

УДК 631.811.1:633.262:631.862

БАЛАНС АЗОТА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АГРОЦЕНОЗАХ С БЕССМЕННЫМ ВОЗДЕЛЫВАНИЕМ КОСТРЕЦА БЕЗОСТОГО ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ БЕСПОДСТИЛОЧНОГО НАВОЗА

© 2021 г. С. И. Тарасов^{1,*}, М. Е. Кравченко¹, Т. А. Бужина¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Верхневолжского федерального аграрного научного центра
601390 Владимирская обл., Судогодский р-н, п. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия*

**E-mail: tarasov.s.i@mail.ru*

Поступила в редакцию 21.05.2020 г.

После доработки 15.07.2020 г.

Принята к публикации 10.11.2020 г.

В стационарном опыте Географической сети по комплексному применению удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве определены баланс азота, изменения коэффициентов использования биогенных элементов костреца безостым при длительном (1983–2019 гг.) использовании минеральных удобрений и различных доз бесподстилочного навоза. Отмечено снижение использования азота, фосфора, калия из жидкого навоза, животноводческих стоков с увеличением доз данных удобрений, длительности их применения. Обоснована необходимость учета уровня плодородия почв при расчете оптимальных доз внесения бесподстилочного навоза.

Ключевые слова: дерново-подзолистая супесчаная почва, бесподстилочный навоз, длительное применение, плодородие, кострец безостый, урожайность, качество, баланс азота, коэффициенты использования биогенных элементов.

DOI: 10.31857/S0002188121020125

ВВЕДЕНИЕ

В хозяйствах индустриального животноводства бесподстилочный навоз применяется преимущественно под многолетние злаковые травы, злаково-бобовые травосмеси. Согласно методическим рекомендациям [1], при расчете годовой оптимальной дозы бесподстилочного навоза учитывают вынос элементов питания планируемым урожаем, их содержание в применяемом удобрении и коэффициенты использования азота, фосфора, калия из него. При расчетах применяют следующие коэффициенты использования биогенных элементов из бесподстилочного навоза: азота – 0.5, фосфора – 0.3, калия – 0.7 при богаре и 0.8 – при орошении. Данные коэффициенты установлены на основании результатов исследований с использованием меченых атомов. Согласно краткосрочным исследованиям [2] с применением стабильного изотопа азота ¹⁵N, 40–50% азота удобрений используют растения, 20–25% закрепляется в почве в основном в органической форме микроорганизмами, 25–30% составляют газообразные потери за счет деятельности денит-

рифицирующих бактерий. В исследованиях немецких ученых коэффициенты использования элементов питания из бесподстилочного навоза не представляют собой постоянных величин и их величины зависят от почвенно-климатических особенностей зон его использования, сроков внесения и варьируют в следующих пределах: для азота – 0.4–0.7, фосфора – 0.3–0.9, калия – 0.6–0.85 [3]. Значительно меньшие коэффициенты использования биогенных элементов из бесподстилочного навоза приведены в нормативах ВИ-УА, согласно которым коэффициенты использования азота, фосфора, калия из жидкого навоза составляют соответственно 0.3, 0.25, 0.3, из полужидкого навоза – соответственно 0.35, 0.35, 0.35 [4]. Приведенные величины эффективности использования сельскохозяйственными культурами биогенных элементов из бесподстилочного навоза получены, как правило, в краткосрочных полевых исследованиях. Однако для современных хозяйств индустриального животноводства при расчетах оптимальных доз удобрений под сельскохозяйственные культуры чрезвычайно

важны сведения о коэффициентах использования азота, фосфора, калия из жидкого навоза, помета, животноводческих стоков при длительном их применении. Цель работы – определение эффективности длительного применения различных доз бесподстилочного навоза в агроценозе с бессменным посевом костреца безостого, величин коэффициентов использования биогенных элементов из удобрения, баланса азота, статей его расхода в зависимости от уровня плодородия почвы, длительности проведения исследования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование эффективности длительного применения различных доз бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием костреца безостого проводят на опытном ВНИИОУ с 1983 г. в рамках программы длительных опытов Географической сети по комплексному применению удобрений и других средств химизации (регистрационный № 088 в Реестре аттестатов длительных опытов). Почва участка – дерново-сильно подзолистая супесчаная, подстилаемая моренным суглинком. Пахотный слой почвы перед закладкой опыта имел следующие агрохимические показатели: pH_{KCl} 4,9, содержание гумуса (по Тюрину) – 1,34%, подвижных фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 56–68 и 147 мг/кг, H_T (по Каппену) – 1,9 ммоль-экв/100 г, сумма поглощенных оснований (по Каппену–Гильковицу) – 3,7 ммоль-экв/100 г. Схема полевого опыта включала следующие варианты: 1 – без удобрений (контроль), 2 – бесподстилочный навоз (БН), доза N300, используют под 3 укоса в дозах по укосам: N300 + 0 + 0, 3 – БН, N400 (300 + 100 + 0), 4 – БН, N500 (300 + 100 + 100), 5 – БН, N700 (300+200+200), 6 – минеральные удобрения (МУ), эквивалент варианта 2 по содержанию N300PK. Удобрения вносили ежегодно – БН 3 раза в год (по укосам), МУ – один раз в год весной вразброс без заделки. В исследованиях 1983–1994 гг. применяли бесподстилочный навоз свинокомплекса “Владимирский” со следующими агрохимическими характеристиками: влажность 97,88–98,73%, валовое содержание азота – 0,06–0,1, фосфора – 0,02–0,03, калия – 0,02–0,04%. На комплексе использовали гидросмывную систему удаления и транспортирования навоза. Начиная с 1995 г., в полевых исследованиях применяли бесподстилочный навоз крупного рогатого скота – смесь полужидкого навоза молодняка 12–18 мес. (механическое удаление с помощью дельта-скреперов) и навозных стоков (доильно-молочного блока, после очистки животновод-

