6. О безопасности пищевой продукции:ТР ТС 021/2011:принят 9.12.2011:вступ. в силу 15.12.2011 / Евраз. экон. комис. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mart.gov.by. – Дата доступа: 04.12.2018.

7. Сравнительная оценка возделывания картофеля при традиционной, биологизированной и органической системах земледелия / Т. М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2017. – № 7. – С. 34–41.

8. Эффективность возделывания кабачка в разных системах земледелия на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве / Ю. А. Белявская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2018. – № 2(61). – С. 136–145.

COMPARATIVE EFFICIENCY OF CULTIVATION OF AGRICULTURAL CULTURES IN TRADITIONAL AND ORGANIC SYSTEMS OF AGRICULTURE

T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, Yu. A. Belyavskaya, T. M. Kirdun, M. M. Torchilo, N. Yu. Zhabrovskaya

Summary

A comparative assessment of the influence of traditional and organic production on the crop productivity of crops, crop quality indicators, soil fertility and economic efficiency is given.

Поступила 02.05.19

УДК 631.879.4:631.878:631.445.24

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕСЕНИЯ КОМПОСТА НА ОСНОВЕ БУРОГО УГЛЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Т. М. Кирдун, Ю. А. Белявская, М. М. Торчило

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь проблемой для сельскохозяйственных организаций и экологии страны в последнее время является утилизация полужидкого навоза, ежегодный выход которого при существующих способах содержания скота составляет около 10 млн т. Неудовлетворительные физико-механические свойства полужидкого навоза, отсутствие комплекса машин делают практически невозможным внесение его в почву в чистом виде. Наиболее рациональное решение этой проблемы заключается в компостировании данного вида навоза с органическими компонентами, имеющими высокую емкость поглощения, в первую очередь, тор-

фом и соломой. По существующей технологии компостирования потребность во влагопоглощающих материалах составляет как минимум 4 млн т. Однако в последние годы добыча торфа для сельскохозяйственных нужд резко сократилась и не превышает 1 % к потребности. В результате полужидкий навоз вместо удобрения является загрязнителем окружающей среды: грунтовых вод и воздушного бассейна.

Кроме торфа, в Республике Беларусь имеются достаточно большие запасы неогеновых бурых углей, которые находятся на самой низшей ступени метаморфизма и являются переходными в ряду торф – каменные угли. По данным И. И. Лиштвана с соавторами [1, 2], прогнозные общие запасы бурых углей в республике составляют около 1,5 млрд т: разведанные (балансовые экономически целесообразные) около 160 млн т, детально разведанные к настоящему времени – 100 млн т. Наиболее перспективными для промышленного освоения являются месторождения бурых углей в западной части Гомельской области (Житковичское, Бриневское, Тонежское). Средняя мощность пластов – 3–4 м, максимальная – 19,9 м, вскрыши – от 21 до 81 м [3].

Бурые угли пригодны для использования в качестве энергетического и коммунально-бытового топлива. Кроме этого, в ряде научных статей была показана перспективность использования гуматных препаратов на основе бурых углей при возделывании сельскохозяйственных культур [4, 5]. Изучено влияние мелиоранта, синтезированного на основе бурого угля, на растения ячменя и гороха в условиях загрязнения кадмием [6]. По характеру исходного материала неогеновые бурые угли относятся к гумусовым, так как основную часть их органической массы (около 80 %) составляют гуминовые вещества. Поэтому при использовании их на промышленные нужды, отходы бурого угля можно рассматривать как важный компонент органических удобрений. Такие исследования как в нашей республике, так и в ближнем зарубежье не проводились. С учетом вышесказанного целесообразным представляется проведение поисковых исследований по установлению влияния компоста на основе бурых углей на урожайность, качество сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели почвы. Особенно это актуально для хозяйств, расположенных недалеко от месторождений бурых углей.

Цель исследований – провести сопоставительный анализ агроэкономической эффективности действия компоста на основе бурого угля с имеющимся традиционным аналогом на основе торфа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в стационарном полевом опыте в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на дерново-подзолистой, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве. Почва опытного участка перед закладкой полевого опыта имела следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} – 6,0, содержание гумуса – 2,71 %, подвижных форм K_2O – 172 мг/кг, P_2O_5 – 187 мг/кг, обменных форм CaO – 1527 мг/кг и MgO – 246 мг/кг почвы. Полевой опыт заложен в 2-х последовательно открывающихся полях в звене севооборота: кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень. Предшественник – картофель. Повторность вариантов в опыте трехкратная, общая площадь делянки – 36 м^2, учетная – 25,0 м^2.

Предварительно в начале марта 2017–2018 гг. закладывали компостные бурты для внесения под 1-ю культуру звена севооборота следующих составов: 1-й – на основе полужидкого навоза крупного рогатого скота и торфа; 2-й – на основе полужидкого навоза крупного рогатого скота и бурого угля при соотношении компонентов 1:0,3. В среднем за 2 года при влажности 75 % содержание азота в 1 т угленавозного компоста (УНК) составило 4,4 кг, P_2O_5 – 2,0 кг, K_2O – 4,7 кг, CaO – 1,4 кг, MgO – 0,9 кг, органического вещества – 194 кг при отношении C/N на уровне 22 и pH_{KCl} 7,0 ед., что по своим характеристикам соответствовало торфонавозному компосту (ТНК) (влажность 75 %, N – 4,9 кг, P_2O_5 – 2,1 кг, K_2O – 4,9 кг, CaO – 1,8 кг, MgO – 0,9 кг, органическое вещество – 192 кг, C/N – 20, pH_{KCl} – 7,4 ед.).

Исследуемые культуры – кукуруза на зеленую массу ЕС Палацио и яровой ячмень Магутны. УНК и ТНК в дозе по 60 т/га вносили под кукурузу весной с последующим дискованием и вспашкой. Посев кукурузы произведен в 2017 г., во второй декаде мая, в 2018 г. – в первой декаде мая, норма высева семян – 110 тыс. шт. всхожих семян/га. Ячмень возделывали по 1-ому году последействия компостов; посеян 24 апреля 2018 г. с нормой высева 4 млн шт. всхожих семян/га.

Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия под кукурузу ($N_{90}P_{90}K_{120}$) и ячмень ($N_{60}P_{60}K_{120}$) внесены под предпосевную культивацию. Подкормка посевов азотом (N_{30}) проведена: кукурузы – в фазу 6–8 листьев, ячменя – в фазу образования 1-ого узла. Уход за посевами кукурузы включал обработку посевов в фазу 2–3 листьев развития культуры гербицидом Аденго, КС (0,4 л/га). Посевы ячменя в фазу начало кущения обработаны инсектицидом Борей, СК (0,12 л/га); в фазу основного кущения – гербицидом Балерина, СЭ (0,5 л/га). Уборку посевов ячменя проводили в фазу полной спелости зерна, кукурузы – в фазу молочно-восковой спелости зерна. Учет урожайности зеленой массы кукурузы, зерна и соломы ярового ячменя проводили сплошным методом поделяночно.

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка – ГОСТ 26713–85; органического вещества – ГОСТ 27980–88; общего азота – ГОСТ 26715–85; общего фосфора – ГОСТ 26717–85; общего калия – ГОСТ 26718–85, кальция – ГОСТ 26570–95, магния – ГОСТ 30502–97, pH_{KCl} – ГОСТ 27979–88. В почвенных образцах основные агрохимические показатели определены по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91); обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483–85); подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91), обменные кальций и магний в 1 М KCl-вытяжке с определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (ГОСТ 26487–85).

В растительных образцах определяли следующие показатели: содержание влаги и сухого вещества – ГОСТ 27548–97, общий азот – ГОСТ 13496.4–93, фосфор – ГОСТ 26657–85, калий – ГОСТ 30504–97, кальций – ГОСТ 26570–95, магний – ГОСТ 30502–97. Содержание белка в зерне ярового ячменя определяли на инфракрасном спектрометре «Infraneo», нитратов в зеленой массе кукурузы – по ГОСТ 13496.19–93. Урожайность зерна ярового ячменя приведена к влажности 14 %, соломы – к 16 %, зеленой массы кукурузы – к 70 %. Для перевода зеленой массы кукурузы в кормовые единицы использовали коэффициент 0,27,

зерна ячменя – 1,21, соломы – 0,36 [7]. Экономическая эффективность внесения минеральных удобрений и компостов под культуры рассчитана по уровню цен на 2018 г. согласно [8]: стоимость 1 т к. ед. – 90,0 USD; затраты на уборку и доработку прибавки урожая – 12,0 USD/т; стоимость минеральных удобрений 1 т д.в.: азот – 506 USD, фосфор – 886, калий – 65 USD; затраты на внесение 1 т д.в. минеральных удобрений на расстояние 5 км от склада: азот – 40,0 USD, фосфор – 28,0 USD, калий – 19,2 USD. При внесении компостов под кукурузу отнесено 60 % затрат на их приготовление и внесение, под ячмень – 40 %: стоимость 1 т торфа – 10,0 USD, бурого угля при его добыче – 23,1 USD, затраты на доставку бурого угля или торфа к ферме на расстояние 15 км от места добычи – 6,8 USD, 5 км – 2,3 USD; затраты на приготовление и внесение 1 т компоста при удалении поля от фермы на расстояние 5 км – 4,5 USD. Для статистической обработки экспериментального материала использовали программу MS Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ урожайных данных показал, что в погодных условиях 2017 г. за счет плодородия супесчаной почвы при соблюдении основных элементов технологии возделывания кукурузы сформировано 290 ц/га **зеленой массы**, в 2018 г. – 351 ц/га, в среднем за 2 года получено 321 ц/га, что характеризовалось минимальным показателем по вариантам опыта (табл. 1). Внесение ТНК в дозе 60 т/га в среднем за 2 года способствовало существенному увеличению урожайности зеленой массы на 105 ц/га, или 33 %, относительно варианта без удобрений (рис. 1).

При сравнительной оценке агрономической эффективности нового УНК с традиционным ТНК, эквивалентных по соотношению исходных компонентов, установлено их равнозначное влияние на формирование зеленой массы кукурузы. Применение УНК в дозе 60 т/га позволило получить 420 ц/га зеленой массы и сформировать прибавку урожая на уровне 99 ц/га, что не превышало ошибки опыта по сравнению с вариантом, где внесен ТНК в аналогичной дозе. Дополнительный прирост по отношению к варианту без удобрений составил 31 %. Каждая тонна УНК окупалась 165 кг зеленой массы, что близко к окупаемости, полученной на фоне ТНК (175 кг на 1 т компоста).

Таблица 1

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на урожайность зеленой массы кукурузы, 2017–2018 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость удобрений, кг зеленой массы	
	2017 г.	2018 г.	средняя за 2 года		1 т компоста	1 кг NPK
Без удобрений (контроль)	290	351	321	–	–	–
$N_{90+30}P_{90}K_{120}$	468	411	440	119	–	36,1
ТНК, 60 т/га (стандарт)	418	433	426	105	175	14,8
УНК, 60 т/га	413	426	420	99	165	14,9
$НСР_{05}$	43	40	41	–	–	–

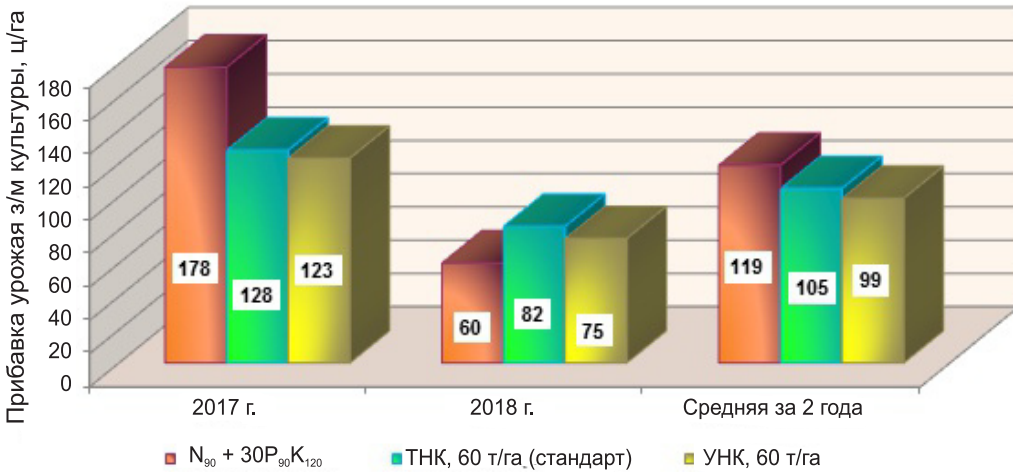

Рис. 1. Прибавка урожая зеленой массы кукурузы при внесении удобрений, ц/га

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{90}K_{120}$ в среднем за 2 года обеспечило получение урожайности зеленой массы 440 ц/га; достоверная прибавка составила 119 ц/га по сравнению с неудобренным вариантом; по сравнению с вариантами, где внесены компосты, наблюдаемые различия не превышали $НСР_{05}$.

