

го использования / С.И. Веремеенко, О.А. Фурманец // Почвоведение. – 2014. – № 5. – С. 602–610.

10. Медведев, В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.

11. Зинченко, В.С. Оценка экологического состояния серой лесной почвы в агроэкосистемах в зависимости от приемов основной обработки почвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08, 03.02.13 / В.С. Зинченко. – Владимир, 2011. – 22 с.

COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF ANHYDROUS AMMONIA AND AMMONIUM NITRATE IN A LINK OF FIELD ROTATION

N.N. Miroshnichenko, A.V. Revt'e, E.Yu. Gladkikh, E.V. Panasenko

Summary

In the article is presents the economic substantiation of application of anhydrous ammonia in agriculture, is installed degree of its negative impact on soil and environmental parameters. Investigations were carried out in the short and long-term dynamics for three years in a field experiment. Results of investigations are demonstrated the influence of particular anhydrous ammonia on the physical and chemical and microbiological parameters of chernozem podzolic, productivity of element crop rotation (wheat, corn, sunflower). The advantage introducing anhydrous ammonia before sowing in comparison with traditional ammonium nitrate was established.

Поступила 20.03.15

УДК 631.8:631.445.2

ВЛИЯНИЕ САПРОПЕЛЕЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА СЕВООБОРОТА И ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ

Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, О.М. Бирюкова

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Стабильное наращивание темпов производства сельскохозяйственной продукции в условиях Республики Беларусь, где в структуре посевных площадей доминируют генетически малопродуктивные дерново-подзолистые почвы, возможно при условии комплексного и экономически обоснованного подхода к решению конкретных задач [1, 2].

Традиционно, окультуривание дерново-подзолистых почв велось на основе применения органических удобрений, которые оказывают существенное положительное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур, оптимизируют агрофизические и микробиологические характеристики почвы, воздействуют на процессы накопления, минерализации и трансформации почвенного гумуса [3–5].

Наряду с применением традиционных органических удобрений – различных видов навоза, целесообразно использовать иные возможные источники органического вещества и элементов питания растений. В качестве самостоятельного удобрения, в сочетании с минеральными удобрениями, а также для производства компостов применимы, в частности, сапропели – вещества биогенного происхождения, образующиеся на дне пресноводных озер из растительных и животных остатков в результате микробиологических процессов, протекающих при недостатке кислорода [6–9].

Цель исследований – установить влияние органо-известковистого и кремнеземистого сапропелей на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2010–2013 гг. в стационарном полевом опыте, заложенном в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой оглеенной внизу супесчаной почве, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком. Испытания проводили в звене севооборота кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале. Опыт развернут в двух полях, в четырехкратной повторности вариантов. Общая площадь делянки – 20 м² (4 м × 5 м). Пахотный слой исследуемой почвы перед закладкой опыта характеризовался следующими агрохимическими показателями: рН_{KCl} 5,5–5,6; содержание гумуса – 2,21–2,41%, P₂O₅ (0,2 МНCl) – 155–205 мг/кг, K₂O (0,2 МНCl) – 227–246 мг/кг почвы.

Исследуемые культуры: кукуруза Дельфин (2010–2011 гг.), яровой рапс Антей (2011–2012 гг.), озимое тритикале Вольтарио (2012–2013 гг.). Дозы минеральных удобрений: под кукурузу – N₉₀₊₆₀P₆₀K₁₄₀, яровой рапс – N₈₀₊₃₀P₆₀K₁₂₀, озимое тритикале – N₇₀₊₃₀₊₄₀P₆₀K₁₂₀.

При расчете продуктивности культур звена севооборота использовали следующие коэффициенты перевода в кормовые единицы: зеленая масса кукурузы – 0,27; семена рапса – 1,42; солома рапса – 0,1; зерно озимого тритикале – 1,19; солома озимого тритикале – 0,21 [10].

