

МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

УДК 631.619

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕЛИОРАНТЫ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ

О. А. МЕРЗЛОВА

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, e-mail: O-Merzlova@yandex.ru

(Поступила в редакцию 05.01.2026)

Известкование – один из наиболее действенных и окупаемых приемов повышения плодородия кислых почв в Республике Беларусь. Актуальным остается изучение свойств дешевых и эффективных мелиорантов, среди которых выделяется группа цеолитов. Высокая обменная емкость цеолитсодержащего трепела и его избирательная активность к тяжелым анионам ведет также к снижению перехода радионуклидов в сельскохозяйственные растения. Экономический интерес к данному минералу обусловлен наличием в Могилевской области разработанного месторождения трепела. Это делает его одним из альтернативных материалов для рекультивации радиоактивно загрязненных земель.

В связи с этим изучено влияние трепела на переход радионуклидов в сельскохозяйственное сырье, произведенное на длительно неиспользуемых землях. Исследование проведено в производственных условиях на участке Гомельской области, возвращенном в сельскохозяйственное использование после длительного пребывания в залежи. Исходная плотность загрязнения ^{137}Cs почв составила 0,4–0,5 Ки/км², ^{90}Sr – 0,06–0,08 Ки/км². В качестве мелиоранта использован трепел месторождения «Стальное». На фоне комплексного внесения минеральных удобрений изучено влияние трепела в полной и половинной дозах, рекомендуемых инструкцией об известковании кислых почв, на радиологические показатели зеленой массы луговых многолетних злаковых трав. Для сравнения предусмотрен вариант с внесением доломитовой муки.

Полученные результаты указывают на более значимое влияние трепела на снижение перехода в зеленую массу многолетних злаковых трав ^{90}Sr , нежели ^{137}Cs . В связи с тем, что применение цеолита в первый год внесения дает больший защитный эффект, его рекомендовано использовать для известкования при первичном освоении радиоактивно загрязненных земель.

Ключевые слова: известкование, трепел, ^{90}Sr , ^{137}Cs , коэффициенты перехода.

Liming is one of the most effective and cost-effective methods for increasing the fertility of acidic soils in the Republic of Belarus. Studying the properties of inexpensive and effective soil reclamation techniques, including zeolites, remains a pressing issue. The high exchange capacity of zeolite-containing tripoli and its selective activity for heavy anions also reduce the transfer of radionuclides into agricultural crops. The economic interest in this mineral stems from the presence of a developed tripoli deposit in the Mogilev Region. This makes it an alternative material for the reclamation of radioactively contaminated lands.

Therefore, the effect of tripoli on the transfer of radionuclides into agricultural raw materials produced on long-unused lands was studied. The study was conducted under production conditions on a plot of land in the Gomel Region that was returned to agricultural use after a long period of fallow land. The initial soil contamination density for ^{137}Cs was 0.4–0.5 Ci/km², and for ^{90}Sr , 0.06–0.08 Ci/km². Tripoli from the Stalnoye deposit was used as an ameliorant. The effect of tripoli at full and half doses, recommended by the instructions for liming acidic soils, on the radiological parameters of perennial meadow grasses was studied against the background of combined mineral fertilizer application. A comparison was made with dolomite flour.

The results indicate that tripoli has a more significant effect on reducing the transfer of ^{90}Sr into the perennial grasses' green mass than ^{137}Cs . Because the application of zeolite in the first year of application provides a greater protective effect, it is recommended for liming during the initial development of radioactively contaminated lands.

Key words: liming, tripoli, ^{90}Sr , ^{137}Cs , conversion coefficients.

Введение

Одной из отличительных особенностей почв Беларуси выступает ее повышенная кислотность, которая не позволяет в естественном состоянии вести эффективное земледелие.

Для обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных земель за счет бюджетных средств с периодичностью раз в пять лет проводится известкование сильнокислых, среднекислых, кислых и слабокислых почв [3].

При расчете доз мелиорантов учитываются не только данные об исходной кислотности почв, их типе и гранулометрическом составе, направлении использования участков, но и плотности загрязнения радионуклидами. Известно, что оптимизация степени кислотности почв на фоне применения минеральных удобрений позволяет сократить поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры на 60–80 % [8, 9]. Необходимость повышения эффективности использования бюджетных средств предопределяет поиск более эффективных и дешевых известковых материалов.

