МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

НАКОПЛЕНИЕ 137Cs И 90Sr В ТРАВОСТОЕ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНО-ДЕРНОВЫХ ПОЧВ

Выполнил:

А.Г. ПОДОЛЯК

Гомель 2003 г.

Оглавление

Введение

Методика исследований

Результаты и их обсуждение

Заключение

Литература

Введение

Центральную часть территории Полесья занимает долина р. Припяти. Преобладающими почвами здесь являются разновидности аллювиальных (пойменных) дерновых заболоченных и аллювиальных (пойменных) торфяно-болотных типов: аллювиальные дерново-глеевые, аллювиальные дерново-глееватые, дерново-болотные, аллювиальные торфяно-болотные низинные. На этих почвах формируются пойменные луга, которые в регионе занимают 11,5% сельскохозяйственных угодий и используется в основном под естественные и улучшенные сенокосы и пастбища [1-3].

Главный недостаток этих лугов - их краткосрочное весеннее затопление, которое способствует увеличению в структуре травостоя малоценных в кормовом отношении видов трав, отличающихся высокими переходами радионуклидов. С другой стороны, почвы пойменных лугов характеризуются оптимальными агрохимическими показателями: содержанием гумуса 3-5% (гуматный тип гумуса преобладает над фульватным); обменная кислотность рН(KCL) - 5,5-6,5; емкость поглощения – 18,3-20,5 мг-экв на 100г почвы; содержание подвижного К20 и Р2О5 - 100-180 мг/кг почвы; степень насыщенности основаниями – 90-95% [4, 5].

Приведенные данные свидетельствуют о высоком потенциальном плодородии почв этого типа, что свидетельствует о возможности и необходимости разработки комплекса защитных мероприятий, обеспечивающих увеличение, как продуктивности, так и снижения поступления радионуклидов в травостой пойменных лугов.

Для рационального использования таких кормовых угодий в условиях радиоактивного загрязнения необходимо:

* проводить прогноз содержания 137Сs и 90Sr в кормах (зеленая масса, сено) с учетом плотности загрязнения и основных агрохимических свойств почв;
* увеличить их продуктивность;
* обеспечить получение дешёвых кормов отвечающих требования РДУ-99 по содержанию радионуклидов за счёт применения различных агротехнических и агрохимических мероприятий (контрмер).

В ряде нормативных документов, действующих на территории Белоруссии, России и Украины, в условиях производства на загрязнённых территориях для прогноза содержания 137Сs и 90Sr в сельскохозяйственных культурах и кормах на всех типах почв используются только два агрохимических показателя: содержание подвижного калия (для прогноза 137Сs) и величина обменной кислотности рН(КСl)(для прогноза 90Sr) [4-8].

В работах ряда отечественных и зарубежных учёных приводятся данные, свидетельствующие о наличии более тесной корреляционной зависимости между коэффициентами перехода 137Cs и 90Sr и другими агрохимическими показателями луговых почв (гидролитической кислотностью, содержанием обменного Са и Mg, содержанием гумуса, степенью насыщенности основаниями и др.) [9-12].

Одна из задач настоящей работы – на основе массива данных, полученных в стационарном многолетнем опыте, установить корреляционные зависимости между величиной коэффициентов перехода 137Сs и 90Sr в травостои пойменных лугов и основными агрохимическими свойствами аллювиальных дерновых почв, изменяющимися в зависимости от различных способов их улучшения и составить уравнения линейной и множественной регрессии, позволяющие прогнозировать величину коэффициентов перехода радионуклидов и степень загрязнения травостоя в отдаленный период после аварии на ЧАЭС.

Методика исследований

#### Результаты исследований получены при выполнении Государственной программы Республики Беларусь по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС по теме: «Разработать и оптимизировать комплекса мер по эффективному землепользованию и снижению радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции, направленных на уменьшение доз облучения населения».

#### В период с 1997 по 2001 год в условиях стационарного полевого эксперимента (д. Тульговичи Хойникского района Гомельской области) изучали влияние различных агротехнических и агрохимических способов улучшения пойменного луга на изменение коэффициентов перехода 137Cs и 90Sr в естественный и культурный травостои.

