

• КОРМОПРОИЗВОДСТВО •

УДК 631.421.1:631.8.022.3:633.2.031:631.438.2

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ НА ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

Н. Н. Цыбулько¹, доктор сельскохозяйственных наук

Е. Б. Евсеев^{2,3}, кандидат сельскохозяйственных наук

И. И. Жукова⁴, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

²Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, г. Хойники, Беларусь

³Полесский государственный университет, г. Пинск, Беларусь

⁴Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,
г. Минск, Беларусь

Аннотация. В начале весенней вегетации многолетних трав в составе минерального азота в почве преобладает нитратный азот, на долю которого приходится в среднем 53,5 %, а в период первого укоса трав основной удельный вес по всем вариантам опыта занимает аммонийный азот – 64,9–72,4 %. Установлена заметная связь ($r = 0,50\text{--}0,66$) между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве в ранневесенний период и после первого укоса и активностью ^{137}Cs в сене многолетних трав первого и второго укосов. Сильные корреляционные зависимости установлены между содержанием минерального азота в почве в ранневесенний период и после первого укоса трав и урожайностью сена первого и второго укосов. Коэффициенты корреляции r составили соответственно 0,83 и 0,73. При повышении запасов $N_{\text{мин}}$ в почве наблюдалось достоверное повышение урожайности.

Ключевые слова: минеральный азот, удобрения, ^{137}Cs , накопление, торфянисто-глеевая почва, многолетние травы.

N. N. Tsybulka, E. B. Evseev, I. I. Zhukova.

THE INFLUENCE OF MINERAL NITROGEN TO THE ACCUMULATION OF ^{137}Cs AND THE YIELD OF CEREAL GRASSES IN PEAT-GLEY SOIL

Abstract. At the beginning of the spring growing season of perennial grasses, nitrate nitrogen predominates in the mineral nitrogen composition of the soil, accounting for an average of 53.5%. During the first grass cutting period, ammonium nitrogen accounts for the majority of the mineral nitrogen content across all experimental variants, accounting for 64.9–72.4%. A significant correlation ($r = 0.50\text{--}0.66$) was found between the N_{min} content in the soil in early spring and after the first cutting and the ^{137}Cs activity in the hay of perennial grasses from the first and second cuttings. Strong correlations were found between mineral nitrogen content in the soil in early spring and after the first grass cutting and hay yields from the first and second cuttings. The correlation coefficients (r) were 0.83 and 0.73, respectively. With increasing N_{min} reserves in the soil, a significant increase in productivity was observed.

Keywords: mineral nitrogen, fertilizers, ^{137}Cs , accumulation, peaty-gley soil, perennial grasses.

Введение

В Беларуси на территории радиоактивного загрязнения около 245,0 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель, из них 83,0 тыс. га – с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м. В среднем на каждый из 55 загрязненных радионуклидами административных районов

приходится 4,3 тыс. га торфяных почв с различной мощностью торфяного слоя. На части территории Полесья эти почвы составляют основу сельскохозяйственного землепользования [1].

Установлено, что количественные параметры перехода ^{137}Cs в продукцию сельскохозяйственных культур на гидроморфных

торфяно-болотных почвах в 1,5–6,0 раз выше по сравнению с почвами автоморфного ряда. Эти почвы наиболее критичны для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов [2, 3].

Применение азотных удобрений на загрязненных радионуклидами почвах в оптимальных дозах способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, а в повышенных дозах усиливает поступление радионуклидов в растения. В связи с этим рекомендованы максимальные годовые дозы азотных удобрений, в том числе и под многолетние травы [4]. Торфяные почвы отличаются высоким содержанием азота, которое колеблется в пределах 1,6–4,0 % для низинных, 1,4–2,5 – переходных и 0,5–2,0 % – верховых торфяников [5, 6]. Азотный фонд этих почв представлен преимущественно органическими соединениями, азот которых становится доступным для растений в результате биологической минерализации органического вещества (процессов аммонификации и нитрификации) [7].