Фосфорные (аммонизированный суперфосфат) и калийные (хлористый калий) удобрения вносили весной в основное внесение, азотные (карбамид) – в предпосевную культивацию и подкормки согласно схеме опыта. Органические удобрения внесены под первую культуру звена севооборота (кукурузу) под вспашку. Дозы сапропелей выровнены по азоту, внесенному с подстилочным навозом КРС в дозе 60 т/га. Основные показатели органических удобрений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели изучаемых органических удобрений

Вид удобрения	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	C	Влажность, %	рН _{KCl}
	% в расчете на естественную влажность							
Подстилочный навоз КРС	0,43	0,26	0,33	0,13	0,06	9,6	77	7,87
Сапропель органо-известковистый	0,66	0,40	0,39	2,89	0,14	8,8	48	7,90
Сапропель кремнеземистый	0,57	0,25	0,51	1,98	0,24	6,0	50	7,45

В почвенных образцах обменную кислотность pH_{KCl} определяли по ГОСТ 26483–85, содержание органического вещества – по ГОСТ 26213–91; подвижных форм фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91; фракционно-групповой состав гумуса – по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой [11]. Баланс элементов питания рассчитан согласно методике [12].

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [13] с использованием MS Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованиях установлено положительное влияние применяемых минеральных и органических удобрений на урожайность культур звена севооборота кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале. За счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при соблюдении технологии возделывания кукурузы в среднем за два года получено зеленой массы 371 ц/га (табл. 2). Прибавка от внесения $N_{90+60}P_{60}K_{140}$ составила 179 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 51 кг зеленой массы. Прибавка урожайности кукурузы от совместного действия подстилочного навоза КРС и минеральных удобрений была на уровне 287 ц/га, при этом за счет действия навоза получено 108 ц/га или 180 кг зеленой массы на 1 т. Внесение минеральных удобрений на фоне органо-известковистого и кремнеземистого сапропелей способствовало повышению урожайности кукурузы относительно неудобренного варианта на 265–267 ц/га, при этом за счет сапропелей получено 86–88 ц/га или 191 кг зеленой массы на 1 т кремнеземистого и 220 кг/т органо-известковистого сапропеля.

Таблица 2

Влияние удобрений на продуктивность звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве за 2010–2013 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га			Продуктивность звена севооборота	Прибавка		Окупаемость, к.ед.	
	кукуруза на з.м.	рапс яровой	тритикале озимое		к контролю	от орг. уд.	1 т орг. уд.	1 кг NPK орг. уд.
				ц к.ед./га				
Без удобрений	371	9,4	45,4	174,9	–	–	–	–
$N_{400}P_{180}K_{380}$	550	19,7	74,2	278,6	103,7	–	–	7,6
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + $N_{400}P_{180}K_{380}$	658	22,4	76,8	315,4	140,5	36,8	61,3	6,0
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + $N_{400}P_{180}K_{380}$	636	22,4	78,3	311,8	136,9	33,2	73,7	5,5
Сапропель органоизвестковистый, 40 т/га + $N_{400}P_{180}K_{380}$	638	20,7	77,7	308,2	133,3	29,6	74,0	5,1
$НСР_{05}$	22	1,32	2,3	11,3				

Результаты исследований показали, что сапропели и подстилочный навоз, внесенные в эквивалентных по азоту дозах, по влиянию на урожайность зеленой массы кукурузы были равноценны. Разница в урожайности находится в пределах $НСР_{05}$.

Урожайность ярового рапса в неудобренном варианте в среднем за два года составила 9,4 ц/га или 29 кг на 1 балло-гектар. Внесение минеральных удобрений

способствовало дополнительному сбору 10,4 ц/га семян при окупаемости 1 кг NPK 3,6 кг семян рапса. Исследования подтвердили положительное влияние последействия подстилочного навоза KPC на урожайность семян ярового рапса. При этом установлено, что влияние сапропеля кремнеземистого было на уровне действия подстилочного навоза и прибавка семян составила 2,7 ц/га. Прибавка семян за счет последействия органо-известковистого сапропеля была не достоверной.

В среднем за два года в варианте без удобрений, при выполнении всех элементов технологии возделывания озимого тритикале, урожайность зерна составила 45,4 ц/га (табл. 2). Внесение минеральных удобрений $N_{70+30+40}P_{60}K_{120}$ обеспечило дополнительный сбор зерна на уровне 28,8 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 9,0 кг зерна. Последействие (2-й год) подстилочного навоза KPC, оказало достоверное положительное влияние на рост урожайности зерна озимого тритикале, обеспечив прибавку на уровне 2,6 ц/га относительно минерального фона. Последействие сапропелей обеспечило получение 3,5 и 4,1 ц/га зерна.

