

АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ТОРФЯНИСТО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs В РАСТЕНИЯХ И ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ ТРАВ

Н. Н. Цыбулько¹, Е. Б. Евсеев², И. И. Жукова³

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

*²Институт радиобиологии,
г. Гомель, Беларусь*

*³Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Азот, составляя основу органического вещества почвы, является ведущим элементом в почвообразовании и важнейшим показателем ее плодородия. Торфяные почвы отличаются высоким содержанием азота, которое колеблется в пределах 1,6–4,0 % для низинных; 1,4–2,5 – для переходных и 0,5–2,0 % – для верховых торфяников [1, 2]. Азотный фонд этих почв представлен преимущественно органическими соединениями, азот которых становится доступным растениям в результате биологической минерализации органического вещества: процессов аммонификации и нитрификации [3].

В почве протекают одновременно два противоположных процесса: синтез и минерализация органических соединений с выделением углекислоты и соединений азота. В торфяных почвах после удаления избыточной влаги и в результате сельскохозяйственного использования процессы минерализации органического вещества преобладают над его образованием [4].

Обеспеченность сельскохозяйственных культур азотом зависит не столько от общего содержания в почве, сколько от наличия его минеральных форм: нитратов и обменного аммония, содержание которых в почве составляет около 1 % общего количества азота. Остальная часть азота содержится в составе органических, гумусовых, белковых и других соединений (94–95 %), а также в форме необменного фиксированного (в минеральных почвах) глинистыми минералами аммония (3–5 %), который почти недоступен или трудно доступен для растений. Для характеристики обеспеченности растений азотом учитывают в основном две его формы: нитратную и аммонийную.

Цель работы – установить зависимости накопления ^{137}Cs в растениях и продуктивности многолетних злаковых трав от содержания минерального азота в торфянисто-глеевой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брест-

ской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на тростниково-осоковых торфах, подстилаемых с глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя следующие (средние значения): органическое вещество – 64,0 %, рН в КСl – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М НСl) P₂O₅ – 876 и K₂O – 818 мг/кг почвы.

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую – 2 кг/га, овсяницу луговую – 5 кг/га, кострец безостый – 6 кг/га. Схема опыта, дозы и сроки применения минеральных удобрений приведены в табл. 1. Размещение делянок в опыте рендомизированное, повторность вариантов четырехкратная. Общая площадь делянки составляла 20 м², учетная площадь – 12 м².

Таблица 1

Схема применения минеральных удобрений в опыте

Вариант 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	–	–	–	–	–	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон 1	–	90	90	–	–	60
3. Фон 1 + N ₁₀₀	60	90	90	40	–	60
4. Фон 1 + N ₁₂₀	80	90	90	40	–	60
5. Фон 1 + N ₁₄₀	80	90	90	60	–	60
6. P ₉₀ K ₁₈₀ – фон 2	–	90	120	–	–	60
7. Фон 2 + N ₁₀₀	60	90	120	40	–	60
8. Фон 2 + N ₁₂₀	80	90	120	40	–	60
9. Фон 2 + N ₁₄₀	80	90	120	60	–	60

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [5]; рН_(КСl) – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [6]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [7]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [8]. Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного анализа [9] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследований (2016–2019 гг.) метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) существенно различались. По степени увлажнения 2016 г. характеризовался слабозасушливыми условиями (ГТК – 1,28), 2017 г. был влажным (ГТК – 2,24), 2018 г. – засушливым (ГТК – 0,97) и 2019 г. отличался оптимальными гидротермическими условиями (ГТК – 1,30).

Результаты исследований показали, что в торфянисто-глеевой почве с содержанием органического вещества 61,4–66,0 % в пахотном горизонте (Т_п) содержание общего азота (N_{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 пахотном слое почвы 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 % (табл. 2).