В почве протекают одновременно два противоположных процесса – синтез и минерализация органических соединений с выде-

лением углекислоты и соединений азота. В торфяных почвах после удаления избыточной влаги и в результате сельскохозяйственного использования процессы минерализации органического вещества преобладают над его образованием [8].

Обеспеченность сельскохозяйственных культур азотом зависит не столько от общего содержания в почве, сколько от наличия таких его минеральных форм, как нитраты и обменный аммоний, которых в почве – около 1 % от общего количества азота. Остальная часть азота находится в составе органических, гумусовых и других соединений (94–95 %), а также в форме необменно фиксированного (в минеральных почвах) глинистыми минералами аммония (3–5 %), почти недоступного или труднодоступного для растений. Для характеристики обеспеченности растений азотом учитывают в основном две его формы – нитратную и аммонийную.

Цель исследований – изучить содержание и запасы минеральных соединений азота в торфянисто-глеевой почве и установить их влияние на накопление ^{137}Cs в растениях и продуктивность многолетних злаковых трав.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в стационарных полевых опытах на мелиоративной системе «Черобасовская», расположенной на территории землепользования государственного предприятия «Синкевичи» Лунинецкого р-на Брестской обл.

Объект исследований – торфянисто-глеевая низинная осушенная почва, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемая с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками. По агрохимическим показателям она имела слабокислую реакцию среды и соответствовала интервалу оптимального значения этого показателя (pH_{KCl} – 5,29–5,48) для торфяных почв. Содержание и запасы органического вещества в почве составляли в среднем 64,0 % и 576 т/га, зольность – 36,0 %, что соответствовало высокозольным торфяникам. Содержание общего азота в слое 0–25 см колебалось от 1,67 до 1,77 %, минерального азота – от 49,36 до 62,03 мг/кг почвы. Обеспеченность (по ме-

тоду А. Т. Кирсанова) подвижным фосфором составляла в среднем 875 мг/кг почвы, подвижным калием – 805 мг/кг почвы. По существующей градации торфянисто-глеевая почва характеризовалась высоким содержанием P_2O_5 и повышенным содержанием K_2O .

Согласно принятой градации [9], почва на данной территории относится ко второй группе (1,0–4,9 Ки/км²) по степени загрязнения ^{137}Cs . Плотность загрязнения колебалась от 3,2 до 5,1 Ки/км² и в среднем составила ^{137}Cs в 143,9 кБк/м² (3,9 Ки/км²).

За период исследований метеорологические условия вегетационных периодов (апрель – август) различались: 2016 г. характеризовался слабой засушливостью, 2017 г. был влажным, 2018 г. – засушливым, а 2019 г. соответствовал оптимальным климатическим условиям. ГТК составили соответственно 1,28, 2,24, 0,97 и 1,30.

В опыте возделывали среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимopheевку

луговую (2 кг/га), овсяницу луговую (5 кг/га), костреч безостый (6 кг/га). Схема опыта с разными дозами и сроками внесения азотных, калийных и фосфорных удобрений под многолетние злаковые травы включала 5 вариантов. Азотные удобрения в форме карбамида и калийные удобрения в форме калия хлористого применяли перед посевом трав и в дальнейшем в два приема под первый и второй укосы трав в дозах согласно схеме опыта. Фосфорные удобрения в форме суперфосфата аммонизированного в полной дозе вносили в один прием перед посевом трав и в дальнейшем в ранневесеннюю подкормку (табл. 1).

Ежегодно проводили два укоса трав в фазе сенокосной спелости, урожайность сена пересчитывали на 16%-ю стандартную влажность. Уборка трав осуществлялась вручную, поделочно. Определение удельной активности

^{137}Cs (Бк/кг) в исследуемых почвенных пробах выполняли на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315, в растительных образцах – на γ -спектрометрическом комплексе *Canberra-Packard*. Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале $P = 95\%$ не превышала 15–30 %. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15 %. Плотность загрязнения почв ^{137}Cs рассчитывали в соответствии с методикой [9]. Выполнение лабораторно-аналитических исследований агрохимических показателей почв проводили по следующим методикам: органическое вещество (гумус) – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91¹; $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85²; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91³; общий азот – по ГОСТ 26107–84⁴; N-NH_4 – по ГОСТ 26489–85⁵; N-NO_3 – по ГОСТ 26488–85⁶.

