

## ВЛИЯНИЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕГО МЕЛИОРАНТА ТРЕПЕЛА НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ДОСТУПНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМ

**О. А. МЕРЗЛОВА**

*Могилевский региональный центр ГНУ «НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь»  
г. Могилев, Республика Беларусь, 212011, e-mail: O-Merzlova@yandex.ru*

**Т. П. ШАПШЕЕВА**

*ГУ «Могилевский государственный университет продовольствия»  
г. Могилев, Республика Беларусь, 212011, e-mail: agronom51@yandex.ru*

**Т. Н. АГЕЕВА**

*ГУВПО «Белорусско-Российский университет»,  
г. Могилев, Республика Беларусь, 212000, e-mail: ageeva.tam@yandex.by*

(Поступила в редакцию 19.01.2018)

Загрязнение сельскохозяйственных земель  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  – одно из наиболее тяжелых последствий чернобыльской катастрофы. Применение минеральных удобрений и известковых мелиорантов является эффективным способом снижения поступления радионуклидов из почвы в растения. В качестве известкового материала наиболее широко используется доломитовая мука. Однако в последнее время обсуждается возможность использования иных мелиорантов, более дешевых, экономически и технологически целесообразных. К ним можно отнести цеолитсодержащую осадочную породу – трепел, одно из месторождений которого – «Стальное» – расположено в Хотимском районе Могилевской области. В статье представлены данные о его влиянии на поступление радионуклидов из почвы в растения на территории радиоактивного загрязнения в условиях полевого эксперимента. Трехлетнее возделывание пшеницы яровой, овса и люпина узколистного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с внесением трепела в полной и половинной дозах выявило тенденцию снижения перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в зерно исследуемых культур. В сравнении с доломитовой мукой прослеживалось более значительное снижение коэффициентов перехода при применении трепела в полной дозе. Однако это снижение не всегда превышало наименьшую существенную разницу. Внесение трепела позволило также снизить кислотность почвы (до pH 7,0), обогатить ее обменным кальцием и магнием и повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Цеолитсодержащий мелиорант трепел может быть рекомендован в качестве защитной меры при возделывании сельскохозяйственных культур на загрязненных радионуклидами землях.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение, биологическая доступность, коэффициенты перехода,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , мелиорант трепел, урожайность.

*Pollution of agricultural land with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  is one of the most serious consequences of the Chernobyl disaster. The use of mineral fertilizers and lime ameliorants is an effective way to reduce the intake of radio-nuclides from the soil into plants. As a calcareous material the most widely used is dolomite flour. However, recently the possibility of using other ameliorants, cheaper, economically and technologically expedient, is being discussed. They include a zeolite-containing sedimentary rock – tripolite, one of the deposits of which – "Stalnoe" – is located in the Khotimsk district of Mogilev region. The article presents data on its influence on the intake of radio-nuclides from the soil into plants on the territory of radioactive contamination under field experiment conditions. Three-year cultivation of spring wheat, oats and narrow-leaved lupine on sward-podzolic light loamy soil with the application of tripolite in full and half doses revealed a tendency to reduce the transition of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  into the grain of the studied crops. In comparison with dolomite flour, a more significant decrease in the transition rates was observed with the use of tripolite in a full dose. However, this decrease did not always exceed the smallest significant difference. The application of tripolite also made it possible to reduce the acidity of the soil (up to a pH of 7.0), enrich it with exchangeable calcium and magnesium, and increase crop yields. Zeolite-containing tripolite ameliorant can be recommended as a protective measure in the cultivation of crops on radionuclide-contaminated lands.*

**Key words:** radioactive contamination, bioavailability, transition coefficients,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , tripolite ameliorant, yield.

### Введение

В Республики Беларусь вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС около 23 % территории было загрязнено долгоживущими радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью более 37 кБк/м<sup>2</sup> и одновременно около 10 %  $^{90}\text{Sr}$  с плотностью более 5,7 кБк/м<sup>2</sup>. Данные радионуклиды длительное время определяют и будут определять радиоактивное загрязнение сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и уровни дозовых нагрузок населения.