Почва опытного участка аллювиальная дерново-глеевая песчаная, развивающаяся на связно-песчаном аллювии, сменяемом рыхлыми песками с глубины 0,5 м со следующими агрохимическими показателями: рН(KCl) – 5,0-5,5, HГ– 2,0-2,2 смоль/кг, подвижный K2O – 77-105 мг/кг, подвижный P2O5 -96-150 мг/кг, обменный Ca –515-675 мг/кг, обменный Mg – 170-210 мг/кг, содержание гумуса 3,4-4,2 %, индекс агрохимической окультуренности (Иок) – 0,60-0,75 [5].

Дозы минеральных удобрений в эксперименте рассчитывали при помощи балансового метода, основанного на знании выноса питательных веществ урожаем, обеспеченности почвы питательными элементами, коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Нормы известковых удобрений рассчитывали с учетом гидролитической кислотности почв и величины pH(KCl) из расчёта доведения реакции почвенной среды до оптимальных значений. Также проводилась корректировка доз минеральных и известковых удобрений с учётом плотности загрязнения почв радионуклидами (137Cs – 864 кБк/м2; 90Sr – 71,5 кБк/м2). Схема опыта с удобрениями приведена в таблице. 1.

**Таблица 1**. Схема опыта и распределение удобрений при улучшении

 и эксплуатации пойменного луга (1997-2001 гг.)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №варианта | Система обработки почвы и удобрений в год перезалужения (1997 г.) | Система удобрений в годы эксплуатации (1998-2001 гг.) |
| I укос | II укос |
| 1. | Естественный травостой (абсолютный контроль) | - | - |
| 2. | N60P60K120 поверхностно | N30P60K60 | N30K60 |
| 3. | N90P60K120 поверхностно | N45P60K60 | N45K60 |
| 4. | N90P60K180 поверхностно | N45P60K90 | N45K90 |
| 5. | Доломитовая мука 3 т/га поверхностно | - | - |
| 6. | Доломитовая мука 3 т/га + N90P60K120 поверхностно | N45P60K60 | N45K60 |
| 7. | Дискование без удобрений  | - | - |
| 8. | Дискование + N90P60K120 | N45P60K60 | N45K60 |
| 9. | Дискование + N90P60K120 + K150 | N45P60K60 | N45K60 |
| 10. | Доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 | N45P60K60 | N45K60 |
| 11. | Доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 + K150 | N45P60K60 | N45K60 |
| 12. | Дискование, вспашка без удобрений  | - | - |
| 13. | Дискование, вспашка + N90P60K120 | N45P60K60 | N45K60 |
| 14. | Дискование, вспашка + N90P60K120 + K150 | N45P60K60 | N45K60 |
| 15. | Дискование, вспашка, доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 | N45P60K60 | N45K60 |
| 16. | Дискование, вспашка, доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 + K150 | N45P60K60 | N45K60 |

Основные агрохимические показатели почвы определяли по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91); рН (КСl) – потенциометрическим методом (ГОСТ-26483-85); гидролитическую кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-84); сумму поглощенных оснований – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88); по-движные формы фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91); обменный кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-30 (ГОСТ 26487-85); степень насыщенности почв основаниями и индекс агрохимической окультуренности почв – расчетным методом.

Содержание 137Cs в исследуемых образцах (почва, растения) определяли на γ-спектрометрических комплексах фирм «Canberra» и «Tennelec». Радиохимическое выделение 90Sr проводили по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном α-β-счетчике «Canberra-2400». Аппаратурная ошибка измерений не превышала 15-20 %.

Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения рассчитывали коэффициенты пропорциональности по следующей формуле:

***КП = (Бк/кг) : (кБк/м2) (1)***

Все полученные данные подвергали статистической обработке методом дисперсионного и регрессионного анализов c использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0, Statistic 7.0).

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что самый эффективный способ улучшения пойменного луга – внесение 3 т/га доломитовой муки и минеральных удобрений в дозе N90P60K180 в два приёма, за счёт которого удалось добиться самого наибольшего снижения величины перехода радионуклидов (в 4,7 раза 137Cs и в 2,6 раза 90Sr) в естественный травостой и дополнительно снизить в 1,7 раза величину перехода 137Cs и в 1,8 раза 90Sr по сравнению с базовым вариантом (табл. 2). Содержание радионуклидов в сене изменялось в следующих пределах: 137Cs – 184–1298 Бк/кг (Кп – 0,21–1,50), 90Sr – 297–534 Бк/кг (Кп – 4,15–7,47), и могло быть использовано для получения молока с обязательной дальнейшей переработкой [5-8].