Таблица 1. Схема применения удобрений в опыте

Варианты опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д. в.*			Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д. в.*		
	N	P	K	N	P	K
1. Контроль (без удобрений)	–	–	–	–	–	–
2. $\text{P}_{90}\text{K}_{150}$ – фон	–	90	90	–	–	60
3. $\text{N}_{100}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$	60	90	90	40	–	60
4. $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$	80	90	90	40	–	60
5. $\text{N}_{140}\text{P}_{90}\text{K}_{150}$	80	90	90	60	–	60

* д. в. – действующее вещество.

Результаты исследований и их обсуждение

В торфянисто-глеевой почве с содержанием органического вещества 61,4–66,0 % в слое 0–25 см (T_n) содержание общего азота ($N_{\text{общ}}$) составило 1,67–1,73 %. При плотности почвы 0,36 г/см³ запас $N_{\text{общ}}$ в слое 0–25 см изменялся в пределах 15 030–15 930 кг/га, а в среднем составил 15 570 кг/га. Из общего запаса азота в почве основной удельный вес составлял азот органических соединений ($N_{\text{орг}}$): 99,6–99,7 %.

На долю минерального азота ($N_{\text{мин}}$) приходилось всего 0,3–0,4 % (см. табл. 2).

Цикл азота в почве характеризуется постоянно действующими минерализационно-иммобилизационными процессами его превращения, взаимодействие которых определяет направленность потоков азота в агроэкосистемах. Содержание минеральных соединений (аммонийного и нитратного) азота в почве –

¹ Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. Мн., 1992. 6 с.

² Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение pH по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. Мн., 1987. 4 с.

³ Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. Мн., 1992. 6 с.

⁴ Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107–84. Мн., 1985. 6 с.

⁵ Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО: ГОСТ 26489–85. М., 1986. 6 с.

⁶ Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО: ГОСТ 26488–85. Мн., 1986. 5 с.

динамичная величина ввиду его зависимости от действия множества разнонаправленных факторов. Благодаря своей динамичности минеральные формы азота представляют наибольший интерес при оценке азотного режима почв. По динамике изменения минеральных соединений азота в почве определяют обеспеченность возделываемых культур азотом и уровень их продуктивности, а также изменение качества урожая, включая накопление радионуклидов в получаемой продукции.

Разложение азотистых органических соединений в почве в общем виде может быть представлено следующей схемой: гуминовые вещества, белки → аминокислоты, амиды → аммоний → нитриты → нитраты → молекулярный азот. Известно, что скорость процессов минерализации азотсодержащих органических веществ почвенными микроорганизмами до аммиака и нитратов находится под влиянием условий обеспеченности кислородом, влажности, температуры и кислотности по-

чвы. Азотсодержащие соединения почвы разлагаются до аммиака многочисленными аэробными и анаэробными микроорганизмами почвы, это происходит во всех почвах при разной реакции среды, но замедляется в бескислородных условиях, а также при сильно-кислой и щелочной реакциях.

Нитрификация азота (процесс окисления аммонийного азота до нитритов и нитратов) осуществляется группой специфических аэробных бактерий. Оптимальные условия для нитрификации – хорошая аэрация, влажность почвы 60–70 % от капиллярной влагоемкости, температура 25–32 °С и реакция, близкая к нейтральной.

В табл. 3 приведены данные содержания нитратного ($N-NO_3$) и аммонийного ($N-NH_4$) азота в слое 0–25 см торфянисто-глеевой почвы в начале весеннего отрастания трав до применения удобрений и после первого укоса трав с применением разных доз азотных удобрений – от 100 до 140 кг/га действующего вещества.

