стабилизируется на исходном уровне». В опытах ВНИИ люпина, проведенных в 1999–2003 и 2010–2015 гг., данный факт подтверждается (таблицы 1, 2). В пятипольном севообороте с сидеральным паром содержание гумуса в почве увеличилось за третью ротацию на 0,08 % в варианте без применения удобрений. В аналогичном севообороте, но без люпинового пара содержание гумуса снизилось за пять лет на 0,07 %. Стоит отметить, что одна и та же доза минерального удобрения

в севообороте с люпиновым паром привела к повышению содержания гумуса с 3,15 до 3,17 %, в то время как в севообороте без сидерации позволила лишь поддерживать количество гумуса на исходном уровне 3,12–3,11 % (таблица 1).

Исследования, проведенные в 2010–2015 гг., также констатируют стабилизацию гумуса на исходном уровне в севооборотах с люпином на семенные цели, а в севообороте с сидеральным люпиновым паром происходит увеличение содержания гумуса за шесть лет на 0,08 %, причем в альтернативной технологии возделывания культур, при которой выявляется непосредственное действие самого севооборота (таблица 2).

Таблица 1

Урожай основной продукции и баланс гумуса в севооборотах с люпином при разных способах его использования, среднее за период 1999–2003 гг.

Культуры	Урожайность, т/га		Содержание гумуса, %				Баланс гумуса, т/га	
	б/у	NPK	б/у		NPK		б/у	NPK
			1999	2003	1999	2003		
Овес – люпин (зерно) – кормовая свекла – ячмень – озимая пшеница								
Овес	2,9	4,8						
Люпин	2,3	2,5						
Кормовая свекла	32,2	42,6						
Ячмень	2,6	4,0						
Озимая пшеница	3,6	5,9						
По севообороту	43,6	59,8	2,90	2,83	3,12	3,11	-0,24	-0,15
Сидеральный пар – озимая пшеница – люпин (зерно) – кормовая свекла – ячмень								
Сидеральный пар	42,3	43,5						
Озимая пшеница	4,1	6,5						
Люпин	2,2	2,6						
Кормовая свекла	35,2	46,6						
Ячмень	2,9	4,8						
По севообороту	44,4	60,5	3,01	3,09	3,15	3,17	+0,06	+0,13

Примечание. Б/у – без удобрений.

Table 1

The yield of the main products and the humus balance in lupin crop rotation at different methods of its use, the average for 1999–2003

Crops	Yield, t/ha		Humus content, %				Humus balance, t/ha	
	f/f	NPK	f/f		NPK		f/f	NPK
			1999	2003	1999	2003		
Oat – lupine (grain) – mangold – barley – winter wheat								
Oat	2.9	4.8						
Lupine	2.3	2.5						
Mangold	32.2	42.6						
Barley	2.6	4.0						
Winter wheat	3.6	5.9						
For crop rotation	43.6	59.8	2.90	2.83	3.12	3.11	-0.24	-0.15
Green-manured fallow – winter wheat – lupine (grain) – mangold – barley								
Green-manured fallow	42.3	43.5						
Winter wheat	4.1	6.5						
Lupine	2.2	2.6						
Mangold	35.2	46.6						
Barley	2.9	4.8						
For crop rotation	44.4	60.5	3.01	3.09	3.15	3.17	+0.06	+0.13

Note. F/f – fertilizers free.

Таблица 2

Урожай основной продукции и баланс гумуса в севооборотах с люпином при разных способах его использования, среднее за период 2010–2015 гг.

Агротехнологии

Культуры	Урожайность, т/га		Содержание гумуса, %				Баланс гумуса, т/га	
	АТ	ИТ	АТ		ИТ		АТ	ИТ
			2010	2015	2010	2015		
Рапс яровой – люпин – ячмень – рапс озимый – люпин – яровая пшеница								
Рапс яровой	1,3	1,7						
Люпин	2,1	2,5						
Ячмень	2,5	4,5						
Рапс озимый	2,1	3,2						
Люпин	2,3	2,7						
Яровая пшеница	2,6	3,9						
По севообороту	12,9	18,5	3,09	3,01	3,16	3,13	-0,19	-0,13
Сидеральный пар – озимая тритикале – люпин – яровая пшеница – рапс яровой – ячмень								
Сидеральный пар	42,0	45,1						
Озимая тритикале	4,0	5,6						
Люпин	2,5	2,9						
Яровая пшеница	2,9	4,2						
Рапс яровой	1,5	2,4						
Ячмень	3,0	4,3						
По севообороту	13,9	19,4	3,21	3,29	3,25	3,32	+0,09	+0,15

Примечание. АТ – альтернативная технология, ИТ – интенсивная технология.