В целом продуктивность звена севооборота при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве в варианте без применения удобрений составила 174,9 ц к.ед./га (табл. 2). Применение минеральной системы удобрения обеспечило дополнительный сбор 103,7 ц к.ед./га, при окупаемости 1 кг NPK 7,6 к.ед. Внесение $N_{400}P_{180}K_{380}$ на фоне подстилочного навоза KPC увеличило продуктивность на 140,5 ц к.ед./га по сравнению с неудобренным вариантом. При этом за счет подстилочного навоза получено всего 36,8 ц к.ед./га или 61 к.ед./т: 80% относительно суммарной прибавки за звено севооборота – от прямого действия, 1-й год последействия обеспечил 11%, 2-й – 9%.

Применение $N_{400}P_{180}K_{380}$ на фоне кремнеземистого и органо-известковистого сапропелей обеспечило по сравнению с вариантом без удобрений дополнительный сбор 136,9 и 133,2 ц к.ед./га соответственно, при этом за счет сапропелей получено 33,2 и 29,6 ц к.ед./га, или 74 к.ед./т. В год действия сапропели обеспечили 70 и 80% прибавки, в 1-й год последействия – 13 и 5%, во 2-й год последействия – 17 и 15% прибавки продуктивности, относительно суммарной за звено севооборота. Оценка сравнительного действия основных элементов питания, содержащихся в навозе и сапропелях показала, что 1 кг NPK подстилочного навоза обеспечил сбор 6,0 к.ед. за звено севооборота, окупаемость 1 кг NPK сапропелей была несколько ниже и составила: кремнеземистого – 5,5 к.ед., органо-известковистого – 5,1 к.ед.

Оценка общего выноса элементов минерального питания, объединяющая показатели урожайности и содержание питательных элементов в сельскохозяйственной продукции, является объективной и результирующей величиной. Однако хозяйственный вынос питательных элементов сильно варьирует у одних и тех же культур и зависит от урожайности, сорта, применяемых удобрений, плодородия почвы, погодных условий и т. д. [1].

Удельный вынос элементов питания – величина более постоянная, рассчитывается на 1 т основной продукции при соответствующем количестве побочной.

Расчеты показали, что минимальный общий вынос элементов питания за звено севооборота был в варианте без удобрений (табл. 3). Внесение минеральных удобрений увеличило общий вынос азота на 197 кг/га, фосфора – на 76 кг/га, калия – на 220 кг/га, кальция – на 23 кг/га, магния – на 22 кг/га, что в среднем по элементам питания за звено севооборота составило 81%.

Вынос элементов питания культурами звена севооборота в зависимости от применяемых удобрений (среднее за 2012–2013 гг.)

Вариант	Общий (хозяйственный) вынос, кг/га					Удельный вынос с 1 т к. ед., кг				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Без удобрений	226	114	261	31	30	12,9	6,5	14,9	1,8	1,7
N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	423	190	481	54	52	15,2	6,8	17,3	1,9	1,9
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	495	230	568	67	57	15,7	7,3	18,0	2,1	1,8
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	489	216	583	71	59	15,7	6,9	18,7	2,3	1,9
Сапропель органо-известковистый, 40 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	473	215	539	69	59	15,4	7,0	17,5	2,2	1,9
Среднее по удобренным вариантам	421	193	486	58	51	15,0	6,9	17,3	2,1	1,8

Применение 45 т/га кремнеземистого и 40 т/га органо–известковистого сапропелей увеличивало относительно фонового варианта (N₄₀₀P₁₈₀K₃₈₀) общий вынос азота в среднем на 14%, фосфора – на 13%, калия – на 17%, кальция – на 30% и магния – на 13%. Близкие показатели общего выноса получены при внесении подстилочного навоза КРС в дозе 60 т/га, вынос азота относительно минерального фона увеличился на 17%, фосфора – на 21%, калия – на 18%, кальция – на 24%, магния – на 10%.

Анализируя долевое участие каждой культуры в общем выносе элементов питания, установлено, что с зеленой массой кукурузы вынесено в среднем азота – 58%, фосфора – 54%, калия – 71%, кальция – 55%, магния – 62% от общего за звено севооборота (рис. 1). С семенами и соломой ярового рапса отчуждено 16% азота, 20% фосфора, 12% калия, 34% кальция, 22% магния; с урожаем озимого тритикале вынесено 26% азота, 26% фосфора, 17% калия, 11% кальция, 16% магния от общего выноса за звено севооборота.

