

УДК 504.61:351.78:614.8

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
УДОБРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Шапшеева Т.П.¹, Агеева Т.Н.², Щур А.В.²

¹-Могилевский государственный университет продовольствия, Беларусь

²-Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь

Keywords: contamination, bioavailability, conversion factors, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, nanopreparations "Nanoplant" biologic agent Baikal EM-1, meliorant trepel.

Summary: in the field of vegetation and experiments to study the effect nanopreparations "Nanoplant" biologically active drug Baikal EM-1 and underutilized Melio-welt tripoli on intake of radionuclides from soil to plants on the territory of radioac-tive contamination. A decrease of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr transfer factors to grain crops and increase their productivity.

В Республики Беларусь в следствие катастрофы на Чернобыльской АЭС около 23% территории было загрязнено долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs с плотностью более 37 кБк/м² и одновременно около 10% ^{90}Sr с плотностью более 5,7 кБк/м². В связи с естественным распадом радионуклидов количество земель, загрязненных ^{137}Cs в настоящее время снизилось до 13,4 %, ^{90}Sr – до 6%. Однако в сельскохозяйственном использовании находится более 900 тыс. га земель, загрязненных ^{137}Cs , и около 300 тыс. га – загрязненных ^{90}Sr . Данные радионуклиды еще длительное время будут определять радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и уровни дозовых нагрузок населения.

За послеаварийный период произошло существенное снижение биологической доступности ^{137}Cs вследствие его фиксации почвенным поглощающим комплексом и уменьшения водорастворимых и обменных форм в почве, что способствовало снижению уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции. Параметры перехода ^{90}Sr в растения наиболее интенсивно снижались сразу после аварийных выпадений, в дальнейшем они стабилизировались. В настоящее время в связи с высокой подвижностью ^{90}Sr в почве (50 % и более находится в обменной форме) переход его в сельскохозяйственные культуры существенно выше по сравнению с ^{137}Cs [1-2].

Биологическая доступность радионуклидов зависит от множества факторов, среди которых выделяют 4 основные группы: физико-химические свойства радионуклидов, свойства и плодородие почв, биологические особенности культурных растений и агротехнологии их возделывания [2-3]. Применение средств химизации (фосфорных и калийных удобрений, известковых мелиорантов, микроудобрений и т. д.) является наиболее эффективным способом снижения поступления радионуклидов из почвы в растения.

Наряду с традиционными агрохимическими макро и - микроудобрениями в растениеводстве находят применение нетрадиционные, мало используемые полифункциональные биологически активные вещества, направленные на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур. Изучение влияния таких веществ на переход радионуклидов из почвы в растения и качество продукции на территории радиоактивного загрязнения является весьма актуальным.

В полевых и вегетационных экспериментах изучалось применение нанопрепарата «Наноплант», биологически активного препарата Байкал ЭМ-1 и малоиспользуемого цеолитсодержащего мелиоранта трепела при возделывании сельскохозяйственных культур на почвах, различающихся гранулометрическим составом, агрохимическими показателями и плотностью радиоактивного загрязнения.

Препарат «Наноплант» представляет собой коллоидный раствор, изготовленный на основе наночастиц нерастворимых соединений микроэлементов Co, Mn, Cu, Fe. Наночастицы микроэлементов имеют размеры менее 100 нм. Контроль размера наночастиц осуществляется лазерным измерителем Zetasizer Nano ZS. Для стабилизации коллоидного раствора наночастиц используются высокомолекулярные соединения модифицированных полисахаридов [4].

Биологически активный препарат Байкал ЭМ-1 – это микробиологический препарат созданный на базе микрофлоры байкальской экосистемы, позволяющий регулировать макрофлору почвы. Препараты на основе микроорганизмов оказывают стимулирующее влияние на рост и развитие растений, улучшают их минеральное

питание, подавляют развитие ряда болезней и способствуют улучшению плодородия почв [5].

Трепелы месторождения «Стальное» (Хотимский район Могилевской области) представляют собой сложное полиминеральные образования, состоящее из пяти минеральных фаз: рентгеноаморфного опала, опал-кристобалита, цеолитов, кальцита и глинистых минералов. Трепел – рыхлая или слабо сцементированная, тонкопористая опаловая осадочная порода. Состоит из мелких сферических опаловых телец (глобул) размером 0,01 – 0,001 мм, с примесью глинистых минералов глауконита, кварца, полевых шпатов [6, 7]. Преобладающими химическими соединениями, входящими в состав трепела являются SiO_2 (56,31-61,87%), CaO (12,56-18,41%), Al_2O_3 (5,16-6,10%), Fe_2O_3 (1,68-2,30%). Соединения остальных выявленных химических элементов находятся в количествах, не превышающих 2,0%.

