

УДК 631.1:615.849

Оценка величины предотвращенной коллективной дозы при проведении сельскохозяйственных контрмер на загрязненных территориях

Ю. М. Жученко, В. А. Кривошлыков

Введение

Целью настоящей работы является количественная оценка величины предотвращенной коллективной дозы, сформированной продукцией, произведенной в общественном секторе сельскохозяйственного производства и последующего экспорта в другие регионы за пределы производителя.

Коллективная доза внутреннего облучения населения формировалась преимущественно за счет поступления радионуклидов с растениеводческой (зерно и картофель) и животноводческой (молоко и мясо) продукцией, произведенной в общественном секторе в течение всего послеаварийного периода.

Предотвращенная коллективная доза внутреннего облучения населения формально представляет собой разницу между расчетной величиной коллективной дозы без проведения мероприятий в сельском хозяйстве и ее реальным значением. Снижение коллективной дозы внутреннего облучения населения обусловлено естественными процессами (периодом полураспада радионуклидов, закреплением их почвенным комплексом и переходом в недоступное состояние), а также применением контрмер, включающих внесение дополнительных доз удобрений в растениеводстве, коренного и поверхностного улучшения кормовых угодий, применения ферроцинсодержащих кормов для животных.

Требования к исходным данным

В качестве исходной информации для расчета предотвращенной коллективной дозы внутреннего облучения населения были использованы данные Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Гомельского, Могилевского и Брестского агропромов:

- уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий ^{137}Cs ;
- величина годового валового производства отдельной сельскохозяйственной продукции;
- доля произведенной сельскохозяйственной продукции с превышением действующих текущих нормативов содержания ^{137}Cs в определенный временной период.

К настоящему времени в системе агропромышленного комплекса создана достаточно подробная радиологическая база данных о динамике загрязнения сельскохозяйственных угодий и производимой на них продукции по годам, которая легла в основу расчетов.

Методика оценки предотвращенной дозы в результате проведения сельскохозяйственных контрмер

В предположении функции нормального распределения удельной активности i -го продукта, зная текущую величину РДУ (PDU_j) и долю превышения удельной активности над РДУ (δ_{ij}) можно рассчитать среднее значение удельной активности i -го продукта на j -й год (q_{ij}), используя статистические таблицы из (1) или по эмпирическому соотношению:

$$q_{ij}^c = PDU_{ij} \cdot k, \quad (1)$$

где k описывается полиномом 6 степени:

$$k = -657.7 \cdot \delta_{ij}^6 + 1096.8 \cdot \delta_{ij}^5 - 714.5 \cdot \delta_{ij}^4 + 231.2 \cdot \delta_{ij}^3 - 38.9 \cdot \delta_{ij}^2 + 4.1 \cdot \delta_{ij} + 0.42 \quad (2)$$

Таким образом, соотношение (1) определяет реальное расчетное значение удельной активности i – го продукта на j – й год и отражает динамику удельной активности с применением контрмер.

Расчетная концентрация ^{137}Cs i – го продукта на j – й год без проведения мероприятий определялась из следующего выражения:

$$q_{ij}^{wc} = q_{ij}^{1986} \cdot \exp\left(\frac{-0,693 \cdot \Delta t}{T_{1/2}}\right) \quad (3)$$

где q_{ij}^{1986} – среднее расчетное значение концентрации ^{137}Cs i – го продукта в 1986 году;

$\Delta t = t_j - 1986$ – временной интервал;

$T_{1/2}$ – эффективный период полуочистения продукции.

Значения эффективного периода полуочистения сельскохозяйственной продукции выбирались из литературных источников (2 – 5).

Предотвращенная доза рассчитывалась с помощью выражения:

$$\Delta H_{ij} = k_D \cdot \Delta q_{ij} \cdot V_{ij}, \text{ чел-Зв},$$

где k_D – дозовый коэффициент для ^{137}Cs у взрослых, $1.3 \cdot 10^{-8}$ Зв Бк $^{-1}$,