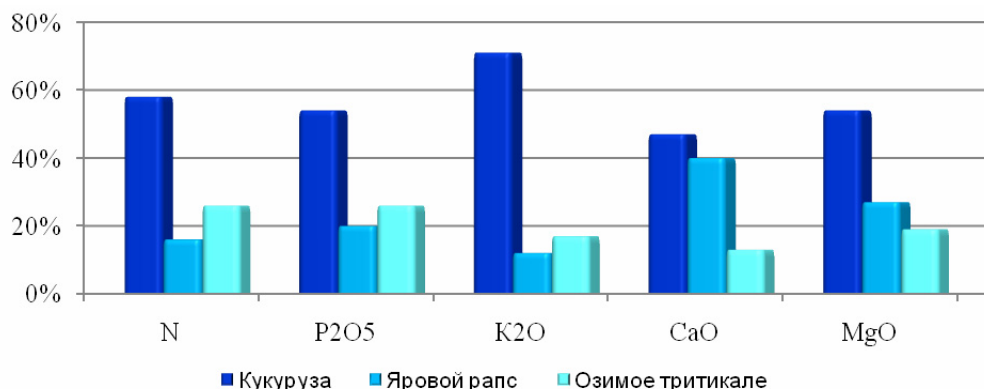


Рис. 1. Долевое участие культур севооборота в общем выносе элементов питания

Удельный вынос основных элементов питания мало зависел от применяемых удобрений. В среднем по удобренным вариантам опыта с 1 т к. ед. вынос азота составил 15,0 кг, фосфора – 6,9 кг, калия – 17,3 кг, кальция – 2,1 кг, магния – 1,8 кг.

При разработке систем удобрения, в частности расчете доз удобрений, необходимо учитывать коэффициенты использования элементов питания из различных удобрений растениями. В связи с этим уточнение коэффициентов использования основных элементов питания из сапропелей в действии и последствии представляет определенный научно-практический интерес.

Согласно расчетам при органо-минеральной системе удобрения коэффициент использования растениями азота органо-известковистого сапропеля был минимальным в опыте и составил 19% за звено севооборота (табл. 4). Более полно использовался азот кремнеземистого сапропеля – 26%. Коэффициент использования азота из подстилочного навоза КРС составил 28%.

Таблица 4

Коэффициенты использования элементов питания из органических удобрений культурами звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант	Коэффициенты использования элементов питания из органических удобрений, %											
	кукуруза на зел. массу			яровой рапс			озимое тритикале			за звено севооборота		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	19	19	35	4	6	3	4	1	6	28	26	44
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	18	14	31	4	6	6	4	4	8	26	24	44
Сапропель органо-известковистый, 40 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	15	11	25	2	2	3	2	3	9	19	16	37

Органо-известковистый сапропель (влажность 48%) характеризовался наиболее высоким содержанием фосфора (0,40%), и как следствие более низким коэффициентом его использования – 16% за звено севооборота. В сравнении с органо-известковистым сапропелем, фосфор кремнеземистого сапропеля использовался в 1,5 раза лучше. Коэффициент использования фосфора из подстилочного навоза КРС был самым высоким и составил 26%.

Наиболее доступным для растений был калий. Коэффициенты его использования из навоза и сапропелей за звено севооборота находились на уровне 37–44%, при этом на первую культуру звена севооборота приходилось от 25 до 35%.

Баланс элементов питания растений, отражающий пути превращения и расхода питательных элементов удобрений, а также оценка фактического изменения агрохимических показателей во времени, во многом определяют эффективность органических и минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур.

В результате оценки баланса элементов питания, установлено, что минеральная система удобрения не обеспечила бездефицитный баланс азота. При органо-минеральной системе удобрения во всех вариантах отмечен положительный

баланс азота, при этом наибольшая его интенсивность получена в варианте с применением органо-известковистого сапропеля в дозе 40 т/га – 108%. Внесение подстилочного навоза КРС в дозе 60 т/га и кремнеземистого сапропеля в дозе 45 т/га обеспечило аналогичные показатели интенсивности баланса азота – 104% (табл. 5).