Объектом исследования выступили сельскохозяйственные земли, изъятые из сельскохозяйственного оборота в связи высоким радиоактивным загрязнением, не позволяющим производить сырье в соответствии с требованиями республиканских нормативов; зеленая масса луговых многолетних злаковых трав; трепел месторождения «Стальное».

Целью работы является повышение эффективности решений о переводе земель из категории радиационно опасных в сельскохозяйственное использование и поиск эффективных известковых материалов для рекультивации этих земель.

Основная часть

В результате радиоактивного загрязнения земель из сельскохозяйственного оборота Беларуси в 90-е годы прошлого века выведено 265 тыс. га земель [1]. Это земли, загрязненные ^{137}Cs более 40 Ки/км² или ^{90}Sr более 3,0 Ки/км², или $^{238, -239, -240}\text{Pu}$ более 0,1 Ки/км², а также с более низкими плотностями загрязнения, на которых не обеспечивалось производство нормативно-чистой продукции. Они признавались радиационно опасными [6].

Около 47 тыс. га до настоящего времени оставались неиспользуемыми [5]. По мере естественного распада радионуклидов радиационная обстановка на них заметно улучшилась. В последние годы сельскохозяйственные организации Гомельской области проявляют интерес к вопросу возврата этих участков.

Внимание к цеолитам для использования на загрязненных радионуклидами землях объясняется высокой обменной емкостью катионов, что позволяет не только снижать кислотность почвы, но и поглощать загрязняющие вещества. Выраженную избирательность они проявляют к крупным катионам, среди которых ионы тяжелых металлов, включая Cs^+ и Sr^{2+} [10]. Благодаря этому свойству Sr^{2+} можно извлекать из растворов даже с низкой концентрацией. Кроме того, цеолиты проявляют способность понижать кислотность почвы [4, 5].

Использование этой особенности цеолитов заслуживает внимания при первичном известковании земель, исключаемых из числа радиационно опасных и возвращаемых в сельскохозяйственное производство после длительного нахождения в залежи.

Предпосылкой для использования данного минерала в Республике Беларусь является разработанность месторождения трепела «Стальное». Оно расположено в Хотимском районе Могилевской области. Цеолит данного месторождения содержит повышенное количество оксидов кальция и магния. Ранее широкого распространения этот минерал не получил по причине своего полимерного состава.

Для изучения динамики загрязнения почв и продукции (зеленой массы) в процессе применения известковых мелиорантов и проверки адекватности принятого решения о возврате послужил участок ОАО «Моисеевка» Октябрьского района (16,65 га), возвращенный в 2023 г. Исходные агрохимические и радиологические показатели почвы: кислотность почвы (рН) – 5,45, гумус – 3,88 %, содержание подвижных форм фосфора – 314 мг/кг, калия – 78 мг/кг, МАЭД на высоте 1 м – 0,08 мкЗв/ч, ^{137}Cs – 0,5 Ки/км², ^{90}Sr – 0,08 Ки/км², ^{238}Pu – менее 0,03 Бк/кг, $^{239,240}\text{Pu}$ – 0,12±0,03 Бк/кг. Код почвы расшифрован по данным почвенной карты как аллювиальные дерново-глееватые песчаные почвы на связнопесчаном аллювии.

В полевых условиях на делянках размером 3×4 м на трех вариантах в двукратной повторности были внесены:

1 вариант – $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ (без мелиорантов);

2 вариант – трепел (доза 10,7 т/га, или 1,071 кг/м²) на фоне $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$;

3 вариант – доломитовая мука (4,1 т/га, или 0,412 кг/м²) на фоне $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$.