V – объем производимой продукции, кг,

Δq_{ij} – разница между средней расчетной концентрацией (без контрмер) q_{ij}^{wc} , и средней измеренной концентрацией ^{137}Cs i – го продукта на j – й год q_{ij}^c и рассчитывается на основе выражения:

$$\Delta q_{ij} = q_{ij}^{wc} - q_{ij}^c \quad (4)$$

Суммарная предотвращенная доза за период с 1986 года по 2005 год от i – го продукта рассчитана по формуле:

$$\Delta H_i^\Sigma = \sum_j \Delta H_{ij} \quad (5)$$

А суммарная предотвращенная доза за этот же период для растениеводческой и животноводческой продукции была отдельно просуммирована: по зерну и картофелю и по молоку и мясу:

$$\Delta H_{раст}^\Sigma = \sum_j \Delta H_{ij} \quad (6)$$

$$\Delta H_{жив}^\Sigma = \sum_j \Delta H_{ij} \quad (7)$$

Рассчитана динамика относительного вклада контрмер по временным интервалам: 1986–1990, 1991–1995, 1996–2000 и 2001–2005.

$$\mathcal{E}_{раст}^5 = \frac{\Delta H_{раст}^5}{\Delta H_{раст}^\Sigma} \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_{жив}^5 = \frac{\Delta H_{жив}^5}{\Delta H_{жив}^\Sigma} \quad (9)$$

Расчеты были проведены для 18, 9, 4, 6 и 1 наиболее загрязненных районов Гомельской, Могилевской, Брестской, Минской и Гродненской областей, соответственно.

Результаты расчетов предотвращенной дозы в результате проведения сельскохозяйственных контрмер

В соответствии с представленной методикой выполненные расчеты приведены в таблице 1. Наибольшей величиной суммарной предотвращенной коллективной дозы характеризуется, как и следовало ожидать, Гомельская область – 5117 чел-Зв. Затем следуют Могилевская – 1868 чел-Зв, Брестская – 1118 чел-Зв и замыкают Минская – 222 чел-Зв и Гродненская

– 182 чел-Зв. Среди загрязненных районов лидируют Брагинский, Хойникский и Ветковский районы Гомельской области, Быховский – Могилевской и Лунинецкий – Брестской. Трём районам Гомельской области, несомненно, постоянно уделялось самое пристальное внимание на протяжении всего 20-летнего периода и в сельскохозяйственный сектор этих районов вкладывались соответствующие финансовые средства на проведение контрмер, которые качественно выполнялись. Быховский район является одним из самых больших по занимаемой площади. Несмотря на невысокие уровни загрязнения территории, но благодаря использованию сельскохозяйственных угодий в обороте наблюдается относительно высокое значение предотвращенной коллективной дозы.

Следует отметить, что величина предотвращенной коллективной дозы в Брестской области всего в 1.5 раза ниже, чем в Могилевской, хотя количество загрязненных районов в 2 раза меньше. По-видимому, причина заключается в том, что территория районов Брестской области меньше пострадала при проведении акции отселения, нежели районы Могилевской области. Поэтому аграрный сектор был сохранен и производил продукцию.

Суммарная величина предотвращенной коллективной дозы по всем загрязненным областям оценивается в 8507 чел-Зв, то есть примерно 1 мЗв на каждого жителя Республики.

Таблица 1 – Предотвращенная коллективная доза, обусловленная сельскохозяйственными контрмерами в загрязненных регионах

Область	Предотвращенная коллективная доза, чел-Зв
Гомельская	5117
Могилевская	1868
Брестская	1118
Минская	222
Гродненская	182
Итого	8507

На рисунке 1 представлена динамика предотвращенной дозы в коллективном секторе загрязненных областей Республики Беларусь, суммированная по пяти временным интервалам: 1986–1990 гг., 1991–1995 г., 1996–2000 г., 2001–2005 г.

Общей закономерностью для всех областей является тот факт, что наибольшее значение предотвращенной дозы наблюдается в период 1991–1995 г. А это означает, что в этот период, а точнее, начиная с 1991 года, наиболее эффективно были проведены контрмеры. Этот период знаменателен тем, что наряду с мероприятиями по коренному улучшению сенокосов и пастбищ, одновременно в массовом порядке была организована подкормка КРС ферроцин-содержащими препаратами.