Таблица 5

**Баланс элементов питания в дерново-подзолистой супесчаной почве
за звено севооборота, 2010–2013 гг.**

Вариант	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	баланс, ± кг/га	интен- сивность баланса, %	баланс, ± кг/га	интен- сивность баланса, %	баланс, ± кг/га	интен- сивность баланса, %
Без удобрений	-198	29	-109	5	-313	3
N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	-95	84	-5	98	-153	72
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	27	104	111	148	-42	93
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	32	104	82	138	-25	96
Сапропель органо-известковистый, 40 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	53	108	130	161	-55	91

Более благоприятным в опыте был баланс фосфора. Богатый фосфором органо-известковистый сапропель обеспечил наибольшую интенсивность его баланса – 161%, в варианте с применением кремнеземистого сапропеля интенсивность баланса фосфора составила 138%, подстилочного навоза КРС – 148%. В варианте с минеральной системой удобрения баланс фосфора был близким к нулевому.

Баланс калия был отрицательным во всех вариантах опыта, даже при органо-минеральной системе удобрения вынос с урожаем и потери при выщелачивании превышали поступление калия в почву на 25–55 кг/га. При минеральной системе удобрения баланс калия был резко отрицательным (–153 кг/га).

Расчет баланса основных элементов питания растений позволяет прогнозировать изменения их содержания в почве. Однако более точным критерием для оценки влияния изучаемых удобрений на состояние плодородия почв является фактическое изменение агрохимических показателей за звено севооборота.

В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве в звене севооборота кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале исходный уровень рН_{KCl} до закладки опыта колебался в пределах 5,61–5,72 (табл. 6). Применение минеральных удобрений оказало подкисляющее действие на почву. В результате уровень рН_{KCl} достоверно снизился до 5,46. Тенденция к подкислению на 0,11 обнаружена также при применении подстилочного навоза КРС на минеральном фоне. Внесение кремнеземистого сапропеля нивелировало отрицательное подкисляющее действие минеральных удобрений: отмечена тенденция к увеличению рН_{KCl}, а внесение органо-известковистого сапропеля на минеральном фоне достоверно увеличивало рН_{KCl} с 5,67 до 5,87.

Применение минеральных и органических удобрений достоверного влияния на содержание гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой почвы не оказало. Наиболее выраженная тенденция к снижению содержания гумуса отмечена

в варианте без удобрений (на 0,11%). Совместное применение органических и минеральных удобрений позволило поддерживать содержание гумуса в почве на исходном уровне с некоторой тенденцией к увеличению (на 0,01 до 0,04%).

Динамика подвижных форм фосфора и калия согласуется с балансовыми расчетами. В результате исследований установлено снижение содержания P_2O_5 в варианте без удобрений на 21 мг/кг. Применение минеральных удобрений достоверного влияния на содержание фосфора не оказало. При органо-минеральной системе удобрения наиболее значительные положительные изменения обнаружены на фоне применения органо-известковистого сапропеля: содержание P_2O_5 увеличилось на 24 мг/кг. Применение подстилочного навоза КРС и кремнеземистого сапропеля увеличивало этот показатель на 21 и 16 мг/кг соответственно.

Таблица 6

Влияние удобрений на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы

Вариант	рН _{KCl}			гумус, %			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг		
	2010–2011 г.	2012–2013 г.	+	2010–2011 г.	2012–2013 г.	+	2010–2011 г.	2012–2013 г.	+	2010–2011 г.	2012–2013 г.	+
Без удобрений	5,68	5,51	-0,17	2,25	2,14	-0,11	131	110	-21	242	148	-94
N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	5,72	5,46	-0,26	2,41	2,36	-0,05	135	136	1	247	191	-56
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	5,66	5,55	-0,11	2,38	2,39	0,01	129	150	21	230	203	-27
Сапропель кремнеземистый, 45 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	5,61	5,70	0,09	2,60	2,63	0,03	130	146	16	229	188	-41
Сапропель органо-известковистый, 40 т/га + N ₄₀₀ P ₁₈₀ K ₃₈₀	5,67	5,87	0,20	2,62	2,66	0,04	133	157	24	229	202	-27
НСР ₀₅	0,21	0,18		0,15	0,13		12	14		22	15	

Содержание подвижных форм калия снизилось во всех вариантах опыта. В варианте без удобрений данный показатель снизился на 94 мг/кг. Внесение за звено севооборота 380 кг хлористого калия в составе минеральных удобрений оказалось недостаточным для поддержания подвижного калия в почве на исходном уровне: показатель снизился на 57 мг/кг. При органо-минеральной системе удобрения снижение калия также было существенным – на 27–41 мг/кг.