За прошедший после аварии период радиационная обстановка на сельскохозяйственных землях значительно улучшилась. Естественный распад радионуклидов обусловил снижение их концентрации в почве и уменьшение количества загрязненных площадей. Тем не менее в сельскохозяйственном использовании еще находится более 940 тыс. гектаров земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$ , и около 360 тыс. гектаров – загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  [1].



Произошло также существенное снижение биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  вследствие его фиксации почвенным поглощающим комплексом и уменьшения водорастворимых и обменных форм в почве, что способствовало снижению уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции [2, 3]. Наиболее часто в качестве параметров биологической доступности используется коэффициент перехода ( $K_p$ ) радионуклида из почвы в растение, а также отношение форм нахождения радионуклида к его общему количеству в почве.

Параметры перехода  $^{90}\text{Sr}$  в растения наиболее интенсивно снижались сразу после аварийных выпадений, в дальнейшем они стабилизировались. В настоящее время в связи с сохраняющейся высокой мобильностью  $^{90}\text{Sr}$  в почве (50 % и более находится в обменной форме), переход его в сельскохозяйственные культуры существенно выше по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$  [3, 4, 5].

Биологическая доступность радионуклидов зависит от множества факторов, среди которых выделяют 4 основные группы: физико-химические свойства радионуклидов, минералогический и гранулометрический состав почв и их плодородие, биологические особенности культурных растений и агротехнологии их возделывания [4, 5, 6]. Применение средств химизации (фосфорных и калийных удобрений, известковых мелиорантов, микроудобрений и т. д.) является наиболее эффективным способом снижения поступления радионуклидов из почвы в растения.

Многочисленными исследованиями установлена связь между коэффициентами перехода радионуклидов из почвы в растения и реакцией почвенной среды. Максимальная подвижность радионуклидов наблюдается на кислых почвах. Поэтому систематическое известкование кислых почв является одной из основных контрмер, направленных на снижение поступления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию растениеводства [2, 5]. В зависимости от типа почв и степени их кислотности данный прием позволяет снижать поступления радионуклидов в урожай сельскохозяйственных культур в 1,5–3 раза [7, 8, 9].

В настоящее время в качестве известкового мелиоранта в Республике Беларусь используется, преимущественно, доломитовая мука. Однако в научной литературе обсуждается возможность использования при слабокислой реакции почвенной среды иных материалов, более дешевых, экономически и технологически целесообразных, обладающих, по возможности, комплексными свойствами. Одним из таких мелиорантов может оказаться трепел.

В Хотимском районе Могилевской области находятся большие природные залежи цеолитсодержащего минерала трепела (месторождение «Стальное»). Трепелы данного месторождения 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 [10, 11]. Преобладающими химическими соединениями, входящими в состав трепела, являются  $\text{SiO}_2$  (56,31–61,87 %),  $\text{CaO}$  (12,56–18,41 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5,16–6,10 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,68–2,30 %). Соединения остальных выявленных химических элементов находятся в количествах, не превышающих 2,0 %. Повышенная карбонатность трепелов белорусских месторождений является важнейшим агрономическим фактором, позволяющим использовать их как известковый мелиорант.

Ранее полученные в условиях вегетационного эксперимента данные показали более значительное влияние трепела по сравнению с доломитовой мукой на агрохимические показатели почвы (повышает содержание обменного кальция и подвижных форм калия, снижает кислотность почвенной среды). Поэтому **целью работы** стало изучение влияния цеолитсодержащего мелиоранта трепела на переход радионуклидов из почвы в растения и качество продукции на территории радиоактивного загрязнения.

### Основная часть

Исследования проводились в 2014–2016 гг. на стационарных полевых опытных площадках Могилевского филиала РНИУП «Институт радиологии», расположенных на территории СПК «Дуброва» Костюковичского района Могилевской области.

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 пахотного слоя (0–25 см): содержание гумуса – 1,85 %, обменная кислотность  $\text{pH}_{(\text{KCl})}$  – 5,85, содержание подвижных форм фосфора – 142 мг/кг почвы, подвижных форм калия – 226 мг/кг почвы, средняя плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  – 660,8 кБк/м<sup>2</sup> (17,8 Ки/км<sup>2</sup>),  $^{90}\text{Sr}$  – 7,03 кБк/м<sup>2</sup> (0,19 Ки/км<sup>2</sup>). Объектами исследований являлись зерновые культуры овса, яровой пшеницы, люпина узколистного.