Внесение известковых материалов проведено в ноябре по существующим посевам многолетних трав естественных сенокосов. Физическая доза и общее количество мелиорантов определялась по формуле 1 [3]:

$$D_{\text{ф}} = D_0 \times 10^6 : M : (100 - B) : (A1 + 0,7 \times A2 + 0,5 \times A3 + 0,2 \times A4), \quad (1)$$

где D_0 – расчетная доза CaCO_3 на картограмме кислотности, т/га; $D_{\text{ф}}$ – физический вес известкового материала, т/га; M – содержание кальция и магния в пересчете на CaCO_3 , % на сухое вещество;

V – влажность, %; A_1, A_2, A_3, A_4 – доля частиц менее 1 мм, 1–3 мм, 3–5 мм, более 5 мм соответственно, %; 0,7, 0,5, 0,2 – нейтрализующая способность частиц в сравнении с размером частиц менее 1 мм.

Содержание кальция и магния в трепеле учтено из расчета 37 %, доломитовой муке 96 %. Влажность мелиорантов – 4 %, состав фракций до 1 мм, 1–3 мм, 3–5 мм – в пропорции 80:10:10.

Отбор точечных почвенных проб осуществлен буром Малькова методом конверта 5 уколов по каждой диагонали. Из 10 точечных проб сформирован отдельный почвенный образец на делянку.

Отбор вегетативных образцов произведен на учетных площадках 1×1 м, выделенных случайно при помощи деревянной рамки. Учет выхода продукции с 1 га произведен весовым методом в полевых условиях. Время отбора растительных проб соответствовало периодам укосам многолетних злаковых трав.

Удельные активности объединенных почвенных образцов и зеленой массы многолетних трав по ^{137}Cs исследованы в лабораторных условиях на гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315. Данные об удельной активности ^{90}Sr не переучточнялись в связи с дороговизной исследования.

Для количественной оценки поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения рассчитывался коэффициент перехода ($K_{\text{п}}$) по формуле 2 [9]:

$$K_{\text{п}} = \frac{U_A}{\Pi}, \dots \dots \dots (2)$$

где U_A – удельная активность товарной продукции (при стандартной влажности), Бк/кг, Π – плотность радиоактивного загрязнения почвы, кБк/м².

Расчет плотности загрязнения почвы радионуклидом по формуле 3 [9]:

$$\Pi = A \cdot \rho \cdot h, \quad (3)$$

где Π – запас радионуклида в слое почвы, кБк/м²; A – удельная активность почвы, Бк/кг; ρ – плотность сложения почвы, т/м³; h – толщина слоя (0,2 м).

Основанием для возврата участка ОАО «Моисеевка» Октябрьского района Гомельской области в оборот стали результаты эколого-экономической оценки, выполненные авторами статьи в 2023 г.

По данным обследования Гомельской ОПИСХ (2022 г.) плотность загрязнения ^{137}Cs почв элементарных участков находится на уровне от 0,4–0,5 Ки/км², ^{90}Sr – 0,06–0,08 Ки/км². По прогнозу удельная активность ^{137}Cs в зелёной массе многолетних трав не превысит 15 Бк/кг, ^{90}Sr – 11 Бк/кг, при нормативных значениях 165 Бк/кг и 37 Бк/кг соответственно.

Допустимый уровень содержания ^{137}Cs в сене, используемом на корм скоту для производства молока цельного, составляет 1300 Бк/кг. Прогнозное максимальное значение удельной активности ^{137}Cs в сене из многолетних трав, выращенных на заявленных участках, составляет 74 Бк/кг.

Допустимый уровень содержания ^{90}Sr в сене составляет 260 Бк/кг. Прогнозное максимальное значение удельной активности ^{90}Sr в сене из многолетних трав, выращенных на заявленных участках, составляет 53 Бк/кг.

Согласно проведенной радиологической оценке, все элементарные участки пригодны для производства зелёной массы и сена многолетних трав, используемых на корм дойному стаду при получении молока цельного и мясному скоту на всех стадиях откорма.

На основании данных об удаленности участка и его техническом состоянии выполнена экспресс-оценка срока окупаемости мероприятий по освоению участка прогнозируемой прибылью от производства травяных кормов. Согласно ней при бонитете почв 15 баллов (плодородие естественных лугов Октябрьского района), удаленности от материально-технической базы около 20 км срок окупаемости затрат на первичное освоение участка без явных признаков технической неустроенности составит:

- при луговом использовании земель (зеленая масса, сено сенаж естественных лугов) – 2,4 года;
- при создании улучшенных кормовых угодий (зеленая масса, сено сенаж улучшенных лугов) – 2,9 года.