Доказано, что плодородие почв в значительной степени определяется содержанием, составом и свойствами гумусовых веществ. Для дерново-подзолистых почв исследования по изучению гумусного состояния представляют особый интерес, поскольку почвы формируются при постоянном участии элювиального почвообразовательного процесса, что отражается на их гумусовом режиме. Выяснение механизма трансформации гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах на фоне применения удобрения относится к числу наиболее значимых задач, что обусловлено влиянием удобрений на свойства и режимы почв, миграцию и аккумуляцию в них веществ и энергии [14, 15].

Оценка гумусного состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы показала, что в варианте без удобрений в составе гумусовых веществ доминирующая роль принадлежала подвижным формам. В группе гуминовых кислот относительное содержание ГК-1 достигло 12,9% от $C_{\text{общ}}$, что в долевым выражении составило 49% от суммы гуминовых кислот и согласно системе показателей гумусного состояния [16] оценивалось как среднее (табл. 7). Относительное суммарное количество подвижных фульвокислот (ФК-1а + ФК-1) было на уровне 22,1%, что в 1,7 раза превышало фракцию гуминовых кислот, свободных и связанных с полуторными оксидами. При этом доленое участие фракции ФК-1 составило 51% от суммы фульвокислот, «агрессивной» фракции ФК-1а – 18%.

Таблица 7

Изменение фракционно-группового состава гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием органических и минеральных удобрений, % к общему углероду почвы ($C_{\text{общ}}$)

Вариант	Собщ., % к массе почвы	Фракции гуминовых кислот				Фракции фульвокислот					$C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$
		1	2	3	Σ ГК	1а	1	2	3	Σ ФК	
Без удобрений	1,28	12,9	4,6	8,8	26,3	5,7	16,4	6,5	3,5	32,1	0,82
$N_{400}P_{180}K_{380}$	1,39	15,5	4,1	9,0	28,6	6,3	18,7	5,8	3,7	34,5	0,83
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + $N_{400}P_{180}K_{380}$	1,39	16,2	5,1	9,0	30,3	5,7	20,9	6,4	3,5	36,5	0,83
Сапропель кремне- земистый, 45 т/га + $N_{400}P_{180}K_{380}$	1,51	14,6	5,6	8,9	29,1	5,4	18,3	7,5	3,7	34,9	0,84
Сапропель органо-из- вестковистый, 40 т/га + $N_{400}P_{180}K_{380}$	1,53	12,6	6,3	9,2	28,1	4,7	15,7	8,3	3,9	32,6	0,86

Наименьшей долей (всего 18%) в сумме гуминовых кислот характеризовалась 2-я фракция ГК, связанная с кальцием, которая в соответствии с градацией классифицировалась как очень низкая при высоком содержании ГК-3 (33% от суммы гуминовых кислот). Обогащенность гумуса фульватами кальция в 1,4 раза была выше по сравнению с ГК-2; количество ФК-3, наоборот, в 2,5 раза уступало по содержанию фракции ГК-3. В целом при изучении группового состава гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы установлено, что общее количество гуминовых кислот в варианте без удобрений было минимальным по опыту и находилось на уровне 26,3% от общего углерода почвы, содержание фульвокислот в сумме составило 32,1%, вследствие чего $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ было равным 0,82, тип гумуса – гуматно-фульватный.

На фоне внесения минеральных удобрений отмечены некоторые негативные отклонения в качестве гумуса по сравнению с неудобренным вариантом. Наиболее чувствительными к воздействию минеральных удобрений были подвижные фракции гумусовых веществ и фракции, связанные с кальцием. При этом данные группы гумусовых веществ характеризовались разнонаправленностью протекающих процессов. Анализ полученного материала показал, что наблюдалась активизация в образовании подвижных гумусовых веществ: относительное содержание