ческих ферм) со следующими агрохимическими характеристиками: влажность 95–97%, валовое содержание азота – 0,09–0,15, фосфора – 0,03–0,05, калия – 0,07–0,12. Площадь опытной делянки 70 м², учетной – 54 м². Повторность четырехкратная. Опытная культура – кострец безостый (*Bromopsis inermis* Leyss.), сорт Моршанский 760. Агротехника – общепринятая для Владимирской обл. [5]. В период 1983–1994 гг. на удобрение использовали бесподстилочный навоз свинокомплекса “Владимирский”. Начиная с 1995 г., по причинам экономического характера (высокие транспортные расходы), в опыте использовали бесподстилочный навоз КРС местной молочной фермы и молочного комплекса ЗАО “Имени Ленина” Собинского р-на Владимирской обл. Использованный в период 1983–2018 гг. на удобрение бесподстилочный навоз характеризовался низким содержанием сухого вещества (1,6–4,6%), азота (0,11–0,21%), фосфора (0,06–0,1%), калия (0,12–0,23%). Выбор опытного участка, закладку, проведение полевого опыта, учет урожая костреца безостого выполняли в соответствии с требованиями ОСТ 10 106 [6], “Методики полевого опыта” [7]. Учет и качество урожая фитомассы каждой делянки проводили не позднее начала колошения методом сплошного укоса. Отбор, подготовку к анализу, ботанический состав проб зеленой массы, ее качество определяли по показателям и методами, указанными в ГОСТ Р 56912. Содержание органического вещества в почве определяли по методу Тюрина [8], групповой и фракционный состав гумуса – методом Тюрина в модификации Пономаревой–Плотниковой [9], подвижный гумус – экстракцией органического вещества почвы 0,1 н. NaOH [10], водорастворимый гумус – методом Тюрина [11]. Критерием использования растениями элементов питания являлась величина соотношения разности между выносом питательных веществ растениями на удобренном и контрольном вариантах к дозе внесенного в почву действующего вещества: $K_{иу} = (V_y - V_0) / D \times 100\%$, где $K_{иу}$ – коэффициент использования питательных веществ удобрений, %; V_y – величина выноса питательного элемента в удобренном варианте, кг/га; V_0 – вынос в контрольном варианте, кг/га; D – доза удобрения, кг д.в./га. Математическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа [7], построение рисунков-гистограмм – с использованием компьютерных программ Excel.

Таблица 1. Динамика изменения содержания гумуса в почве (слой 0–20 см) при систематическом применении удобрений по годам наблюдений

Вариант	Год отбора и анализа образцов почвы							
	1983	1988	1993	1998	2003	2007	2012	2019
	Содержание гумуса, %							
Контроль без удобрений	1.34 ± 0.1	1.43 ± 0.06	1.55 ± 0.04	1.64 ± 0.09	1.76 ± 0.1	1.76 ± 0.06	1.79 ± 0.08	2.02 ± 0.1
БН, N300	1.34 ± 0.1	1.74 ± 0.11	2.22 ± 0.1	2.72 ± 0.08	3.22 ± 0.06	3.31 ± 0.1	3.34 ± 0.1	3.23 ± 0.08
БН, N400	1.34 ± 0.1	1.83 ± 0.06	2.29 ± 0.05	2.76 ± 0.1	3.24 ± 0.08	3.33 ± 0.1	3.36 ± 0.12	3.53 ± 0.08
БН, N500	1.34 ± 0.1	1.83 ± 0.1	2.31 ± 0.06	2.81 ± 0.04	3.29 ± 0.08	3.33 ± 0.1	3.41 ± 0.1	3.84 ± 0.06
БН, N700	1.34 ± 0.1	–	–	3.00 ± 0.06	3.55 ± 0.08	3.60 ± 0.06	3.65 ± 0.1	4.00 ± 0.09
МУ, N300PK	1.34 ± 0.1	1.57 ± 0.1	1.79 ± 0.08	2.03 ± 0.06	2.26 ± 0.06	2.26 ± 0.05	2.31 ± 0.07	2.52 ± 0.08

