

АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПОД ЯЧМЕНЬ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Л.Н. Иовик^{1,2}

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

*²Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
г. Брест, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень является одной из важнейших зерновых культур. В Беларуси его возделывают примерно на 500 тыс. гектаров. Зерно ячменя используют в качестве корма для крупного рогатого скота, свиней и птицы. Кроме того, оно служит сырьем для пивоваренной промышленности и изготовления круп [1]. Около 60–70% от валового сбора зерна расходуется на кормовые цели. На корм скоту также идут солома и солоха.

Качество выращиваемого в республике ячменя зачастую не соответствует установленным нормам, что в свою очередь негативным образом сказывается на его окупаемости [2]. В то же время урожайность культуры и качество продукции нередко взаимно исключают друг друга [3]. Кроме того, на текущий момент отсутствуют рекомендации по возделыванию ячменя для получения зерна с требуемыми качественными показателями.

Для получения высоких устойчивых урожаев яровому ячменю необходимо значительное количество питательных веществ, которое он усваивает в течение короткого периода вегетации. Среди зерновых культур он наиболее требователен к элементам питания. По этой причине очень важно обеспечить сбалансированное питание с самого начала развития растений. Применение минеральных и органических удобрений является решающим мероприятием, направленным на создание урожая культуры.

Высокая стоимость минеральных удобрений, уменьшение производства традиционных форм органических удобрений, снижение запасов торфа формируют необходимость поиска других источников постоянно возобновляемых органических удобрений. В качестве таких альтернативных удобрений могут выступать отходы биогазовых установок. Они представляют собой органическую массу, полученную при брожении отходов сельскохозяйственного производства. Исследования химического состава показывают, что удобрения на основе отходов биогазовых установок содержат значительное количество элементов питания в легкоусвояемой для растений форме. Для улучшения физических и технологических качеств, жидкие органические удобрения обезвоживают, смешивают с сорбентами (торфом, древесными опилками, землей и т.п.) и гранулируют. Эффективность таких удобрений изучена в недостаточной степени ввиду

относительно недавнего использования биогазовых технологий на территории Республики Беларусь.

Цель исследований – изучить эффективность традиционных и альтернативных видов органических удобрений при возделывании ярового ячменя.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2013–2014 гг. в стационарном полевом опыте на территории ОАО «СГЦ «Западный» Брестского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,9 м суглинком. Пахотный слой до внесения удобрений имел следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} – 5,5, гумус – 1,67%, подвижные формы P_2O_5 – 198 мг/кг почвы, K_2O – 261 мг/кг, обменные CaO – 1158 мг/кг, MgO – 132 мг/кг почвы.

Объекты исследований: яровой ячмень сорт Атаман, подстилочный навоз КРС, отход грибного производства, свиные навозные стоки, жидкое органическое удобрение Эффлюент, органоминеральные удобрения Сложный компост и Биоудобрение–Гранулированное.

Жидкое органическое удобрение Эффлюент (далее – эффлюент) представляет собой жидкий отход биогазовой установки ОАО «СГЦ «Западный», полученный в результате сбраживания навозных стоков (30%), твердой фракции отсепарированных на дуговых ситах навозных стоков с примесью отходов бойни (30%), отходов рыбного производства (20%), зерноотходов (10%) и жидких ферментированных отходов (10%).

Органоминеральное удобрение Сложный компост (далее – сложный компост) получен смешиванием отсепарированного отхода биогазовой установки (50%), торфа (24,5%), дефеката (24,5%) и хлористого калия (1%). Органоминеральное удобрение Биоудобрение–Гранулированное (далее – биоудобрение–гранулированное) состоит из тех же компонентов, что и сложный компост, прошедших в дальнейшем сушку и грануляцию.

Отход грибного производства является отработанным компостом после выращивания шампиньонов ООО «БОНШЕ» (г. Брест).