ГК-1 увеличилось до 15,5% от $C_{\text{общ.}}$, ФК-1а – до 6,3% и ФК-1 – до 18,7%. Содержание фракций, связанных с кальцием, наоборот, уменьшалось, что, по-видимому, обусловлено перегруппировкой в этих группах гумусовых веществ. По мнению Л.Г. Бакиной [17], на известкованных дерново-подзолистых почвах происходит увеличение содержания фракций гумусовых кислот, связанных с кальцием, за счет уменьшения фракций, связанных с подвижными формами полуторных оксидов. На фоне минеральных удобрений из-за подкисления почвенного раствора, возможно, наблюдался обратный процесс, в результате которого доленое участие гуматов кальция в общей сумме гуминовых кислот уменьшилось до 14%, что указывает на ухудшение качества гумуса и явилось одним из характерных признаков деградационных изменений в гумусовой системе на уровне фракций гумусовых кислот [18, 19]. В целом суммарное содержание гуминовых кислот при минеральной системе удобрения составило 28,6% от $C_{\text{общ.}}$, фульвокислот – 34,5%, $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ находилось на уровне этого показателя в варианте без удобрений и равнялось 0,83.

При изучении особенностей трансформации гумусовых веществ в дерново-подзолистой супесчаной почве за короткий промежуток времени особый интерес представляет совместное действие органических и минеральных удобрений. Определено, что органо-минеральная система удобрения, предусматривающая внесение подстилочного навоза КРС, обеспечила увеличение относительного содержания всех фракций гуминовых кислот по сравнению с минеральным фоном и неудобренным вариантом, в результате чего их сумма характеризовалась наиболее высоким по опыту показателем (30,3%). Однако применение этой системы удобрения сопровождалось также довольно интенсивной аккумуляцией ФК-1 при сохранении содержания остальных фракций фульвокислот на уровне неудобренного варианта. Отношение $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$, которое свидетельствует об общей направленности процесса гумусообразования, также не претерпело изменений, что свидетельствует об однонаправленности отклонений в составе гумуса: прирост в количестве гуминовых кислот сопровождался соразмерной прибавкой в общем содержании фульвокислот.

За изучаемый период в вариантах с внесением сапропелей совместно с минеральными удобрениями выявлена наиболее позитивная направленность изменения качественного состава гумуса, на что указывает отчетливо выраженное увеличение содержания ГК-2 – 5,6–6,3% от $C_{\text{общ.}}$. Расчет долевого участия этой фракции в общей сумме гуминовых кислот показал максимум их выхода по опыту (19–22%). На усиление признака гуматности гумуса на фоне применения сапропелей указывает также уменьшение содержания подвижных фракций фульвокислот. Определено, что доля (ФК-1а + ФК-1) в суммарном содержании фульвокислот составила 63–68% против 69–73% в остальных изучаемых вариантах. В вариантах, предусматривающих применение кремнеземистого и органо-известковистого сапропелей, в отличие от других опытных вариантов отмечено некоторое расширение отношения $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$ до 0,84–0,86.

В целом при оценке гумусного состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы на основании анализа изменения отдельных компонентов гумусовой системы можно заключить, что через год после внесения органических удобрений в наибольшей степени усиление положительных качеств гумуса по опыту отмечено при органо-минеральной системе удобрения с внесением сапропелей при более доминирующем действии органо-известковистого сапропеля.

Наши исследования предполагали изучение влияния разных систем удобрения на показатели гумусовой системы в краткосрочный период, однако насколько устойчивы эти изменения покажут более продолжительные сроки наблюдения, превышающие период данных наблюдений.

ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве в вариантах с органо-минеральной системой удобрения, внесение 40 т/га органо-известковистого и 45 т/га кремнеземистого сапропелей в звене севооборота кукуруза – яровой рапс – озимое тритикале по влиянию на урожайность было аналогично действию 60 т/га подстилочного навоза КРС и обеспечило рост продуктивности на 29,6 и 33,2 ц к.ед./га при этом на 1 т сапропеля получено 74,0 и 73,7 к.ед., 1 кг NPK, содержащийся в сапропелях, – 5,1 и 5,5 к.ед. соответственно.

За звено севооборота из органо-известковистого сапропеля усвоено растениями 19% азота, 16% фосфора и 37% калия; из кремнеземистого – 26% азота, 24% фосфора и 44% калия.