Схема полевого опыта предусматривала внесение трепела месторождения «Стальное» и долами-

товой муки в дозах, рассчитанных для полной нейтрализации избыточной кислотности почвы, согласно действующей в Республике Беларусь Инструкции о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель [12], и вариант с половинной дозой трепела.

Размер контрольных и опытных делянок составлял  $1 \times 4 = 4 \text{ м}^2$ , учетная площадь  $4 \text{ м}^2$ . Между делянками размещались защитные полосы шириной 0,5 м. Повторность опыта трехкратная. Размещение делянок – полная рендомизация. Дозы минеральных удобрений для овса и яровой пшеницы составляли  $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ , для люпина узколистного –  $\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ . Способ сева, нормы высева и уход за посевами осуществлялись согласно технологическим регламентам возделывания исследуемых культур. Отбор проб почвы и зерна с учетных делянок проводили в соответствии со стандартами методиками [13, 14].

Радиологические и агрохимические исследования образцов выполнялись в лаборатории массовых анализов РНИУП «Институт радиологии».

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почвенных и растительных образцах определялась на гамма-спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard» и гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 с погрешностью не более 30 %. Радиохимическое выделение  $^{90}\text{Sr}$  осуществлялось по МВИ. МН 1932-2003 «Методика радиохимического определения УА  $^{90}\text{Sr}$  в почвах без разделения в системе стронций-кальций» с погрешностью не более 20 %. Содержание гумуса определено по методу Тюрина, подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – по Кирсанову. Определение  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  проводилось по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85). Для оценки поступления радионуклидов из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (Кп) – отношение удельной активности радионуклида в растениях (зерне) к плотности загрязнения почвы на единицу площади ( $\text{Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$ ) [15]. Полученные данные статистически обработаны. Систематическое и интенсивное известкование кислых почв на территории радиоактивного загрязнения позволили значительно улучшить реакцию почвенной среды и сократить до минимума долю кислых и сильно кислых почв ( $\text{с pH} < 5,0$ ). В связи с этим при проведении полевого опыта использовался участок с достаточно высокими исходными значениями  $\text{pH}_{\text{KCl}} - 5,85$ . Однако и при таких условиях, результаты трехлетних исследований (2014–2016 гг.) доказали влияние внесения цеолитсодержащего мелиоранта трепела на снижение перехода радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{S}$ ) в зерно исследуемых культур. По результатам эксперимента удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в зерне пшеницы яровой в течение 3 лет 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  $^{137}\text{Cs}$  в зерне яровой пшеницы и овса характеризовалось низкими значениями и соответствовало РДУ-99 в продовольственном зерне – 90 Бк/кг.

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в зерне люпина узколистного оказалась значительно выше, чем в зерне яровой пшеницы и овса. В среднем она составила 211,1 Бк/кг, максимальная и минимальная величина 254,3 Бк/кг и 183,7 Бк/кг соответственно. Следует отметить, что удельная активность зерна люпина узколистного была высокой во все годы исследований и превышала допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зерне на фураж, предназначенный для дойных коров (150 Бк/кг). Это в очередной раз подтвердило способность зерна люпина к более высокому накоплению радионуклидов относительно зерновых культур.

Влияние известковых мелиорантов, как доломитовой муки, так и трепела, на переход  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в зерно пшеницы яровой и овса оказалось слабым. Это могло быть связано с относительно высокими исходными значениями  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ . Однако и в этих условиях прослеживалась четкая тенденция снижения поступления  $^{137}\text{Cs}$  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 коэффициентов перехода (Кп) было ниже на 25 %; причем в 2015 г. данное снижение было статистически доказано. В среднем же за три года исследований применение трепела как в полной, так и половинчатой дозах, приводило к незначительному снижению Кп по отношению к варианту с внесением доломитовой мукой (табл. 1).

Внесение трепела при возделывании овса снижало переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерно на 5,6 % в сравнении с внесением доломитовой муки. Наименьший показатель Кп в трёхлетних исследованиях наблюдался в варианте с применением цеолитсодержащего мелиоранта в полной дозе и был равен 0,017 Бк/кг:  $\text{кБк/м}^2$ . Как и в случае с яровой пшеницей, более четкая тенденция снижения поступления  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в зерно овса прослеживалась при применении трепела. При возделывании люпина узколистного также наблюдалась тенденция к снижению перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерно при применении трепела в полной дозе в сравнении с доломитовой мукой, но это снижение не превышало наименьшую существенную разницу.