Влияние нанопрепарата «Наноплант» на поступление радионуклидов в зерно гороха и его урожайность изучалось в вегетационном эксперименте на высоко окультуренной дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (pH_{KCl} 6,27, содержание P_2O_5 401 мг/кг почвы, K_2O – 349 мг/кг, гумуса – 2,74%) с плотностью загрязнения ^{137}Cs – 688,2 кБк/м² (18,6 Ки/км²), ^{90}Sr – 14,8 кБк/м² (0,4 Ки/км²).

Результаты исследований показали, что удельная активность ^{137}Cs в зерне гороха варьировала от 52 Бк/кг до 89 Бк/кг и не превышала Республиканский допустимый уровень (РДУ-99) на продовольственное зерно – 90 Бк/кг. Установлено, что при замачивании семян и обработке вегетирующих растений наноплантом происходило снижение перехода ^{137}Cs в зерно гороха. Так, значение коэффициента перехода (Кп) в варианте без применения препарата составило 0,077 Бк/кг:кБк/м², в варианте с применением – 0,069 Бк/кг:кБк/м². Однако статистически не было доказано преимущество внесения Нанопланта.

Удельная активность ^{90}Sr в зерне гороха колебалась от 22,9 Бк/кг до 48,4 Бк/кг (при РДУ-99 – 11 Бк/кг) и была минимальной в вариантах с применением нанопрепарата «Наноплант». Установлено снижение перехода ^{90}Sr из почвы в продукцию гороха посевного. Коэффициент перехода (Кп) в зерно гороха в варианте без применения препарата составил 4,11 Бк/кг:кБк/м², в варианте с применением Нанопланта – 2,04 Бк/кг:кБк/м².

Обработка нанопрепаратом «Наноплант» вегетирующих растений способствовала повышению урожайности зерна гороха. При этом прибавка урожая составила 3,7-4,0 ц/га по сравнению с вариантом, где использовались микроэлементы по базовой технологии. При использовании Нанопланта в варианте с замачиванием семян прибавка оказалась ниже и составила только 1,4 ц/га.

Таким образом, результаты проведенного вегетационного эксперимента указывают на перспективность применения нанопрепарата «Наноплант» при выращивании гороха посевного в условиях радиоактивного загрязнения.

Влияние биологически активного препарата Байкал ЭМ-1 на переход радионуклидов из почвы в зерно овса и его урожайность изучали в условиях полевого эксперимента на дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения ^{137}Cs – 270-426 кБк/м² (7,3-11,5 Ки/км²), ^{90}Sr – 6,0-9,3 кБк/м² (0,16-0,25-Ки/км²). Содержание гумуса в пахотном горизонте колебалось от 2,1 до 2,3%, pH_{KCl} в среднем составило 6,05, содержание подвижных форм фосфора – 210 мг/кг почвы, подвижных форм калия K_2O – 242 мг/кг.

Схема опыта включала предпосевную обработку семян и обработку вегетирующих растений. Обработка почв, внесение удобрений и возделывание

культуры проводилось в соответствии с действующими отраслевыми регламентами и нормативами.

По результатам исследований установлено, что удельная активность ^{137}Cs в зерне овса колебалась от 14,5 до 28,6 Бк/кг и была наиболее высокой в контроле. При всех обработках препаратом Байкал ЭМ-1 наблюдалось достоверное снижение перехода ^{137}Cs из почвы в зерно овса по сравнению с вариантом без обработок (таблица 1). Наиболее низкие коэффициенты перехода (0,047 и 0,044 Бк/кг:кБк/м²) отмечались при комплексной обработке семян и вегетирующих растений.

Таблица 1. Коэффициенты перехода (Кп) ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в зерно овса (при влажности 14%) при применении препарата Байкал ЭМ-1

Вариант опыта	Кп, Бк/кг:кБк/м ²	
	^{137}Cs	^{90}Sr
1. Контроль (без обработок)	0,080	0,73
2. Предпосевная обработка семян	0,056	0,68
3. Предпосевная обработка семян + двукратная обработка вегетирующих растений	0,047	0,42
4. Предпосевная обработка семян + трехкратная обработка вегетирующих растений	0,044	0,36

Содержание ^{90}Sr в зерне овса было ниже РДУ-99 и колебалось от 4,1 до 3,3 Бк/кг. Наиболее высокие Кп отмечались в контроле – в среднем 0,73 Бк/кг:кБк/м². При использовании препарата Байкал ЭМ-1 почти во всех случаях наблюдалось достоверное снижение коэффициентов перехода ^{90}Sr в зерно овса, за исключением варианта, где применялась только предпосевная обработка семян.