Перезалужение пойменного луга с использованием только обработки почвы (дискование и вспашка без внесения доломитовой муки и минеральных удобрений) и создание нового культурного травостоя из многолетних злаковых трав позволило снизить содержание только 137Cs (в среднем в 1,4–2,8 раза) до 1559–3091 Бк/кг (Кп – 1,81–3,58) – на дисковании и 535–1714 Бк/кг (Кп –0,62–2,0) на вспашке, и увеличить поступление 90Sr (в среднем в 1,1–1,4 раза) до 851–2056 Бк/кг (Кп –11,91–28,76) – на дисковании и до 528–2241 Бк/кг (Кп – 7,38–31,35) на вспашке по сравнению с величиной перехода радионуклидов в естественный травостой в контроле.

Улучшение условий питания многолетних злаковых трав за счёт ежегодного внесения полного минерального удобрения в дозе N90P60K120 в два приёма после дискования и вспашки (табл. 2) обеспечило дальнейший рост их урожайности и дальнейшее снижение перехода радионуклидов (в 2,8–4,8 раза 137Cs и в 1,7–2,6 раза 90Sr) по сравнению с контрольным вариантом. В полученном сене содержалось в среднем: в варианте 8 – 731–1314 Бк/кг 137Cs (Кп – 7,1–9,9) и 303–555 Бк/кг90Sr (Кп – 6,58–12,05), в варианте 13 – 259–849 Бк/кг 137Cs (Кп – 0,30–0,98) и 360–392 Бк/кг 90Sr (Кп – 5,03–5,49), что могло быть использовано только для производства молока с обязательной переработкой в другие молочные продукты.

Внесение 3 т/га доломитовой муки и полного минерального удобрения N90P60K120 в два приёма под дискование и вспашку обеспечило дальнейшее снижение размеров перехода радионуклидов (в 4,6–7,7 раза 137Cs и в 2,2–2,7 раза 90Sr) по сравнению с контролем и в 1,6–1,7 – раза 137Cs и в 1,1–1,3 раза 90Sr – по сравнению с вариантами без доломитовой муки. В сене, полученном в этих вариантах, в среднем содержалось: 138–818 Бк/га 137Cs (Кп – 0,16–0,95) и 320–497 Бк/кг90Sr (Кп – 4,48–6,95) т.е. превышало установленный норматив 260 Бк/кг для 90Sr и могло быть использовано только для получения молока на переработку.

Применение повышенных доз калия в составе полного минерального удобрения (N90P60K270) при улучшении пойменного луга под вспашку и дискование с ежегодным внесением минеральных удобрений в дозе N90P60K120 в два приёма обеспечило еще большее снижение перехода радионуклидов в злаковые травы (до 8,3–10,6 раза 137Cs и до 2,8–3,4 раза 90Sr) по сравнению с контролем и в 1,8–3,0 раза 137Cs и в 1,2–1,8 раза 90Sr – по сравнению с базовыми вариантами. В сене в среднем содержалось: 93–705 Бк/кг (Кп – 0,11–0,82) 137Cs и 256–403 Бк/кг90Sr (Кп – 3,58–5,64) (табл. 2).

Совместное внесение доломитовой муки и повышенных доз калия в составе полного минерального удобрения (N90P60K270) под вспашку и дискование с ежегодным внесением минеральных удобрений в дозе N90P60K130 в два приема обеспечило наибольшее снижения поступления радионуклидов в многолетние злаковые травы (до 18 раз 137Cs и до 5 раз 90Sr) по сравнению с естественным контролем и в 4,0 раза 137Cs и в 2,0 раза 90Sr – по сравнению с базовыми вариантами. Сено, полученное в этом варианте, полностью отвечало всем требованиям по содержанию радионуклидов: 85–232 Бк/кг (Кп – 0,10–0,27) 137Cs и 166–233 Бк/кг90Sr (Кп – 2,32–3,26) и могло быть использовано для получения молока цельного в течение всех лет исследований.

Результаты исследований показали, что эффективность применяемых защитных мероприятий по снижению перехода 137Cs и 90Sr в травостой пойменного луга связана с оптимизацией основных агрохимических показателей аллювиальной дерново-глееватой почвы.

За счёт известкования по величине гидролитической кислотности (3 т/га доломитовой муки) при улучшении удалось довести уровень рН (КСl) до оптимальных значений 5,5-6,2 увеличить содержание обменного Са и Mg соответственно до 1030-1220 и 290-330 мг/кг, снизить гидролитическую кислотность с 1,3-1,5 до 1,0-1,2 смоль/кг, увеличить сумму обменных оснований до 8,5-9,3 смоль/кг почвы и степень насыщенности основаниями до 88-90%.