Таблица 2

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

Показатель	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	15030	15930	15570
Запас органического азота, кг/га	14985	15874	15520
Содержание минерального азота, мг/кг	49,36	62,03	55,00
Запас минерального азота, кг/га	44,42	55,83	49,50
Соотношение $N_{\text{орг}} : N_{\text{мин}}$, %	99,7 : 0,3	99,6 : 0,4	99,7 : 0,3

Цикл азота в почве характеризуется постоянно действующими минерализационно-иммобилизационными процессами его превращения. Взаимодействие этих процессов определяет направленность потоков азота в агроэкосистемах. Содержание минеральных соединений (аммонийного и нитратного) азота в почве является динамичной величиной 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 почвы. Процесс разложения азотсодержащих соединений почвы до аммиака происходит многочисленными аэробными и анаэробными микроорганизмами почвы и осуществляется во всех почвах при разной реакции среды, но замедляется в бескислородных условиях и при сильнокислой и щелочной реакциях.

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

В табл. 3 приведено содержание нитратного ($N\text{-NO}_3$), аммонийного ($N\text{-NH}_4$) и минерального ($N_{\text{мин}}$) азота в пахотном (0–25 см) слое торфянисто-глеевой почвы в начале весеннего отрастания трав до применения удобрений и после первого укоса трав с применением разных азотных удобрений – $N_{100-140}$.

В ранневесенний период содержание N-NO₃ в пахотном (0–25 см) слое почвы 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 достигали 3,9 раза. Во время первого укоса трав содержание его 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-NO₃ в пахотном слое почвы 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.

Таблица 3

Содержание минеральных соединений азота в слое почвы 0–25 см в период вегетации многолетних злаковых трав

Вариант опыта	Форма азота	Значения содержания азота, мг/кг почвы		
		минимальное	максимальное	среднее
<i>Ранневесенний период</i>				
До внесения удобрений	N-NO ₃	11,91	46,39	29,45
	N-NH ₄	14,49	52,72	25,55
	N _{мин}	31,98	99,11	55,00
<i>После первого укоса трав</i>				
1. РК – фон	N-NO ₃	4,17	18,60	9,33
	N-NH ₄	16,84	17,62	16,87
	N _{мин}	21,43	35,30	26,57
2. Фон + N ₁₀₀ (60 + 40)	N-NO ₃	4,48	23,38	11,32
	N-NH ₄	21,34	45,94	29,72
	N _{мин}	27,99	50,42	41,05
3. Фон + N ₁₂₀ (80 + 40)	N-NO ₃	5,13	27,60	13,23
	N-NH ₄	23,33	51,44	33,07
	N _{мин}	31,36	56,58	46,30
4. Фон + N ₁₄₀ (80 + 60)	N-NO ₃	5,34	28,75	13,93
	N-NH ₄	24,15	53,44	34,36
	N _{мин}	33,17	58,78	48,29

Содержание аммонийного азота (N-NH₄) в пахотном слое почвы 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-NH₄ 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.

Содержание минерального азота (суммы N-NO₃ и N-NH₄) в слое почвы 0–25 см в ранневесенний период находилось на уровне 55 мг/кг с колебаниями по годам исследований от 31,98 до 99,11 мг/кг, т. е. увеличилось 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, содержание его составило 41,05 и 46,30–48,29 мг/кг соответственно. 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 – 64,9–72,4 % (рис. 1).