Примечание. БН – бесподстильный навоз, МУ – минеральные удобрения. То же в табл. 3–8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Регулярное применение удобрений обусловило заметное изменение содержания органического вещества в почве, увеличение урожайности костреца безостого. Применение бесподстильного навоза ежегодно повышало содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве при дозах N300, N700 соответственно на 0.05 и 0.07%, что свидетельствовало о повышении потенциального плодородия почв (табл. 1). За период исследования 1983–2019 гг. в вариантах опыта с внесением бесподстильного навоза в дозах N300, N700 в почву поступило органического вещества в составе пожнивно-корневых остатков и навоза соответственно 520 и 928 т/га. Коэффициенты минерализации поступившего органического вещества в почве данных вариантов опыта составили соответственно 88 и 91%. При использовании бесподстильного навоза содержание гумуса повышалось как в пахотном, так и в нижележащих горизонтах почвы (табл. 2). Максимальной дозе бесподстильного навоза (N700) соответствовало наибольшее увеличение содержания органического вещества в нижележащих горизонтах, что было обусловлено миграцией подвижных органических веществ из верхнего перегнойно-аккумулятивного горизонта, ростом биомассы корневой системы трав. Длительное, ежегодное применение бесподстильного навоза повысило качество органического вещества почвы: увеличило абсолютное содержание в ней гуминовых и фульвокислот. В результате заметного увеличения содержания углерода гуминовых кислот в вариантах с применением бесподстильного навоза тип гумуса трансформировался из фульватного в гуматно-фульватный. Регулярное применение бесподстильного навоза повысило качество гуминовых

кислот: увеличило содержание наиболее ценных гуминовых кислот, связанных с кальцием и полуторными окислами (фракции ГК-2, ГК-3). Систематическое применение бесподстильного навоза увеличило содержание в почве водорастворимых и лабильных гумусовых соединений, тем самым повысило ее эффективное плодородие [12]. В почве варианта с использованием бесподстильного навоза в дозе N700 в сравнении с почвой контрольного варианта доля запасов водорастворимых форм органического вещества увеличилась в 1.5 раза (6.5 против 4.1% $C_{\text{общ}}$), содержание лабильного гумуса – в 2 раза (303 против 162 мг С/100 г).

Длительное применение бесподстильного навоза оказало заметное влияние на изменение агрохимических свойств почвы: отмечено заметное увеличение содержания в ней общего азота, подвижного фосфора, калия (табл. 3). С увеличением дозы бесподстильного навоза содержание этих элементов в почве повышалось. Увеличение содержания биогенных элементов отмечено как в пахотном, так и в нижележащих горизонтах почвы. Отсутствие гигиенических нормативов не позволило оценить безопасность почвы с содержанием фосфатов >700, калия >400 мг/кг. Указанные в ГН 2.1.7.2041 [13] ПДК фосфатов (200 мг/кг) и ПДК калия (360 мг/кг) разработаны для ограничения содержания в почве суперфосфата и хлорида калия. Высокое накопление биогенных элементов в пахотном горизонте почвы обусловило их активную миграцию по профилю почвы, что повышало риски загрязнения грунтовых вод прежде всего нитратами, фосфатами.

Согласно результатам исследования, экологическая устойчивость костреца безостого зависела от уровня плодородия почвы. Многолетнее ис-

Таблица 2. Влияние регулярного применения удобрений на содержание гумуса в различных горизонтах почвы (2019 г.), %

Горизонт, см	Варианты			
	Контроль (без удобрений)	Бесподстилочный навоз		Минеральные удобрения N300PK
		N300	N700	
0–20	2.02 ± 0.1	3.23 ± 0.08	4.00 ± 0.09	2.52 ± 0.08
20–40	0.6 ± 0.08	0.82 ± 0.12	0.94 ± 0.11	0.56 ± 0.1
40–60	0.24 ± 0.06	0.52 ± 0.08	0.81 ± 0.1	0.32 ± 0.06
60–80	0.24 ± 0.08	0.36 ± 0.1	0.4 ± 0.08	0.26 ± 0.08
80–100	0.21 ± 0.11	0.34 ± 0.1	0.42 ± 0.12	0.22 ± 0.06

Таблица 3. Влияние удобрений на содержание биогенных элементов в дерново-подзолистой почве (май 2019 г.)

Вариант	Горизонт, см	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{общ} , %
		мг/кг		
Контроль	0–20	35 ± 2.8	97 ± 4	0.13 ± 0.01
	20–40	13 ± 1.1	41 ± 3	0.10 ± 0.01
БН, N300	0–20	718 ± 13	345 ± 17	0.28 ± 0.03
	20–40	394 ± 6	281 ± 10	0.13 ± 0.01
БН, N400	0–20	986 ± 16	400 ± 18	0.32 ± 0.02
	20–40	690 ± 11	368 ± 12	0.09 ± 0.01
БН, N500	0–20	1330 ± 19	419 ± 17	0.33 ± 0.02
	20–40	740 ± 12	375 ± 14	0.12 ± 0.01
БН, N700	0–20	1430 ± 24	430 ± 15	0.34 ± 0.03
	20–40	912 ± 15	373 ± 14	0.11 ± 0.01
МУ, N300PK	0–20	754 ± 12	306 ± 12	0.15 ± 0.02
	20–40	291 ± 7	161 ± 8	0.09 ± 0.01