Химический состав органических удобрений определяли по Государственным отраслевым стандартам: определение влаги и сухого остатка (ГОСТ 26713–85), золы (ГОСТ 26714–85), общего азота (ГОСТ 26715–85), общего фосфора (ГОСТ 26717–85), общего калия (ГОСТ 26718–85) (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав вносимых органических удобрений

Вид удобрения	Влажность, %	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	C
		% на естественную влажность					
Подстилочный навоз КРС	79	0,41	0,35	0,40	0,21	0,07	10,0
Отход грибного производства	59	0,85	1,04	0,84	1,23	0,22	13,8
Свиные навозные стоки	99	0,19	0,05	0,06	0,01	0,01	0,3
Эффлюент	89	0,50	0,37	0,16	0,10	0,05	4,6
Сложный компост	45	0,71	1,19	1,44	3,35	0,32	9,1
Биоудобрение–Гранулированное	16	0,78	1,88	2,13	3,88	0,46	16,8

Анализ качественных показателей зерна и соломы ячменя проводили согласно общепринятым ГОСТ: определение влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548–97 п.4), сырой золы (ГОСТ 26226–95), общего азота и сырого протеина (ГОСТ 13496.4–93), сырой клетчатки (ГОСТ 13496.2–91), сырого жира (ГОСТ 13496.15–97), фосфора (ГОСТ 26657–97 п.4), калия (ГОСТ 30504–97), кальция (ГОСТ 26570–95 п.2.1), магния (ГОСТ 30502–97), переваримого протеина, переваримой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ и кормовых единиц по [4], обменной энергии по [5].

Минеральные удобрения (сульфат аммония, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) вносили под предпосевную культивацию. Азотное удобрение применяли в два приема: N_{60} – в основное внесение и N_{30} – в виде подкормки в фазу кущения.

Органические удобрения вносились под вспашку. Дозы жидких органических удобрений устанавливались по азоту минеральных. Подстилочный навоз использовали согласно рекомендуемым дозам под ячмень. Твердые органические удобрения на основе отхода биогазовой установки выравнивались по азоту подстилочного навоза.

Схема опыта включала 12 вариантов в четырехкратной повторности (табл. 2). Общая площадь делянки – 50 м², а учетная – 32 м². Предшественник ярового ячменя – озимое тритикале. Агротехника возделывания ячменя – общепринятая для Республики Беларусь [6]. Учет урожая проводили поделяночно сплошным способом. Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [7].

Таблица 2

Влияние органических удобрений на урожайность зерна ячменя, среднее за 2013–2014 гг.

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость, кг зерна	
			1 т орг. удобрений	1 кг НРК
1. Без удобрений (контроль)	46,0	–	–	–
2. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$	66,4	20,4	–	7,5
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	59,5	13,5	33,8	2,9
4. Отход грибного производства, 20 т/га	58,3	12,3	61,5	2,3
5. Навозные стоки, 60 т/га	56,1	10,1	16,8	4,7
6. Навозные стоки, 120 т/га	60,4	14,4	12,0	2,3
7. Эффлюент, 20 т/га	56,2	10,2	50,8	5,0
8. Эффлюент, 40 т/га	61,6	15,6	38,9	3,8
9. Сложный компост, 30 т/га	54,2	8,2	27,2	0,8
10. Сложный компост, 40 т/га	59,5	13,5	33,6	1,0
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	57,3	11,3	56,5	1,2
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	60,7	14,7	48,8	1,0
НСР ₀₅	5,3			

Баланс элементов питания рассчитывали согласно методике [8], агрономическую и экономическую эффективность применяемых удобрений – по методике [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в среднем за 2013–2014 гг. за счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при соблюдении основных элементов технологии возделывания ячменя урожайность зерна составила 46,0 ц/га. Максимальная урожайность в опыте (66,4 ц/га) получена при внесении минеральных удобрений ($N_{60+30}P_{60}K_{120}$), прибавка к контролю составила 20,4 ц/га (табл. 2).

Применение жидких и твердых органических удобрений положительным образом сказалось на продуктивности культуры. Влияние одинарных доз навозных стоков (60 т/га) и эффлюента (20 т/га) (дозы близкие по содержанию азота, внесенному с минеральными удобрениями) на формирование урожайности культуры было равнозначным – 56,1 и 56,2 ц/га. Увеличение доз жидких удобрений вдвое дополнительно увеличивало урожай зерна, однако, применение 120 т/га навозных стоков не способствовало существенному росту урожайности и находилось в пределах ошибки опыта, в то время как при внесении эффлюента в дозе 40 т/га получена достоверная к одинарной дозе прибавка урожая зерна – 5,4 ц/га.

Внесение 40 т/га подстилочного навоза и 20 т/га отхода грибного производства (дозы близкие по содержанию азота) на 13,5 и 12,3 ц/га увеличило урожайность зерна по сравнению с контрольным вариантом.