Расчет эффективности 1 кг NPK, внесенного с минеральными удобрениями и компостами показал, что максимальная окупаемость 1 кг NPK (36,1 кг зеленой массы) получена в варианте с внесением $N_{90+30}P_{90}K_{120}$. Оплата 1 кг NPK, содержащегося в ТНК, снижалась до 14,8 кг. Аналогичный эффект обеспечил УНК, где прибавка от 1 кг NPK, внесенного с компостом, составила 14,9 кг зеленой массы.

В результате проведенных исследований установлено, что на дерново-подзолистой супесчаной почве в сложившихся вегетационных условиях 2018 г. последействие торфонавозного компоста, внесенного в дозе 60 т/га под предшественник, оказало положительное влияние на урожай **зерна ярового ячменя**, увеличивая его до 22,7 ц/га против 16,8 ц/га в варианте без удобрений; существенная прибавка составила 5,9 ц/га, или 35 % (рис. 2). По влиянию на формирование урожая зерна ячменя последействие УНК характеризовалось практически равнозначной агрономической эффективностью в сравнении с традиционным ТНК, обеспечив его выход на уровне 21,3 ц/га, наблюдаемая разница находилась в пределах ошибки опыта. Дополнительный прирост от внесения компоста на основе бурого угля составил 27 %, или 4,5 ц/га, относительно варианта без удобрений.

Максимальные показатели по урожайности зерна (39,9 ц/га) в опыте отмечены на минеральном фоне ($N_{60+30}P_{60}K_{120}$). По сравнению с неудобренным вариантом дополнительно получено 23,1 ц/га зерна ярового ячменя, с вариантами на фоне 1-го года последействия компостов – 17,2–18,6 ц/га.

Окупаемость 1 тонны ТНК 1-го года последействия составила 9,8 кг зерна, УНК – 7,5 кг зерна (несколько ниже относительно стандарта). Оплата 1 кг NPK минеральных удобрений составила 8,6 кг зерна. Прибавка зерна на 1 кг NPK, внесенного с компостами, была меньше – 0,7–0,8 кг зерна.

Урожайность соломы ярового ячменя составила 16,2 ц/га в неудобренном варианте, на фоне последействия компостов – 19,6–21,1 ц/га при соотношении зерно : солома равным 1: 0,9–1.

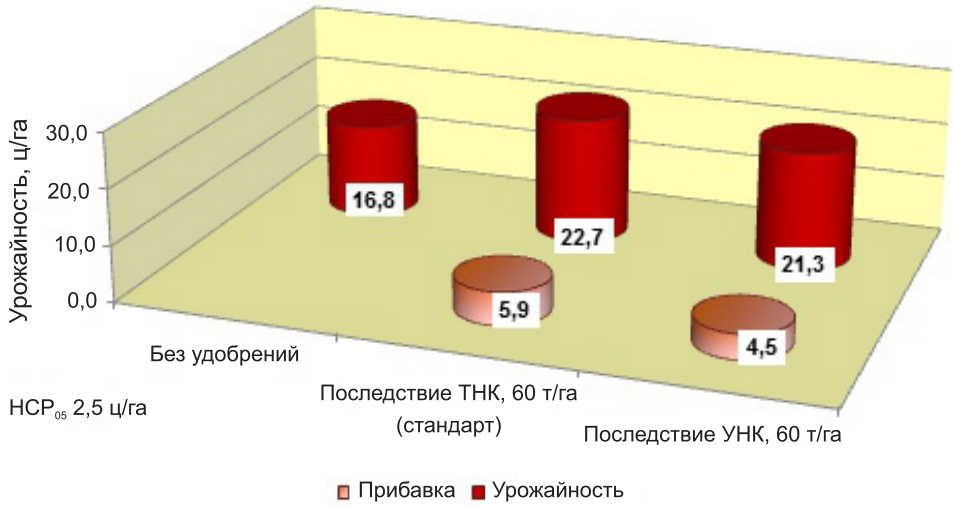

Рис. 2. Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на урожайность зерна ярового ячменя

В целом **за звено севооборота** наибольшую продуктивность культур (179 ц к.ед./га) на дерново-подзолистой супесчаной почве обеспечило внесение минеральных удобрений при дополнительном сборе 66,6 ц к.ед./га и окупаемости 1 кг NPK 11,1 к.ед. (табл. 2).

Таблица 2

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на продуктивность звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве, 2017–2018 гг.

Вариант	Продуктивность, ц к. ед./га			Прибавка, ц к.ед./га	Окупаемость удобрений, к. ед.	
	кукуруза на з.м.	яровой ячмень	за звено севооборота		1 т компоста	1 кг NPK
Без удобрений (контроль)	86,5	26,2	112,8	–	–	–
$N_{210}P_{150}K_{240}$	118,7	60,7	179,4	66,6	–	11,1
ТНК, 60 т/га (стандарт)	114,9	35,0	149,9	37,1	61,9	5,2
УНК, 60 т/га	113,3	32,9	146,1	33,3	55,6	5,0
$НСР_{05}$	11,1	4,2	15,3	–	–	–

Применение нового УНК в дозе 60 т/га под кукурузу позволило получить суммарную продуктивность на уровне традиционного ТНК, внесенного в аналогичной дозе. Прибавка продуктивности возделываемых культур за счет компостов относительно варианта без удобрений составила 33,3–37,1 ц к.ед./га при оплате 1 т УНК 55,6 к.ед., 1 т ТНК – 61,9 к.ед. При этом окупаемость 1 кг NPK, внесенного с компостами, составила 5,0–5,2 к.ед., что ниже по сравнению с минеральными удобрениями более чем в 2 раза.

По действию на прирост урожайности каждой культуры звена севооборота относительно суммарной прибавки продуктивности УНК соответствовал ТНК: от прямого действия компостов получено 76–80 % прибавки урожайности, в 1-й год последействия – 20–24 % (рис. 3).