Применение повышенных доз калийных удобрений (до 250 кг.д.в.) при перезалужении и их ежегодное внесении в составе полного минерального удобрения (N90P60K120) позволило довести содержание обменного К20 до 22-30 мг/100 г почвы, что составило 7,0-8,5% от суммы поглощённых оснований, улучшить степень окультуренности почвы (И ок = 0,9-1,0), что и обеспечило снижение размеров перехода 137Cs в 8-20 раз и 90Sr в 2,2-4,8 раза.

С целью выявить степень влияния отдельных агрохимических свойств аллювиальной дерново-глееватой песчаной почвы на величину коэффициентов перехода радионуклидов в урожай многолетних злаковых трав, произведён корреляционный анализ массива данных за 1998-2000 гг. (табл.3).

**Таблица 3.** Коэффициенты корреляции (r) между Кп, радионуклидов в травостои и агрохимическими показателями аллювиально-дерновой почвы пойменного луга

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Агрохимические показатели | **137Cs** | **90Sr** |
| рH(KCl) | -0,62 | -0,63 |
| Нг, смоль/кг почвы | 0,66 | 0,64 |
| S, смоль/кг почвы | -0,60 | -0,62 |
| T, смоль/кг почвы | -0,60 | -0,62 |
| V, % | **-0,67** | **-0,72** |
| Обменный Са, мг/кг почвы | -0,65 | -0,70 |
| Обменный Mg, мг/кг почвы  | -0,49 | -0,60 |
| Подвижный K2O, мг/кг почвы  | -0,61 | -0,69 |
| Подвижный P2O5, мг/кг почвы  | -0,42 | -0,48 |
| Содержание гумуса, % | 0,18 | 0,26 |
| Индекс агрохим. окультуренности Иок. | **-0,62** | **-0,68** |

Результаты анализа показали, что величина коэффициентов перехода 137Cs в урожай многолетних злаковых трав пойменного луга зависит от таких агрохимических свойств аллювиальной дерново-глееватой почвы, как: степень насыщенности основаниями, V (r = - 0,67), величина гидролитической кислотности, Нг (r = 0,66), содержание обменного Са (r = - 0,65), величина обменной кислотности рН (KCl), величина индекса окультуренности почвы (r = - 0,62) и содержание обменного К2О (r = - 0,61),

Величина коэффициентов перехода 90Sr в урожай многолетних злаковых трав определяется теми же свойствами, что и величина перехода 137Cs: степенью насыщенности основаниям, V (r = - 0,72), содержанием обменного Са (r = - 0,70), содержанием обменного К2О (r = - 0,69), индексом агрохимической окультуренности почвы (r = - 0,68), величиной гидролитической Нг (r = 0,64), и обменной кислотности рН (KCl (r = - 0,63).

На основе результатов исследований установлены оптимальные параметры агрохимических свойств аллювиально-дерновых глеевых почв, при достижении которых наблюдаются минимальные величины коэффициентов перехода 137Cs и 90Sr в травостои низинных лугов, загрязнённых радионуклидами (табл. 4) (рис.1 и 2) и составлены уравнения линейной и множественной регрессий, позволяющие рассчитывать величину коэффициентов перехода радионуклидов в травостой по основным агрохимическим показателям луговых почв (табл. 5).

**Таблица 4.** Оптимальные параметры агрохимических свойств и показателей почвенного плодородия пойменных лугов на аллювиально-дерновых почвах

|  |
| --- |
| Агрохимические показатели |
| Содержание гумуса, % | 3,5-4,0 |
| Обменная кислотность рH(KCl)  | 6,0-6,5 |
| Подвижный K2O, мг/кг  | 250-300 |
| Подвижный P2O5, мг/кг  | 200-250 |
| Степень насыщенности основаниями V, % | 80-90 |
| Индекс агрохимической окультуренности почв Иок. | 0,8-1,0 |