2. Внесение за звено севооборота $N_{400}P_{180}K_{380}$ было недостаточным для бездефицитного баланса основных элементов питания. В вариантах с применением минеральных удобрений на фоне подстилочного навоза КРС и сапропелей интенсивность баланса азота находилась в пределах 104–108%, фосфора – 148–161%, калия – 91–96%.

3. Внесение органо-известковистого (40 т/га) и кремнеземистого (45 т/га) сапропелей оказало благоприятное влияние на агрохимические показатели почвы: содержание подвижных форм фосфора увеличилось на 15 и 23 мг/кг по сравнению с минеральной системой удобрения, калия – на 15–29 мг/кг, показатель pH_{KCl} – на 0,46 и 0,35 ед., содержание гумуса в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной почвы имело выраженную тенденцию к увеличению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапа, В.В. Плодородие почв и использование удобрений в Республике Беларусь / В.В. Лапа // Плодородие. – 2014. – № 6. – С. 19–20.
2. Агробиологические основы возделывания кукурузы на зерно и силос / Н.Ф. Надточаев [и др.]. – Минск: Техносервис, 2004. – 100 с.
3. Грейсман, Г. Влияние систем удобрений на агрохимические свойства и качественный состав гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы / Г. Грейсман, В. Янушене // Проблемы питания растений и использование удобрений в современных условиях : материалы междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 5–7 апр., 2000 г. / НПЦ по земледелию. Жодино, 2000 г. – С. 148–151.
4. Лозановская, И.Н. Теория и практика использования органических удобрений / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, П.Д. Попов. – М: Агропромиздат, 1988. – 96с.
5. Просяпникова, О.И. Динамика гумуса: направленность, скорость, прогноз / О.И. Просяпникова // Плодородие. – 2006. – № 1(28). – С. 24–25.
6. Васильев, В.А. Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. – Москва: Россельхозиздат, 1984. – 253с.
7. Курзо, Б.В. Генезис и ресурсы сапропелей Белоруссии / Б.В. Курзо, С.В. Богданов. – Минск: Наука и техника, 1986. – 176 с.

8. Курзо, Б.В. Сапропель / Б.В. Курзо // Полезные ископаемые Беларуси. – Минск, 2002. – С. 305–316.
9. Лопотко, М.З. Сапропели БССР, их добыча и использование / М.З. Лопотко. – Минск: Наука и техника, 1974. – 208 с.
10. Лапа, В.В. Применение удобрений и качество урожая: монография / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2006. – 120 с.
11. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова; Центр. музей почвоведения им. В.В. Докучаева. – Л., 1975. – 105 с.
12. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]; РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – Минск, 2007. – 26 с.
13. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
14. Савич, В.И. Интегральная оценка плодородия почв. / В.И. Савич, Д.С. Булгаков, Н.Г. Вуколов. – М., 2010. – 347 с.
15. Савич, В.И. Энергетическая оценка плодородия почв / В.И. Савич, В.Г. Сычев, А.Г. Замараев. – М., 2007. – 498 с.
16. Орлов, Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.
17. Бакина, Л.Г. Роль фракций гумусовых веществ в почвенно-экологических процессах: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 06.01.03 / Л.Г. Бакина. – СПб., 2012. – 50 с.
18. Минакова, О.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и навоза на гумусовое и азотное состояние чернозема выщелоченного в зерносвекловичном севообороте лесостепи ЦЧЗ / О.А. Минакова, Л.В. Тамбовцева, А.И. Громовик // Агрохимия. – 2011. – № 5. – С. 18–25.
19. Овчинникова, М.Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистых почв при агрогенных воздействиях / М.Ф. Овчинникова // Вестник МГУ. – 2009. – № 1. – С. 12–18.

SAPROPEL INFLUENCE ON THE PRODUCTIVITY LEVEL OF CROP ROTATION LINK AND SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL FERTILITY

T.M. Seraya, E.N. Bogatyreva, O.M. Biryukova

Summary

Comparative effectiveness of application of organo-calcareous and siliceous sapropel and cattle manure in the crop rotation link maize – spring rape – winter triticale was studied at the sod-podzolic sandy loam soil. It was found that application of 40 t/ha of organo-calcareous and 45 t/ha siliceous sapropel in the crop rotation link on the yield effect was similar to the effect of 60 t/ha of cattle manure and provided productivity growth of 29.6 and 33.2 c feed units/ha in the variants with organic-mineral fertilizer system.

Поступила 27.04.15