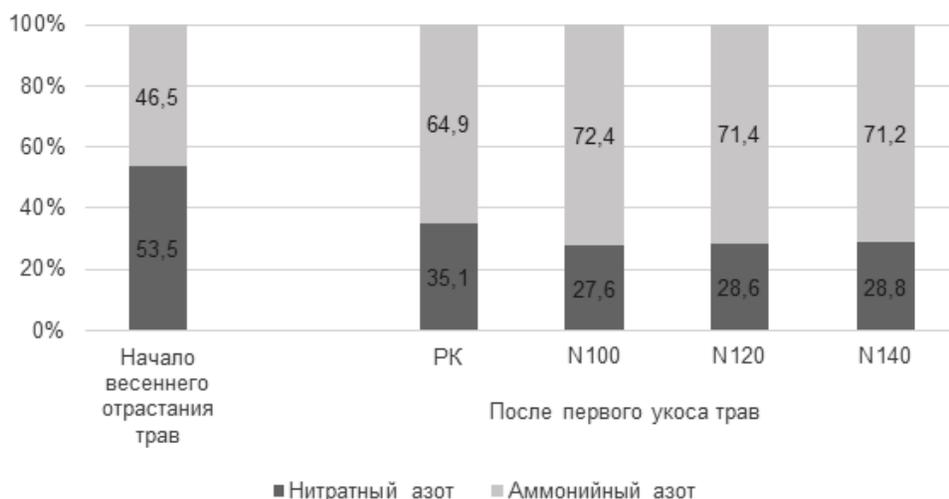


Рис. 1. Соотношение $N-NO_3$ и $N-NH_4$ в составе минерального азота в почве, %

По принятой градации [2] торфянисто-глеевая почва характеризовалась низкими запасами минерального азота в пахотном (T_n) слое, которые не превышали 100 кг/га, а в среднем за годы исследований колебались в пределах 24–50 кг/га (табл. 4).

Таблица 4

Запасы минерального азота в слое почвы 0–25 см

Вариант опыта	Запас $N_{мин}$ 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

В наших исследованиях проведен корреляционно-регрессионный анализ данных с целью определения зависимостей между содержанием минерального азота в пахотном (T_n) слое торфянисто-глеевой почвы и поступлением ^{137}Cs в растения и продуктивностью многолетних трав. Содержание азота в почве принималось как сумма азота почвы и азота вносимых удобрений под первый и второй укосы трав.

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 показывают данные, с повышением содержания минеральных соединений азота в почве наблюдается увеличение удельной активности радионуклида в растениях.

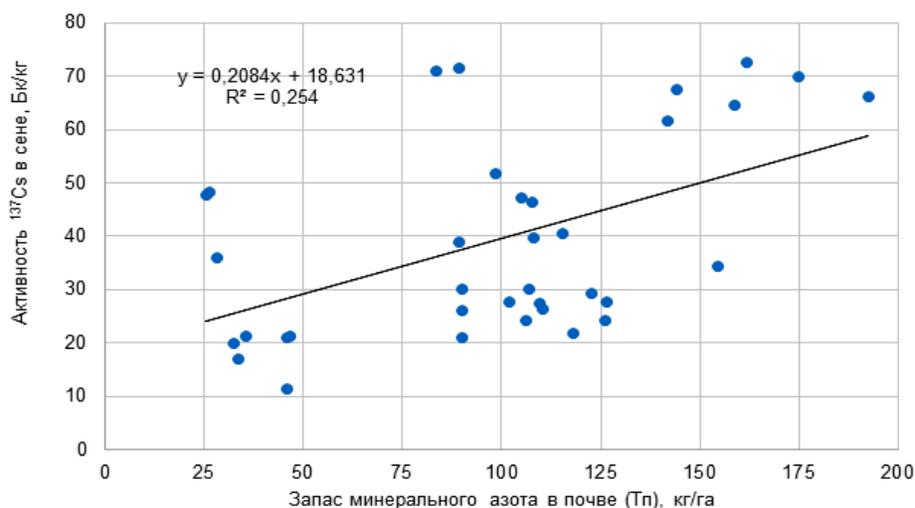


Рис.2. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене первого укоса от запасов минерального азота в почве

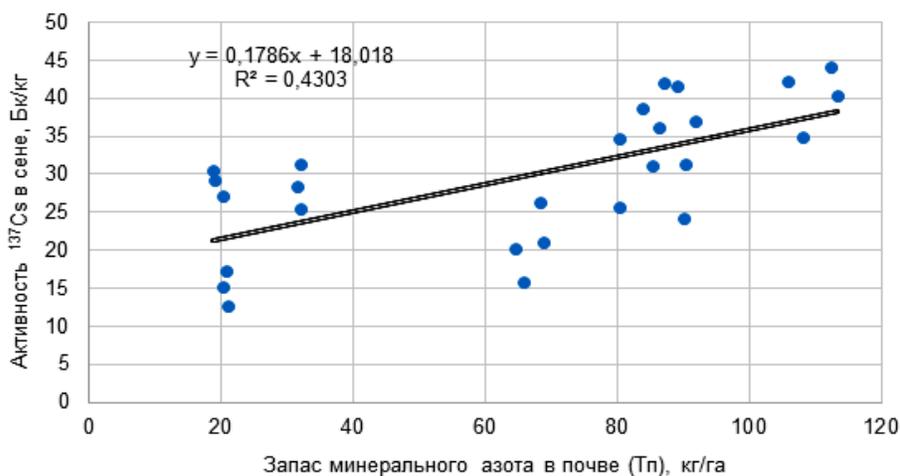


Рис. 3. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в сене второго укоса от запасов минерального азота в почве

