

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ И БЕССМЕННЫХ ПОСЕВОВ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРЕДУРАЛЬЯ¹

© 2019 г. Н. Е. Завьялова^{1,*}, Д. С. Фомин¹, И. С. Тетерлев¹

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ПФИЦ УрО РАН
614532 с. Лобаново, Пермский край, Россия

*E-mail: nezavyalova@gmail.com

Поступила в редакцию 30.03.2018 г.

После доработки 24.05.2018 г.

Принята к публикации 12.10.2018 г.

В длительном полевом опыте агрохимические свойства пахотных почв под бессменным чистым паром, бессменной культурой и севооборотами сопоставлены с залежью, непосредственно примыкающей к пашне. Содержание гумуса, установившееся за 40 лет в бессменном пару (1.34%), условно принято за минимальное содержания гумуса в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья. Азотный фонд дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта представлен на 43–57% негидролизруемыми и на 28–40% трудногидролизруемыми формами азота. Длительное применение полного минерального удобрения (НРК) привело к увеличению содержания гидролизуемых форм азота, повысило абсолютное содержание легкогидролизуемой фракции. Через 40 лет ведения опыта залежная почва по своим характеристикам стала соответствовать целинной.

Ключевые слова: севообороты, бессменные посевы, агрохимические свойства почвы, азотный режим, дерново-подзолистая почва, Предуралье.

DOI: 10.1134/S0002188119010162

ВВЕДЕНИЕ

Результаты агроэкологического мониторинга дерново-подзолистых почв Предуралья показали, что за последние 10 лет на половине реперных участков произошло снижение содержания гумуса и азота в пахотных почвах края [1]. Возникла проблема восстановления плодородия нарушенных почв. Процесс увеличения этих показателей в почве длителен, требует регулярного ежегодного применения удобрений.

При совместном использовании органических и минеральных удобрений улучшается комплекс агрохимических параметров, а именно: устанавливается оптимальная для растений кислотность среды, значительно повышается содержание гумуса и биогенных элементов в почве, что обеспечивает высокую продуктивность пашни. По данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Пермского края, в последнее время вносят: органические удобрения ≈ 1 т/га и минеральные – 12–15 кг д.в./га. Для воспроизводства параметров плодородия необходимо внесение

только органических удобрений ≈ 8 –10 т/га. Переход к адаптивному ландшафтному земледелию является наиболее перспективным направлением сохранения и воспроизводства плодородия почв, ресурсосбережения, охраны природы, повышения урожайности сельскохозяйственных культур [2, 3].

Главная роль в адаптивно-ландшафтном земледелии принадлежит правильно организованному и биологически ориентированному севооборотам, являющимся важнейшим средством регулирования почвенных режимов, накопления в почве пожнивно-корневых остатков и биологического азота, снижения дефицита гумуса в почвах, регулирования влагообеспеченности растений, борьбы с сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур [4, 5]. При этом научно обоснованное размещение культур в севооборотах, разработанное на основе рационального использования природных, химических, биологических факторов с соблюдением технологий их возделывания, позволяет оптимизировать функционирование системы земледелия, обеспечивая ее адаптивную устойчивость [6, 7].

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-45-590166 п_а.

Для Пермского края необходимо определить оптимальные параметры содержания и качественного состава гумуса, азота и других элементов питания при разном уровне интенсификации сельскохозяйственного производства, обеспечивающие получение высоких и стабильных урожаев. Решение этой проблемы возможно только при проведении систематических исследований в длительных полевых опытах, которые являются фундаментальной базой для изучения воздействия сельскохозяйственного использования земель на различные аспекты плодородия почв, урожайность сельскохозяйственных культур и окружающую среду.

Цель работы – изучение влияния бесменных посевов и севооборотов на трансформацию агрохимических свойств и азотного режима пахотных дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв Предуралья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве полевого стационарного опыта, заложенного в 1977 г., осенью 2017 г. на 2-х несмежных повторениях были отобраны почвенные образцы в слое 0–20 см в следующих вариантах опыта: 1 – чистый пар бесменно, 2 – ячмень бесменно, 3 – озимая рожь бесменно, 4 – севооборот (0% бобовых): ячмень – озимая рожь – яровая пшеница – ячмень – овес, 5 – севооборот (типичный, 28.6% бобовых): унавоженный чистый пар – озимая рожь – пшеница яровая + клевер – клевер 1-го года пользования (г.п.) – клевер 2-го г.п. – ячмень – овес, 6 – севооборот (42.9% бобовых, вариант введен в 1993 г.): сидеральный пар (клевер 1-го г.п.) – озимая рожь – яровая пшеница + клевер – клевер 1-го г.п. – клевер 2-го г.п. – ячмень – овес + клевер, 7 – залежь, которая представляет собой в настоящее время злаково-разнотравный луг и находится в данном режиме использования с 1977 г.

