

УДК 631.417.2:631.445.24:631.582

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ И БАЛАНС ГУМУСА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

© 2009 г. В. В. Лапа<sup>1</sup>, В. Н. Босак<sup>2</sup>, Г. В. Пироговская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии  
220108 Минск, ул. Казинца, 62, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Полесский государственный университет  
225710 Пинск, ул. Днепронетровской флотилии, 23, Республика Беларусь

E-mail: bosak1@tut.by

Поступила в редакцию 18.03.2008 г.

В исследованиях на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава полная органо-минеральная система удобрения обеспечила максимальную продуктивность полевых севооборотов 55.2–70.3 ц к.е./га. Положительный баланс гумуса обеспечило внесение органического удобрения: на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве 12.5–15.0, на дерново-подзолистой легкосуглинистой – 8.0, на дерново-подзолистой песчаной – 21 т условного навоза/га.

### ВВЕДЕНИЕ

Формирование высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур напрямую связано с эффективным использованием удобрений. Научно обоснованная система удобрения позволяет улучшать качество растениеводческой продукции и обеспечивает воспроизводство почвенного плодородия [1–3]. Наиболее полно изучить действие удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы можно в длительных полевых опытах с удобрениями. Такие опыты являются важной нормативной базой в агрохимических исследованиях [1, 2, 4–6].

Среди факторов почвенного плодородия особая роль принадлежит гумусу. Гумусовые вещества (ГВ) почвы, несмотря на сравнительно небольшое содержание, имеют важнейшее значение в создании почвенного плодородия и в питании растений. Гумус является энергетической основой биологических процессов, а также источником целого ряда макро- и микроэлементов. В гумусе содержится около 5% азота и от 1.5 до 2.4% фосфора. ГВ благодаря комплексообразующей и погложительной способности удерживают в почве многие элементы питания растений, способствуя не только значительному уменьшению их непродуцируемых потерь, но и предотвращению загрязнения сельскохозяйственной продукции техногенными поллютантами, а также увеличивают влагоемкость почв, улучшая их агрофизические и технологические свойства.

В связи с особой значимостью содержания гумуса в почвах необходим постоянный агрохими-

ческий контроль за направленностью процессов гумусообразования, т.е. расчет баланса гумуса. Сложность его определения заключается в том, что в почве одновременно происходят два разнонаправленных процесса: синтез и распад органического вещества (ОВ) и собственно гумусовых веществ. При преобладании процессов синтеза над разложением баланс гумуса будет положительным, при преобладании процессов разложения – отрицательным. Полностью исключить минерализацию гумуса невозможно. Для обеспечения расширенного воспроизводства гумуса необходимо, чтобы приход в почву ОВ в виде корневых и пожнивных остатков, а также различных видов органических удобрений превышал минерализацию гумуса.

Самым надежным источником данных для расчета баланса гумуса в почве являются материалы крупномасштабного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Сравнивая содержание гумуса в почве за период между турами агрохимического обследования каждого поля севооборота или хозяйства, можно судить о темпах накопления или потери ОВ. Однако для прогноза динамики содержания гумуса в почве и анализа влияния различных факторов на баланс гумуса следует использовать также расчетные методы баланса гумуса [7].

Цель исследования – определение баланса гумуса и продуктивности полевых севооборотов в зависимости от применения удобрений на автоморфных дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в длительных полевых опытах Института почвоведения и агрохимии в основных типах полевых севооборотов на дерново-подзолистых почвах различного гранулометрического состава на протяжении 1991–2007 гг. Опыт 1 – на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 1.2 м мореной, на базе РУП “Экспериментальная база им. Суворова” Узденского р-на Минской обл. в зерно-пропашном севообороте картофель–ячмень–озимая рожь–овес. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта исследуемой почвы имела следующие показатели:  $pH_{KCl}$  5.6–5.9,  $P_2O_5$  (0.2 н. HCl) – 140–160,  $K_2O$  (0.2 н. HCl) – 160–180 мг/кг почвы, гумус (по Тюрину) – 2.3–2.5%. Вносили различные виды органических удобрений: вариант – солоmistый навоз КРС 40 т/га (влажность 75%, ОВ – 210,  $N_{общ}$  – 4.6,  $P_2O_5$  – 4.9,  $K_2O$  – 8.3 кг/т); вариант – жидкий навоз КРС – 80 т/га (влажность – 95%, ОВ – 40,  $N_{общ}$  – 1.3,  $P_2O_5$  – 1.7,  $K_2O$  – 2.1 кг/т); варианты – солома озимой ржи 4 т/га (влажность 16%, ОВ – 800,  $N_{общ}$  – 6.0,  $P_2O_5$  – 8.3,  $K_2O$  – 11.3 кг/т) в сочетании с N40 и жидким навозом КРС – 20 и 80 т/га. В севообороте органические удобрения вносили под картофель без минеральных удобрений и совместно с полным минеральным удобрением. Дозы минеральных удобрений для отдельных сельскохозяйственных культур составили: картофель – N90P50K120, яровой ячмень – N80P45K90, озимая рожь – N60 + 30P45K100, овес – N80P45K90 (в сумме за севооборот N340P185K400). Схема опыта была реализована на двух фонах, созданных перед закладкой севооборота: фон 1 – запахивание люпина узколистного; фон 2 – запахивание корневых и пожнивных остатков люпина. Всего было запахано зеленой массы люпина 11.3 т/га ( $N_{общ}$  – 13.9,  $P_2O_5$  – 4.3,  $K_2O$  – 8.0 кг/т) и корневых остатков люпина 4.3 т/га ( $N_{общ}$  – 5.3,  $P_2O_5$  – 9.1,  $K_2O$  – 5.3 кг/т);