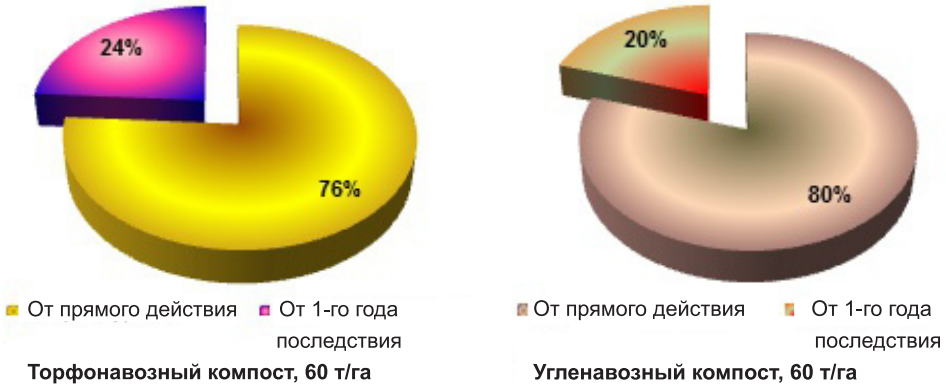

Рис. 3. Соотношение прибавки урожая от прямого действия и последействия компостов

Определение показателей качества выявило, что при уборке кукурузы в фазу молочно-восковой спелости зерна содержание сырого белка в зеленой массе в варианте без удобрений было самым низким – 5,9 % (табл. 3). Внесение $N_{90+30}P_{90}K_{120}$ и компостов в среднем за 2 года способствовало существенному приросту этого показателя на 1,0–1,6 % до уровня 6,9–7,5 % и характеризовалось равновеликими величинами.

Таблица 3

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на показатели качества зеленой массы кукурузы (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Сырой белок, % в сухом веществе	Сбор сырого белка, кг/га	Пп, г/кг корма	Обеспеченность 1 к.ед Пп, г	Сбор КПЕ, ц/га	Сбор к. ед., ц/га	NO_3^-, мг/кг сырого вещества
Без удобрений (контроль)	5,9	467	10	36	62	87	198
$N_{90+30}P_{90}K_{120}$	7,5	820	12	46	92	119	315
ТНК, 60 т/га (стандарт)	7,1	756	12	43	88	115	227
УНК, 60 т/га	6,9	716	11	42	85	114	234
$НСР_{05}$	0,7	–	–	–	–	12	26

Применение под кукурузу УНК обеспечило сбор кормовых единиц 114 ц/га, сырого белка – 716 кг/га, кормопротеиновых единиц – 85 ц/га, что равноценно влиянию ТНК. При этом относительно неудобренного варианта дополнительный прирост данных показателей в вариантах с применением компостов составил 27–28 ц/га (31–32 %), 249–289 кг/га (53–62 %), 23–26 ц/га (37–42 %) соответственно при увеличении содержания переваримого протеина в 1 к.ед. на 6–7 г. Несколько более высокие величины получены на минеральном фоне: выход сырого белка

достиг 820 кг/га, кормовых единиц – 119 ц/га, кормопротеиновых единиц – 92 ц/га при содержании переваримого протеина в 1 к.ед. 46 г.

Содержание нитратов в зеленой массе кукурузы в вариантах с внесением компостов составило 227–234 мг/кг, что достоверно выше (на 15–18 %), чем в неудобренном варианте. Максимальный уровень накопления (315 мг/кг) в опыте отмечен на минеральном фоне. Однако при существующей ПДК нитратов для зеленых кормов (500 мг/кг) зеленая масса кукурузы всех изучаемых вариантов пригодна для использования на кормовые цели.

Не установлено существенного влияния УНК и ТНК в последействии на содержание сырого белка в зерне ярового ячменя, его содержание в обоих вариантах было на уровне неудобренного варианта – 9,6 % (табл. 4). Последействие компоста на основе бурого угля обеспечило выход кормовых единиц – 25,8 ц/га, сырого белка – 176 кг/га, кормопротеиновых единиц – 22,5 ц/га, что по эффективности сопоставимо с последействием традиционного ТНК. В результате по сравнению с вариантом без удобрений превышение данных показателей на фоне последействия компостов за счет более высокой урожайности достигло 5,4–7,0 ц/га, 37–49 кг/га и 4,7–6,1 ц/га соответственно, что в относительном выражении составило 26–35 %. При этом обеспеченность 1 кг корма и кормовой единицы переваримым протеином была на уровне неудобренного варианта – 75 и 62 г.

Более эффективными являлись минеральные удобрения, внесение которых в дозе $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ способствовало накоплению сырого белка в зерне до 11,1 %, что достоверно превышало уровень в варианте без удобрений на 1,5 %. Наиболее высокий сбор кормовых единиц (48,3 ц/га), сырого белка (380 кг/га) и кормопротеиновых единиц (44,9 ц/га) при обеспеченности кормовой единицы 72 г переваримого протеина также получен при внесении под ячмень минеральных удобрений. Относительно варианта без удобрений прирост сырого белка достиг 241 кг/га, кормовых единиц – 27,9 ц/га, кормопротеиновых единиц – 27,1 ц/га. По сравнению с вариантами на фоне последействия компостов превышение по выходу кормовых единиц составило 20,9–22,5 ц/га, сырого белка – 192–204 кг/га, кормопротеиновых единиц – 21,0–22,4 ц/га.

Результаты химического анализа показали, что внесенные в опыте удобрения не оказали значимого влияния на поступление фосфора (0,49–0,50 %), кальция (0,12–0,13 %) и магния (0,16–0,17 %) в зеленую массу кукурузы (табл. 5).

Таблица 4

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на показатели качества зерна ярового ячменя, 2018 г.

Вариант	Сбор к.ед., ц/га	Сырой белок, % в сухом веществе	Сбор сырого белка, кг/га	Пп, г/кг корма	Обеспеченность 1 к.ед. Пп, г	Сбор КПЕ, ц/га
Без удобрений (контроль)	20,4	9,6	139	75	62	17,8
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$	48,3	11,1	380	87	72	44,9
Последействие ТНК, 60 т/га (стандарт)	27,4	9,6	188	75	62	23,9
Последействие УНК, 60 т/га	25,8	9,6	176	75	62	22,5
$НСР_{05}$	3,0	1,0	–	–	–	–

Таблица 5

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на содержание основных элементов питания в зеленой массе и их вынос с урожаем кукурузы (среднее за 2017–2018 гг.)

Вариант	Содержание элементов питания, % в сухом веществе					Общий вынос, кг/га				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Без удобрений (контроль)	0,93	0,50	1,70	0,12	0,16	90	48	163	12	15
$N_{90+30}P_{90}K_{120}$	1,19	0,50	1,97	0,13	0,17	158	66	259	17	22
ТНК, 60 т/га (стандарт)	1,14	0,49	1,86	0,12	0,16	145	63	238	16	20
УНК, 60 т/га	1,09	0,49	1,90	0,13	0,17	138	62	239	16	21
$НСР_{05}$	0,10	0,04	0,12	0,01	0,02	–	–	–	–	–

Более существенно компосты и минеральные удобрения повлияли на содержание калия и азота в растениях, обеспечивая их накопление в зеленой массе до уровня 1,86–1,97 % и 1,09–1,19 % соответственно против 1,70 и 0,93 % в варианте без удобрений.