Таблица 4. Влияние удобрений на долю костреца безостого в травостое

Вариант	Доля костреца безостого в травостое по годам, %									
	1987	1992	1997	2002	2007	2013	2014	2015	2016	2019
1. Контроль	50	15	11	2	1	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3
2. БН, N300	84	71	56	59	97	98	94	94	92	92
3. БН, N400	84	76	64	62	97	97	94	96	94	93
4. БН, N500	82	79	65	61	99	96	95	95	95	94
5. БН, N700	82	79	78	78	85	99	97	97	96	97
6. МУ, N300PK	76	64	48	56	84	96	94	96	95	94

пользование травостоя костреца безостого в варианте без удобрений приводило к сукцессии. Агроценоз заменился фитоценозом (табл. 4). В первые 5 лет доля костреца в травостое снижалась до 84%, через 10 лет – до 15, через 37 лет – до 0.3. В травостое отсутствовала доминирующая культура. В его составе было более 20 биологически сильно отличающихся видов растений.

Совершенно иные результаты получены в вариантах с регулярным применением удобрений. В первые годы исследования в данных вариантах также отмечено снижение доли в травостое костреца безостого, что, вероятно, было связано с выпадением наименее устойчивых растений в условиях низкого плодородия почвы. Однако по мере повышения плодородия почвы проявились виолентные

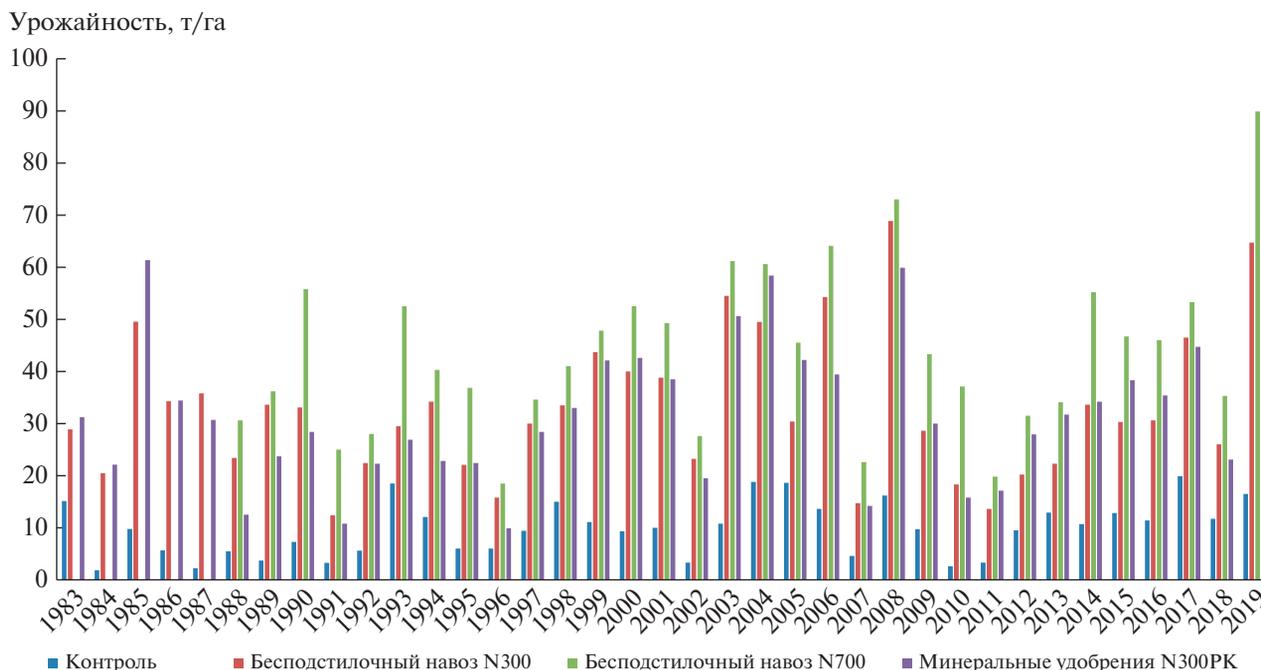


Рис. 1. Влияние удобрений на урожайность кострца безостого, т/га (в пересчете на сухое вещество, средние, НСР₀₅ = 0.6 т/га).

свойства кострца базостого (более раннее наступление фазы активного формирования надземной вегетативной массы, корневой системы, опережающий линейный рост растений). На протяжении всех последующих лет исследования (2007–2019 гг.) доминирующее положение в травостое в этих вариантах опыта занимал кострец безостый. Положительное влияние бесподстилочного навоза на высокую степень участия культурных видов многолетних трав в травостоях показано в многочисленных краткосрочных исследованиях [14–16]. Подавляющее преобладание нитрофильных многолетних злаковых трав в агроценозах авторы объясняли высоким уровнем их обеспеченности азотом в условиях интенсивного применения жидкого навоза, навозных стоков.