Опыт 2 – на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на мощном лессовидном суглинке на базе СПК “Щемяслица” Минского р-на в зерно-травяном севообороте пелюшко-овсяная смесь–яровое тритикале–яровой рапс–люпин узколистный–яровая пшеница. Агрохимическая характеристика почвы: фон 1:  $pH_{KCl}$  4.3–4.5, содержание  $P_2O_5$  – 360–380,  $K_2O$  – 190–230 мг/кг почвы, гуму-

са – 1.5–1.7%; фон 2:  $pH_{KCl}$  6.3–6.4, содержание  $P_2O_5$  – 370–410,  $K_2O$  – 210–240 мг/кг почвы, гумуса – 1.4–1.7%. Схема опыта предусматривала изучение влияния минеральных удобрений, дозы которых составили: под пелюшко-овсяную смесь – N60P30K60, яровое тритикале – N60 + 30P60K120, яровой рапс – N70 + 30P60K120, люпин узколистный – P30K60, яровую пшеницу – N60 + 30P60K120 (в сумме за севооборот N340P240K480) на четырех фонах: фон 1 – известкованный ( $pH_{KCl}$  6.3–6.4), фон 2 – неизвесткованный ( $pH_{KCl}$  4.3–4.5), фон 3 – с внесением 8 т органических удобрений/га севооборотной площади и фон 4 – без органических удобрений. Органические удобрения в севообороте вносили под пелюшко-овсяную смесь в виде солоmistого навоза КРС в дозе 40 т/га.

Опыт 3 провели на дерново-подзолистой песчаной почве в двух ротациях плодосменного севооборота: 1-я ротация (горохоовсяная смесь на зеленую массу–озимая рожь + редька масличная–картофель–ячмень + редька масличная–овес + горчица белая), 2-я ротация (горохоовсяная смесь на зерно–озимая рожь + люпин узколистный–картофель–ячмень + яровой рапс и редька масличная–овес) в совхозе “Подолесье” Речицкого р-на Гомельской обл. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта исследуемой почвы:  $pH_{KCl}$  4.7–4.9, содержание  $P_2O_5$  – 170–180,  $K_2O$  – 110–120 мг/кг почвы, гумуса – 1.4–1.5%. Органические удобрения (навоз КРС на соломенной подстилке) вносили под озимую рожь и картофель – 7, 14, 21 т/га севооборотной площади в сочетании с N78P42K124. Пожнивные культуры высевали после уборки озимых и яровых культур и использовали в качестве отавной и полной форм зеленого удобрения.

Агротехника возделывания изучаемых культур – общепринятая для Республики Беларусь. Схема опытов была реализована на фоне интегрированной системы защиты растений. Учет урожая – сплошной поделяночный. Агрохимические показатели пахотного горизонта ( $pH_{KCl}$ , содержание подвижных соединений  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  и гумус) определяли по общепринятым методикам; балансовые расчеты – согласно методике Института почвоведения и агрохимии [7–11].