Внесение твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки (40 т/га сложного компоста, 20 т/га и 30 т/га биоудобрения–гранулированного) способствовало достоверному росту прибавки до 11,3–14,7 ц/га, что, в целом, соответствовало уровню влияния подстилочного навоза. В то же время применение в качестве удобрения 30 т/га сложного компоста лишь на 8,2 ц/га повышало урожайность зерна. Увеличение доз изучаемых удобрений несущественно сказывалось на прибавке урожая и не выходило за пределы наименьшей существенной разности.

Результат действия изучаемых удобрений на выход зерна оценивали с помощью расчета их агрономической эффективности, которая в свою очередь определялась величиной прибавки урожая и дозами вносимых удобрений.

Самой высокой величиной окупаемости 1 т органических удобрений килограммами зерна обладали 20 т/га отхода грибного производства – 61,5 кг и 20 т/га биоудобрения–гранулированного – 56,5 кг зерна. Наименьшей оплатой удобрений характеризовались варианты с применением 60 т/га и 120 т/га навозных стоков – 12,0–16,8 кг. Для остальных удобрений окупаемость 1 т варьировалась от 27,2 до 50,8 кг зерна.

Окупаемость 1 кг NPK прибавкой зерна ячменя зависела в большей мере от удельного веса азота в удобрениях и степени его доступности для растений. Наибольшая оплата NPK была отмечена для минеральных удобрений – 7,5 кг зерна. Для органических удобрений, в которых азот находится в органически связанной форме, значения окупаемости были более низкими. Лучше всего

килограммами зерна оплачивались жидкие удобрения – 60 т/га навозных стоков (4,7 кг зерна/кг NPK) и 20 т/га эффлюента (5,0 кг зерна/кг NPK). Причем с ростом доз удобрений агрономическая эффективность заметно снижалась. Хуже всего окупались твердые органические удобрения на основе отходов биогазовой установки – сложный компост и биоудобрение–гранулированное – 0,8–1,2 кг зерна.

Известно, что эффективность применяемых удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур также характеризуется степенью усвояемости элементов питания растениями. В этой связи немаловажное значение имеют величины накопления питательных элементов в зерне и соломе, которые определяют качество полученной растениеводческой продукции.

По результатам химического анализа установлено, что для формирования урожая зерна и соломы культура в разной степени использовала питательные вещества из удобрений. Так, в количественном отношении в зерне накапливалось больше азота и фосфора, а в соломе – калия, кальция и магния (табл. 3).

За счет почвенных резервов в зерне накапливалось 1,91% азота, 0,85% фосфора, 0,54% калия, 0,20% кальция и 0,16% магния, а в соломе – 0,61% азота, 0,31% фосфора, 2,15% калия, 0,47% кальция и 0,27% магния.

Таблица 3

Влияние органических удобрений на содержание основных элементов питания в зерне и соломе ярового ячменя, % в сухом веществе (среднее за 2013–2014 гг.)

Вариант	Зерно					Солома				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Без удобрений (контроль)	1,91	0,85	0,54	0,20	0,16	0,61	0,31	2,15	0,47	0,27
2. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	2,14	0,87	0,53	0,23	0,16	0,63	0,34	2,57	0,44	0,24
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	1,93	0,94	0,51	0,24	0,16	0,60	0,34	2,04	0,46	0,23
4. Отход грибного производства, 20 т/га	1,92	0,95	0,58	0,26	0,17	0,58	0,27	2,27	0,39	0,24
5. Навозные стоки, 60 т/га	2,17	0,98	0,63	0,31	0,17	0,80	0,38	2,21	0,43	0,24
6. Навозные стоки, 120 т/га	2,23	0,98	0,61	0,29	0,17	0,83	0,42	2,67	0,47	0,28
7. Эффлюент, 20 т/га	2,09	0,93	0,54	0,28	0,18	0,64	0,32	2,37	0,42	0,24
8. Эффлюент, 40 т/га	2,27	0,98	0,63	0,35	0,16	0,75	0,35	2,59	0,45	0,25
9. Сложный компост, 30 т/га	2,19	0,97	0,53	0,26	0,18	0,67	0,33	2,57	0,44	0,24
10. Сложный компост, 40 т/га	2,20	0,87	0,55	0,23	0,16	0,77	0,34	2,81	0,46	0,24
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	2,02	0,93	0,56	0,20	0,15	0,67	0,28	2,58	0,41	0,21
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	2,03	0,95	0,70	0,41	0,20	0,73	0,32	2,55	0,46	0,24
NCP ₀₅	0,20	0,08	0,06	0,03	0,01	0,05	0,03	0,21	0,03	0,02