Следует отметить, что, даже при запасах $N_{\text{мин}}$ в пахотном слое почвы на уровне 180–200 кг/га, (высокая степень обеспеченности по градации Н. Н. Семененко)

концентрация ^{137}Cs в сене не превышала 100 Бк/кг. Республиканский допустимый уровень содержания радионуклида в сене при производстве цельного молока 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 0,698 и 0,83 соответственно; 0,532 и 0,73. При повышении запасов $N_{\text{мин}}$ в почве наблюдалось достоверное повышение продуктивности (рис. 4, 5).

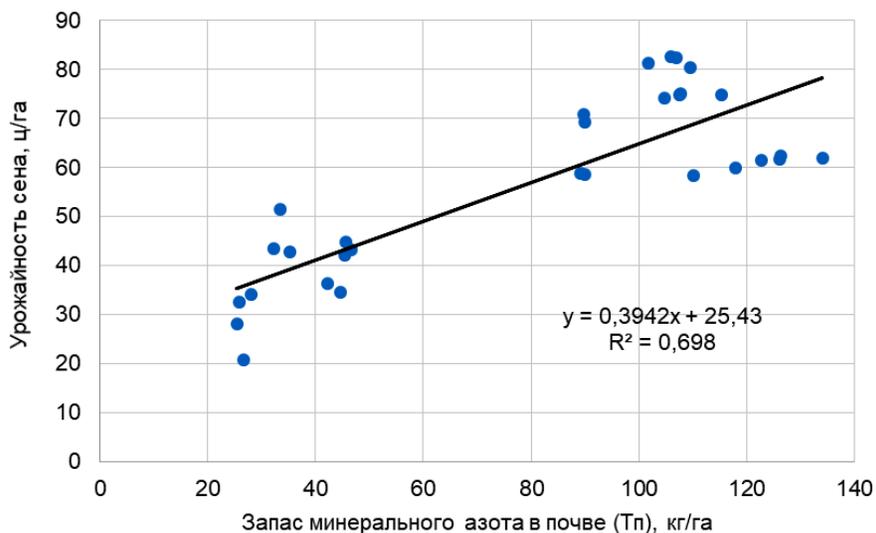


Рис. 4. Зависимость урожайности сена первого укоса от запасов минерального азота в почве в ранневесенний период

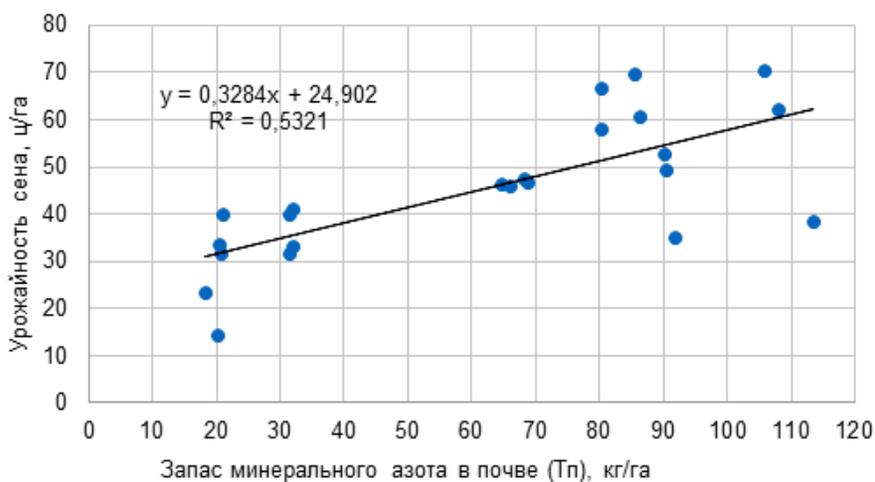


Рис. 5. Зависимость урожайности сена второго укоса от запасов минерального азота в почве

Продуктивность многолетних трав первого укоса 70–80 ц/га сена обеспечивалась при содержании минерального азота в почве 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. В табл. 5 приведены градации обеспеченности торфянисто-глеевой почвы минеральным азотом для планируемой урожайности многолетних злаковых трав от 35 до 90 ц/га сена.