Общий приход гумуса за счет гумификации органических удобрений, корневых и пожнивных остатков рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{(Y \times K_{пк} \times K_{гпк} \times P_{кг} \times 100) + (D_o \times K_{ун} \times K_{го})}{1000},$$

где  $P$  – общий приход гумуса, т/га;  $Y$  – урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га;  $K_{пк}$  – коэффициент выхода корневых и пожнивных остатков;  $K_{гпк}$  – коэффициент гумификации корневых и пожнивных остатков;  $P_{кг}$  – поправоч-

ный коэффициент на гумификацию в зависимости от гранулометрического состава почв (суглинистые почвы – 1.1, супесчаные почвы – 1.0, песчаные почвы – 0.8);  $D_o$  – доза органических удобрений, т/га;  $K_{ун}$  – коэффициент перевода в

**Таблица 1.** Баланс гумуса и продуктивность севооборота на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве

Вариант	Урожайность, ц к.е./га	Баланс гумуса, кг/га			Содержание гумуса, %	
		гумификация	минерализация	баланс	начало ротации	конец ротации
Контроль	29.6	1490	4180	-2690	2.53	2.45
Полная форма зеленого удобрения						
Без удобрений	33.8	2410	2380	+30	2.39	2.39
N340P185K400 – фон	54.0	3030	3760	-730	2.54	2.52
Фон + солома 4 т/га + N40	56.8	3740	4020	-280	2.47	2.46
Фон + солоmistый навоз 40 т/га	60.9	4740	4220	+520	2.46	2.48
Фон + жидкий навоз (ЖН) 80 т/га	59.2	3810	4190	-380	2.49	2.48
Фон + солома 4 т/га + ЖН 20 т/га	57.7	3890	4000	-110	2.44	2.44
Фон + солома 4 т/га + ЖН 80 т/га	59.7	4360	4180	+180	2.45	2.46
Отавная форма зеленого удобрения						
Без удобрений	33.4	1780	2360	-580	2.32	2.30
N340P185K400 – фон	53.7	2360	3760	-1400	2.31	2.27
Фон + солома 4 т/га + N40	56.7	2980	3850	-870	2.54	2.51
Фон + солоmistый навоз 40 т/га	60.7	4110	4310	-200	2.52	2.51
Фон + жидкий навоз (ЖН) 80 т/га	57.8	3120	4020	-900	2.41	2.38
Фон + солома 4 т/га + ЖН 20 т/га	57.3	3250	4090	-840	2.43	2.40
Фон + солома 4 т/га + ЖН 80 т/га	58.1	3690	4050	-360	2.45	2.44
HCP <sub>05</sub>	2.4					

условный навоз;  $K_{го}$  – коэффициент, отражающий образование гумуса из 1 т условного навоза, кг (суглинистые почвы – 50, супесчаные почвы – 40, песчаные почвы – 30 кг). Общие потери гумуса за счет минерализации определяли по формуле:

$$R = \frac{Y \times N_{в} \times 0.5 \times K_{м} \times P_{км} \times 20}{10000},$$

где  $R$  – потери гумуса, т/га;  $Y$  – урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га;  $N_{в}$  – вынос азота с 1 т основной и соответствующим количеством побочной продукции, кг;  $K_{м}$  – коэффициент минерализации гумуса под различными культурами (многолетние травы – 0.2; зернобобовые культуры – 0.5, зерновые культуры и другие однолетние культуры сплошного сева – 0.6, пропашные культуры – 0.8, все культуры на пашне – 0.6);  $P_{км}$  – поправочный коэффициент на минерализацию гумуса в зависимости от гранулометрического состава почв (суглинистые почвы – 1.0; супесчаные – 1.4; песчаные – 1.8); 20 – коэффициент пересчета азота в гумус (в составе гумуса содержится в среднем 5% азота). Учитывая, что в удобренных вариантах половина вынесенного растениями азота – почвенного происхождения, в числитель формулы минерализации ввели дополнительный поправочный коэффициент 0.5. При расчете минерализации гумуса при возделывании бобовых и зернобобовых культур в числитель формулы ввели дополнительный поправочный коэффициент  $K_{ф}$  на фиксацию атмосферного азота (многолетние бобовые травы – 0.3, зернобобовые и однолетние

бобовые культуры – 0.5, однолетние бобово-злаковые смеси – 0.75).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве применение минеральных удобрений увеличило продуктивность зернопропашного севооборота картофель–ячмень–озимая рожь–овес на 20.2–20.3 ц к.е./га, действие и последствие различных видов органических удобрений – на 2.8–7.0 ц к.е./га, зеленого удобрения – на 3.8–4.2 ц к.е./га при максимальной продуктивности 56.7–60.9 ц к.е./га в вариантах с полной органоминеральной системой удобрения (табл. 1). В вариантах с различной формой использования зеленого удобрения можно отметить лишь тенденцию увеличения продуктивности севооборота на 0.1–1.6 ц к.е./га при полной форме зеленого удобрения.

