

ПРОГНОЗ СНИЖЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ДОЗЫ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{90}Sr ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОФУРАЖНЫХ КУЛЬТУР

Ю. В. Путятин, И. М. Богдевич, И. С. Станилевич

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время радиоэкологическая обстановка в Беларуси определяется действием долгоживущих изотопов. Среди них – ^{90}Sr с периодом полураспада 28,7 лет. Стронций-90 в почве по сравнению с цезием-137 имеет более высокую долю мобильных форм, что является определяющим фактором в процессах миграции радионуклида по трофическим цепям. Радиоактивное загрязнение почв, являющихся основным депо радионуклидов в экосистемах и начальным звеном трофических цепей, обуславливает накопление изотопов в организмах растений, животных и человека, а также формирование дозовых нагрузок.

Статус территорий радиоактивного загрязнения регулируется Законом Республики Беларусь «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС», который устанавливает приоритет принципа радиационной безопасности при проведении всех мероприятий в загрязненных районах. Это значит, что при выборе стратегий реабилитации предпочтение должно отдаваться вариантам, в наибольшей степени способствующим снижению дозовых нагрузок. Имеет место редкий случай однонаправленности экономического и экологического критериев, так как затраты на снижение коллективных доз облучения населения всегда будут во много раз меньше затрат на лечение заболевших от облучения. Хотя «аварийные» дозы в настоящее время в большинстве населенных пунктов ниже доз облучения от других источников, но в социальном плане они стоят на первом месте как основной источник беспокойства. Поэтому радиационная защита населения должна планироваться с учетом реакции на аварийную ситуацию.

При разработке стратегий применения защитных мероприятий в растениеводстве, направленных на получение максимального эффекта от их применения с минимальными дополнительными вложениями, необходимо учитывать ряд факторов, определяющих формирование доз внутреннего облучения, к числу которых относятся плотность и состав выпадений, тип и плодородие почв.

Ликвидация последствий аварии в агропромышленном комплексе стала важным элементом в обеспечении радиационной безопасности населения. Разработанная система контрмер привела к снижению доз облучения населения и в значительной степени сократила производство загрязненной продукции. Исследователи указывают, что наибольший эффект от применения контрмер отмечался в первые годы после аварии, уменьшаясь во времени [1]. Эффективность уменьшения со-

держания радионуклидов в урожае в результате известкования кислых и бедных питательными веществами почв существенно выше, чем плодородных почв [2].

Известкование почв является основным агрохимическим способом снижения миграции ^{90}Sr из почвы в растения. Для достижения оптимального уровня кислотности почвы в Беларуси были разработаны дозы извести, дифференцированные по плотности радиоактивного загрязнения и гранулометрическому составу. В настоящее время основная потребность в известковых удобрениях на загрязненных радионуклидами землях определяется в соответствии с «Инструкцией по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель» [3]. На минеральные земли с плотностью загрязнения ^{137}Cs 5,0 и более Ки/км² (185 кБк/м²) и ^{90}Sr 0,3 и более Ки/км² (11 кБк/м²) предусматривается дополнительное внесение извести с целью ускоренного доведения реакции почв до оптимальных значений. В послеаварийный период систематическое известкование в повышенных дозах позволило значительно сократить площади кислых почв.

Согласно нормам радиационной безопасности НРБ-2000 и Научного комитета ООН по действию атомной радиации в качестве основного дозового предела для населения при нормальных условиях установлено значение эффективной дозы равное 1 мЗв в год, сверх годовой эффективной эквивалентной дозы от природных источников равной 2,4 мЗв [4, 5]. При обосновании стратегий ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях, а также при анализе эффективности защитных мероприятий помимо использования радиэкологических критериев (т. е. оценки снижения удельной активности радионуклидов в продукции после внедрения контрмеры) широко используются радиологические показатели (оценка предотвращенной дозы за счет применения защитной меры, выраженная в единицах коллективной дозы и измеренная в чел.-Зв).