Применение удобрений увеличивало накопление питательных элементов в растительной продукции. В среднем по удобренным вариантам содержание азо-

та в зерне составило 1,92–2,27%, фосфора – 0,87–0,98%, калия – 0,51–0,70%, кальция – 0,20–0,41% и магния – 0,15–0,20%, а в соломе – 0,58–0,83% азота, 0,27–0,42% фосфора, 2,04–2,81% калия, 0,39–0,47% кальция и 0,21–0,28% магния.

Как известно, качество зерна зависит в первую очередь от сорта, почвенно-климатических условий произрастания и удобрений. Согласно действующему СТБ 1136–98 [10], влажность заготавливаемого на корм зерна ячменя должна соответствовать 10–19%. По российскому ГОСТ Р 53900–2010 [11] содержание сухого вещества в зерне 1 класса должно составлять не менее 860 г/кг, сырого протеина – не менее 130 г сухого вещества, сырой клетчатки – не более 70 г, сырой золы – не более 20 г, обменной энергии для кормления свиней – не менее 15 МДж/кг, КРС и птицы – не менее 13 МДж/кг.

При использовании ячменя в качестве кормовой культуры содержание протеина в сухом веществе должно быть высоким, а клетчатки – низким. Об общем содержании минеральных веществ судят по показателю сырой золы. Питательная и энергетическая ценность растениеводческой продукции определяет уровень продуктивности сельскохозяйственных животных.

Анализ показателей качества зерна ячменя показал следующие результаты (табл. 4). Содержание сухого вещества было на уровне 86,0–86,4% (влажность – 13,6–14,0%) и тем самым соответствовало нормативам СТБ 1136–98 и 1-му классу по ГОСТ Р 53900–2010. Накопление питательных веществ по вариантам опыта было близким. При этом показатель зольности составил 2,61–2,89%, сырого протеина – 11,94–14,19%, сырой клетчатки – 3,8–5,3% и сырого жира – 1,44–1,90% сухого вещества. Согласно нормам ГОСТ Р 53900–2010, по показателям сырой золы, сырого протеина и сырой клетчатки зерно относилось к 1–2-му классу.

Для расчета энергетической питательности зерна в кормовых единицах и обменной энергии (ОЭ) использовались данные количественного содержания переваримых питательных веществ, полученные с использованием соответствующих коэффициентов переваримости (77 – протеина, 79 – клетчатки, 27 – жира, 98 – безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ)). Величина накопления переваримого протеина составила 79,07–94,44 г/кг натурального корма, переваримой клетчатки – 25,9–36,0 г/кг, переваримого жира – 3,35–4,43 г/кг, переваримых БЭВ – 642,97–664,63 г/кг. При этом количество ОЭ достигало 54,3–78,4 ГДж/га и кормовых единиц – 57,5–83,8. Максимальные значения энергетической ценности были получены при применении минеральных удобрений $N_{60+30}P_{60}K_{120}$. Органические удобрения способствовали близкому накоплению в зерне ОЭ (63,9–72,6 ГДж/га) и кормовых единиц (67,9–76,6).

Большой удельный вес зерновых в структуре посевных площадей способствует использованию на корм скоту значительного количества соломы. Ячменная солома по своей питательности приближается к селу низкого качества. На солому не разработан стандарт, поэтому ее оценку проводят непосредственно в хозяйстве. Выделяют три категории: доброкачественную (влажность не более 17%, со свежим запахом, упругая, блестящая), подозрительную (влажность свыше 16%, с признаками порчи) и непригодную для скармливания (испорченная гнилью, плесенью и т.д.) [12]. При этом различают сухую солому (влажность 14%), средней сухости (14–16%), влажную (16–20%) и сырую (более 20%).

Влияние органических удобрений на питательную и энергетическую ценность зерна ячменя, 2013–2014 гг.