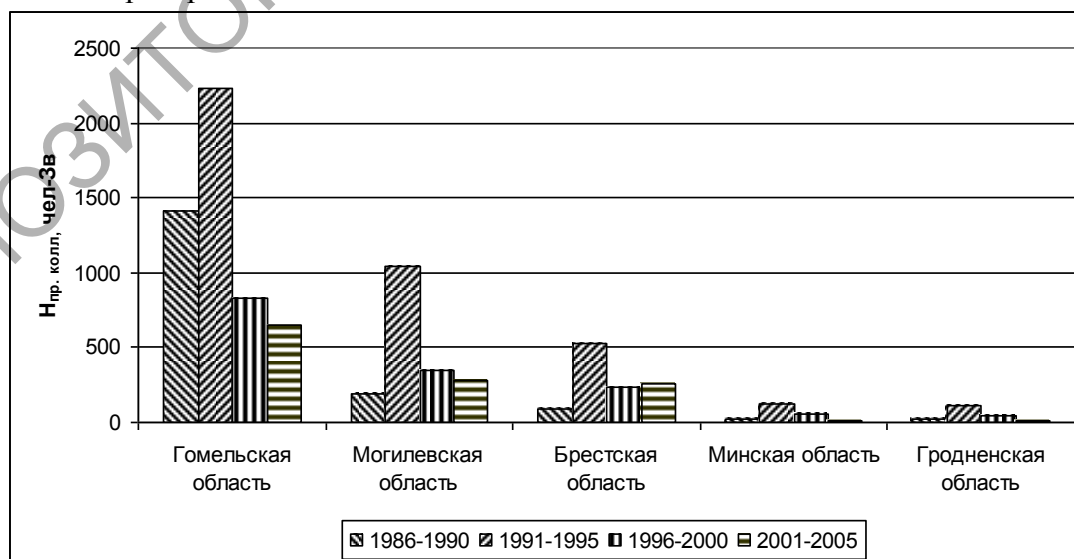


Рисунок 1 – Динамика предотвращенной дозы в коллективном секторе загрязненных областей Республики Беларусь

На рисунке 2 эта же информация приведена в процентах. Из рисунка следует, что доля вклада в суммарную предотвращенную коллективную дозу в первый период, 1986 –1990 г., составляет величину от 8 % в Брестской до 27 % в Гомельской областях. Максимальный вклад, как уже указывалось выше, приходится на период 1991–1995 г. В последующие периоды наблюдается спад, что свидетельствует о снижении эффективности мероприятий. Следуя этой логике, можно предполагать, что в дальнейшем эффективность будет снижаться.