**Таблица 5.** Уравнения регрессии для определения величины Кп137Cs и 90Sr в травостои низинных лугов на торфяно-болотных почвах

|  |  |
| --- | --- |
| **137Cs** | **90Sr** |
| КП 137Cs = -0,12V + 10,86 | R2 = 0,449 | КП90Sr = -0,43V + 40,80 | R2 = 0,518 |
| КП 137Cs = 1,79Hг - 1,98 | R2 = 0,436 | КП90Sr = -0,016Сa + 21,28 | R2 = 0,490 |
| КП 137Cs = -0,004Са + 4,68 | R2 = 0,423 | КП90Sr = -0,32К2О + 11,94 | R2 = 0,476 |
| КП 137Cs = - 1,79 pH + 10,99 | R2 = 0,384 | КП90Sr = -16,91 Иок + 19,18 | R2 = 0,462 |
| КП 137Cs = -4,68Иок + 4,47 | R2 = 0,384 | КП90Sr= 5,99Hг - 3,23 | R2 = 0,410 |
| КП 137Cs = -0,085K2O + 2,38 | R2 = 0,372 | КП90Sr = - 5,93рН + 39,87 | R2 = 0,397 |
| КП 137Cs = 7,50 - 0,97pH - 0,00003 Ca - 0,036 P2O5 | R2 = 0,436 |
| КП 90Sr = 30,84 - 2,0pH- 0,006Ca - 0,42 K2O | R2 = 0,384 |

Таким образом, анализ результатов исследований показал, что получение кормов, отвечающих существующим нормативам по содержанию радионуклидов, на пойменных лугах зависит, прежде всего, от условий питания луговых растений и степени окультуренности аллювиально-дерновых почв.

Внесение научно обоснованных доз известковых удобрений, повышенных доз калия в сочетании с азотными, фосфорными удобрениями позволяет получать корма соответствующих как зоотехническим, так и радиологическим требованиям.

## Заключение

1. Минимальные величины коэффициентов перехода 137Cs (0,3–0,7) и 90Sr (2,8-5,0) в травостои пойменных лугов наблюдаются при достижении оптимальных значений агрохимических свойств почв и высокого уровня почвенного плодородия (Иок-0,9-1,0) за счёт применения агрохимических и агротехнических приёмов их улучшения (контрмер).

2. Для прогноза содержания радионуклидов в травостоях пойменных лугов в отдалённый период после аварии целесообразно использовать коэффициенты перехода 137Cs и 90Sr, установленные не только по содержанию подвижного калия и величине обменной кислотности аллювиально-дерновых почв, а и по комплексным агрохимическим показателям – индексу агрохимической окультуренности почв (Иок) и степени насыщенности основаниями (V,%).

3. На пойменных лугах, представленных аллювиальными дерново-глееватыми песчаными почвами с низкой плотность радиоактивного загрязнения (до 555 кБк/м2 137Cs и до 18,5 кБк/м2 90Sr) и высокой долей в структуре травостоя злаковых трав эффективно поверхностное внесение 3 т/га доломитовой муки с ежегодным поверхностным внесением минеральных удобрений в дозе N90P60K180 в два приёма (N45P60K90 под I укос и N45K90 под II укос).





**Рис. 1.** Влияние основных агрохимических свойств аллювиально-дерновой почвы на величину коэффициентов перехода137Cs в травостой пойменного луга





**Рис. 2.** Влияние основных агрохимических свойств аллювиально-дерновой почвы на величину коэффициентов перехода 90Sr в травостой пойменного луга

**Литература**

1. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003-2005 гг. /Под ред. И.М. Богдевича. – Минск, 2003. –74 с.
2. Рекомендации по ведению растениеводства на радиоактивно загрязненных территориях России /Р.М. Алексахин, А.Н. Ратников, Т.Л. Жигарева и др. - Москва, 1997. - 115 с.
3. Кашпаров В.О., Лазарев М.М., Перепелятникова Л.В., Прістер Б.С., Іванов Ю.О. та ін. Ведения сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС на період 1999-2002 pp. // Методичні рекомендації. МінАПК України, МНС України, УНДІСГР. Київ, 1998. - 104 с.
4. Корнеев Н.А., Фирсакова С.К., и др.Прогнозирование поступления 90Sr из дернины

// Агрохимия. –1983. – № 3. – С. 103-107.