Table 2

The yield of the main products and the humus balance in lupin crop rotation at different methods of its use, the average for 2010–2015

Crops	The yield, t/ha		Humus content, %				Humus balance, t/ha	
	АТ	ИТ	АТ		ИТ		АТ	ИТ
			2010	2015	2010	2015		
Spring rape – lupine – barley – winter rape – lupine – spring wheat								
Spring rape	1.3	1.7						
Lupine	2.1	2.5						
Barley	2.5	4.5						
Winter rape	2.1	3.2						
Lupine	2.3	2.7						
Spring wheat	2.6	3.9						
For crop rotation	12.9	18.5	3.09	3.01	3.16	3.13	-0.19	-0.13
Green-manured fallow – winter triticale – lupine – spring wheat – spring rape – barley								
Green-manured fallow	42.0	45.1						
Winter triticale	4.0	5.6						
Lupine	2.5	2.9						
Spring wheat	2.9	4.2						
Spring rape	1.5	2.4						
Barley	3.0	4.3						
For crop rotation	13.9	19.4	3.21	3.29	3.25	3.32	+0.09	+0.15

Note. АТ – alternative technology, ИТ – intensive technology.

Проведенные балансовые расчеты показали, что в севооборотах с полем люпина на семенные цели не удалось достичь бездефицитного баланса гумуса как при низких степенях химизации, так и при интенсивных химических нагрузках гектара.

В севообороте с пропашным полем (1999–2003 гг.) в варианте без применения удобрений баланс гумуса составлял $-0,24$ т/га, при применении полного NPK баланс также был отрицательным ($-0,15$), хотя снижение было меньше. Таким образом, подтвердились полученные другими учеными данные о том, что при возделывании пропашных культур без органических удобрений в почве складывается отрицательный баланс органического вещества, в частности гумуса [16].

Введение в севооборот второго поля люпина на семенные цели и прекращение возделывания пропашных при введении рапса снижало темпы минерализации гумуса. В данном севообороте увеличилось поступление растительных остатков, при альтернативной технологии поступало около $6,0$ т/га, при интенсивной – $6,9$ т/га. Но все же это не привело даже к простому воспроизводству органического вещества, баланс гумуса был отрицательным: $-0,19$ т/га при альтернативной технологии, $-0,13$ т/га при интенсивной (таблица 2).

Максимальное новообразование гумуса отмечено в севооборотах с сидеральным люпиновым паром, что способствовало не только компенсации его потерь, но и прирост. В 1998–2003 гг. в варианте без удобрений баланс составил $+0,06$ т/га, в вари-

анте с полной дозой удобрений $+0,13$ т/га. С 2010 по 2015 гг. в севообороте зернового направления баланс гумуса был еще более положительным: при альтернативной технологии $+0,09$ т/га, при интенсивной $+0,15$ т/га.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Изученные способы возделывания люпина в севообороте показали разное влияние на воспроизводство и накопление гумуса серой лесной почвой. Наибольшее новообразование гумуса выявлено в севообороте, где люпин высевался на сидеральные цели. Данный факт подтверждается балансом. С 1998 по 2003 гг. в варианте без удобрений баланс составил $+0,06$ т/га, в варианте с полной дозой удобрений $+0,13$ т/га. С 2010 по 2015 гг. в севообороте зернового направления баланс составил при альтернативной технологии $+0,09$ т/га. При включении в севооборот сидерального поля люпина происходит увеличение продуктивности всех культур во все периоды исследований. В среднем за пять лет (1999–2003 гг.) суммарная продуктивность гектара севооборота с сидеральным паром составила $44,4$ т/га, а севооборота с люпином на семена – $43,6$ т/га. В период 2010–2015 гг. при возделывании люпина на семенные цели продуктивность гектара без применения средств химизации составила $12,9$ т/га, при введении в севооборот сидерального поля – $13,9$ т/га. Причем сам люпин не реагировал на увеличение степени химизации гектара пашни, обеспечивая высокую продуктивность в вариантах без применения средств химизации.