Критерием эффективности защитных мер является оценка международных экспертов (МКРЗ, МАГАТЭ) для развитых стран – проведение защитного мероприятия может считаться оправданным, если в результате его проведения стоимость снижения коллективной дозы на 1 чел.-Зв составят 20 тыс. долларов США, с возможными вариациями от 10 000 до 40 000 долларов США/чел.-Зв. [6, 7]. Данные значения стоимости предотвращенной дозы могут рассматриваться в качестве критерия обоснованности экономической целесообразности проведения защитных агрохимических мероприятий. Если стоимость предотвращенной дозы выше значений указанного интервала, вмешательство не может считаться экономически оправданным. В долгосрочный период после аварии есть необходимость в более взвешенной оценке в реализации применения контрмер с целью более эффективного использования материально-технических ресурсов.

Цель исследования – установить ожидаемую эффективность оптимизации кислотности почвы при возделывании зернофуражных культур на снижение коллективной дозы облучения ^{90}Sr на население Республики Беларусь на основе дозовой оценки и стоимости затрат на предотвращение коллективной дозы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В расчете прогноза загрязнения продукции использована электронная база данных агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель (2021–2025 гг.) Института почвоведения и агрохимии: показатели pH_{KCl}

и плотности загрязнения пашни по 18 районам Гомельской и Могилевской областей, коэффициенты перехода ^{90}Sr из почвы в зерновые культуры (озимое тритикале, яровое тритикале, озимый ячмень, яровой ячмень, овес) в зависимости от pH_{KCl} и гранулометрического состава [8] с учетом доли зерновых культур – 50 % от площади пашни. Для прогноза загрязнения урожая использованы верхние границы значений оптимальных параметров pH_{KCl} для дерново-подзолистых суглинистых почв – 6,7, супесчаных – 6,2, песчаных – 5,8 [9]. Расчеты были выполнены для пахотных земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr свыше 0,15 Ки/км² (5,55 кБк/м²).

Расчет изменений загрязнения продукции ^{90}Sr в результате оптимизации кислотности производился по формуле

$$\Delta U_a = \text{Пз}(\text{КПф} - \text{КПо}) \cdot 37, \quad (1)$$

где ΔU_a – разница между удельной активностью продукции при фактическом и оптимальном значении pH_{KCl} , ^{90}Sr , Бк/кг; Пз – плотность загрязнения почв (данные агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель за 2021–2025 гг.), ^{90}Sr Ки/км²; КПф – коэффициент перехода ^{90}Sr [8] в зависимости от гранулометрического состава почв при фактических значениях pH_{KCl} (данные агрохимического и радиационного обследования сельскохозяйственных земель за 2021–2025 гг.); КПо – коэффициент перехода ^{90}Sr [8] в зернофуражные культуры при оптимальных значениях pH_{KCl} в зависимости от гранулометрического состава почв; 37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

При проведении расчетов предотвращенных коллективных доз облучения $E_{\text{coll}}^{\text{avert}}$ ^{90}Sr за счет оптимизации почвенной кислотности было применено выражение

$$E_{\text{coll}}^{\text{avert}} = (Q_1 - Q)V \cdot dk_{\text{чел.}} - 3\text{в}, \quad (2)$$

где Q – загрязнение сельскохозяйственной продукции ^{90}Sr (Бк/кг) при оптимизации pH_{KCl} почвы; Q_1 – загрязнение сельскохозяйственной продукции ^{90}Sr (Бк/кг) при текущих значениях pH_{KCl} почвы (данные XI тура агрохимического обследования); V – производство зерна в год с единицы площади (га), кг (усредненные данные за 2021–2024 гг.); $dk_{\text{чел.}}$ – коэффициент пересчета от годового поступления ^{90}Sr в организм человека к эффективной дозе.

Поскольку ^{90}Sr накапливается в организме человека в течении всей жизни, для расчетов был использован дозовый коэффициент 8×10^{-8} Зв/Бк для критической группы – дети в возрасте от 12–17 лет [4].

Для расчетов по достижению заданной оптимальной pH_{KCl} в исследовании использованы нормативы затрат CaCO_3 для сдвига реакции среды дерново-подзолистых почв на 0,1 рН 0,75–1,38 т/га в зависимости от гранулометрического состава почв [10]. Расчет стоимости предотвращенной дозы облучения производился как отношение величины предотвращенной дозы к величине затрат на проведение агрохимической защитной меры на 1 гектар.