1. Подоляк А.Г. Влияние агрохимических и агротехнических приёмов улучшения основных типов лугов Белорусского Полесья на поступление 137Cs и 90Sr в травостои: Автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.04. Мн., 2002. – 21 с.
2. Подоляк А.Г., Арастович Т.В., Тимофеев С.Ф., Мышлен Т.А. Как снизить содержание радионуклидов в кормах //Белорусское сельское хозяйство. – 2003.– № 9. –С.20-21.
3. Богдевич И.М., Подоляк А.Г., Арастович Т.В. Повышение окультуренности почв –-основной путь снижения загрязнения кормов радионуклидами //Земляробства i ахова раслiн. 2003. №6. С. 14-16.
4. Подоляк А.Г., Тимофеев С.Ф., Гребенщикова Н. В. и д р. Прогнозирование накопления 137Cs и 90Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв //Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – №1. – С. 100-111.
5. Бондарь П.Ф. Влияние почвенно-климатических условий на накопление 90Sr растениями из почвы и прогнозирование уровня загрязнения урожая // Агрохимия. ­–1983.–

 № 7. –С. 69-79.

1. Егорова Е.А. О подвижности 90Sr в различных типах почв// Почвоведение. –1987. – № 7. –С. 117- 121.
2. Бондарь П.Ф., Юдинцева Е.В. Оценка влияния некоторых свойств почв на поступление в растения 137Cs и прогнозирование накопления его в урожае овса// Агрохимия. – 1984. – № 9. – С. 85-93.
3. Коноплёв А.В., Коноплёва И.В. Параметризация перехода 137Cs из почвы в растения на основе ключевых почвенных характеристик // Радиационная биология. Радиоэкология. –1999. – Т. 39. – № 4. - С.455-461.

**Таблица 2.** Влияние различных способов улучшения пойменного луга на урожайность и накопление 137Cs и 90Sr в естественном травостое и многолетних злаковых сеяных травах (в среднем за 1998-2001 гг.)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Варианты опыта | Урожайность, ц/га | 137Cs | 90Sr |
| Среднее | Прибавка к контролю | Бк/кг | КПБк/кг:кБк/м2 | Бк/кг | КПБк/кг:кБк/м2 |
| 1. Естественный травостой (абсолютный контроль) | 31,3 | - | 2924±540 | 3,39±0,63 | 980±61 | 13,71±0,86 |
| 2. N60P60K120 поверхностно | 58,6 | 27,3 | 781±567 | 0,91±0,65 | 619±184 | 8,65±2,57 |
| 3. N90P60K120 поверхностно | 67,3 | 36,0 | 1050±707 | 1,22±0,82 | 714±213 | 9,99±3,00 |
| 4. N90P60K180 поверхностно | 71,3 | 40,0 | 623±504 | 0,72±0,58 | 469±204 | 6,56±2,85 |
| 5. Доломитовая мука 3 т/га поверхностно | 35,0 | 3,7 | 840±692 | 0,97±0,80 | 396±15 | 5,54±0,21 |
| 6. Доломитовая мука 3 т/га + N90P60K180 поверхностно | 73,2 | 41,9 | 620±595 | 0,72±0,69 | 381±133 | 5,33±1,86 |
| 7. Дискование без удобрений  | 39,5 | 8,2 | 2144±828 | 2,48±0,96 | 1323±643 | 18,51±9,00 |
| 8. Дискование + N90P60K120 | 72,6 | 41,3 | 1044±294 | 1,21±0,34 | 561±130 | 7,85±1,82 |
| 9. Дискование + N90P60K120 + K150 | 80,3 | 49,0 | 356±303 | 0,41±0,35 | 352±53 | 4,92±0,74 |
| 10. Доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 | 76,3 | 45,0 | 628±215 | 0,73±0,25 | 453±49 | 6,34±0,68 |
| 11. Доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 + K150 | 88,3 | 57,0 | 235±123 | 0,27±0,14 | 310±26 | 4,32±0,36 |
| 12. Дискование, вспашка без удобрений  | 42,3 | 11,0 | 1058±601 | 1,23±0,70 | 1106±983 | 15,46±13,76 |
| 13. Дискование, вспашка + N90P60K120 | 78,2 | 46,9 | 607±309 | 0,70±0,36 | 380±18 | 5,32±0,25 |
| 14. Дискование, вспашка + N90P60K120 + K150 | 87,5 | 56,2 | 272±175 | 0,32±0,20 | 291±47 | 4,07±0,67 |
| 15. Дискование, вспашка, доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 | 82,8 | 51,5 | 383±229 | 0,44±0,26 | 357±72 | 5,00±1,00 |
| 16. Дискование, вспашка, доломитовая мука 3 т/га, дискование + N90P60K120 + K150 | 93,9 | 62,6 | 151±75 | 0,18±0,09 | 201±34 | 2,82±0,47 |
| **НСР 05** | **2,6** |  |  |  |  |  |