Вариант опыта	Сухое вещество, %	Сырая зола, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырой жир, %	Переваримый протеин, г/кг	Переваримая клетчатка, г/кг	Переваримый жир, г/кг	Переваримые БЭВ, г/кг	ОЭ (КРС), ГДж/га	Кормовые единицы, ц/га										
												% в сухом веществе					г/кг натурального корма				
1. Без удобрений (контроль)	86,0	2,66	11,94	5,3	1,56	79,07	36,0	3,62	661,94	54,3	57,5										
2. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	86,1	2,62	13,38	3,8	1,63	88,72	25,9	3,79	663,03	78,4	83,8										
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	86,0	2,79	12,06	5,1	1,67	79,88	34,7	3,88	660,74	70,2	74,3										
4. Отход грибного производства, 20 т/га	86,0	2,68	12,00	4,8	1,67	79,47	32,6	3,88	664,63	68,7	73,0										
5. Навозные стоки, 60 т/га	86,2	2,72	13,56	4,8	1,70	89,96	32,7	3,95	652,02	66,2	70,0										
6. Навозные стоки, 120 т/га	86,2	2,78	13,94	5,0	1,80	92,56	34,1	4,19	646,30	71,3	75,3										
7. Эффлюент, 20 т/га	86,1	2,69	13,06	4,4	1,56	86,55	29,9	3,63	660,37	66,4	70,6										
8. Эффлюент, 40 т/га	86,4	2,80	14,19	5,2	1,90	94,44	35,5	4,43	642,97	72,6	76,6										
9. Сложный компост, 30 т/га	86,2	2,61	13,69	4,5	1,71	90,86	30,6	3,98	654,53	63,9	67,9										
10. Сложный компост, 40 т/га	86,2	2,64	13,75	4,7	1,44	91,27	32,0	3,35	654,51	70,2	74,5										
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	86,1	2,84	12,63	4,3	1,47	83,68	29,2	3,42	664,18	67,6	72,0										
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	86,1	2,89	12,69	5,1	1,73	84,09	34,7	4,02	654,38	71,0	75,5										

В исследованиях установлено, что солома ячменя содержала в среднем 84,0–84,4% сухого вещества. Таким образом, в опытах была получена доброкачественная солома средней сухости.

По результатам зоотехнического анализа изучена питательная и энергетическая ценность ячменной соломы (табл. 5). Установлено, что в сухом веществе содержалось 8,02–11,28% сырого протеина, 38,6–48,4% сырой клетчатки и 0,91–1,34% сырого жира. Энергетическую ценность рассчитывали исходя из количества накопленных в натуральном корме переваримых веществ. Для соломы ячменя использовали следующие коэффициенты переваримости: 26 – для протеина, 54 – для клетчатки, 39 – для жира и 53 – для БЭВ. Данные расчетов показали, что растительная продукция содержала 7,95–11,38 г/кг переваримого протеина, 175,4–220,4 г/кг переваримой клетчатки,

2,99–4,40 г/кг переваримого жира и 172,7–204,2 г/кг переваримых БЭВ. Величина ОЭ (КРС) при этом достигала 18,7–26,9 ГДж/га и кормовых единиц – 9,6–14,7. Наиболее высокой энергетической ценностью солома обладала при удобрении $N_{60+30}P_{60}K_{120}$. При использовании органических удобрений накопление ОЭ и сбор кормовых единиц было близким по вариантам опыта и составляло 21,6–24,6 ГДж/га и 11,0–14,6 ц к.ед./га соответственно.

Таблица 5

Влияние органических удобрений на питательную и энергетическую ценность соломы ячменя, 2013–2014 гг.

Вариант	Сухое вещество, %	Сырая зола, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырой жир, %	Переваримый протеин, г/кг	Переваримая клетчатка, г/кг	Переваримый жир, г/кг	Переваримые БЭВ, г/кг	ОЭ (КРС), ГДж/га	Кормовые единицы, ц/га									
												% в сухом веществе					г/кг натурального корма			
												1. Без удобрений (контроль)	84,02	8,20	3,81	46,9	1,19	8,32	212,8	3,90
2. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$	84,19	8,41	3,94	44,4	1,26	8,62	201,9	4,14	187,4	26,9	14,7									
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	84,33	8,53	3,75	47,8	1,29	8,22	217,7	4,24	172,7	24,1	12,1									
4. Отход грибного производства, 20 т/га	84,27	8,30	3,63	47,5	1,27	7,95	216,2	4,17	175,5	23,7	12,0									
5. Навозные стоки, 60 т/га	84,30	8,23	5,00	42,1	0,91	10,96	191,6	2,99	195,5	22,8	13,0									
6. Навозные стоки, 120 т/га	84,36	8,89	5,19	39,6	0,97	11,38	180,4	3,19	202,8	24,5	14,6									
7. Эффлюент, 20 т/га	84,33	9,12	4,00	48,4	1,08	8,77	220,4	3,55	167,2	22,4	11,0									
8. Эффлюент, 40 т/га	84,41	9,64	4,69	44,1	1,18	10,29	201,0	3,88	180,7	24,6	13,3									
9. Сложный компост, 30 т/га	84,13	10,12	4,19	38,6	1,30	9,17	175,4	4,27	204,2	21,6	13,2									
10. Сложный компост, 40 т/га	84,19	11,28	4,81	42,0	1,34	10,53	190,9	4,40	181,0	23,3	13,0									
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	84,21	8,02	4,19	47,7	1,17	9,17	216,9	3,84	173,7	23,3	11,7									
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	84,29	9,51	4,56	43,6	1,32	9,99	198,5	4,34	183,2	24,2	13,3									