Таблица 2. Содержание форм азота в слое почвы 0–25 см (T_n)

Показатели	Значения		
	минимальное	максимальное	среднее
Содержание органического вещества, %	61,4	66,0	64,0
Запас органического вещества, т/га	552,4	593,7	576,3
Содержание общего азота, %	1,67	1,77	1,73
Запас общего азота, кг/га	15 030	15 930	15 570
Запас органического азота, кг/га	14 985	15 874	15 520
Содержание минерального азота, мг/кг	49,36	62,03	55,00
Запас минерального азота, кг/га	44,42	55,83	49,50
Соотношение $N_{орг} : N_{мин}$, %	99,7 : 0,3	99,6 : 0,4	99,7 : 0,3

Таблица 3. Содержание нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0–25 см

Варианты опыта	$N-NO_3$, мг/кг почвы			$N-NH_4$, мг/кг почвы		
	минимальное	максимальное	в среднем за 4 года	минимальное	максимальное	в среднем за 4 года
<i>Ранневесенний период</i>						
До внесения удобрений	11,91	46,39	29,45	14,49	52,72	25,55
<i>После первого укоса трав</i>						
1. РК – фон	4,17	18,60	9,33	16,84	17,62	16,87
2. Фон + N_{100}	4,48	23,38	11,32	21,34	45,94	29,72
3. Фон + N_{120}	5,13	27,60	13,23	23,33	51,44	33,07
4. Фон + N_{140}	5,34	28,75	13,93	24,15	53,44	34,36

В ранневесенний период содержание $N-NO_3$ в слое почвы 0–25 см изменялось по годам от 11,91 до 46,36 мг/кг, а в среднем за 2016–2019 гг. составило 29,45 мг/кг. Различия между годами изменялись в 3,9 раза. Во время первого укоса трав содержание азота в почве снизилось на фосфорно-калийном фоне в среднем до 9,33 мг/кг (в 3,2 раза), что обусловлено потреблением элемента растениями. В вариантах с применением под первый укос азотных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га содержание $N-NO_3$ в почве после укоса трав составило 11,32–13,93 мг/кг, то есть было выше по сравнению с фоновым вариантом всего на 2,0–4,6 мг/кг.

Содержание аммонийного азота в слое почвы 0–25 см в ранневесенний период изменялось по годам исследований от 14,49 до 52,72 мг/кг, а в среднем за 2016–2019 гг. составило 25,55 мг/кг. Различия между годами достигали 3,6 раза. В период уборки трав первого укоса содержание $N-NH_4$ в почве на фосфорно-калийном фоне снизилось в среднем до 16,87 мг/кг, а в вариантах с применением при весеннем отрастании трав азотных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га, наоборот, составило 29,72–34,36 мг/кг и было выше по сравнению с вариантом РК на 12,85–17,49 мг/кг.

В начале весенней вегетации многолетних злаковых трав в составе минерального азота в почве преобладал нитратный азот, на долю которого приходилось в среднем 53,5 %, а в период первого укоса трав основной удельный вес по всем вариантам опыта занимал аммонийный азот. С повышением доз азотных удобрений от 100 до 140 кг/га действующего

вещества наблюдалось увеличение удельного веса $N-NH_4$ в составе минеральных соединений азота от 64,9 до 72,4 % (рис. 1). Преобладание аммонийного азота в почве над нитратным обусловлено тем, что растения потребляли преимущественно нитратную форму азота.

Содержание минерального азота (суммы $N-NO_3$ и $N-NH_4$) в слое почвы 0–25 см в ранневесенний период находилось на уровне 55 м/кг с колебаниями по годам исследований от 31,98 до 99,11 мг/кг, или в 3,1 раза. Во время уборки трав первого укоса содержание $N_{мин}$ в почве на фосфорно-калийном фоне было на уровне 26,57 мг/кг с незначительным варьированием по годам – от 21,43 до 35,30 мг/кг. В вариантах, где вносили при весеннем отрастании трав азотные удобрения в дозах 60 и 80 кг/га, его содержание составило соответственно 41,05 и 46,30–48,29 мг/кг.

По принятой градации [6] торфянисто-глеевая почва характеризовалась низкими запасами минерального азота в слое почвы 0–25 см (T_n), которые не превышали 100 кг/га, а в среднем за годы исследований колебались в пределах 24–50 кг/га (табл. 4).