Таким образом, при возделывании всех трех сельскохозяйственных культур наблюдалась более

высокая тенденция снижения перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерно при применении цеолитсодержащего минерала трепела в полной дозе.

Таблица 1. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне (Бк/кг) и коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>) из почвы в зерно (при влажности 14 %) при применении различных мелиорантов (в среднем за три года)

Варианты удобрений	Культура					
	пшеница яровая		Овес		люпин узколистный	
	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп
Контроль (без мелиорантов и удобрений)	8,4	0,012	9,9	0,019	217,6	0,559
НРК+доломитовая мука	5,3	0,012	8,4	0,018	209,2	0,502
НРК+трепел (полная доза)	4,5	0,009	8,1	0,017	200,9	0,483
НРК+трепел (0,5 дозы)	4,2	0,010	9,0	0,018	206,7	0,543

В результате проведения полевых экспериментов также установлено, что удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Sr}$  в зерне яровой пшеницы и овса не превышало РДУ-99 для продовольственного зерна (11 Бк/кг). Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  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.

Известкование способствует снижению поступления  $^{90}\text{Sr}$  в растения, главным образом, вследствие повышения антагонизма между  $^{90}\text{Sr}$  и кальцием. Результаты проведенного эксперимента показали, что внесение трепела в полной дозе на фоне минеральных удобрений снижало переход  $^{90}\text{Sr}$  в зерно яровой пшеницы как в сравнении с фоном, так и с внесением доломитовой муки (табл. 2). Так, значение коэффициента перехода (Кп) на контроле, без внесения минеральных удобрений и мелиорантов, составило 1,38 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>, в варианте с внесением полной дозы трепела – 1,01 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>, с внесением доломитовой муки – 1,19 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>.

Переход  $^{90}\text{Sr}$  в зерно овса при внесении трепела в полной дозе уменьшился на 7,03 % (до 1,19 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>) в сравнении с контролем, в то время как известкование доломитовой мукой практически не снижало Кп (менее 1 %). Результаты корреляционно-регрессионного анализа статистически подтвердили влияние цеолитсодержащего мелиоранта на переход  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения пшеницы яровой ( $R^2=0,73$ ) и овса ( $R^2=0,5$ ). Внесение трепела в полной дозе снижало переход  $^{90}\text{Sr}$  в зерно люпина на 19,6 % (до 5,22 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>) в сравнении с контролем, в то время как известкование доломитовой муки – на 5,9 % (до 6,11 Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>). Однако достоверно влияние трепела на переход данного радионуклида в зерно люпина узколистного по сравнению с доломитовой мукой не было доказано.

Таблица 2. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в зерне (Бк/кг) и коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>) из почвы в зерно (при влажности 14 %) при применении различных мелиорантов (в среднем за три года)

Варианты удобрений	Культура					
	пшеница яровая		Овес		люпин узколистный	
	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп	Бк/кг	Кп
Контроль (без мелиорантов и удобрений)	6,3	1,38	6,3	1,28	27,5	6,49
НРК+доломитовая мука	5,4	1,19	6,1	1,27	28,2	6,11
НРК+трепел (полная доза)	5,4	1,01	6,3	1,19	22,1	5,22
НРК+трепел (0,5 дозы)	5,6	1,21	6,0	1,23	25,3	6,21

Таким образом, внесение трепела в полной дозе на фоне минеральных удобрений снижало биологическую доступность  $^{90}\text{Sr}$  растениям. Коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зерно всех трех культур оказались ниже по сравнению с контролем и с вариантами, где использовалась доломитовая мука. Внесение трепела в половинной дозе также снижало переход, но это снижение было недостаточно выраженным. Известкование также является одним из приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. Избыточная кислотность зачастую является фактором, лимитирующим нормальный рост и развитие растений. Известкование оказывает комплексное положительное действие на почву и растения: обогащает почвы обменным кальцием и, особенно, магнием, улучшая условия роста и развития растений. 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 (вариант 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 в полной дозе 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.