Вынос элементов питания с зеленой массой кукурузы зависел как от ее урожайности, так и от их содержания в ней. Минимальным отчуждением основных элементов питания характеризовался неудобренный вариант, в котором с зеленой массой кукурузы вынесено 90 кг азота, 48 кг фосфора, 163 кг калия, 12 кг кальция и 15 кг магния. Применение торфонавозного и угленавозного компостов обеспечило близкий уровень величин хозяйственного выноса элементов питания, что обусловлено практически одинаковым влиянием этих удобрений на урожайность зеленой массы кукурузы и накопление в ней азота и зольных элементов. По сравнению с вариантом без удобрений внесение компостов в дозе 60 т/га увеличило общий вынос азота на 48–55 кг, фосфора – на 14–17 кг, калия – на 75–76 кг, кальция – на 4 кг, магния – на 5–6 кг. На минеральном фоне хозяйственный вынос элементов питания имел сопоставимые показатели с вариантами, где внесены компосты. Установлено, что варианты с внесением компостов и минеральных удобрений также существенно не отличались между собой по удельному выносу зольных элементов питания и соответствовали величинам неудобренного варианта: с 1 т зеленой массы кукурузы вынесено 1,5 кг фосфора, 5,6–5,9 кг калия, 0,4 кг кальция и 0,5 кг магния. При этом более высокий нормативный вынос отмечен для азота – 3,3–3,6 кг/т, что в 1,2–1,3 раза превышало показатель в варианте без удобрений.

Последействие компостов не влияло на содержание азота и зольных элементов питания в зерне и соломе ячменя. Содержание азота в зерне составило 1,54 %, P_2O_5 – 0,92–0,94 %, K_2O – 0,73–0,74 %, CaO – 0,03 % и MgO – 0,14 %; в соломе: N – 0,47–0,49 %, P_2O_5 – 0,30–0,33 %, K_2O – 1,39–1,47 %, CaO – 0,26 –0,27 %, MgO – 0,11–0,12 % (табл. 6).

При возделывании ярового ячменя установлено, что последействие ТНК и УНК, как и в случае с кукурузой, оказало приблизительно одинаковое влияние на отчуждение элементов питания с урожаем, увеличивая вынос азота на 7–9 кг/га, фосфора – на 5–7 кг/га, калия – на 7–11 кг/га, кальция и магния – на 1 кг/га. Наибольшим выносом элементов питания характеризовался вариант с внесением минеральных удобрений (N – 79 кг/га, P_2O_5 – 39, K_2O – 80, CaO – 9, MgO – 8 кг/га). Удельный вы-

нос элементов питания в вариантах на фоне 1-ого года последействия компостов был близок и практически не отличался от показателей неудобренного варианта: с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы вынесено: N – 16,9–17,0 кг, P_2O_5 – 10,3–10,6 кг, K_2O – 17,0–17,8 кг, CaO –2,3–2,4 кг, MgO – 2,1 кг.

Таблица 6

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на содержание основных элементов питания в зерне и их вынос с урожаем ярового ячменя, 2018 г.

Вариант	Содержание элементов питания в зерне, % в сухом веществе					Общий вынос, кг/га				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Без удобрений (контроль)	1,54	0,91	0,73	0,02	0,14	29	17	29	4	4
$N_{60+30}P_{60}K_{120}$	1,77	0,86	0,74	0,03	0,13	79	39	80	9	8
Последействие ТНК, 60 т/га (стандарт)	1,54	0,94	0,74	0,03	0,14	38	24	40	5	5
Последействие УНК, 60 т/га	1,54	0,92	0,73	0,03	0,14	36	22	36	5	5
$НСР_{05}$	0,16	0,09	0,05	0,01	0,01	–	–	–	–	–

Закономерно, что за звено севооборота наиболее низкий вынос элементов питания характерен для варианта без удобрений: азот – 119 кг/га, фосфор – 65 кг/га, калий – 192 кг/га, кальций – 16 кг/га, магний – 19 кг/га. УНК и ТНК способствовали довольно близкому отчуждению элементов питания: N – 174–183 кг/га, P_2O_5 – 84–87 кг/га, K_2O – 275–278 кг/га, CaO – 21 кг/га, MgO – 25–26 кг/га. В среднем за звено севооборота компосты увеличили общий вынос азота относительно варианта без удобрений на 50 %, фосфора – на 32 %, калия – на 44 %, кальция – на 31 %, магния – на 35 %. Максимальные показатели получены на фоне минеральных удобрений, под влиянием которых общий вынос азота вырос на 118 кг/га, P_2O_5 – на 40 кг/га, K_2O – на 147 кг/га, CaO – на 10 кг/га, MgO – на 11 кг/га.

При анализе долевого участия каждой культуры в общем выносе элементов питания за звено севооборота установлено, что на зеленую массу кукурузы приходится более 70 %; с зерном и соломой ярового ячменя отчуждено 25 % азота, 29 % фосфора, 17 % калия, 27 % кальция и 22 % магния от общего выноса за звено севооборота (рис. 4).

Рис. 4. Долевое участие культур звена севооборота в общем выносе элементов питания

Расчет коэффициентов использования элементов питания из УНК и ТНК показал отсутствие различий между ними. Так, за звено севооборота коэффициент использования азота из компостов составил 21–22 %, фосфора – 16–18 %, калия – 29–30 % (рис. 5).

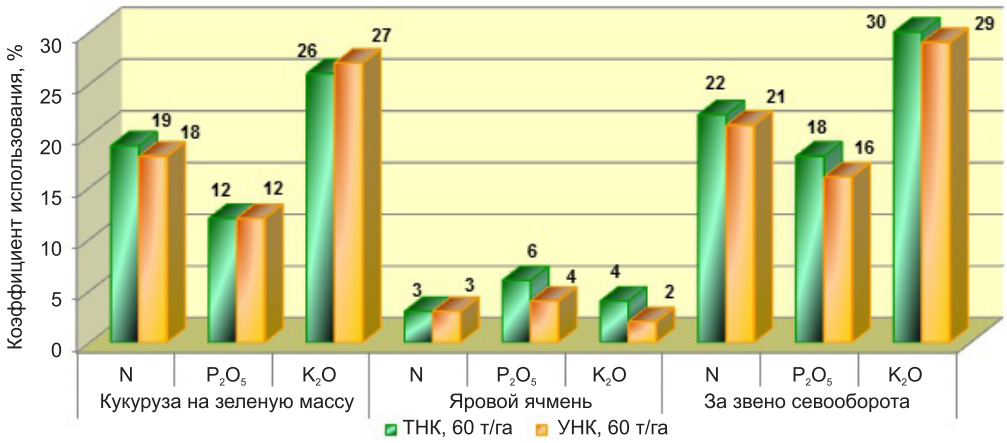

Рис. 5. Коэффициенты использования элементов питания из компостов культурами звена севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве, %

При этом на 1-ую культуру звена севооборота приходится большая часть элементов питания, усвоенных из торфонавозного и угленавозного компостов: кукурузой было использовано в среднем из компостов 19 % азота, 12 % фосфора и 27 % калия. Значительно меньшие коэффициенты азота (3 %), фосфора (4–6 %) и калия (2–4 %) из внесенных компостов характерны для ярового ячменя.