В наших исследованиях проведен корреляционно-регрессионный анализ данных с целью определения зависимостей между содержанием минерального азота в почве (T_n) слое торфянисто-глеевой почвы, с одной стороны, и поступлением ^{137}Cs в растения и урожайностью многолетних злаковых трав, с другой стороны.

Суммарное содержание доступного азота определяли как сумму почвенного азота и азота удобрений, внесенных под первый и второй укосы трав.

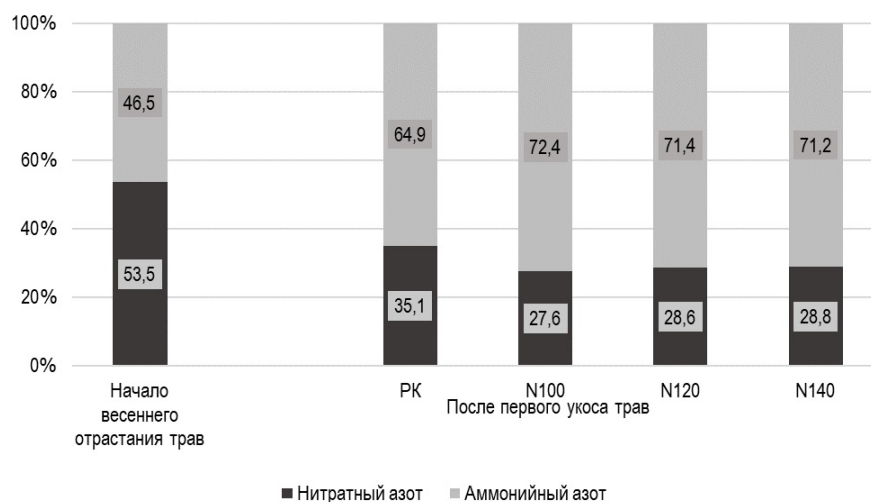


Рис. 1. Соотношение $N-NO_3$ и $N-NH_4$ в составе минерального азота в почве

Таблица 4. Запасы минерального азота в слое почвы 0–25 см

Варианты опыта	Запас $N_{\text{мин}}$ в почве, кг/га		
	минимальный	максимальный	в среднем за 4 года
<i>Ранневесенний период</i>			
До внесения удобрений	28,8	89,2	49,5
<i>После первого укоса трав</i>			
1. РК – фон	19,3	31,8	23,9
2. Фон + N_{100} (60 + 40)	25,2	45,4	36,9
3. Фон + N_{120} (80 + 40)	28,2	50,9	41,7
4. Фон + N_{140} (80 + 60)	29,9	52,9	43,5

Установлена заметная линейная взаимосвязь ($R^2 = 0,254$, $r = 0,50$) между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве в ранневесенний период и удельной активностью ^{137}Cs в сене многолетних трав первого укоса (рис. 2). Также заметная взаимосвязь ($R^2 = 0,430$, $r = 0,66$) выявлена между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве после первого укоса трав и удельной активностью ^{137}Cs в сене второго укоса (рис. 3). Как показывает анализ данных, с повышением содержания минеральных соединений азота в почве наблюдается увеличение удельной активности радионуклида в растениях.

Следует отметить, что даже при запасах $N_{\text{мин}}$ в почве на уровне 180–200 кг/га (высокая степень обеспеченности по градации Н. Н. Семеновко) концентрация ^{137}Cs в сене не превышала 100 Бк/кг. Республиканский допустимый уровень содержания радионуклида в сене при производстве цельного молока составляет

1300 Бк/кг, то есть выше более, чем на порядок.

Сильные корреляционные зависимости установлены между содержанием минерального азота в почве в ранневесенний период и после первого укоса трав и урожайностью сена первого и второго укосов. Коэффициенты детерминации (R^2) и корреляции (r) составили соответственно 0,698 и 0,83, 0,532 и 0,73. При повышении запасов $N_{\text{мин}}$ в почве наблюдалось достоверное увеличение урожайности сена (рис. 4 и 5).