В данной работе критерием экономической обоснованности проведения контрмеры была принята стоимость снижения коллективной дозы на 1 чел.-Зв – 10 000–40 000 долларов США (USD) [6]. Если стоимость предотвращенной дозы выше указанного значения, вмешательство оценивалось как экономически неоправданное.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди обследованных районов Беларуси высокий вынос ^{90}Sr зерном зернофуражных культур отмечается в Хойникском (686 МБк/год), Брагинском (656) и Речицком (382), низкий – в Кормянском (14), Славгородском (12) и Краснопольском районах (8 МБк/год). Существенные различия в выносе радионуклидов с товарной продукцией в районах республики в основном обусловлены плотностью загрязнения ^{90}Sr и площадью загрязнения пахотных земель (табл. 1). Ежегодно с загрязненных территорий площадью 195 тыс. га с плотностью свыше 0,15 Ки/км² с урожаем зерна выносятся в среднем ^{90}Sr – 2991 МБк/год (2568–4272). На продовольственные цели используется около 20% произведенного зерна, при переработке значительная часть радионуклидов остается во вторичных продуктах и переход ^{90}Sr из рациона в продукцию животноводства составляет 0,04–3,2 % на килограмм продукта [8], фактический вклад в коллективную дозу ^{90}Sr при использовании зерна на фураж будет на два порядка ниже.

Таблица 1

Загрязнение ^{90}Sr , кислотность пахотных почв и вынос ^{90}Sr зернофуражными культурами районов пострадавших от аварии на ЧАЭС

Район	Площадь загрязнения пашни ^{90}Sr (>0,15 Ки/км ²)	Средне-взве- шенная плот- ность загрязне- ния пашни, ^{90}Sr		Средне- взвешенное значение $\text{pH}_{(\text{КС})}$	Вынос ^{90}Sr зернофу- ражными культурами*, МБк/год		
	га	кБк/м ²	Ки/км ²	единиц	ср.	мин.	макс.
Гомельская область							
Брагинский	23402	20,4	0,55	5,98	655	561	779
Буда-Кошелевский	12139	6,7	0,18	5,81	129	111	154
Ветковский	17687	7,8	0,21	6,03	215	183	255
Гомельский	13348	6,7	0,18	5,89	112	101	144
Добрушский	12944	10,4	0,28	5,88	180	154	214
Ельский	1537	5,9	0,16	5,66	44	38	53
Калинковичский	15743	9,6	0,26	5,67	238	203	283
Кормянский	386	5,2	0,14	5,97	14	12	17
Лоевский	7484	7,4	0,20	5,73	64	56	778
Мозырский	186	4,4	0,12	5,50	24	21	29
Наровлянский	9468	8,1	0,22	5,81	119	102	142
Речицкий	30246	8,1	0,22	5,84	382	327	454
Хойникский	33992	26,3	0,71	6,06	686	587	815
Чечерский	5898	7,8	0,21	5,87	62	53	74
Итого	188589	–	–	5,84	2924	2509	4191
Могилевская область							
Костюковичский	3240	5,9	0,16	6,02	30	26	36
Краснопольский	238	5,9	0,16	5,97	8	7	10
Славгородский	852	5,2	0,14	5,81	12	11	15
Чериковский	2227	5,6	0,15	5,93	17	15	20
Итого	6557	–	–	5,93	67	59	81
Всего 18 районов	195146	–	–	–	2991	2568	4272

* Расчеты выполнены исходя из урожайности зерновых культур в 2021–2024 гг., коэффициентов перехода радионуклида из почвы в зерно, общей площади загрязнения почв и доли зерновых на пашне – 50 %.

В работе Я. Э. Кенигсберга и Ю. Е. Крюк (2007) приводятся данные, что за весь послеаварийный период (1986–2005 гг.) на ликвидацию последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Республикой Беларусь затрачено 17 млрд долларов США, величина предотвращенной коллективной дозы составила 152000 чел.-Зв [12]. Исходя из вышеназванных затрат можно рассчитать, что стоимость 1 чел.-Зв предотвращенной коллективной дозы за 20-летний период после аварии составила 112 тыс. долларов США. Довольно высокая стоимость экономии дозы объясняется тем, что в суммарные затраты на ликвидацию последствий катастрофы на ЧАЭС вошли не только расходы на радиационную защиту, но и расходы на строительство жилья для переселенцев, компенсационные выплаты, радиозэкологический мониторинг и др.