В опыте использовали N_{aa} и K_x по 60 кг д.в./га под зерновые культуры, P_c – 60 кг д.в./га (до 1992 г.) и 30 кг д.в./га (с 1993 г. по настоящее время), подстилочный навоз – 40 т/га пашни в паровом поле типичного севооборота. На момент закладки опыта почва имела следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 5.2–5.3, гидролитическая кислотность – 2.1–2.3, обменная – 0.029–0.035, сумма поглощенных оснований – 14.0–15.5 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса (по Тюрину) – 1.9%, подвижных форм фосфора в пахотном слое – 225–240, калия (по Кирсанову) – 196–204 мг/кг почвы. Общий азот определяли по ме-

тоду Кьельдаля, трудногидролизуемый и легкогидролизуемый азот – по методике [8].

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов последовательное. Агротехника культур в опыте – общепринятая для центральной зоны Пермского края. Общая площадь делянки – 75 м², учетной – 48 м². Отбор почвенных образцов проводили на глубину 0–20 см с 2-х несмежных повторений в 3-х точках на каждом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведение систематических исследований в длительных стационарных полевых опытах при соблюдении всех агротехнических приемов позволяет изучить направление трансформации основных параметров плодородия при различном землепользовании и применении удобрений. Полевой опыт интересен наличием вариантов с бесменными посевами зерновых культур, севооборотов с различным насыщением бобовыми травами, а также с бесменным чистым паром и залежью. Через 40 лет ведения опыта залежная почва по своим характеристикам (по кислотности почвенного раствора, содержанию гумуса и другим параметрам плодородия) стала соответствовать целинной [9]. В 2017 г. в ней определено характерное для дерново-подзолистых почв Предуралья содержание гумуса – 2.35% (табл. 1). Минимальный уровень содержания гумуса отмечен в бесменном чистом пару – 1.34%. Эта величина на 30% меньше, чем перед закладкой опыта. Уровень содержания гумуса, установившийся за 40 лет в бесменном пару (1.34%), условно принят за минимальное содержание гумуса в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья [10].

Бесменное возделывание ячменя и озимой ржи без удобрений и при внесении NPK способствовало поддержанию агрохимических параметров почвы на уровне, близком к исходному. Ведение традиционного севооборота с двумя полями клевера, применением органической и органоминеральной систем удобрения привело к улучшению комплекса агрохимических параметров. Кислотность почвы изменилась от кислой (pH_{KCl} 4.8) до слабокислой (pH_{KCl} 5.3–5.4), содержание гумуса увеличилось с 1.90 до 2.51–2.53%, подвижного фосфора – до 537.5–732.5 мг/кг). Возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте с долей бобовых 42% без внесения органических удобрений обеспечило исходный уровень гумуса в почве, не ухудшая другие агрохимические свойства. Севооборот с высоким насыщением бобовыми был развернут в 1993 г. по-

Таблица 1. Агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (2017 г.)