Согласно результатам исследования, урожайность зеленой массы травостоя различалась по годам и не зависела от их возраста, определялась дозой примененных удобрений, погодными условиями вегетационных периодов. Наибольшая урожайность зеленой массы кострца безостого получена в 2019 г., в 37 год проведения исследования благодаря умеренному температурному режиму, интенсивному выпадению осадков на протяжении всего вегетационного периода. На протяжении всех лет исследования урожайность

зеленой массы повышалась с увеличением доз бесподстилочного навоза (рис. 1).

В сравнении с контрольным вариантом опыта применение бесподстилочного навоза в дозах N300–N700 повышало урожайность в среднем соответственно на 300–500%. Применение бесподстилочного навоза и минеральных удобрений в дозах, эквивалентных по содержанию основных биогенных элементов питания, обеспечило одинаковое увеличение урожая зеленой массы кострца. Согласно литературным данным, высокая продуктивность многолетних трав при использовании бесподстилочного навоза, вероятно, была обусловлена их биологическими особенностями. Многолетние злаковые травы обладают мощной корневой системой, проникающей на глубину более 2 м и высокой их способностью к отрастанию за счет надземных и видоизмененных подземных побегов. Развитая мочковатая корневая система способствует более полному усвоению питательных веществ, внесенных с удобрениями, надежно обеспечивает растения физиологически активными веществами, стимулирующими рост, развитие растений, их высокую продуктивность, устойчивость к стрессовым условиям произрастания [16].

Результаты 37-летнего исследования показали, что качество зеленой массы кострца безостого при регулярном применении удобрений опре-

Таблица 5. Влияние регулярного применения удобрений на качество зеленой массы трав в агроценозах с бес-
сменным возделыванием многолетних трав (2019 г.)

Содержание, % в сухом веществе	Варианты						<i>HCP</i> ₀₅
	Контроль	Бесподстилочный навоз				МУ, N300PK	
		N300	N400	N500	N700		
Сырая зола	2.4	2.51	2.56	2.59	2.62	2.44	0.42
Зола, нерастворимая в HCl	0.14	0.22	0.26	0.3	0.38	0.25	0.04
Сырой протеин	11.9	15.2	15.6	15.6	16.8	15.4	1.5
Переваримый протеин	7.41	9.88	10.1	10.1	10.9	10.0	0.96
Сырой жир	3.0	3.4	3.4	3.8	4.2	3.2	0.58
БЭВ	11.4	9.51	9.67	9.33	8.82	9.84	0.65
Сырая клетчатка	27.0	25.6	25.0	24.6	24.4	26.0	1.0
Водорастворимые углеводы	7.5	7.1	6.6	6.3	5.8	7.0	1.12
Сахаро-протеиновое соотношение	1.01	0.72	0.65	0.62	0.53	0.7	0.12
Каротин, мг/кг	66.2	80.6	102	134	155	80.6	22.3
Обменная энергия, МДж/кг	10.14	10.39	10.5	10.57	10.61	10.32	0.4
Кормовые единицы/1 кг	0.83	0.87	0.89	0.9	0.91	0.86	0.06
Нитраты, мг/кг сырого вещества	56	288	304	526	544	318	84.7
Стойкие хлорорганические пестициды	Не обнаружены						

делялось прежде всего величиной дозы удобрений, уровнем плодородия почв, погодными условиями вегетационного периода, не зависело от возраста травостоя. Регулярное применение бесподстилочного навоза в дозах, не превышающих N300, повысило в зеленой массе многолетних трав содержание общего азота, сырого протеина, каротина, жира, снизило количество сырой клетчатки, водорастворимых углеводов (табл. 5). Увеличение дозы жидкого навоза, навозных стоков с N300 до N700 во все годы исследования повышало сбор сырого протеина в сравнении с контролем соответственно в 5 и 7 раз, сбор кормовых единиц с 1 га возрастал в 4–5 раза. На протяжении всех лет исследования применение бесподстилочного навоза повышало в зеленой массе костреца содержание калия, фосфора, уменьшало – кальция, магния (табл. 6). Снижение содержания в зеленой массе кальция и магния под влиянием удобрения было обусловлено более высоким содержанием в жидком навозе, навозных стоках азота и калия, являющихся элементами-антагонистами для кальция, калия – для магния. Изменение содержания макроэлементов в растениях костреца при использовании высоких доз удобрений (N500 и более) приводило к опасному нару-

шению их соотношений: $K : (Ca + Mg) > 2.2$, $K : Na > 4.5$, а также $Ca : P = (1-3) : 1$ в сторону трехкратного превышения содержания фосфора над количеством кальция, что снижало качество зеленой массы, безопасность ее применения на корм [17]. Важным показателем сбалансированности кормов минеральными веществами является соотношение суммы грамм-эквивалентов кислотных элементов к сумме грамм-эквивалентов щелочных элементов. Наиболее благоприятным соотношением считается (0.6–1.0) : 1. Систематическое применение бесподстилочного навоза в дозе N700, минеральных удобрений повышало данное соотношение до критических величин. Вследствие использования бесподстилочного навоза в сверхвысоких дозах (N500 и более) в зеленой массе костреца отмечено сверхнормативное накопление нитратов, нарушение сахаро-протеинового отношения, что ухудшало кормовую ценность зеленой массы, безопасность ее использования.