На основании учета приходных и расходных статей выполнен расчет хозяйственного баланса основных элементов питания. Расчеты показали, что возделывание кукурузы и ярового ячменя за звено севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве в варианте без удобрений привело к дефициту азота (–126 кг/га), фосфора (–62 кг/га), калия (–208 кг/га) (табл. 7).

Таблица 7

Баланс элементов питания в дерново-подзолистой супесчаной почве за звено севооборота при внесении угленавозного и торфонавозного компостов

Вариант	N			P_2O_5			K_2O		
	Баланс, ± кг/га	ИБ	Реутилизация	Баланс, ± кг/га	ИБ	Реутилизация	Баланс, ± кг/га	ИБ	Реутилизация
		%			%			%	
Без удобрений (контроль)	–126	16	–	–62	6	–	–208	10	–
$N_{210}P_{150}K_{240}$	–86	73	–	49	146	–	–115	70	–
ТНК, 60 т/га (стандарт)	30	110	102	40	146	142	–1	100	92
УНК, 60 т/га	17	106	97	40	148	144	–10	97	89

Применение угленавозного и торфонавозного компостов под кукурузу обеспечило формирование небольшого положительного баланса азота (+17–30 кг/га) и фосфора (+40 кг/га). Интенсивность баланса азота в данных вариантах была на уровне 106–110 %, фосфора – 146–148 %, повторное их использование составило 97–102 % и 142–144 % соответственно. Отмечен бездефицитный баланс калия при внесении ТНК, тогда как применение УНК не компенсировало его вынос с урожаем – снижение составило 10 кг/га. При этом интенсивность баланса элемента колебалась на уровне 97–100 %, а реутилизация составила 89–92 %.

За счет более высокой продуктивности за звено севооборота внесение азотных и калийных удобрений хотя и снижало дефицит азота и калия, но не обеспечивало полностью их компенсации (–86 и –115 кг/га соответственно). Только внесение фосфорных удобрений было достаточным для возмещения выноса фосфора с урожаем возделываемых культур, обеспечивая его накопление в почве на уровне 49 кг/га.

Довольно точным критерием при оценке влияния удобрений на состояние плодородия почв является фактическое изменение агрохимических показателей за звено севооборота. В результате анализа почвенных образцов, отобранных перед закладкой опыта и после уборки посевов ячменя, не установлено существенного изменения уровня pH_{KCl}, полученные величины близки к исходным показателям (табл. 8).

Таблица 8

Влияние угленавозного и торфонавозного компостов на агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы в звене севооборота

Вариант	pH_{KCl}		гумус, %		P_2O_5, мг/кг		K_2O, мг/кг	
	1*	2*	1	2	1	2	1	2
Без удобрений (контроль)	5,94	5,96	2,63	2,56	194	183	172	121
ТНК, 60 т/га (стандарт)	5,98	5,99	2,69	2,71	185	187	174	165
УНК, 60 т/га	5,91	5,92	2,75	2,78	178	178	164	154
$НСР_{05}$	0,09	0,14	0,15	0,13	18	17	14	12

* 1 – до внесения компостов; 2 – после уборки урожая ярового ячменя.

Содержание гумуса в варианте без внесения удобрений имело тенденцию к снижению (–0,07 %), в то время как внесение компостов обеспечило его поддержание на исходном уровне (рис. 6).

Наиболее значимое снижение плодородия почвы по содержанию подвижных форм фосфора (–11 мг/кг) и калия (–51 мг/кг) относительно исходного уровня установлено в варианте без удобрений. Отмечено равноценное влияние УНК и ТНК на изменение уровня фактического содержания этих элементов в почве. При этом их внесение в дозе 60 т/га было достаточным для поддержания бездефицитного баланса фосфора. В отличие от фосфора вследствие бульшего выноса наблюдалось уменьшение содержания калия в почве не только в неудобренном варианте, но даже при использовании компостов. Однако в вариантах с их внесением его дефицит был менее выраженным: наметилась лишь тенденция снижения содержания калия в почве (на 9–10 мг/кг). В результате обеднение пахотного слоя калием по сравнению с вариантом без удобрений уменьшилось на 24–25 %.