Интенсивность перехода ^{90}Sr из почвы в растения зависит от кислотности почвы: с увеличением pH переход радиостронция из почвы в растения снижается. Интенсивность действия нейтрализации кислотности на снижение перехода ^{90}Sr в растения выше – при более низких значениях pH. В интервалах pH выше 6, темпы снижения накопления радионуклидов при известковании резко снижаются. Если принять за единицу накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами при pH – 6,0, оптимальном для выращивания большинства видов растений, и рассчитать накопление при доведении pH с 5 до 6, можно отметить, что накопление ^{90}Sr при увеличении pH на 1 единицу сокращается до 1,6–2,8 раз. При доведении pH с 6 до 7, снижение накопления ^{90}Sr составляет лишь 0,5–0,8 раз. Увеличение pH почвы на 0,1 единицы в интервале 5–6 вызывает снижение накопления ^{90}Sr в среднем у зерновых культур на 6 %, в интервале pH 6–7 темпы снижения поступления ^{90}Sr уменьшаются в среднем в 1,5 раза [2]. Следовательно, затраты на предотвращение коллективной дозы при известковании почв с более высокими исходными pH будут выше, чем на кислых почвах.

Для оптимизации защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве используется схема «затраты – выгода», которая приводит экономические и радиологические показатели к единой стоимостной шкале – стоимости предотвращенной коллективной дозы (1 чел.-Зв) [6, 11].

Республика Беларусь обладает большими запасами разведанного карбонатного сырья, пригодного для промышленного производства известковых мелиорантов. Объемы производства полностью обеспечивают потребности сельского хозяйства республики в доломитовой муке при сравнительно ее невысокой цене на внутреннем рынке.

При экономической оценке затрат на предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы под зернофуражные культуры путем внесения доломитовой муки и использование продукции на корм молочному стаду (производство молока цельного) установлено, что в Хойникском и Брагинском районах с высокой плотностью загрязнения ^{90}Sr эти затраты будут минимальны – 203 и 231 долларов США на 1 чел.-Зв на гектар пашни, в Чечерском, Мозырском и Костюковичском районах затраты составляют 925–1590 долларов США (табл. 2).

Высокий эффект на предотвращение коллективной дозы ^{90}Sr при возделывании зернофуражных культур можно ожидать при известковании дерново-подзолистых почв с плотностью загрязнения ^{90}Sr более 0,30 Ки/км² (11 кБк/м²).

В настоящее время доля пахотных земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr выше 0,3 Ки/км составляет не более 62 тыс. га. Оптимизация степени кислотности почв является одним из условий повышения урожайности сельскохозяйственных культур и получения потенциальной прибыли при производстве нормативно чистой продукции на загрязненных территориях. Если стоимость получения от известкования прибавки покрывает все расходы, то применение известкования, даже при нулевой рентабельности, будет экономически оправданным с точки зрения снижения коллективных доз облучения и при низкой плотности загрязнения почв, но при условии, что темпы снижения удельной активности ^{90}Sr в урожае будут выше, чем темпы роста прибавки урожая после известкования.

Таблица 2

Прогноз предотвращенных доз ^{90}Sr за счет оптимизации кислотности почв под зернофуражные культуры (использование на производство цельного молока)

Район	Предотвращенная доза, $^{90}\text{Sr}^*$, чел.-мЗв/га			Стоимость предотвращенной коллективной дозы на 1 га**, USD/чел.-Зв		
	ср.	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.
Гомельская область						
Брагинский	0,432	0,4104	0,4536	231	220	243
Буда-Кошелевский	0,130	0,1235	0,1365	827	785	868
Ветковский	0,302	0,2869	0,3171	506	481	532
Добрушский	0,281	0,26695	0,29505	447	425	470
Ельский	0,216	0,2052	0,2268	520	494	546
Кормянский	0,130	0,1235	0,1365	650	617	682
Лоевский	0,330	0,3135	0,3465	642	610	674
Мозырский	0,170	0,1615	0,1785	930	884	977
Наровлянский	0,290	0,2755	0,3045	515	489	540
Речицкий	0,191	0,18145	0,20055	564	536	593
Хойникский	0,390	0,3705	0,4095	203	193	214
Чечерский	0,130	0,1235	0,1365	925	879	971
Среднее	0,249	0,237	0,262	580	551	609
Могилевская область						
Костюковичский	0,050	0,047	0,053	1590	1511	1670
Краснопольский	0,124	0,118	0,130	616	585	647
Славгородский	0,099	0,094	0,104	820	779	861
Чериковский	0,049	0,047	0,052	696	661	731
Среднее	0,081	0,077	0,085	930	884	977
Среднее, 16 районов	0,165	0,157	0,174	755	718	793

* Расчеты выполнены на основе данных агрохимического и радиологического обследования при условии достижения оптимальной кислотности пахотных почв.