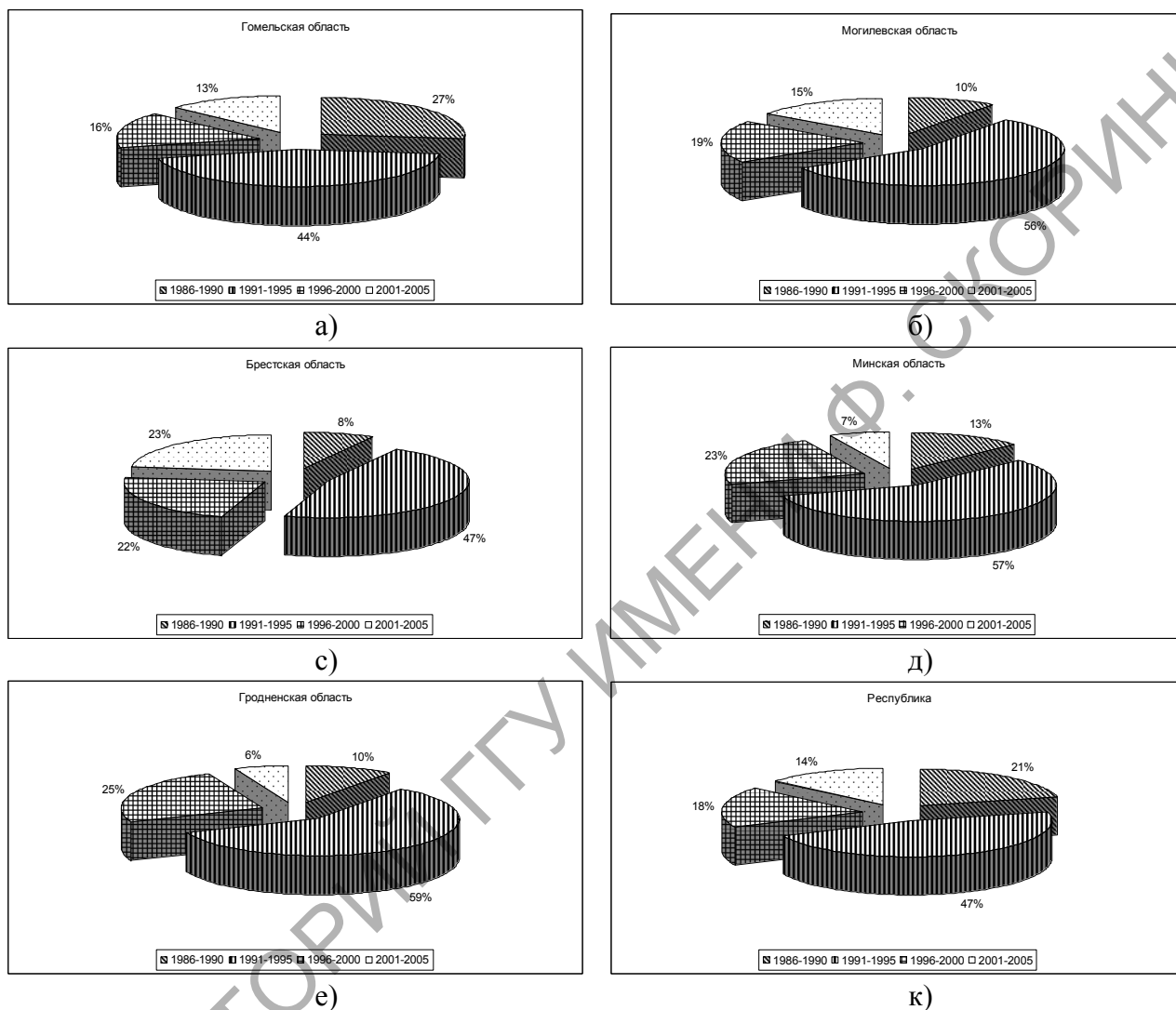


Рисунок 2 – Динамика предотвращенной дозы в коллективном секторе загрязненных областей Республики Беларусь

а) – Гомельская область; б) – Могилевская область; в) Брестская область; г) – Минская область; д) – Гродненская область; е) Республика Беларусь

Расчеты относительного вклада контрмер, выполненных в коллективном секторе по снижению коллективной дозы на население за счет потребления сельскохозяйственной продукции растениеводства и животноводства в динамике по пятилеткам приведены в таблице 3. Из представленных результатов видно, что основной вклад в снижение коллективной дозы по всем регионам дает животноводческая продукция. Исключением является период с 1986 по 1990 г. для четырех областей, кроме Гомельской. Можно предположить, что в этих четырех областях эффективность выполнения контрмер в животноводстве была низкой или представленная информация статистически недостаточна.

В качестве иллюстраций подобных предположений на рисунках 3 – 5 приведена динамика изменения удельной активности молока по трем областям: Гомельской, Могилевской и Брестской. В верхней части рисунков приведена аппроксимация реальных данных. Для

Гомельской области массив данных описывается двухэкспоненциальной зависимостью, что объясняется более эффективными мерами в первые годы после аварии, за которую ответственна «быстрая» экспонента ($T=3$ года). Дальнейший спад обусловлен снижением эффективности мероприятий и описывается «медленной» экспонентой ($T=7$ лет). Для двух других представленных областей «быстрая» экспонента отсутствует, что свидетельствует о реальности предположений.

Таблица 3 – Динамика относительного вклада контрмер, выполненных в коллективном секторе по снижению коллективной дозы на население за счет потребления сельскохозяйственной продукции, %

Область, район	Растениеводческая продукция				Животноводческая продукция			
	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005
Гомельская область	26	16	10	6	74	84	90	94
Могилевская область	100	13	11	7	0	87	89	93
Брестская область	100	22	10	5	0	78	90	95
Минская область	64	13	8	13	36	87	92	88
Гродненская область	100	7	7	20	0	93	93	80