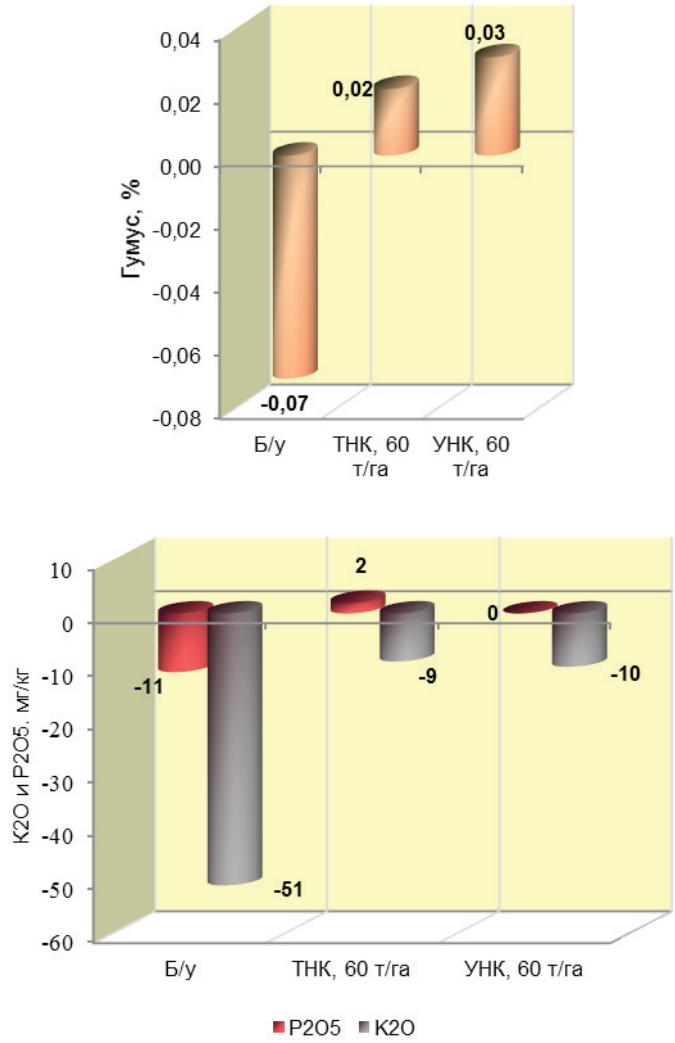

Рис. 6. Изменение содержания гумуса, фосфора и калия в дерново-подзолистой супесчаной почве в звене севооборота под влиянием компостов

В ходе исследований определено, что внесение УНК и ТНК в равных дозах оказывало сходное влияние на активность гидролитических и окислительных ферментов в супесчаной почве. Под влиянием внесенных компостов установлено статистически достоверное повышение полифенолоксидазной (на 14–18 %) и пероксидазной (на 15–21 %) активности почвы (табл. 9).

Действие компостов на активность гидролитических (инвертаза и уреаза) ферментов было менее выраженным, наблюдалась лишь тенденция к увеличению на уровне 6–7 % (за исключением уреазной активности на фоне ТНК, где прирост составил 16 %). Расчет биохимических показателей активности гумификации и минерализации по данным ферментативной диагностики показал, что применение компостов усиливало интенсивность гумификационных процессов в супесчаной почве на 17 %, минерализационных – на 7–11 %.

Таблица 9

Активность гидролитических и окислительных ферментов в дерново-подзолистой супесчаной почве при внесении компостов

Вариант	Инвертаза, мг глюк./кг	Уреаза, мг $N\text{-}NH_4^+$/кг	Минерализация, %	Полифенолоксидаза (ПФО)	Пероксидаза (ПО)	Гумификация, %	БА, %
				мг хинона/кг			
Контроль (без удобрений)	2458	134	100	49,7	37,2	100	100
ТНК, 60 т/га (стандарт)	2605	156	111	56,5	45,1	117	114
УНК, 60 т/га	2640	143	107	58,9	42,9	117	112
$НСР_{05}$	235	13	–	4,2	2,5	–	–

Полученные данные свидетельствуют, что внесение компоста на основе бурого угля и традиционного аналога на основе торфа в большей степени повышало активность оксидаз (ПФО, ПО), тем самым обеспечивая преобладание процессов гумификации над процессами минерализации. В целом при внесении компостов общий уровень биологической активности (БА) супесчаной почвы увеличился на 12–14 % по сравнению с неудобренным вариантом.

Расчет экономической эффективности показал, что при условии удаления поля от склада на расстояние 5 км внесение минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{90}K_{120}$ под кукурузу, возделываемую на зеленую массу, способствовало получению по опыту максимального условно чистого дохода (92 USD/га) при рентабельности 47 % и себестоимости прибавки урожая 61 USD/т к. ед. (табл. 10).

Таблица 10

Экономическая эффективность применения удобрений за звено севооборота

Вариант	NPK	Транспортировка бурого угля/торфа на 5 км			Транспортировка бурого угля/торфа на 15 км		
		ТНК, 60 т/га	УНК, 60 т/га		ТНК, 60 т/га	УНК, 60 т/га	
			при добыче бурого угля	при использовании отходов бурого угля		при добыче бурого угля	при использовании отходов бурого угля
Кукуруза на зеленую массу							
Условно чистый доход, USD/га	92	–27	–147	45	–35	–156	36
Рентабельность, %	47	–9	–38	22	–12	–39	18
Себестоимость, USD/т к. ед.	61	99	145	74	102	148	77
Яровой ячмень							
Условно чистый доход, USD/га	104	–111	–196	–68	–116	–202	–74
Рентабельность, %	70	–63	–80	–58	–65	–80	–60
Себестоимость, USD/т к. ед.	53	246	449	215	254	459	225
За звено севооборота							
Условно чистый доход, USD/га	196	–138	–343	–24	–151	–357	–37
Рентабельность, %	57	–30	–54	–7	–32	–55	–11
Себестоимость, USD/т к. ед.	52	123	191	95	127	195	99

Применение ТНК в дозе 60 т/га под кукурузу на зеленую массу нерентабельно: при доставке торфа к ферме на расстояние 5 км от места добычи убыток составил 27 USD/га; 15 км – 35 USD/га. Еще более убыточным (147–156 USD/га) было применение УНК в аналогичной дозе, что обусловлено более высокой стоимостью 1 т бурого угля (23,1 USD) при условии его добычи непосредственно для изготовления компостов по сравнению с торфом (стоимость 1 т торфа – 10,0 USD). Себестоимость дополнительной продукции при этом характеризовалась наиболее высоким показателем по опыту – 145–148 USD/т к. ед. В том случае, если под кукурузу вносить компост на основе отходов бурого угля, оставшихся после его использования на промышленные нужды, то снижение затрат на его приготовление при удалении фермы от места добычи на расстояние 5 км позволило получить условно чистый доход 45 USD/га при рентабельности 22 % и себестоимости 1 т к. ед. кукурузы – 74 USD. С увеличением расстояния между месторождением бурого угля и местом приготовления компостов до 15 км чистый доход снижался до 36 USD/га, рентабельность – до 18 %.

Последействие компостов при возделывании ярового ячменя было экономически невыгодным, т. к. размеры полученных доходов от прибавки урожая зерна не покрывали понесенные расходы. Прибыльным было только внесение под яровой ячмень минеральных удобрений в дозе $N_{60+30}P_{60}K_{120}$: условно чистый доход составил 104 USD/га, рентабельность – 70 %.

В целом за звено севооборота экономически оправдано было только применение минеральных удобрений ($N_{210}P_{150}K_{240}$), обеспечивая получение условно чистого дохода на уровне 196 USD/га при рентабельности 57 % и себестоимости 1 т к. ед. 52 USD. На дерново-подзолистой супесчаной почве в звене севооборота: кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень внесение в дозе по 60 т/га ТНК и нового УНК при добычи бурого угля непосредственно для закладки компоста экономически не целесообразно даже при доставке торфа или бурого угля от места добычи к ферме на расстояние 5 км, т. к. затраты превышают стоимость прибавки урожая (убыток 138–343 USD/га). Наименьший убыток (24 USD) получен при внесении УНК, при изготовлении которого использовали отходы бурого угля при условии его доставки к ферме на расстояние до 5 км от места добычи.