После возврата участка ОАО «Моисеевка» Октябрьского района Гомельской области площадью 16,65 га в сельскохозяйственный оборот на экспериментальных делянках в ноябре было проведено внесение мелиорантов и фосфорных удобрений (суперфосфат аммонизированный BelFert марка 9–30). В начале вегетации многолетних луговых трав – внесение калия хлористого гранулированного марка А, азотная подкормка (карбамидом 42N) – в начале мая.

Результаты измерений активности почвы и зеленой массы многолетних злаковых трав, отобранные на учетных площадках, и расчетные коэффициенты пропорциональности (перехода радионуклидов из почвы в продукцию) сведены в таблицу (см. далее).

Радиологические показатели почвы и кормового сырья (зеленая масса многолетних злаковых трав)

Варианты удобрений	Удельная активность ^{137}Cs			Удельная активность ^{90}Sr		
	почва, Бк/кг	многолетние травы, Бк/кг	Коэф. перехода (Кп), Бк/кг: кБк/м ²	почва, Бк/кг	многолетние травы, Бк/кг	Коэф. перехода (Кп), Бк/кг: кБк/м ²
1 укос (май) – выход продукции 79 ц/га						
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ (контроль)	1740	23,17	0,41	281	14,62	1,60
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ + трепел 10,7 т/га	1486	18,90	0,35	214	10,98	1,22
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ + доломитовая мука 4,1 т/га	1570	21,867	0,37	226	11,83	1,29
2 укос (июль) – выход продукции 65 ц/га						
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀	1740	25,43	0,45	281	14,69	1,60
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ + трепел 10,7 т/га	1486	20,52	0,38	214	10,80	1,20
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ + доломитовая мука 4,1 т/га	1570	24,231	0,41	226	11,46	1,25
Средний по двум укосам						
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀	1740	24,3	0,43	281	14,62	1,6
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ + трепел 10,7 т/га	1486	19,71	0,365	214	10,89	1,21
N ₆₀ P ₄₀ K ₈₀ + доломитовая мука 4,1 т/га	1570	23,049	0,39	226	11,645	1,27

Анализ радиологических показателей свидетельствует о следующем:

– загрязнение зеленой массы, полученной на контрольном участке, по активности ^{137}Cs колеблется в диапазоне 23–25 Бк/кг, ^{90}Sr – 14,6–14,7 Бк/кг, что соответствует критериям его отнесения к категории «использование с незначительными ограничениями» (менее 100 Бк/кг по ^{137}Cs и менее 50 Бк/кг по ^{90}Sr). Это дает возможность скармливания кормов с участка дойным коровам и крупному рогатому скоту на откорме. Следовательно, возврат участка по радиологическим критериям ОАО «Моисеевка» Октябрьского района Гомельской области площадью 16,65 га в сельскохозяйственный оборот был обоснованным;

– коэффициенты перехода радионуклидов в продукцию в вариантах с внесением трепела и доломитовой муки снизились в сравнении с вариантом без их применения. В случае применения трепела месторождения «Стальное» в среднем по двум укосам поступление ^{137}Cs в растения сократилось в 1,17 раза, ^{90}Sr – в 1,32 раза. В вариантах с применением доломитовой муки коэффициент перехода ^{137}Cs в зеленую массу многолетних злаковых трав оказались ниже в 1,10 раза, ^{90}Sr – в 1,26 раза;

– большее снижение перехода радионуклидов в растения наблюдалось во время первого укоса, когда продуктивность луга была выше в 1,2 раза.

Полученные результаты не противоречат закономерностям, полученным другими авторами.

Так, изучение свойств трепела месторождения «Стальное» в 2009–2010 гг. при плотности загрязнения пахотного слоя почвы ^{137}Cs – 14,5 Ки/км², содержание гумуса – 1,96 %, рН – 5,60 (РНИУП «Институт радиологии») установило снижение содержания ^{137}Cs в растениях многолетних злаковых трав [2]:

на дерново-подзолистой супесчаной почве – на 11 % при внесении трепела в дозе 15 т/га без минеральных удобрений, на 37 % – при внесении такой же дозы совместно с минеральными удобрениями в дозах N₆₀P₄₀K₈₀;

на торфяно-болотной почве – на 38% в сравнении с контролем при внесении только трепела в дозе 15 т/га, внесение совместно с N₆₀P₄₀K₈₀ привело к снижению показателей на 36 % [2].