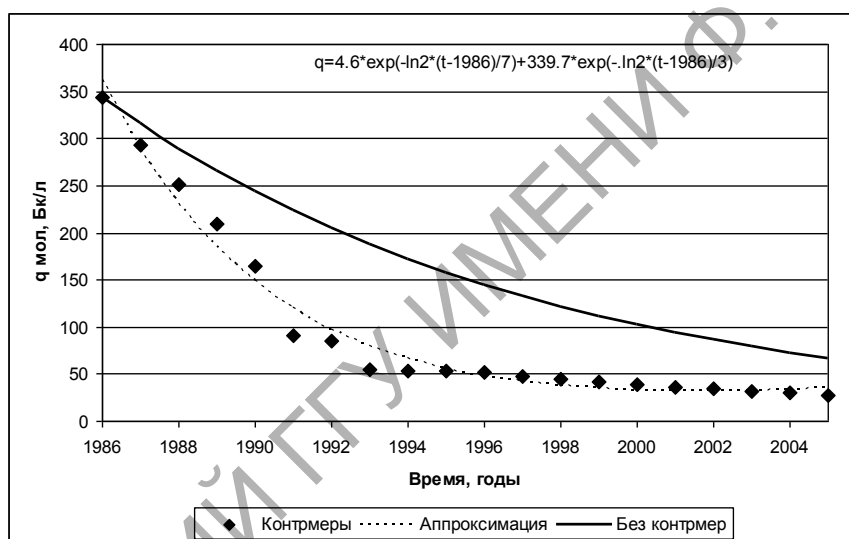


Рисунок 2 – Динамика удельной активности молока в общественном секторе Гомельской области

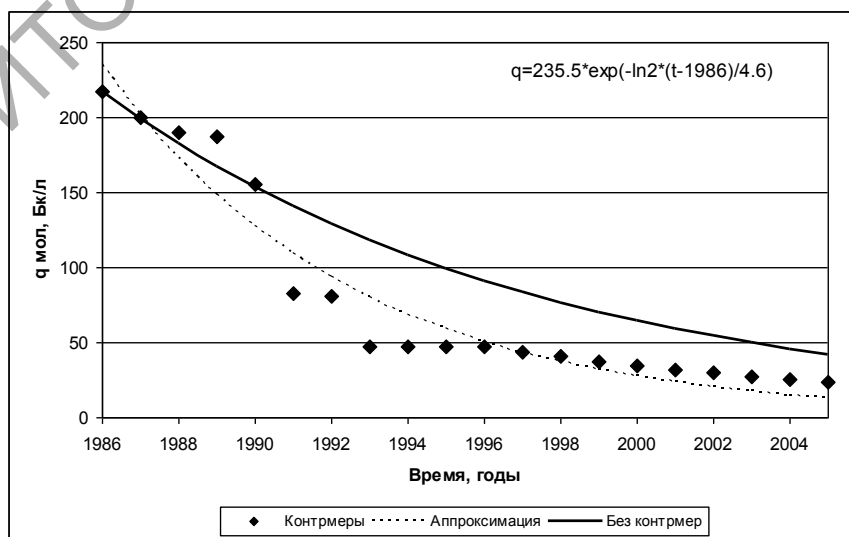


Рисунок 3 – Динамика удельной активности молока в общественном секторе Могилевской области

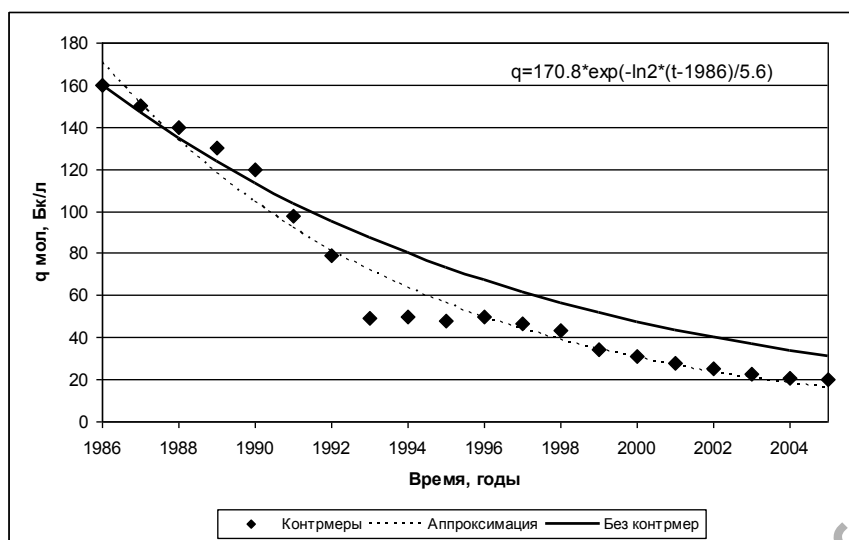


Рисунок 4 – Динамика удельной активности молока в общественном секторе Брестской области