Фактор <i>A</i> – тип землепользования	Фактор <i>B</i> – минеральные удобрения	Гумус, %	pH _{KCl}	<i>S</i>	<i>H_г</i>	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ₂ O ₅ , мг/кг
Севооборот (29% бобовых)	Без удобрений	2.53	5.5	21.5	3.0	17.2	3.2	538
Севооборот (0% бобовых)		1.89	5.2	20.1	3.2	17.9	3.6	420
Севооборот (42% бобовых)		1.90	4.9	21.7	3.5	18.2	2.9	314
Ячмень бессменный		1.88	5.1	22.5	3.1	18.6	2.0	440
Озимая рожь бессменная		1.81	5.1	19.8	3.2	18.4	2.7	294
Залежь		2.35	4.8	19.8	4.8	17.2	2.8	473
Чистый пар бессменный		1.34	5.0	21.1	3.1	16.2	3.9	340
Севооборот (29% бобовых)	NPK	2.51	5.3	21.0	3.2	17.9	2.7	733
Севооборот (0% бобовых)		1.93	5.1	20.0	3.5	17.7	2.9	463
Севооборот (42% бобовых)		1.92	5.0	20.5	3.2	19.4	1.2	495
Ячмень б/с		1.77	5.0	19.6	3.7	18.2	1.9	679
Оз. рожь б/с		1.83	5.1	19.3	3.0	16.3	3.7	321
<i>HCP</i> ₀₅ : главные эффекты	фактора <i>A</i>	0.12	0.1	$F_{\phi} < F_{\tau}$	0.3	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	70
	фактора <i>B</i> и взаимодействия <i>AB</i>	$F_{\phi} < F_{\tau}$	0.1	0.7	0.2	1.1	$F_{\phi} < F_{\tau}$	54
<i>HCP</i> ₀₅ : частные различия	1-го порядка	0.18	0.1	0.9	0.4	4.5	4.6	99
	2-го порядка	0.13	0.1	1.7	0.5	3.0	4.1	140

сле длительного возделывания на этом участке севооборота с насыщением зерновыми до 72%, поэтому на данном участке опытного поля почва имела более низкое содержание гумуса, чем в типичном севообороте. Закономерных изменений содержания обменного кальция и магния в опыте не установлено.

Азотный фонд почвы является важнейшей характеристикой ее плодородия и отражает как биоклиматические особенности природной зоны, так и особенности приемов землепользования [11, 12]. Под воздействием различных агротехнических приемов отмечены количественные изменения в содержании органического и минерального азота почвы.

Содержание общего азота в слое 0–20 см исследованной почвы было минимальным в варианте бессменного чистого пара и составляло на момент обследования 980 мг/кг, что, по-видимому, было связано с высокой скоростью минерализации органического вещества при интенсивной механической обработке почвы (табл. 2). Многолетнее возделывание ячменя и озимой ржи на одном поле без внесения удобрений и с применением NPK поддерживало уровень азота в почве в интервале 1440–1620 мг/кг. Ведение зернового севооборота (0% бобовых) истощало дерново-подзолистую почву, содержание азота снизилось до 1280–1300 мг/кг.

В связи со значительным выносом азота культурами севооборота с высоким насыщением бобовыми (высокая урожайность зерновых – 22–30 ц з.е./га, интенсивная минерализация органического материала при оптимальном соотношении C : N) его содержание было меньше, чем в почве типичного севооборота, и составило 1430 мг/кг. Обогащение почвы азотом отмечено только при наложении органо-минеральной системы удобрения в типичном 7-польном севообороте, где содержание общего азота достигло уровня 1730–2060 мг/кг.

Таблица 2. Фракционный состав азота дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

Фактор А – тип землепользования	Фактор В – минеральные удобрения	Азот общий		Азот негидролизующий		Азот трудногидролизующий		Азот легкогидролизующий		Азот минеральный	
		мг/кг	% к общему азоту	мг/кг	% к общему азоту	мг/кг	% к общему азоту	мг/кг	% к общему азоту	мг/кг	% к общему азоту
Севооборот (29% бобовых) Севооборот (0% бобовых) Севооборот (43% бобовых) Ячмень бессеменный Озимая рожь бессеменная Залежь Чистый пар	Без удобрений	1730	54.4	941	560	217	32.6	217	12.6	8.9	0.5
		1300	51.0	660	420	205	32.7	205	15.8	6.7	0.5
		1430	46.6	665	510	247	35.5	247	17.3	8.7	0.6
		1440	55.1	794	420	217	29.3	217	15.0	7.9	0.5
		1440	52.7	759	450	227	31.1	227	15.8	7.1	0.5
		1550	44.8	696	550	300	35.6	300	19.3	5.2	0.3
		980	41.0	402	400	175	40.4	175	17.9	7.0	0.7
		2060	57.2	1180	590	284	28.7	284	13.8	10.8	0.5
Севооборот (29% бобовых) Севооборот (0% бобовых) Севооборот (43% бобовых) Ячмень бессеменный Озимая рожь бессеменная	НРК	130	49.4	633	420	222	32.7	222	17.3	7.0	0.5
		1450	43.1	622	560	258	38.6	258	17.8	9.2	0.6
		1620	50.1	821	560	279	34.3	279	17.2	7.3	0.4
		1450	44.5	644	570	230	39.2	230	15.9	6.8	0.5
$HC_{P_{0.5}}$: главные эффекты	фактора А фактора В и взаимодействия АВ	300			$F_{\phi} < F_{\Gamma}$			$F_{\phi} < F_{\Gamma}$		$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	
		$F_{\phi} < F_{\Gamma}$		48		$F_{\phi} < F_{\Gamma}$		$F_{\phi} < F_{\Gamma}$		$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	
$HC_{P_{0.5}}$: частные различия	1-го порядка 2-го порядка	420			160	67				1.6	
		150			110	44				2.7	