** Расчеты выполнены с учетом затрат стоимости доломитовой муки с внесением для достижения pH в почвах с фактических до оптимальных значений.

В текущий период в ряду районов республики наблюдается значительная часть почв с реакцией среды близкой к нейтральной. В Гомельской области при средневзвешенном показателе pH_{KCl} в целом на пахотных почвах – 5,78 [13] на загрязненных землях – 5,93 (+0,15), в Могилевской области – 5,75 и 5,84 (+0,09)

соответственно. Доля почв, загрязненных радионуклидами пахотных земель с реакцией среды более 6,01 (pH_{KCl}) в Гомельской области составляет 48 %, в Могилевской – 45 %. Доля кислых почв на которых может быть достигнута высокая эффективность по предотвращению коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы в Гомельской области составляет 26 %, Могилевской – 29 % (табл. 3).

Таблица 3

Распределение загрязнённых радионуклидами пахотных почв по группам кислотности, (pH_{KCl})

Область	По группам кислотности, %						
	< 4,50	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00	6,01–6,50	6,51–7,00	> 7,00
Брестская	2,8	9,1	21,7	30,6	22,8	10,3	2,8
Гомельская	1,9	7,0	17,2	25,9	27,0	16,3	4,7
Гродненская	5,2	13,3	27,9	28,3	20,1	3,0	2,2
Минская	1,2	6,4	22,2	38,6	27,2	4,4	0,2
Могилевская	3,5	8,8	17,1	25,5	30,0	13,4	1,7
Беларусь	2,3	7,5	17,5	26,4	27,7	14,8	3,7

В Брагинском районе средневзвешенные значения pH_{KCl} составляют – 6,06, в Хойникском – 6,05, в Кормянском – 5,99, в Могилевской области в Краснопольском – 5,89, Чериковском – 6,02 и т. д. В настоящее время, возможности радикального снижения поступления радиостронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в вышеуказанных районах в значительной степени исчерпаны, поскольку более 60% пахотных почв районов имеют реакцию почв выше $pH_{KCl} > 5,5$. Следует отметить, что после аварии на ЧАЭС, известкование кислых почв являлось приоритетным защитным мероприятием и широкомасштабное внесение доломитовой муки в повышенных дозах позволило практически оптимизировать состояние почвенной кислотности загрязненных радионуклидами земель и свести к минимуму переходы радионуклидов в урожай. В отдаленный период после аварии на ЧАЭС основная задача применения данной защитной меры – поддержание достигнутого оптимального уровня реакции почв и известкование отдельных участков с высокой кислотностью, обеспечивая при этом получение растениеводческой продукции с минимальным содержанием радионуклидов на всей площади сельскохозяйственных земель.

ВЫВОДЫ

Экономическая оценка затрат на предотвращение коллективной дозы за счет оптимизации кислотности почвы под зернофуражные культуры путем внесения доломитовой муки и использование продукции на корм молочному стаду (производство молока цельного) показывает, что в Хойникском и Брагинском районах с высокой плотностью загрязнения ^{90}Sr эти затраты будут минимальны – 203 и 231 долларов США на 1 чел.-3в на гектар пашни, в Чечерском, Мозырском и Костюковичском районах затраты составляют 925–1590 долларов США. Высокого эффекта на снижение коллективной дозы от оптимизации почвенной кислотности можно ожидать на почвах с плотностью загрязнения ^{90}Sr бо-

лее 0,3 Ки/км² (11,1 кБк/м²), доля которых составляет по республике менее 62 тыс. га.

В настоящее время возможности радикального снижения поступления радиостронция в сельскохозяйственные культуры за счет оптимизации кислотности почв в вышеназванных районах в значительной степени исчерпаны, поскольку более 60% пахотных земель районов имеют реакцию почв выше $pH_{KCl} > 5,5$ и низкую плотность загрязнения радиостронцием.