Отмечено также положительное влияние биологически активного препарата Байкал ЭМ-1 на урожайность зерна овса. Так, прибавка урожая при предпосевной обработке семян составила в 0,9 ц/га, при обработке семян и двукратной обработке вегетирующих растений – 1,8 ц/га, при обработке семян и трехкратной обработке вегетирующих растений – 2,4 ц/га.

Таким образом, результаты исследований показали, что препарат Байкал ЭМ-1 эффективно воздействует на снижение перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерно овса, повышает его урожайность и может быть рекомендован к использованию на территории радиоактивного загрязнения.

Влияние цеолитсодержащего мелиоранта трепела на переход радионуклидов из почвы в растения изучали в условиях полевого эксперимента на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве со следующими агрохимическими и радиологическими показателями: содержание гумуса – 1,85 %, обменная кислотность рН(КСl) – 5,85, содержание подвижных форм фосфора – 142 мг/кг почвы, подвижных форм калия – 226 мг/кг почвы, средняя плотность загрязнения ^{137}Cs – 660,8 кБк/м² (17,8 Ки/км²), ^{90}Sr – 7,03 кБк/м² (0,19 Ки/км²). Объектами исследований являлись растения овса, яровой пшеницы, люпина узколистного.

Схема полевого опыта предусматривала внесение трепела и доломитовой муки в дозах, рассчитанных для полной нейтрализации избыточной кислотности почвы, согласно действующей в Республике Беларусь Инструкции о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель, и вариант с половинной дозой трепела.

Удельная активность ^{137}Cs в зерне пшеницы яровой за 3 года исследований, варьировала от 2,9 Бк/кг до 13 Бк/кг и в среднем составила 5,5 Бк/кг. В зерне овса изменялась от 4,7 Бк/кг до 12,7 Бк/кг (среднее значение - 8,8 Бк/кг). Содержание ^{137}Cs

в зерне яровой пшеницы и овса характеризовалось низкими значениями и соответствовало РДУ-99 в продовольственном зерне – 90 Бк/кг.

Удельная активность ^{137}Cs в зерне люпина узколистного была значительно выше, чем в зерне яровой пшеницы и овса и в среднем составляла 211,1 Бк/кг. Максимальная удельная активность зерна была равна 254,3 Бк/кг, минимальная – 183,7 Бк/кг. Следует отметить, что удельная активность зерна люпина узколистного была высокой во все годы исследований и превышала допустимые уровни содержания ^{137}Cs в зерне на фураж для получения цельного молока (150 Бк/кг).

Результаты опыта показали, что на посевах пшеницы яровой и овса, в связи с относительно высокими исходными значениями $p\text{H}_{\text{КС}}$, влияние известковых мелиорантов, как доломитовой муки, так и трепела, на переход ^{137}Cs из почвы в зерно было слабым. Однако, и в этих условиях, прослеживалась четкая тенденция снижения поступления ^{137}Cs из почвы в зерно яровой пшеницы при применении трепела. Так в среднем за три года при применении трепела в полной дозе, в сравнении с доломитовой мукой, значение K_p было ниже на 25%; причем в 2015 году данное снижение было статистически доказано. В среднем за три года исследований применение трепела, как в полной, так и половинчатой дозах, приводило к незначительному снижению K_p по отношению к варианту с внесением доломитовой муки (таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в зерно (при влажности 14%) при применении различных мелиорантов (K_p , Бк/кг:кБк/м²)

Варианты удобрений	Культура					
	пшеница яровая		овес		люпин узколистный	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Контроль (без мелиорантов и удобрений)	0,012	1,38	0,019	1,28	0,559	6,49
НРК+дол. мука	0,012	1,19	0,018	1,27	0,502	6,11
НРК+трепел (полная доза)	0,009	1,01	0,017	1,19	0,483	5,22
НРК+трепел (0,5 дозы)	0,010	1,21	0,018	1,23	0,543	6,21

Внесение трепела при возделывании овса снижало поступление ^{137}Cs в зерно на 5,6% в сравнении с доломитовой мукой. Наименьший показатель K_p в трёхлетних исследованиях наблюдался в варианте с применением цеолитсодержащего мелиоранта в полной дозе и был равен 0,017 Бк/кг: кБк/м². Как и в случае с яровой пшеницей, более четкая тенденция снижения поступления ^{137}Cs из почвы в зерно овса прослеживалась при применении трепела.