Урожайность многолетних злаковых трав первого укоса 70–80 ц/га сена обеспечивалась при содержании минерального азота в слое почвы 0–25 см в начале их весеннего отрастания на уровне 120–130 кг/га. Для формирования урожайности сена второго укоса 60–65 ц/га запас $N_{\text{мин}}$ в почве должен составлять 110–115 кг/га.

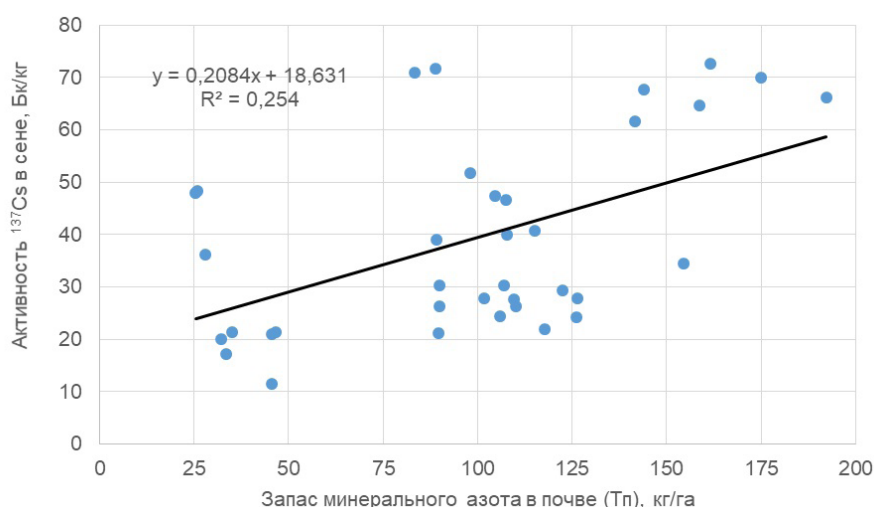


Рис. 2. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене первого укоса от запасов минерального азота в слое почвы 0–25 см

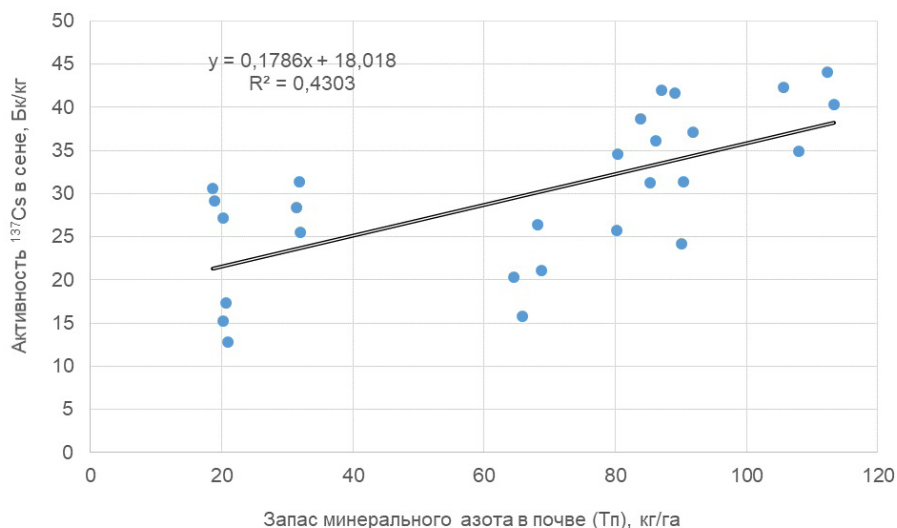


Рис. 3. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене второго укоса от запасов минерального азота в слое почвы 0–25 см