Залежь характеризовалась типичным для естественных дерново-подзолистых почв уровнем азота – 1550 мг/кг [13, 14].

Основные запасы азота почвы представлены в органической форме. Полученные экспериментальные данные свидетельствовали о том, что в слое 0–20 см исследованной дерново-подзолистой почвы азот представлен преимущественно негидролизруемыми и трудногидролизруемыми формами. Содержание негидролизованного азота варьировало от 402 до 1180 мг/кг и составляло 43–57% от общего азота в почве. Следует отметить, что внесение минеральных удобрений уменьшало долю негидролизованного азота и увеличивало долю его гидролизующих фракций, т.е. делало азотный фонд почвы более подвижным [15, 16]. Возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте с высоким (43%) насыщением бобовыми культурами также способствовало уменьшению негидролизованной фракции азота. Доля трудногидролизованного азота составила 28.7–40.4% от общего. Закономерных изменений его содержания от внесения удобрений или типа севооборота не установлено.

Среди органических соединений азота наиболее ценной в агрономическом отношении является фракция легкогидролизованного азота ($N_{лг}$), являющегося ближайшим резервом питания растений [17–19]. Отмечена тенденция к увеличению содержания данной фракции азота при внесении минеральных удобрений. Севооборот (0% бобовых) характеризовался низким содержанием легкогидролизованного азота в почве, увеличение доли бобовых не привело к накоплению этой фракции. В почве бессменного пара содержание $N_{лг}$ соответствовало почве севооборотных полей и бессменных культур. По абсолютному содержанию этой фракции выделялась залежная почва – 300 мг $N_{лг}$ /кг почвы.

Фракция минерального азота представлена аммиачным и нитратным азотом и составляла 0.3–0.7% от общего азота. Закономерных изменений в ее содержании не установлено. Максимальную величину этот показатель имел в севообороте (28.6% бобовых), в варианте навоз + NPK (10.8 мг/кг). Относительное содержание минерального азота было больше в почве бессменного чистого пара – 0.75%, что связано, скорее всего, с повышенной аэрацией почвы, которая вызывала ускорение процессов разложения органических соединений азота.

Таким образом, азотный фонд дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта представлен на 43–57% негидролизующими и на

28–40% – трудногидролизующими формами азота. Длительное применение полного минерального удобрения (NPK) привело к увеличению содержания гидролизующих форм азота, повысило абсолютное содержание легкогидролизованной фракции. Севооборот с двумя полями клевера, внесением навоза и минеральных удобрений обеспечивал максимальное накопление доступных для растений фракций азота. Бессменное парование и возделывание культур в зерновом севообороте истощали почву. Различные приемы земледелия не изменили соотношение фракций в составе азота, характерное для дерново-подзолистых почв Предуралья.

ВЫВОДЫ

1. Интенсивная механическая обработка (вариант бессменного чистого пара), отсутствие поступающего органического материала привели к уменьшению содержания гумуса на 30% и обеднению элементами питания дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. Возделывание культур в севообороте (28.6% бобовых) с применением органо-минеральной системы удобрения способствовало увеличению содержания гумуса до 2.5%, фосфора – до 537–732 мг/кг. Увеличение доли бобовых до 42.9% в севообороте обеспечило сохранение исходного уровня содержания гумуса и других агрохимических показателей в почве.