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

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.

ВЫВОДЫ

1. В торфянисто-глеевой почве с содержанием органического вещества 61,4–66,0 % из общего запаса азота в пахотном слое 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, т. е. увеличилось 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 содержание его составило 41,05 и 46,30–48,29 мг/кг соответственно.

2. 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 %.

3. 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.

4. 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 0,83 и 0,73 соответственно. При повышении запасов $N_{\text{мин}}$ в почве наблюдалось достоверное повышение продуктивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мееровский, А. С.* Современное состояние и стратегия сохранения и рационального использования торфяных почв Беларуси / А. С. Мееровский, В. И. Белковский // *Международ. аграр. журнал.* – 2001. – № 10. – С. 12–15.
2. *Семененко, Н. Н.* Торфяно-болотные почвы Полесья: трансформация и пути эффективного использования / Н. Н. Семененко. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 282 с.
3. *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.
4. *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(65). – С. 122–130.
5. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
6. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
7. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
8. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107–84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
9. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

NITROGEN REGIME OF PEAT-GLEY SOIL AND ITS INFLUENCE ON ACCUMULATION ^{137}Cs IN PLANTS AND THE PRODUCTIVITY OF PERENNIAL CEREAL GRASSES

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

Summary

A significant relationship ($r = 0,50\text{--}0,66$) was established between the content of $N_{\text{мин}}$ in the soil in the early spring period and after the first mowing and the activity of ^{137}Cs in the hay of perennial grasses of the first and second mowing. With an increase in the content of mineral nitrogen compounds in the soil, an increase in the specific activity of radionuclide in plants is observed. Strong correlations were found between the content of mineral nitrogen in the soil in the early spring period and after the first

mowing of grasses and the hay yield of the first and second mowing. The correlation coefficients (r) were 0,83 and 0,73, respectively. With an increase of N_{\min} reserves in the soil, a significant increase in productivity was observed.

Поступила 16.10.20

УДК 631.46:63.559:633.1:631.442

ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ *A. BRASILENSE* И *B. CIRCULANS* НА УРОЖАЙНОСТЬ, КАЧЕСТВО И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ

**Н. А. Михайловская¹, Н. Н. Цыбулько¹, Д. В. Войтка², С. А. Касьянчик¹,
А. М. Устинова¹, Т. Б. Барашенко¹, С. В. Дюсова¹**

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

²*Институт защиты растений,
аг. Прилуки, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Бактериальные удобрения представляют интерес как средства экологизации растениеводства, позволяющие повышать урожайность и качество растениеводческой продукции. Эффект от их применения обусловлен действием ризобактерий на метаболизм растений. Величина эффекта зависит от наличия и разнообразия приспособительных механизмов у используемых микроорганизмов. Наибольший интерес представляют ризобактерии, оказывающие гормональное действие на растения и способные повышать доступность основных элементов минерального питания. Преимуществом бактериальных удобрений является их невысокая стоимость и возможность частичного снижения нагрузки на почвы по уровню применения химических средств повышения урожайности.

В настоящее время основное внимание уделяется многокомпонентным микробным препаратам, оказывающим полифункциональное действие на сельскохозяйственные растения. Создание многофункциональных микробных препаратов на основе различных агрономически полезных микроорганизмов с целевыми свойствами является одним из способов повышения их эффективности.

В коллекции Института почвоведения и агрохимии имеются штаммы и изоляты азотфиксирующих (*Azospirillum* sp.) и калиймобилизующих (*Bacillus* sp.) бактерий. На основе активных ризобактерий созданы моноинокулянты и бинарный бактериальный инокулянт.

Многочисленные научные исследования, проведенные с азоспириллами в разных климатических регионах, свидетельствуют об их существенном положительном воздействии на продуктивный статус инокулированных растений