Содержание элементов питания в полученном урожае характеризует величину их усвояемости из применяемых удобрений. Потребность культуры в питательных веществах устанавливается по их хозяйственному (общему) выносу с урожаем основной и побочной продукцией. Общий вынос с 1 тонной основной продукции ха-

рактирует величину удельного (нормативного) выноса, используемого для расчета доз удобрений под планируемый урожай, разработки систем удобрений.

В проведенных исследованиях хозяйственный вынос азота на дерново-подзолистой супесчаной почве с основной (зерном) и побочной (соломой) продукцией по вариантам с применением удобрений составил 116–147 кг/га, фосфора – 55–66 кг/га, калия – 97–131 кг/га, кальция – 24–38 кг/га, магния – 14–19 кг/га (табл. 6). Установлено, что наиболее активное отчуждение азота, фосфора и калия с урожаем происходило при удобрении $N_{60+30}P_{60}K_{120}$, 40 т/га эффлюента и 120 т/га навозных стоков, а кальция – при внесении 30 т/га биоудобрения–гранулированного. Наиболее равномерным по удобрениям вариантам был вынос магния.

В среднем по удобрениям вариантам удельный вынос азота с 1 т зерна составил 22,2 кг, фосфора – 10,1 кг, калия – 19,5 кг, кальция – 5,0 кг и магния – 2,9 кг.

На основании данных по выносу питательных элементов ячменем рассчитывали их баланс в системе почва–удобрение–растение путем сопоставления приходных и расходных статей. Эффективность применяемых удобрений оценивали также интенсивностью баланса веществ и величиной их реутилизации.

Таблица 6

Влияние органических удобрений на вынос элементов питания с зерном и соломой ячменя, среднее за 2013–2014 гг.

Вариант	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Без удобрений (контроль)	92	42	79	21	14	20,0	9,1	17,3	4,5	3,0
2. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$	147	63	131	30	18	22,1	9,5	19,7	4,6	2,8
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	120	60	97	28	17	20,1	10,1	16,4	4,7	2,8
4. Отход грибного производства, 20 т/га	116	57	107	26	17	19,9	9,8	18,3	4,5	2,9
5. Навозные стоки, 60 т/га	131	60	103	29	16	23,3	10,7	18,4	5,2	2,9
6. Навозные стоки, 120 т/га	145	66	126	32	19	24,0	10,9	20,9	5,3	3,1
7. Эффлюент, 20 т/га	122	55	104	28	17	21,7	9,9	18,6	4,9	3,0
8. Эффлюент, 40 т/га	147	65	127	35	18	24,0	10,5	20,7	5,7	2,9
9. Сложный компост, 30 т/га	123	55	107	26	16	22,8	10,2	19,7	4,8	2,9
10. Сложный компост, 40 т/га	139	56	126	28	16	23,4	9,5	21,2	4,7	2,8
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	122	55	114	24	14	21,4	9,7	19,9	4,1	2,5
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	132	61	127	38	19	21,7	10,1	21,0	6,2	3,2
Среднее по удобрениям вариантам	131	59	115	29	17	22,2	10,1	19,5	5,0	2,9

Расчеты показали, что без применения удобрений не возможно было достичь положительного баланса азота, фосфора, калия, кальция и магния (табл. 7). Минеральные удобрения $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ также не восполнили в полной мере вынос элементов питания с урожаем. Из органических удобрений недостаточным для поддержания бездефицитного баланса элементов питания в почве было внесение навозных стоков и эффлюента (за исключением фосфора).