В варианте без применения удобрений (контроле) гумификация корневых и пожнивных остатков составила 1490, минерализация – 4180 кг/га, что привело к отрицательному балансу гумуса –2690 кг/га и расчетному уменьшению содержания гумуса в пахотном горизонте на 0.08%. Отрицательный баланс гумуса от –200 до –1400 кг/га на фоне отавного использования зеленого удобрения получен во всех вариантах.

На фоне использования полного зеленого удобрения отрицательный баланс гумуса получен в варианте с минеральной системой удобрения, а также при полной органоминеральной системе удобрения

**Таблица 2.** Баланс гумуса и продуктивность севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант	Урожайность, ц к.е./га	Баланс гумуса, кг/га			Содержание гумуса, %	
		гумификация	минерализация	баланс	начало ротации	конец ротации
pH <sub>KCl</sub> 4.3–4.5						
Без удобрений	33.7	2240	4230	–1990	1.46	1.39
N340P240K480	55.7	3300	3470	–170	1.75	1.74
Соломистый навоз 40 т/га	46.4	4830	2900	+1930	1.87	1.93
Навоз 40 т/га + N340P240K480	65.7	5800	4130	+1670	2.03	2.09
pH <sub>KCl</sub> 6.3–6.4						
Без удобрений	39.9	2570	4980	–2410	1.36	1.28
N340P240K480	62.7	3700	3940	–240	1.65	1.64
Соломистый навоз 40 т/га	50.4	5020	3160	+1860	1.82	1.88
Навоз 40 т/га + N340P240K480	70.3	5930	4440	+1490	1.94	1.99
HCP <sub>05</sub>	2.0					

**Таблица 3.** Баланс гумуса и продуктивность севооборота на дерново-подзолистой песчаной почве

Вариант	Урожайность, ц к.е./га	Баланс гумуса, кг/га			Содержание гумуса, %	
		гумификация	минерализация	баланс	начало ротации	конец ротации
Полная форма зеленого удобрения						
Без удобрений	30.0	5130	6800	–1670	1.42	1.37
N720P420K1240	44.8	6010	10 160	–4150	1.48	1.36
Навоз 70 т/га + NPK	53.7	8860	12 180	–3320	1.42	1.33
Навоз 140 т/га + NPK	55.3	11 100	12 550	–1450	1.50	1.46
Навоз 210 т/га + NPK	55.2	13 190	12 520	+670	1.27	1.29
Отавная форма зеленого удобрения						
Без удобрений	27.0	3190	6120	–2930	1.42	1.34
Навоз 70 т/га + NPK	51.5	7030	11 680	–4650	1.37	1.24
Навоз 140 т/га + NPK	55.0	9420	12 470	–3050	1.39	1.30
Навоз 210 т/га + NPK	55.9	11 600	12 680	–1080	1.47	1.44
HCP <sub>05</sub>	2.2					

в вариантах с внесением в качестве органических удобрений соломы (4 т/га), жидкого навоза (80 т/га), а также соломы в сочетании с жидким навозом (20 т/га).

Положительный баланс гумуса в вариантах с полной органо-минеральной системой удобрения обеспечило применение 40 т соломистого навоза КРС/га (среднегодовая доза “условного навоза” составила 15 т/га севооборотной площади), а также 4 т соломы/га в сочетании с 80 т жидкого навоза/га (среднегодовая доза “условного навоза” – 12.5 т/га севооборотной площади) [9].

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве применение органических удобрений увеличило продуктивность зернотравяного севооборота на 7.6–12.7, применение минеральных удобрений – на 22.0–22.8 ц к.е./га; оптимизация почвенной кислотности с pH 4.3–4.5 до pH 6.3–6.4 увеличила продуктивность на 4.0–7.0 ц к.е./га (табл. 2). Кислая реакция почвенного раствора оказала негативное влияние на урожайность яровых тритикале, рапса и пшеницы. Люпин узколист-

ный был более продуктивен на “кислом” фоне, а продуктивность пелюшко-овсяной смеси практически не зависела от кислотности почвы.

Отрицательный баланс гумуса (от –170 до –2410 кг/га) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве был получен в вариантах без применения удобрений, а также при минеральной системе удобрения. Введение в систему удобрения 40 т подстилочного навоза/га обеспечило положительный баланс гумуса в почве, в том числе и в вариантах с полной органо-минеральной системой удобрения, где получена максимальная продуктивность зернотравяного севооборота 65.7–70.3 ц к.е./га.