ВЫВОДЫ

В сельскохозяйственных организациях, расположенных недалеко от месторождений бурых углей, целесообразно для приготовления компостов с полужидким навозом использовать в качестве влаговпитывающего органического компонента отходы бурого угля, оставшиеся после его использования на промышленные нужды, из расчета на 1 т навоза 300 кг бурого угля. Полученный компост на основе бурого угля по своим характеристикам соответствует традиционному торфонавозному компосту и имеет близкие агрохимические показатели. Внедрение технологии компостирования полужидкого навоза с бурым углем позволит увеличить выход качественных удобрений и решить экологические проблемы, связанные с утилизацией полужидкого навоза.

В звене севооборота – кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень – применение нового компоста на основе бурого угля на дерново-подзолистой супесчаной почве по агрономической эффективности равноценно традиционному аналогу на

основе торфа. Внесение угленавозного и торфонавозного компостов с одинаковым соотношением исходных компонентов (0,3 части бурого угля или торфа на 1 часть навоза) в дозе 60 т/га обеспечило получение равновеликой продуктивности 146,1–149,9 ц к.ед./га при дополнительном сборе урожая 33,3–37,1 ц к.ед./га и окупаемости 1 т компостов 55,6–61,9 к.ед. Прибавка зеленой массы кукурузы от их прямого действия достигла 99–105 ц/га, кормовых единиц 27–28 ц/га, сырого белка – 249–289 кг/га, кормопротеиновых единиц – 23–26 ц/га; за счет 1-ого года последействия дополнительно получено 4,5–5,9 кг зерна ярового ячменя, 5,4–7,0 ц/га кормовых единиц, 37–49 кг/га сырого белка и 4,7–6,1 ц/га кормопротеиновых единиц.

При добыче бурого угля непосредственно для приготовления компоста применение ТНК и УНК в дозе 60 т/га в звене севооборота кукуруза на зеленую массу – яровой ячмень нерентабельно даже при доставке торфа или бурого угля от места добычи к ферме на расстояние 5 км (убыток 138–343 USD/га). Наименьший убыток (24 USD) получен при внесении под кукурузу компоста на основе отходов бурого угля, оставшихся после его использования на промышленные нужды, при условии их доставки от места добычи к ферме на расстояние до 5 км.

Внесение угленавозного компоста за звено севооборота обеспечило бездефицитный баланс гумуса и подвижных форм P_2O_5 в пахотном слое дерново-подзолистой супесчаной, но было недостаточным для поддержания подвижных форм калия на исходном уровне (–10 мг/кг), что аналогично влиянию торфонавозного компоста на агрохимические показатели. Применение компостов увеличило полифенолоксидазную активность почвы на 14–18 %, пероксидазную – на 15–21 % при усилении интенсивности гумификационных процессов на 17 %, минерализационных – на 7–11 %.

Таким образом, установлено, что компосты из полужидкого навоза с неогеновыми бурыми углями по влиянию на урожайность, показатели качества урожая и плодородие почвы аналогичны торфонавозным компостам. Экономическая эффективность применения УНК будет зависеть от цели добычи бурых углей (отходы от промышленной добычи или добыча для сельскохозяйственных нужд), дальности перевозки и места в севообороте (при внесении под культуры с более высокой закупочной ценой, соответственно экономическая эффективность компостов будет выше).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пиролиз бурых углей Брииевского месторождения Республики Беларусь / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2009. – № 3. – С. 20–25.

2. *Лиштван, И. И.* Твердые горючие ископаемые Беларуси и особенности их глубокой переработки / И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко // Доклады НАН Беларуси. – 2015. – Т. 59. – № 3. – С. 97–101.

3. *Ажгиревич, Л. Ф.* Закономерности размещения и образования горючих ископаемых / Л. Ф. Ажгиревич. – Минск: Наука и техника, 1986. – 174 с.

4. Оценка биологической активности буроугольных комплексных гранулированных гуматных удобрений / К. С. Вотолин [и др.] // Биологически активные препараты для растениеводства. Научное обоснование – рекомендации – прак-

тические результаты: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–8 июля 2018 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: Д. В. Маслак [и др.]. – Минск, 2018. – С. 60–62.

5. *Чистова, О. А.* Оценка эффективности применения гуматов при выращивании картофеля (на примере УО ПЭЦ МГУ имени М. В. Ломоносова) / О. А. Чистова, О. А. Макаров, Н. Н. Панина // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: проблемы, перспективы, достижения: тезисы докл. VII съезда Об-ва почвоведов им. В. В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием науч. конф., Белгород, 15–22 августа 2016 г. : в 2 ч. / Белгород. гос. национ. исследоват. ун-т ; отв. ред.: С. А. Шоба, И. Ю. Савин. – Москва – Белгород, 2016. – Ч. 1. – С. 139–140.

6. Влияние бурого угля, монокремниевой кислоты и кремний-органического мелиоранта на их основе на поглощение кадмия ячменем и горохом / Е. А. Бочарникова [и др.] // Агрохимия. – 2016. – № 5. – С. 41–46.

7. *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.

8. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т проблемных исследований в АПК НАН Беларуси, 2010. – 24 с.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF COMPOST BASED ON BROWN COAL ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

E. N. Bogatyrova, T. M. Seraya, T. M. Kirdun, Y. A Belyavskaya, M. M. Torchilo

Summary

The comparative analysis of agroeconomic efficiency of new compost on the basis of brown coal with traditional analogue on the basis of peat in field experiment on sod-podzolic sandy loam soil has been carried out. The introduction of coal-manure compost in the dose of 60 t/ha contributed to obtaining the productivity of the crop rotation link is 146,1 kg of fodder units/ha, which is equivalent to the influence peat-manure compost (149,9 kg of fodder units/ha). The use of compost under the condition of extraction of brown coal directly for its production is unprofitable. The lowest loss (24 USD) was obtained when composting on the basis of brown coal waste remaining after its use for industrial purposes, when they were delivered from brown coal deposits to the farm at a distance of up to 5 km. The introduction of coal-manure compost provided a deficit-free balance of humus and mobile forms of P_2O_5 in the arable layer of sandy soil, but not enough to maintain K_2O at the initial level (–10 mg/kg), which is similar to the effect of peat-manure compost on agrochemical indicators.

Поступила 08.04.19