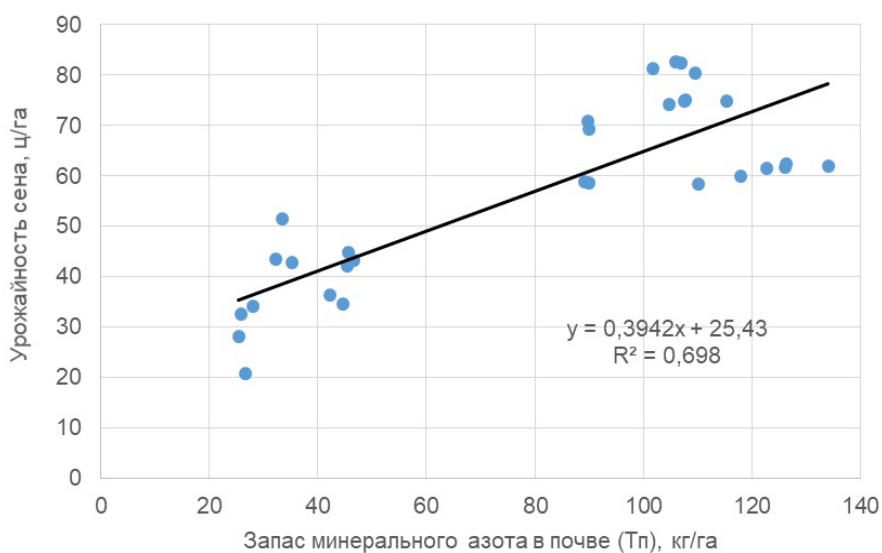


Рис. 4. Зависимость урожайности сена первого укоса от запасов минерального азота в почве в ранневесенний период

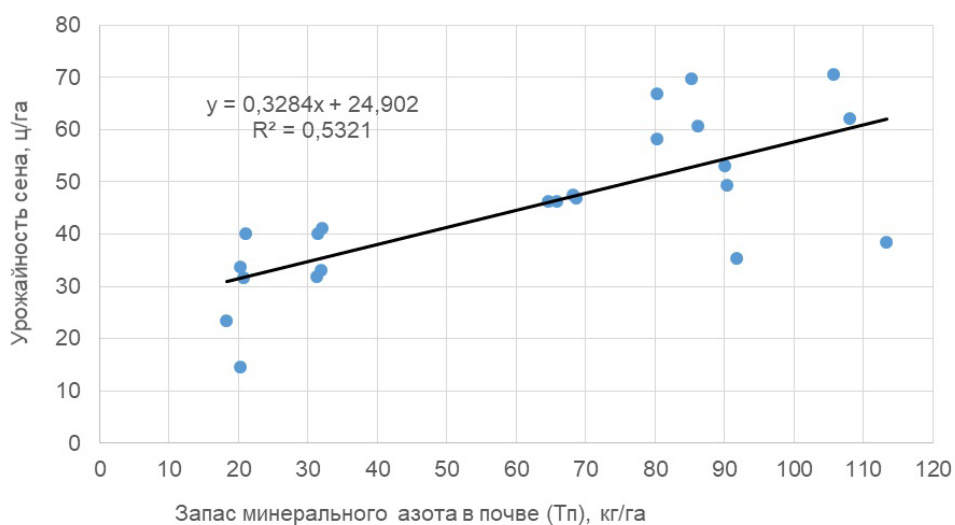


Рис. 5. Зависимость урожайности сена второго укоса от запасов минерального азота в почве

В табл. 5 приведены градации обеспеченности торфянисто-глеевой почвы минеральным азотом для планируемой урожайности многолетних злаковых трав от 35 до 90 ц/га сена.

Ориентировочные уровни содержания и запаса минерального азота в почве предложены в качестве основы для дифференцированного применения азотных удобрений. Доза

азота по каждому конкретному полю (участку) для внесения под укосы многолетних трав рассчитывается как разность между нормативным уровнем и фактическим содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве по формуле

$$N_{\text{уд}} = N_{\text{опт}} - N_{\text{факт}}$$

где $N_{\text{уд}}$ – доза азота удобрений, кг/га д. в.; $N_{\text{опт}}$ и $N_{\text{факт}}$ – оптимальное и фактическое содержание азота в почве, кг/га.