Таблица 7

Баланс элементов питания при возделывании ячменя, среднее за 2013–2014 гг.

Вариант	N			P ₂ O ₅			K ₂ O			CaO			MgO		
	Ба- ланс, кг/га	ИБ* %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %
1. Без удобрений (контроль)	-86	22	0	-41	1	0	-88	12	0	-60	30	0	-23	18	0
2. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	-73	61	0	-3	96	0	-19	88	0	-70	27	0	-27	15	0
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	10	105	92	156	360	359	55	146	136	16	117	90	2	108	92
4. Отход грибного производства, 20 т/га	18	110	96	152	367	366	53	142	132	180	297	269	18	159	143
5. Навозные стоки, 60 т/га	-39	78	64	-29	51	50	-75	39	29	-63	33	6	-19	36	20
6. Навозные стоки, 120 т/га	32	115	104	-5	92	91	-63	57	49	-59	39	12	-16	52	37
7. Эффлоент, 20 т/га	-41	75	61	19	135	134	-81	35	26	-47	49	22	-16	49	33
8. Эффлоент, 40 т/га	9	104	93	84	230	229	-71	52	43	-35	65	40	-7	79	63
9. Сложный компост, 30 т/га	43	122	109	302	645	645	317	350	341	939	1130	1103	71	339	323
10. Сложный компост, 40 т/га	80	135	124	420	847	847	441	402	394	1272	1469	1442	103	437	421
11. Биоудобрение-Гранулированное, 20 т/га	1	101	87	321	679	678	304	326	317	713	905	876	69	342	325
12. Биоудобрение-Гранулированное, 30 т/га	50	124	112	503	924	923	503	441	433	1087	1159	1134	110	429	414

* Интенсивность баланса.

Применение твердых видов органических удобрений положительно сказалось на величине баланса элементов. Положительный баланс азота составил 1–80 кг/га, фосфора – 19–503 кг/га, калия – 53–503 кг/га, кальция – 16–1272 кг/га и магния – 2–110 кг/га. При этом интенсивность баланса азота находилась на уровне 101–135%, фосфора – 135–924%, калия – 142–441%, кальция – 117–1469% и магния – 108–429%.

С органическими удобрениями в почву внесено 61–124% азота, вынесенного с урожаем, 50–923% фосфора, 26–433% калия, 6–1442% кальция и 20–421% магния.

Высокая урожайность с хорошим качеством продукции, получаемая за счет использования удобрений, должна соответствовать критериям экономической целесообразности. Рациональное применение удобрений позволяет окупать не только расходы на их приобретение и внесение, но и дает хозяйству прибыль.

Для расчета экономической эффективности применяемых удобрений под ячмень использовали уровень цен на товарную продукцию по состоянию на 2015 год при условии транспортировки удобрений на 5 км: стоимость 1 тонны фуражного зерна – 60 USD; затраты на уборку и доработку прибавки урожая зерна – 3,3 USD/т; стоимость минеральных удобрений: 1 тонны д.в. азота – 853 USD, фосфора – 1283, калия – 277 USD; затраты на внесение 1 т д.в. минеральных удобрений на расстояние 5 км от склада: азота – 65,8 USD, фосфора – 46,0 USD, калия – 31,50 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 тонны органических удобрений: подстилочный навоз КРС – 4,6 USD, свиные навозные стоки и эффлюент – 2,5 USD, сложный компост – 6,5 USD, биоудобрение–гранулированное – 10,0 USD, отход грибного производства – 6,0 USD.

Таблица 8

Экономическая эффективность применения удобрений под ячмень, среднее за 2013–2014 гг.

Вариант	Стоимость прибавки	Общие затраты	Чистый доход	Убыток, %
	USD/га			
1. Без удобрений (контроль)	–	–	–	–
2. N ₆₀₊₃₀ P ₆₀ K ₁₂₀	129	267	–138	–52
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	85	229	–143	–63
4. Отход грибного производства, 20 т/га	78	161	–83	–52
5. Навозные стоки, 60 т/га	64	183	–120	–65
6. Навозные стоки, 120 т/га	91	348	–257	–74
7. Эффлюент, 20 т/га	64	84	–19	–23
8. Эффлюент, 40 т/га	98	151	–53	–35
9. Сложный компост, 30 т/га	52	222	–170	–77
10. Сложный компост, 40 т/га	85	305	–219	–72
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	71	237	–166	–70
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	93	349	–256	–73

Экономическая эффективность используемых удобрений обуславливалась стоимостью прибавки урожая и затратами на ее получение (табл. 8). Согласно

проведенным исследованиям, использование как минеральных, так и органических удобрений под ячмень в опытах 2013–2014 гг. было убыточным, так как размеры полученных доходов от прибавки урожая зерна не покрывали понесенные расходы.