Регулярное применение различных доз бесподстилочного навоза не оказало заметного влияния на содержание в зеленой массе костреца токсичных веществ (тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов), что было связано с их чрезвычайно низким содержанием в беспод-

Таблица 6. Влияние регулярного применения удобрений на минеральный состав зеленой массы трав в агроценозах с бессменным возделыванием многолетних трав (анализ урожая 2019 г.)

Показатель качества, содержание, % в сухом веществе	Варианты						<i>HCP</i> ₀₅
	Контроль	Бесподстилочный навоз				МУ, N300PK	
		N300	N400	N500	N700		
Азот общий	1.71	2.46	2.53	2.58	2.66	2.43	0.16
Фосфор общий	0.78	0.96	1.16	1.2	1.26	1.04	0.11
Калий общий	1.66	1.94	2.18	2.46	2.68	1.86	0.35
Кальций	0.54	0.5	0.5	0.46	0.42	0.48	0.06
Магний	0.62	0.56	0.58	0.52	0.5	0.54	0.05
Сера	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.0	0.38
Хлор	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4	1.1	0.20
Натрий	0.56	0.64	0.64	0.68	0.7	0.62	0.11
Соотношение Ca : P	0.7 : 1	0.5 : 1	0.4 : 1	0.4 : 1	0.3 : 1	0.466	
Соотношение K : Na	2.96 : 1	3.0 : 1	3.4 : 1	3.6 : 1	3.8 : 1	3.0 : 1	
Соотношение K : (Ca + Mg)	1.43	1.83	2.0	2.51	2.91	1.82	
Соотношение суммы кислотных и суммы щелочных грамм-эквивалентов	1.1 : 1	1.3 : 1	1.5 : 1	1.7 : 1	1.8 : 1	1.6 : 1	

стилочном навозе. Высокое качество зеленой массы костреца при применении бесподстилочного навоза в дозах, не превышающих N300, на протяжении всех лет его бессменного пользования, вероятно, было обусловлено значительным уровнем плодородия почв, биологическими особенностями данного растения. Кострец безостый относится к группе поликарпических растений. На протяжении всего периода вегетации данные растения характеризуются высоким уровнем возобновления травостоя: постоянно появляются в большом количестве новые побеги, которые при применении умеренных доз удобрений не накапливают питательные вещества в опасных концентрациях.

Согласно результатам исследования, длительное применение различных доз бесподстилочного навоза оказало значительное влияние на рост плодородия почв, урожайность, качество зеленой массы костреца безостого. За прошедшие 37 лет систематического применения с бесподстилочным навозом в почву в расчете на 1 га было внесено при применении дозы N300: 11.1 т азота, 3.6 т P₂O₅, 7.2 т K₂O; при внесении максимальной дозы N700: 25.9 т азота, 8.4 т P₂O₅, 17.2 т K₂O. При выносе урожаем многолетних трав с 1 га хозяйственный баланс элементов питания во всех вариантах с использованием удобрений складывался положительно, что обусловило значительное изменение агрохимических показателей плодородия

почвы. При внесении бесподстилочного навоза и минеральных удобрений отмечено увеличение содержания гумуса и основных элементов питания в почве. С увеличением длительности проведения исследования, с повышением дозы внесения бесподстилочного навоза, а также увеличения плодородия почв коэффициенты использования кострецом безостым биогенных элементов заметно снижались. Например, в период 1983–1990 гг. коэффициенты использования NPK кострецом из бесподстилочного навоза при дозе внесения N300 составляли соответственно: 0.5, 0.7, 0.7. За весь период исследования (1983–2019 гг.) они снизились соответственно до 0.29, 0.35, 0.46. Коэффициенты использования NPK кострецом из бесподстилочного навоза при дозе внесения N700 в 1983–1990 гг. соответствовали 0.45, 0.3, 0.6, за период 1983–2019 гг. составили лишь 0.18, 0.21, 0.28 (табл. 7).

По результатам проведенных исследований рассчитан баланс азота при длительном применении удобрений в агроценозах с бессменным возделыванием костреца безостого (табл. 8). С увеличением дозы бесподстилочного навоза с N300 до N700 повышались непроизводительные потери азота с 18 до 51%, что снижало агрономическую ценность данного удобрения, повышало риски загрязнения окружающей среды и растительной продукции [18–22].

Таблица 7. Использование основных элементов питания многолетними травами (1983–2019 гг.)

Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Внесено с удобрениями основных элементов питания, кг/га				Вынос основных элементов питания урожаем, кг/га				Коэффициент использования основных элементов питания		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	366	—	—	—	—	1311	531	1348	3190			
БН, N300	1219	11100	3627	7337	22064	3223	1265	3361	7869	29	35	46
БН, N400	1350	14800	4903	9882	29585	3648	1475	3673	8796	25	30	37
БН, N500	1477	18500	6179	12427	37106	4229	1732	4356	10317	23	23	35
БН, N700	1604	25900	8730	17518	52148	4635	1868	4916	11419	18	21	28
МУ, N300PK	1191	11100	3627	7337	22064	3167	1229	3115	7511	29	34	42

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулярное применение бесподстилочного навоза в агроценозе с бессменным 37-летним возделыванием костреца безостого определило ежегодное увеличение содержания гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве при дозах N300, N700 соответственно на 0.05 и 0.07%, что свидетельствовало о повышении потенциального плодородия почв. Систематическое применение бесподстилочного навоза в дозе N700 увеличило содержание в почве водорастворимых и лабильных гумусовых соединений соответственно в 1.5 и 2.0 раза в сравнении с их содержанием в почве контрольного варианта, повысило ее эффективное плодородие.

Длительное применение бесподстилочного навоза увеличило содержание в почве азота, подвижного фосфора и калия. При увеличении дозы бесподстилочного навоза до N700 содержание подвижного фосфора, калия в почве повышалось

Таблица 8. Баланс азота при длительном использовании (1983–2019 гг.) минеральных удобрений, различных доз бесподстилочного навоза в агроценозе с бессменным возделыванием костреца безостого (*Bromopsis inermis* Leyss.)

Вариант	Внесено азота	Вынос азота урожаем	Закреплено почвой	Потери
БН, N300	11.1	3.22	3.89	3.99
	100	29	35	36
БН, N700	25.9	4.64	5.47	15.8
	100	18	21	61
МУ, N300PK	11.1	3.2	2.43	5.47
	100	29	22	49

Примечание. Над чертой – т, под чертой – % от внесенного.

до возможно критических величин – соответственно до 1429 и 430 мг/кг.

Бессменное возделывание костреца безостого в условиях дерново-подзолистой почвы без применения удобрений обусловило его динамичное выпадение в травостое уже в первые годы произрастания. В первые 5 лет содержание костреца в травостое снижалось до 84, через 10 лет – до 15, через 37 лет – до 0.3%. Доминирующими становились травосмеси сорных растений, наиболее приспособленные к условиям произрастания. Регулярное применение бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием костреца безостого способствовало его подавляющему преобладанию в травостое. В 2019 г., на 37-м году возделывания во всех вариантах опыта с применением различных доз бесподстилочного навоза доля костреца безостого в травостое превышала 92%.

За весь период исследования применение бесподстилочного навоза в дозах N300–N700 в среднем повышало урожайность костреца безостого соответственно в 3–5 раз. Высокопродуктивное долгодетие костреца безостого в условиях регулярного, интенсивного применения бесподстилочного навоза на протяжении более 37 лет исследования не зависело от возраста травостоя, определялось дозой удобрений, уровнем плодородия почвы, погодными условиями вегетационного периода. Наибольшая урожайность костреца безостого была получена в 2019 г, на 37-м году его возделывания, в условиях наиболее благоприятных для роста и развития многолетних злаковых трав.

Регулярное применение бесподстилочного навоза оказало положительное влияние на качество костреца безостого. С увеличением дозы беспод-

стилочного навоза в зеленой массе повышалось содержание сырого протеина, каротина, жира, количество обменной энергии, кормовых единиц.

Увеличение дозы бесподстилочного навоза с N300 до N700 во все годы исследования повышало сбор сырого протеина в сравнении с контролем соответственно в 5 и 7 раз, сбор кормовых единиц с 1 га возрастал в 4–5 раза. В условиях регулярного применения бесподстилочного навоза качество зеленой массы костреца безостого не зависело от возраста травостоя, определялось прежде всего дозой удобрений, уровнем плодородия почвы, погодными условиями вегетационного периода.

Основным ограничением систематического применения бесподстилочного навоза в дозах, превышающих N500, было его негативное влияние на качество зеленой массы костреца безостого вследствие опасного накопления в ней нитратов (>500 мг/кг сырой массы), снижения содержания безазотистых экстрактивных веществ, водорастворимых углеводов, переваримого белка, нарушения сахаро-протеинового соотношения (0.53 при дозе N700 против оптимальной его величины (0.8–1.5) : 1) и соотношения макроэлементов: К : (Са + Mg) >2.2, К : Na >4.5, Са : P = (1–3) : 1.