При возделывании люпина узколистного также наблюдалась тенденция к снижению перехода ^{137}Cs при применении цеолитсодержащего мелиоранта в полной дозе в сравнении с доломитовой мукой, но это снижение не превышало наименьшую существенную разницу.

В результате проведения полевых экспериментов установлено, что удельная активность ^{90}Sr в зерне пшеницы яровой за трёхлетний период исследований варьировала от 3,1 Бк/кг до 6,7 Бк/кг. Среднее значение составило 5,5 Бк/кг. Удельная активность зерна овса, за трёхлетний период исследований, колебалась от 3,6 Бк/кг до 9,5 Бк/кг, при среднем значении 6,2 Бк/кг. В течение всего периода исследований

содержание ^{90}Sr в зерне яровой пшеницы и овса не превышало РДУ-99 для продовольственного зерна (11 Бк/кг).

Удельная активность ^{90}Sr в зерне люпина узколистного была значительно выше в сравнении с предыдущими культурами. Максимальная удельная активность составила 31,8 Бк/кг, минимальная - 21,8 Бк/кг, средняя - 25,8 Бк/кг.

Результаты проведенного эксперимента показали, что внесение трепела в полной дозе на фоне минеральных удобрений снижало переход ^{90}Sr в зерно яровой пшеницы, как в сравнении с фоном, так и с внесением доломитовой муки. Так, значение коэффициента перехода (Кп) на контроле, без внесения минеральных удобрений и мелиорантов, составило 1,38 Бк/кг:кБк/м², в варианте с внесением полной дозы трепела – 1,01 Бк/кг:кБк/м², с внесением доломитовой муки – 1,19 Бк/кг:кБк/м².

Переход ^{90}Sr в зерно овса при внесении трепела в полной дозе уменьшился на 7,03% (до 1,19 Бк/кг : кБк/м²) в сравнении с контролем, в то время как известкование доломитовой мукой практически не снижало Кп (менее 1%). Внесение трепела в полной дозе снижало переход ^{90}Sr в зерно люпина на 19,6% (до 5,22 Бк/кг:кБк/м²) в сравнении с контролем, а известкование доломитовой муки - на 5,9% (до 6,11 Бк/кг:кБк/м²).

Известкование также является одним из приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. В опыте при возделывании яровой пшеницы от внесения минеральных удобрений получена достоверная прибавка урожая, в то время как при внесении мелиорантов она статистически не была подтверждена. Средняя за три года исследований минимальная урожайность яровой пшеницы составила 12,9 ц/га на контроле, максимальная - 29,3 ц/га в варианте с внесением трепела в полной дозе на фоне минеральных удобрений. Средняя урожайность овса за три года была минимальна на контроле (19,4 ц/га), и максимальна при внесении цеолитсодержащего мелиоранта на фоне минеральных удобрений (37,8 ц/га). Этот показатель при внесении доломитовой муки был равен 34,9 ц/га, что меньше на 8% (2,9 ц/га), чем при применении трепела. Урожайность зерна люпина узколистного варьировала от 10,6 ц/га до 16,4 ц/га. В условиях проведения опыта не было зафиксировано достоверного увеличения урожайности зерна как при внесении трепела, так и доломитовой муки.

Таким образом, на основе результатов полевых экспериментов установлено, что применение цеолитсодержащего мелиоранта (трепела) не менее эффективно, чем доломитовой муки и исследуемый мелиорант можно рекомендовать в качестве защитной меры при возделывании сельскохозяйственных культур на загрязненных радионуклидами землях.

Литературы

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы/ Департамент по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [подготовили: Н. Н. Цыбулько и др.]. – Минск: Институт радиологии, 2012. – 121 с.

2. Путятин, Ю.В. Минимизация поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию/ Ю.В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.

3. Лозовая, З.В. Агрохимические свойства и гранулометрический состав почв как факторы, влияющие на поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения на минеральных почвах / З.В. Лозовая, В.Ю. Агеец // Земляробства і ахова раслін. – Мн., 2009. – № 6. – С. 45–47.

4. Нанотехнологии и наноматериалы в агропромышленном комплексе: науч. издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 312 с.

5. Щур, А.В. Изменение состава микробоценоза почвы под действием препарата Байкал ЭМ-1 / А.В. Щур, Г.А. Чернуха, Н.С. Чернуха, О.В. Валько // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. Промышленность. Прикладные науки. – 2006. №9. – С. 154-157.

6. Стрельчик, Н.В. Особенности вещественного состава и формирования верхнемеловых карбонатных силицитов месторождения Стальное на востоке Беларуси /Н.В. Стрельник // Літасфера. – Мн., 2004. – №1(20). – С. 69-76.

7. 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). – Мн., 2006. – № 4. – С. 32-41.