Оценка относительного вклада контрмер, выполненных в коллективном секторе по снижению коллективной дозы на население за счет потребления сельскохозяйственной продукции (зерно, картофель, молоко и говядина) приведена в таблице 4. Расчеты показывают, что зерно в растениеводческой продукции и молоко в животноводческой дают больший относительный вклад в суммарную предотвращенную коллективную дозу, нежели картофель и говядина. При этом относительный вклад зерна и молока со временем увеличивается.

Таблица 4 – Динамика относительного вклада контрмер, выполненных в коллективном секторе по снижению коллективной дозы на население за счет потребления сельскохозяйственной продукции, (числитель-зерно или молоко, знаменатель-картофель или говядина) %

Область	Растениеводческая продукция				Животноводческая продукция			
	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005
Гомельская область	17/9	10/6	9/1	5/1	39/35	52/32	67/23	71/23
Могилевская область	58/42	8/5	8/3	6/1	0/0	57/30	54/35	61/32
Брестская область	67/33	15/7	8/2	4/1	0/0	44/34	63/27	72/23
Минская область	44/20	8/5	6/2	10/3	28/8	45/42	59/33	59/29
Гродненская область	51/49	5/2	6/1	19/1	0/0	72/21	69/24	71/9

Выводы

На протяжении всего 20-летнего периода суммарная величина предотвращенной коллективной дозы по всем загрязненным областям оценивается в 8507 чел-Зв, то есть примерно 1 мЗв на каждого жителя Республики.

Наибольшей величиной суммарной предотвращенной коллективной дозы характеризуется Гомельская область – 5117 чел-Зв. Затем следуют Могилевская – 1868 чел-Зв, Брестская – 1118 чел-Зв и замыкают Минская – 222 чел-Зв и Гродненская – 182 чел-Зв. Основной ее вклад приходится на животноводческую продукцию, особенно в последние 15 лет. Самая высокая эффективность мероприятий в сельском хозяйстве приходится на второй период с 1990 г. по 1995 г., что связано с контрмерами по коренному улучшению кормовых угодий и массовым применением ферроцинсодержащих препаратов в животноводческой отрасли. С годами, как и следует ожидать, эффективность мероприятий снижается. Однако прекращать их нельзя из-за возможных нежелательных эффектов: увеличения удельной активности радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и снижения продуктивности в растениеводстве и животноводстве.

Abstract. The paper presents the estimation of the value of the prevented collective dose in taking agricultural counter-measures in contaminated areas. The collective doses of internal irradiation of the population were formed mainly at the expense of radio nuclides obtained with grains, potatoes and livestock (milk and meat) products in public sector during the whole emergency period. The prevented collective dose of an internal irradiation of the population formally represents a difference between a collective dose without counter-measures in agriculture and its real meaning. The reduction of a collective dose of an internal irradiation of the population is caused by natural processes and the application of counter-measures.

Литература

1. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Статистика, 1979.– 279 с.
2. Разработать рекомендации по выработке оптимальной стратегии комплексной реабилитации развития региона на загрязненной территории. Заключительный отчет НИИР МЧС РБ, № 2000999, 2000. – 455 с.
3. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М. Оценка эффективности защитных мероприятий в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – т. 38, вып. 3. – С. 354 – 366.
4. Фесенко С.В., Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Спиридонов С.И., Калмыков М.В. Закономерности изменения содержания ^{137}Cs в продукции животноводства на территории Российской Федерации, подвергшейся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1995. – Т.35, вып. 3. – С. 316 – 327.
5. Фирсакова С.К., Жученко Ю.М., Гребенщикова Н.В., Тимофеев С.Ф. Влияние защитных мероприятий в сельском хозяйстве для снижения дозовых нагрузок. // Итоги научных исследований в области радиоэкологии окружающей среды за десятилетний период после аварии на Чернобыльской АЭС. // Сб. научн. трудов. Под ред. С.К. Фирсаковой. – Гомель, 1996. – С.5 – 11.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 28.02.08