С увеличением сроков внесения и доз применения бесподстилочного навоза, а также с повышением плодородия почв коэффициенты использования кострецом безостым биогенных элементов из удобрений заметно снижались, что обуславливало необходимость при расчетах оптимальных доз их внесения учитывать уровень плодородия почв. В период 1983–1990 гг. коэффициенты использования NPK кострецом из бесподстилочного навоза при дозе внесения N300 составляли соответственно 0.5, 0.37, 0.7. За весь период исследования (1983–2019 гг.) они снизились соответственно до 0.29, 0.35, 0.46. Коэффициенты использования NPK кострецом из бесподстилочного навоза при дозе внесения N700 в 1983–1990 гг. соответствовали 0.45, 0.3, 0.6, за период 1983–2019 гг. составили лишь 0.18, 0.21, 0.28.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерзлая Г.Е., Полуниин С.Ф., Васильев В.А. Дозы и сроки внесения бесподстилочного навоза: Метод. рекоменд. М.: ВАСХНИЛ, ВИУА, 1990. 24 с.
2. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.
3. Семенов П.Я. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения. М.: Колос, 1978. 271 с.
4. Нормативные показатели содержания азота, фосфора и калия в органических удобрениях и использования их сельскохозяйственными культурами (1991–1995 гг.) М.: ВИУА, 1991. 56 с.
5. Автонеев К.И. Система ведения сельского хозяйства Владимирской области. Владимир: Отд-е ВАСХНИЛ по НЗ РСФСР, 1985. 344 с.
6. Опыты полевые. Порядок проведения. ОСТ 10 106-87. М.: Госагропром СССР, 1988. 48 с.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Почвы. Методы определения органического вещества. ГОСТ 26213-91. М.: Изд-во стандартов, 1992. 6 с.
9. Мартынова Н.А. Химия почв: органическое вещество почв: учеб.-метод. пособ. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 255 с.
10. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. Учеб. Пособ. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
11. Мамонтов В.Г. Практикум по химии почв. М.: РГАУ–МСХА, 2014. 283 с.
12. Тарасов С.И., Кравченко М.Е., Бужина Т.А. Эффективность длительного применения бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием костреца безостого. 4. Влияние регулярного применения бесподстилочного навоза на органическое вещество дерново-подзолистой почвы в агроценозах с бессменным возделыванием многолетних трав // Плодородие. 2017. № 1. С. 51–53
13. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-2006. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
14. Тарасов С.И., Кравченко М.Е., Бужина Т.А. Эффективность длительного применения бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием костреца безостого. 1. Влияние длительного применения бесподстилочного навоза на ботанический состав и урожай костреца безостого // Плодородие. 2015. № 6. С. 27–30.
15. Мерзлая Г.Е., Новиков М.Н., Еськов А.И., Тарасов С.И. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза. М.: РАСХН, ВНИПТИОУ, 2006. 463 с.
16. Андреев Н.Г., Савицкая В.А. Кострец безостый. М.: Агропромиздат, 1988. 184 с.
17. Методические указания по разработке проектно-технической документации по рациональному использованию кормов. М.: Минсельхозпрод России, 1999. 50 с.
18. Свод правил экологически безопасной сельскохозяйственной практики в условиях Ленинградской области России. Ч 1. Содержание крупного рогатого скота и кормопроизводство. Изд-е 2-е. СПб.—Хельсинки, 2007. 70 с.
19. Соловichenко В.Д., Никитин В.В., Карабутов А.П. Влияние агротехнических факторов на показатели нитрифицирующей способности чернозема типичного // Агрохим. вестн. 2018. № 3. С. 32–34.
20. Баиров А.Ж., Нуриддинова Х.Т., Жураев Ш.А. Изменения запасов азота почвы и его форм под влиянием

- ем минеральных и органических удобрений // Агрохим. вестн. 2018. № 5. С. 15–18.
21. Никифорова А.М., Фаизова В.И., Лысенко В.Я. Оценка сезонной динамики численности аммонификаторов на черноземах при сельскохозяйствен-
ном использовании // Агрохим. вестн. 2017. № 4. С. 42–46.
22. Кудяров В.Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современной земледелии России // Агрохимия. 2019. № 12. С. 3–15.

Effect of Prolonged Application of Different Doses of Liquid Manure on Nitrogen Balance, the Use of Nutrients in Agricultural Lands with Permanent Cultivation of Awnless Brome (*Bromopsis inermis* Leyss.)

S. I. Tarasov^{a,#}, M. E. Kravchenko^a, and T. A. Buzhina^a

^a *All-Russian Scientific Research Institute of Organic Fertilizers and Peat – a Branch of the Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Scientific Centre
ul. Pryanishnikova 2, Vladimir region, Sudogodsky district, p. Vyatkinо 601390, Russia*

[#] *E-mail: tarasov.s.i@mail.ru*

In stationary experience of the geographical network for the integrated application of fertilizers on sod-podzolic sandy loam soil determined by nitrogen balance, the change of the coefficients used in litvania nutrients by awnless brome (*Bromopsis inermis* Leyss.) under long-term (1983–2019 years) application of mineral fertilizer, different doses of liquid manure. There was a decrease in the use of nitrogen, phosphorus, potassium from liquid manure, animal waste with increasing doses of application and duration of their application. The necessity of accounting for the fertility of the soil when calculating the optimal doses of making liquid manure.

Key words: awnless brome (*Bromopsis inermis* Leyss.), liquid manure, long-term use, sod-podzolic sandy loam soil, fertility, yield, quality, nitrogen balance, nutrient utilization factors.