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Могилевской области эффект по снижению перехода радионуклидов в зерна пшеницы яровой и овса в сравнении с доломитовой мукой сопоставим или превосходит его [9]. При этом прибавки урожая превышают аналогичные с использованием доломитовой муки: в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела – на 31,5 %, с половинной дозой – на 6,5 % [4].

Многолетние опыты, проведенные Центром химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский», зафиксировали снижение накопления ^{137}Cs в 1,2–3,4 раза в зависимости от культур и дозы внесения трепела месторождения «Хотынецкое» на фоне NPK [7]. Сорбционные свойства мелиорантов большей степени проявились в 4-й и последующие годы при возделывании овса на зерно, многолетних и однолетних трав на зеленую массу.

Заклучение

Обобщая полученный опыт применения трепела, можно сказать, что его применение более эффективно на землях, загрязненных ^{90}Sr , нежели ^{137}Cs . С точки зрения снижения поступления радионуклидов применение трепела в первый год внесения дает больший защитный эффект. Поэтому его можно рекомендовать для известкования при первичном освоении радиоактивно загрязненных земель. Для достижения более высоких результатов следует обеспечить высокую продуктивность луга путем уходовых мероприятий. Применение трепела наиболее обосновано на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах в зернотравяных и травяно-зерновых севооборотах.

Методика эколого-экономической оценки целесообразности возврата радиоактивных земель в сельскохозяйственное пользование подтвердила свою состоятельность на основе радиологических показателей, полученных в реальных производственных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. 35 лет после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: нац. доклад Респ. Беларусь / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 152 с.
2. Агеец, В. Ю. Агрономическая эффективность карбонатных трепелов месторождения «Стальное» / В. Ю. Агеец, М. И. Автушко, Е. Г. Сарасеко, Н. В. Стрельчик // Природные ресурсы (Межведомственный бюллетень). – 2006. – № 4. – С. 32–41.
3. Инструкции о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель: утв. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 января 2019 г. № 5. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 2007–2026. – URL: <https://mshp.gov.by/ru/protection-ru/view/instruktsija-o-porjadke-izvestkovanija-kislyx-pochv-selskoxozjajstvennyx-zemel-2162/> (дата обращения: 20.12.2025).
4. Лазаревич, С. С. Влияние трепела на урожайность и радиологическое качество продукции сельскохозяйственных культур / С. С. Лазаревич, А. В. Ермоленко, Ю. В. Шипилов, А. А. Мисючик // Вестник БГСХА. – 2011. – №2. – С. 70–75.
5. Мерзлова, О. А. Влияние цеолитсодержащего мелиоранта трепела на биологическую доступность радионуклидов растениям / О. А. Мерзлова, Т. П. Шапшеева, Т. Н. Агеева // Вестник БГСХА. – 2018. – №1. – С. 45–49.
6. Порядок отнесения земель к категории радиационно опасных, исключения земель из этой категории и перевода их в хозяйственное пользование: утв. Совет Министров Респ. Беларусь от 22.10.1992 № 641 (в редакции 02.12.1999 № 1883).
7. Прудников, П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах / П. В. Прудников. – Брянск: Изд-во ГУП «Клинцовская типография». – 2012. – 296 с.
8. Прудников, П. В. Влияние мелиорантов и минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы и урожаи сои / П. В. Прудников, Е. Н. Леянова // Агрэколагічныя аспекты устойчыга развіцця АПК: матэрыялы XVII Міжнароднага навуковага канферэнса, Брэст: Брэсцкі ГАУ, 2020. – 826 с.
9. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 142 с.
10. Kumari, S. Zeolites in wastewater treatment: A comprehensive review on scientometric analysis, adsorption mechanisms, and future prospects (англ.) / Sheetal, K., J. Chowdhry, M. Kumar, M. Garg. // Environmental Research. – 2024. – Vol. 260, №11. – P. 119782.