Библиографический список

1. Эседулаев С. Т., Мельцаев И. Г. Биологизированные севообороты – основной фактор повышения плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности пашни в Верхневолжье // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 11 (109). С. 18–26. DOI: 10.32417/article_5dcd861e3d2300.42959538.
2. Просянников Е. В. Агрехимические аспекты устойчивого земледелия // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. № 5. С. 13–16. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10068.
3. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Азот в агросистеме на черноземных почвах. Москва: РАН, 2018. 180 с.
4. Исаева Е. И., Афонина Е. В., Ляпченков В. А. Корма на основе люпина // *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов*. Москва, 2018. Вып. 17 (65). С. 15–22.
5. Яковлев А. С., Макаров О. А., Евдокимова М. В., Огородников С. С. Деградация земель и проблемы устойчивого развития // *Почвоведение*. 2018. № 9. С. 1167–1174. DOI: 10.1134/S0032180X18090149.
6. Кудяров В. Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия Российской Федерации // *Почвоведение*. 2019. № 1. С. 109–121. DOI: 10.1134/S0032180X1901009X.
7. Сычев В. Г., Шевцов Л. К., Беличенко М. В., Рухович О. В., Иванова О. И. Влияние длительного применения различных систем удобрения на органофильный состав основных зональных типов почв // *Плодородие*. 2019. № 2 (107). С. 3–6. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.01.
8. Чеботарев Н. Т., Юдин А. А., Конкин П. И. Влияние длительного применения удобрений в кормовом севообороте на плодородие и продуктивность дерново-подзолистой почвы в условиях Европейского Северо-Востока // *Аграрный вестник Урала*. 2018. № 10 (177). С. 23–28. DOI: 10.32417/article_5claSfaa30e523/76893969.
9. Лукин С. М., Золкина Е. И., Марчун Е. В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы // *Плодородие*. 2021. № 3. С. 93–98. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.18.

10. Захарова М. А., Юмашев Х. С., Изменение гумусного состояния черноземных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2. С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.

11. Русякова И. В. Микробиологические и экофизиологические параметры дерново-подзолистой почвы при длительном применении соломы и минеральных удобрений и их связь с урожайностью // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 1. С. 153–162. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.153rus.

12. Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V. Evaluation of the modern lupine varieties developed in the All-Russian Lupin Scientific Research Institute // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Article number 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012096.

13. Сычев В. Г., Шафран С. А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. 2019. № 2 (107). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.07.

14. Артюхов А. И., Селиванова М. А., Исаева Е. И. Адаптация видов люпина в агроландшафты России // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография в 5 томах. Т. 4. Оптимизация сельскохозяйственных ландшафтов. Москва, 2018. С. 78–83. DOI: 10.25680/6578.2018.64.40.280.

15. Yagovenko G. L., Lukashevitch M. I., Ageeva P. A., Novik N.V., Zakharova M. V. Status and prospects of breeding of cultivated species of Lupin in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.

16. Дедов Ф. В., Несмеянова М. А. Влияние пропашных культур и паров на показатели плодородия почвы и продуктивность севооборотов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 33–36.

Об авторах:

Елена Ивановна Исаева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник направления «Земледелие», Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., п. Мичуринский, Россия; ORCID 0000-0002-9352-5329, AuthorID 702830. E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru

Герман Леонидович Яговенко, доктор сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», Брянская обл., п. Мичуринский, Россия; ORCID 0000-0003-3205-230X, AuthorID 819501

References

1. Esedulaev S. T., Biologized crop rotation – the main factor for fertility increases of sod-podzolic soils and arable land productivity in the Upper Volga. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 11 (109): 18–26. DOI: 10.32417/article_5dcd861e3d2300/42959538. (In Russ.)