ВЫВОДЫ

1. Внесение традиционных и новых видов органических удобрений под ячмень на дерново-подзолистой супесчаной почве оказало положительное влияние на урожайность зерна. В зависимости от видов и доз органических удобрений прибавка урожайности зерна составила 54,2–61,6 ц/га, или 18–34% к неудобренному варианту. Окупаемость зерном 1 т удобрения наибольшей была при внесении 20 т/га отхода грибного производства (61,5 кг) и 20 т/га биоудобрения–гранулированного (56,5 кг), наименьшей – при внесении 60 т/га и 120 т/га навозных стоков (12,0 и 16,8 кг). Органические удобрения способствовали накоплению в зерне ОЭ пределах 63,9–72,6 ГДж/га, кормовых единиц – 67,9–76,6.

Максимальную в опыте урожайность зерна ячменя (66,4 ц/га) обеспечило внесение $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ при наибольших значениях энергетической ценности корма, не обеспечив при этом бездефицитный баланс элементов питания.

2. Применение твердых видов органических удобрений положительно сказалось на величине баланса элементов питания. Положительный баланс азота составил 1–80 кг/га, фосфора – 19–503 кг/га, калия – 53–503 кг/га, кальция – 16–1272 кг/га и магния – 2–110 кг/га. С органическими удобрениями в почву внесено 61–124% азота, 50–923% фосфора, 26–433% калия, 6–1442% кальция и 20–421% магния, вынесенных с урожаем.

3. При действующих ценах на зерно ячменя, затраты, связанные с внесением минеральных и органических удобрений, не окупаются прибавкой урожая. Убыток от применения удобрений под ячмень составил 23–77%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щетко, А.И.* Влияние применения удобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / А.И. Щетко, А.Р. Рыбак // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 250–256.

2. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв и удобрений на урожайность и качество зерна ячменя / Ю.В. Путятин [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1(40). – С. 124–135.

3. *Дериглазова, Г.М.* Особенности возделывания ярового ячменя на склоновых землях Центрального Черноземья / Г.М. Дериглазова, А.Я. Айдиев; Всеросий. Науч.-исслед. ин-т землед. и защиты почв от эрозии, Курский науч.-исслед. ин-т агропромыш. пр-ва. – Курск, 2013. – 234 с.

4. *Мальчевская, Е.Н.* Оценка качества и зоотехнический анализ кормов / Е.Н. Мальчевская, Г.С. Миленькая. – Минск: Ураджай, 1981. – 143 с.

5. Кормовые нормы и состав кормов: справ. пособие / А.П. Шпаков [и др.]. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.

6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграрн. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск.: Белорусская наука, 2012. – 460 с.
7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 25 с.
10. Ячмень фуражный. Требования при заготовках и поставках: СТБ 1136–98. – Введ. 30.12.98. – Минск: Госстандарт, 1998. – 6 с.
11. Ячмень кормовой. Технические условия: ГОСТ Р 53900–2010. – Введ. 01.07.2011. – М.: Стандартиформ, 2011. – 6 с.
12. Экспертиза кормов и кормовых добавок: учеб.-справ. пособие / К.Я. Мотовилов [и др.]. – Новосибирск: Сибирское университетское из-во, 2004. – 303 с.

**AGROECONOMIC EFFICIENCY OF ORGANIC FERTILIZATION ON THE BASIS
OF RESIDUES OF BIOGAS INSTALLATION UNDER BARLEY
ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

L.N. Iovik

Summary

The action of alternative fertilizers compare to traditional organic fertilizers on spring barley productivity on sod-podzolic sandy loam soil. Overall, studied fertilizers have similar agronomic and economic effectiveness. Their use has a positive effect on the grain and straw quality and provides high nutritional and energy value. Fertilizers use contributes to a positive balance of the main nutrients. However, their introduction for barley is unprofitable.

Поступила 27.11.2015