На дерново-подзолистой песчаной почве применение минеральных удобрений на фоне полной формы зеленого удобрения повысило продуктивность в двух ротациях плодосменного севооборота на 14.8, органических удобрений – на 8.9–10.4 ц к.е./га (табл. 3). Существенного отличия в продуктивности при полной органо-минеральной системе удобрения между различным использованием зеленого удобрения отмечено не было. Лишь в фо-

новом варианте прибавка продуктивности при полном использовании зеленого удобрения составила 3.0 ц к.е./га. В вариантах без удобрений (контрольных) отрицательный баланс гумуса составил –1670 и –2930 кг/га, что привело к расчетному уменьшению содержания гумуса в двух ротациях севооборота на 0.05–0.08%.

В варианте с минеральной системой удобрения отрицательный баланс гумуса оказался равным –4150 кг/га. В вариантах с органо-минеральной системой удобрения среднегодовое внесение 7–14 т/га органических удобрений не смогло обеспечить положительный баланс гумуса в вариантах с отавной и полной формой использования зеленого удобрения.

На фоне отавного использования зеленого удобрения при среднегодовом внесении 21 т/га органических удобрений получен отрицательный баланс гумуса –1080 кг/га. Среднегодовое внесение 21 т органических удобрений/га на фоне полной формы зеленого удобрения обеспечило положительный баланс гумуса, который составил 670 кг/га при расчетном увеличении содержания гумуса с 1.27 до 1.29%.

### ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой рыхло-супесчаной почве положительный баланс гумуса при продуктивности севооборота 59.7–60.9 ц к.е./га на фоне полной формы зеленого удобрения обеспечило внесение N340P185K400 в сочетании с применением 40 т солоमистого навоза КРС/га (среднегодовая доза условного навоза составила 15 т/га севооборотной площади), а также 4 т соломы/га в сочетании с 80 т жидкого навоза/га (среднегодовая доза условного навоза – 12.5 т/га севооборотной площади).

2. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве максимальная продуктивность севооборота (65.7–70.3 ц к.е./га) и положительный баланс гумуса получены при внесении N340P240K480 и 40 т подстилочного навоза/га (среднегодовая доза навоза в севообороте – 8 т/га).

3. Положительный баланс гумуса в дерново-подзолистой песчаной почве обеспечило среднегодовое внесение 21 т органических удобрений/га и N72P42K124 на фоне полной формы зеленого удобрения при продуктивности в двух ротациях севооборота 55.2 ц к.е./га.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Босак В.Н.* Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2003. 176 с.
2. *Лана В.В., Босак В.Н.* Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2002. 184 с.
3. *Лана В.В., Босак В.Н.* Применение удобрений и качество урожая. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2006. 120 с.
4. *Пироговская Г.В., Лана В.В., Богдевич И.М.* Технология повышения плодородия легких почв на основе применения удобрений, мелиорантов и прожегочных культур: рекомендации. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2006. 24 с.
5. *Ellmer F., Baumecker M., Merbach I.* Nutritional and environmental research in the 21<sup>st</sup> Century – the value of long-term field experiments. Halle-Wittenberg, 2002. 114 p.
6. *Körschens M., Merbach I., Schulz E.* 100 Jahre Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, 2002. 64 s.
7. *Лана В.В., Босак В.Н., Богдевич И.М.* Методика расчета баланса гумуса в земледелии Республики Беларусь. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. 20 с.
8. *Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., Ходянкova С.Ф.* Практикум по агрохимии. Минск: Ураджай, 1998. 270 с.
9. *Лана В.В., Босак В.Н., Дембицкая Т.В.* Методические указания по учету и применению органических удобрений. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2007. 16 с.
10. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур // Сб. отраслевых регламентов. Минск: Белорусская наука, 2005. 304 с.
11. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси. Минск: ИВЦ Минфина, 2007. 448 с.

## Effect of Organo-Mineral Fertilizing System on Crop Rotation Productivity and Humus Balance in Soddy-Podzolic Soils

V. V. Lapa<sup>1</sup>, V. N. Bosak<sup>2</sup>, G. V. Pirogovskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry, ul. Kazintsa 62, Minsk, 220108 Belarus

<sup>2</sup> Polesye State University, ul. Dneprovskoi flotilii 23, Pinsk, 225710 Belarus

E-mail: bosak1@tut.by

In studies on soddy-podzolic soils with different textures, the use of complete organo-mineral fertilizing system ensured the highest productivity of field crop rotations (5.52–7.03 t f.u./ha). A positive humus balance was attained at the application of organic fertilizer: 12.5–15.0, 8.0, and 21 t conventional manure/ha in loose sandy, sandy loamy, and sandy soddy-podzolic soils, respectively.