Таблица 5. Обеспеченность торфянисто-глеевой почвы минеральным азотом для планируемой урожайности многолетних злаковых трав

Показатель	Уровень планируемой урожайности, ц/га сена					
	35–40	45–50	55–60	65–70	75–80	85–90
Содержание $N_{\text{мин}}$ в слое почвы 0–25 см, мг/кг	35–45	50–55	60–70	75–80	85–90	95–100
Запас $N_{\text{мин}}$ в слое почвы 0–25 см, кг/га	30–40	50–60	70–85	100–110	120–130	135–140

Выводы

1. В торфянисто-глеевой почве с содержанием органического вещества 61,4–66,0 % из общего запаса азота в слое 0–25 см основной удельный вес занимает азот органических соединений – 99,6–99,7 %, на долю минерального азота приходится всего 0,3–0,4 %. Содержание его в почве в ранневесенний период изменялось по годам от 31,98 до 99,11 мг/кг, или в 3,1 раза. Во время уборки трав первого укоса содержание $N_{\text{мин}}$ в почве на фосфорно-калийном фоне составляло 26,57 мг/кг с варьированием по годам от 21,43 до 35,30 мг/кг. В вариантах с применением азотных удобрений в дозах 60 и 80 кг/га его содержание составило соответственно 41,05 и 46,30–48,29 мг/кг. В начале весенней вегетации многолетних трав в составе минерального азота в почве преобладал нитратный азот, на долю которого приходилось в среднем 53,5 %, а в период

первого укоса трав основной удельный вес по всем вариантам опыта занимал аммонийный азот – 64,9–72,4 %.

2. Установлена заметная взаимосвязь ($r = 0,50–0,66$) между содержанием $N_{\text{мин}}$ в почве в ранневесенний период и после первого укоса и активностью ^{137}Cs в сене многолетних трав первого и второго укосов. С повышением содержания минеральных соединений азота в почве наблюдается увеличение удельной активности радионуклида в растениях.

3. Сильные корреляционные зависимости установлены между содержанием минерального азота в почве в ранневесенний период и после первого укоса трав и урожайностью сена первого и второго укосов. Коэффициенты корреляции составили соответственно 0,83 и 0,73. При повышении запасов $N_{\text{мин}}$ в почве наблюдалось достоверное повышение урожайности.

Список использованных источников

1. Цыбулько, Н. Н. Почвенно-агрохимические основы адаптивного использования загрязненных радионуклидами земель / Н. Н. Цыбулько. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2022. – 290 с.
2. Рекомендации по использованию почв с высокими параметрами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2019. – 76 с.
3. Персикова, Т. Ф. Возделывание многолетних бобово-злаковых травосмесей на загрязненных радионуклидами торфяных почвах / Т. Ф. Персикова, А. Г. Подоляк // Вестник Белорусской гос. с.-х. академии. – 2022. – № 4. – С. 59–66.

4. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н.Н. Цыбулько [и др.]; Нац. академия наук Беларуси, М-во с. х. и продовольствия Респ. Беларусь, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

5. Мееровский, А. С. Современное состояние и стратегия сохранения и рационального использования торфяных почв Беларуси / А. С. Мееровский, В. И. Белковский // Междунар. аграр. журнал. – 2001. – № 10. – С. 12–15.

6. Семененко, Н. Н. Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования / Н. Н. Семененко. – Мн. : Бел. навука, 2015. – 282 с.

7. Семененко, Н. Н. Агрогенная эволюция фракционного состава азота торфяных почв / Н. Н. Семененко, Е. В. Каранкевич // Земляробства і ахова раслін. – № 6. – 2011. – С. 36–40.

8. Семененко, Н. Н. Модели прогноза трансформации фракционного состава азота торфяных почв Полесья под влиянием антропогенных факторов / Н. Н. Семененко, Е. В. Каранкевич // Мелиорация. – 2011. – № 1. – С. 122–130.

9. Методика крупномасштабного агрохимического и радиационного обследования почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / И. М. Богдевич [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн. : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 45 с.

Поступила 18 февраля 2026 г.