Под влиянием внесения в почву цеолитсодержащего мелиоранта также произошло изменение ее химического состава. Внесение трепела существенно повлияло на кислотность почвы, которая в конце вегетационного периода достигла величины рН – 7,0. Содержание СаО на опытных делянках возросло до 622–630 мг/кг, тогда как в контроле осталось прежнее – 583 мг/кг. Достоверных различий по содержанию в почве гумуса между вариантами с внесением трепела и без внесения трепела отмечено не было. Увеличение количества подвижных форм Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> и К<sub>2</sub>О произошло под влиянием минеральных удобрений, что не позволило выделить влияние трепела.

### Закключение

Таким образом, установлено снижение биологической доступности долгоживущих радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr растениям в присутствии цеолитсодержащего мелиоранта трепела. Проведенные на территории радиоактивного загрязнения полевые эксперименты показали, что применение мелиоранта трепела не менее эффективно, чем применение доломитовой муки.

Трехлетнее возделывание пшеницы яровой, овса и люпина узколистного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с внесением трепела в полной и половинной дозах выявило тенденцию снижения перехода <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в зерно исследуемых культур. В сравнении с доломитовой мукой прослеживалось более значительное снижение коэффициентов перехода при применении мелиоранта трепела в полной дозе. Однако это снижение не всегда превышало наименьшую существенную разницу. Внесение трепела позволило также снизить кислотность почвы (до рН 7,0), обогатить ее обменным кальцием и магнием и повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Цеолитсодержащий мелиорант трепел может быть рекомендован в качестве защитной меры при возделывании сельскохозяйственных культур на загрязненных радионуклидами дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в дозах, рассчитанных для нейтрализации избыточной кислотности почвы согласно действующей Инструкции о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Национальный доклад Республики Беларусь, – Минск: Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. 2016. – 90 с.
2. 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, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; [подготовили: Н. Н. Цыбулько и др.]. – Минск: Институт радиологии, 2012. – 121 с.
3. Путятин, Ю. В. Минимизация поступления <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в растениеводческую продукцию / Ю. В. Путятин. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2008. – 268 с.
4. Лозовая, З. В. Агрохимические свойства и гранулометрический состав почв как факторы, влияющие на поступление радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в растения на минеральных почвах / З. В. Лозовая, В. Ю. Агеец // Земляробства і ахова раслін. – 2009. – № 6. – С. 45–47.
5. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных в результате крупных радиационных аварий / Н. Н. Цыбулько [и др.]; под общ. ред. Н. Н. Цыбулько. – Минск: Институт радиологии, 2011. – 438 с.
6. Пристер, Б. С. Основные факторы, определяющие поведение радионуклидов в системе почва-растение / Б. С. Пристер, Л. В. Перепелятникова, В. И. Дугинов // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сб. науч. тр. / Украинский науч.-исслед. ин-т с.-х. радиологии; под ред. Н. А. Лоцилова. – Киев, 1992. – Вып. 2. – С. 108–116.
7. Павлоцкая, Ф. И. К вопросу о механизме влияния извести, торфа и навоза на нахождение форм радионуклидов в дерново-подзолистых почвах / Ф. И. Павлоцкая, И. Т. Моисеев. – М.: Атомиздат, 1986. – 112 с.
8. Эффективность применения различных известковых удобрений на урожай и накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами / И. М. Богdevич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1(34). – С. 344–347.
9. Путятин, Ю. В. Оптимизация кислотности почв агроценозов, загрязненных <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr: пороговые параметры / Ю. В. Путятин, Т. М. Серая // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – № 45 (3). – С. 358–364.
10. Стрельчик, Н. В. Особенности вещественного состава и формирования верхнемеловых карбонатных силицитов месторождения Стальное на востоке Беларуси / Н. В. Стрельчик // Літасфера. – 2004. – №1(20). – С. 69–76.
11. 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.
12. Инструкция о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель. Утверждена Постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 13.10. 2008. № 77. – Минск, 2008. – 14 с.
13. Почвы. Отбор проб: ГОСТ 28168-89. Введ. 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
14. СТБ 1056.98. Радиационный контроль. Отбор проб сельскохозяйственного сырья и кормов.
15. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / Под ред. проф. И. М. Богdevича [и др.]. – Минск, 2008. – 72 с.