В отдаленный период после аварии на ЧАЭС основная задача применения данной защитной меры – поддержание достигнутого оптимального уровня реакции почв и известкование отдельных участков с высокой кислотностью, обеспечивая при этом получение растениеводческой продукции с минимальным содержанием радионуклидов на всей площади сельскохозяйственных земель.

Полученные данные могут быть использованы для радиолого-экономических оценок эффективности защитных мероприятий и определения дальнейших приоритетов в выборе оптимальных путей снижения дозовых нагрузок ⁹⁰Sr на население.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние сельскохозяйственных защитных мероприятий на облучение населения, проживающего на территориях загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС Радиационная биология / А. В. Панов, С. В. Фесенко, Н. И. Санжарова [и др.] // Радиоэкология. – 2006. – № 46(2). – С. 273–279.
2. *Путятин, Ю. В.* Минимизация поступления радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в растениеводческую продукцию: монография / Ю. В. Путятин. – Мн.: Институт почвоведения и агрохимии, 2008. – 255 с.
3. Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных земель / В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019. – 32 с.
4. ГН 2.6.1.8-127-2000. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). – Мн.: УП ДИЭКОС, 2001. – 124 с.
5. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации: доклад Науч. комитета ООН по действию атомной радиации Генеральной Ассамблее за 1988 г. – М.: Мир, 1993. – Т. 2. – 341 с.
6. Оптимизация радиационной защиты на основе анализа соотношения затраты – выгода / Публикация 37 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 186 с.
7. Age dependent doses to members of the public from intakes of radionuclides: part I / ICRP publication. – Pergamon Press, 1990. – № 56.
8. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько, В. В. Лапа, И. М. Богдевич [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, МСХП РБ, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.
9. Агрохимические регламенты для повышения плодородия почв и эффективного использования удобрений: учеб. пособие / В. В. Лапа [и др.]. – Горки: БГСХА, 2002. – 48 с.
10. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Мн.: Изд-во БГУ, 2003. – 322 с.

11. *Панов, А. В.* Оптимизация защитных мероприятий в сельских населенных пунктах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / А. В. Панов, С. В. Фесенко, Р. М. Алексахин // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. – 2005. – № 3. – С. 3–6.

12. *Кенигсберг, Я. Э.* Оценка предотвращенного ущерба при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь / Я. Э. Кенигсберг, Ю. Е. Крюк // Радиация и риск. – 2007. – Т.16. – № 2–4. – С. 27–32.

13. *Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020)* / И. М. Богдевич, В. В. Лапа, М. В. Рак [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Мн.: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.

THE FORECAST OF REDUCING THE COLLECTIVE DOSE OF IRRADIATION OF THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY OPTIMIZATON THE ACIDITY OF SOILS CONTAMINATED WITH ⁹⁰SR AT THE CULTIVATION OF GRAIN FEED CROPS

Y. V. Putyatin, I. M. Bogdevitch, I. S. Stanilevich

Summary

Liming of acidic soils was a priority protective measure, and large-scale application of dolomite flour in high doses made it possible to practically optimize the state of soil acidity of radionuclide-contaminated lands and minimize the transfer of radionuclides into crop production. The results of research on the effectiveness of optimizing soil acidity optimization to reduce the collective irradiation dose of strontium-90 to the population of the Republic of Belarus are presented. Based on the cost-benefit analysis, it is shown that the cost of preventing a collective dose as a result of liming of soils for grain feed crops is 200–1600 \$ per 1 person.-Sv per hectare depending on the density of strontium-90 soil contamination and their acidity.

A high effect on preventing the collective dose of strontium-90 at the cultivation of grain feed crops can be expected when liming sod-podzolic soils with a strontium-90 contamination density of more than 0,30 Ki/km² (11 kBq/m²). Currently, the share of arable lands with a strontium-90 contamination density of over 0,30 Ki/km is no more than 62 thousand hectares. The share of acidic soils (less than 5,5 pH_{KCl}) on which high efficiency can be achieved in preventing collective dose by optimization soil acidity is 26 % in the Gomel region and 29 % in the Mogilev region.

Поступила 10.03.2026