2. Почва, находящаяся в состоянии залежи 40 лет, содержала общего азота 1550 мг/кг. При длительном паровании его содержание уменьшилось до 980 мг/кг. Бессменное возделывание ячменя и озимой ржи не способствовало накоплению азота в почве. Накопление азота большее, чем в целинных почвах, обеспечил севооборот с 2-мя полями клевера и применением органо-минеральной системы удобрения – до 2060 мг/кг. Длительное применение минеральных удобрений привело к увеличению содержания гидролизующих, потенциально доступных растениям, фракций азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 50 лет агрохимической службы Пермского края. Пермь: ГЦАС “Пермский”, 2014. 52 с.
- Козлова Л.М., Денисова А.В. Промежуточные культуры в полевых севооборотах Кировской области // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 5 (42). С. 33–37.
- Оразбаев К., Абдибаттаева М.М. Экологические и агроландшафтные особенности зональных систем земледелия в условиях Казахстана // Усп. совр. естествознания. 2013. № 1. С. 92–97.

4. Козлова Л.М., Рубцова Н.Е., Соболева Н.Н. Трансформация органического вещества агродерново-подзолистых почв Евро-Северо-Востока // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 6 (49). С. 47–53.
5. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: Изд-во ВНИИА, 2012. 512 с.
6. Чеботарев Н.Т. Роль севооборота и удобрений в воспроизводстве плодородия подзолистых почв Республики Коми // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2005. № 7. С. 35–38.
7. Козлова Л.М. Эффективность полевых севооборотов при различных уровнях интенсификации земледелия в Кировской области // Аграрн. наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 2 (39). С. 30.
8. Шконде Э.И., Королева И.Е. О природе и подвижности почвенного азота // Агрохимия. 1964. № 10. С. 17–35.
9. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
10. Завьялова Н.Е. Органическое вещество дерново-подзолистых почв Предуралья. Пермь, 2014. 328 с.
11. Никитишен В.И. Эколого-агрохимические основы сбалансированного применения удобрений в адаптивном земледелии / Под ред. Минеева В.Г. М.: Наука, 2003. 183 с.
12. Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г. Динамика гумусного состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2012. № 6. С. 23–31.
13. Завьялова Н.Е. Гумус и азот дерново-подзолистой почвы различных сельскохозяйственных угодий Пермского края // Почвоведение. 2016. № 1. С. 1347–1354.
14. Юферова Л.К. Качественный состав гумуса и формы азота в главнейших почвах Пермской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пермь, 1969. 21 с.
15. Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Сторожева А.Н. Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2014. № 6. С. 20–28.
16. Пискунов А.С. Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье. Пермь, 1994. 168 с.
17. Безносиков В.А. Эколого-агрохимические основы оптимизации азотного питания растений на подзолистых почвах Европейского Северо-Востока России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пермь: ПСХА, 2000. 37 с.
18. Цыбулько Н.Н., Черныш А.Ф., Жукова И.И., Пунченко С.С. Азотный фонд дерново-подзолистых почв различной степени эродированности и потери азота в процессе водной эрозии // Агрохимия. 2013. № 2. С. 3–10.
19. Пигарева Н.Н., Пьянкова Н.А. Особенности азотного фонда Бурятии // Агрохимия. 2011. № 11. С. 3–10.

Effect of Crop Rotations and Monoculture on Agrochemical Properties and Nitrogen Regime of Sod-Podzolic Soil of the Cis-Ural Region

N. E. Zav'yalova^{a,#}, D. S. Fomin^a, and I. S. Teterlev^a

^a Perm Scientific Centre of the Ural Division of RAS
s. Lobanovo, Perm 614532, Russia

[#]E-mail: nezavyalova@gmail.com

In the long-term stationary experiment the agrochemical properties of arable soils under continuous bare fallow, monoculture and crop rotations were compared with the abandoned field directly adjacent to arable land. The humus content after 40 years of continuous bare fallow (1.34%) was conventionally assumed as the minimum humus content in sod-podzolic heavy loamy soil of the Cis-Ural region. The nitrogen pool of sod-podzolic soil in a long-term stationary experiment was represented by 43–57% of nonhydrolyzable and by 28–40% of hardly hydrolyzable nitrogen forms. Long-term application of full mineral fertilizer (NPK) resulted in an increase of the content of hydrolyzable nitrogen forms and the absolute content of the easily hydrolyzable fraction. After 40 years of the experimentation the characteristics of the abandoned arable soil corresponded to a virgin soil.

Key words: crop rotations, monoculture, agrochemical properties, nitrogen regime, sod-podzolic soil, Cis-Ural region.