2. Prosyannikov E. V. Agrochemical aspects of sustainable agriculture. *Agricultural biology*. 2019; 5: 13–16. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10068. (In Russ.)

3. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Nitrogen in the agrosystem on the Chernozem soils. Moscow: RAN, 2018. 180 p. (In Russ.)

4. Isaeva E. I., Afonina E. V., Lyapchenkov V. A. Lupine-based feed. *Multifunctional adaptive feed production: collection of scientific papers*. Moscow, 2018. Vol. 17 (65). Pp. 15–22. (In Russ.)

5. Yakovlev A. S., Makarov O. A., Land degradation and sustainable development issues. *Eurasian Soil Science*. 2018; 9: 1167–1174. DOI: 10.1134/S0032180X18090149. (In Russ.)

6. Kudiyarov V. N. Soil-biogeochemical aspects of arable farming in the Russian Federation. *Eurasian Soil Science*. 2019; 1. Pp: 109–121. DOI: 10.1134/S0032180X1901009X. (In Russ.)

7. Sychev V. G., Shevtsov L. K., Belichenko M. V., Rukhovich O. V., Ivanova O. I. Effect of long-term application of various fertilizer systems on organoprofile of main zonal soil types. *Plodородие*. 2019; 2 (107): 3–6. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.01. (In Russ.)

8. Chebotarev N. T., Yudin A. A., Konkin P. I. Influence of long-term application of fertilizers in fodder crop rotation on fertility and productivity of sod-podzolic soil in the conditions of Euro-Northeast. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018; 10 (177): 23–28. DOI: 10.32417/article_5claSfaa30e523/76893969. (In Russ.)

9. Lukin S. M., Zolkina E. I., Marchun E. V. Influence of long-term fertilizers application on the crop rotation productivity, content and composition of soil organic matter. *Plodородие*. 2021; 3: 93–98. DOI:10.25680/S19948603.2021.120.18. (In Russ.)

10. Zakharova M. A., Yumashev Kh. S. Chernozem humus state change of the Chelyabinsk Region as an agricultural use result. *Vestnik KrasGAU*. 2022; 2: 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russ.)

11. Rusakova I. V. Microbiological and ecophysiological parameters of sod-podzolic soil upon long-term application of straw and mineral fertilizers, the correlation with the yield. *Agricultural Biology*. 2020; 55 (1): 153–162. DOI: 10.15389/agrobiol.2020.1.153rus. (In Russ.)
12. Yagovenko G. L., Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Misnikova N. V. Evaluation of the modern lupine varieties developed in the All-Russian Lupine Scientific Research Institute. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2022: 012096. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012096.
13. Sychev V. G., Shafran S. A. Forecast of the fertility of soils of the nonchernozem belt depending on the level of using fertilizers. *Plodородiye*. 2019; 2 (107): 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.107.07. (In Russ.)
14. Artyukhov A. I., Selivanova M. A., Isayeva E. I. Lupine species' adaptation to Russian agro-landscapes. *New methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia: monograph in 5 volumes. Vol. 4. Optimization of agricultural landscapes*. Moscow, 2018. Pp. 78–83. DOI: 10.25680/6578.2018.64.40.280. (In Russ.)
15. Yagovenko G. L., Lukashevitch M. I., Ageeva P. A., Novik N.V., Zakharova M. V. Status and prospects of breeding of cultivated species of Lupin in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021: 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.
16. Dedov F. V., Nesmeyanova M. A. The influence of row crops and fallows on soil fertility indicators and crop rotation productivity. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2018; 4: 33–36. (In Russ.)

Authors' information:

Elena I. Isaeva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the department of farming, The All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, settlement Michurinskiy, Russia; ORCID 0000-0002-9352-5329, AuthorID 702830. *E-mail: lupin.zemledelie@mail.ru*

German L. Yagovenko, doctor of agricultural sciences, director, The All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Bryansk region, settlement Michurinskiy, Russia; ORCID 0000-0003-3205-230X, AuthorID 819501