

Радиологическая обстановка в Украине после Чернобыльской аварии и оптимизация применения контрмер на современном этапе

В.А. Кашпаров, В.И. Йощенко, Ю.О. Бондарь, Э.С. Танкач

Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии НАУ, Киев

Рассмотрена и проанализирована современная радиологическая обстановка в сельскохозяйственном производстве Украины. На основании оптимизации применения контрмер предложены пути обеспечения гарантированного производства сельскохозяйственной продукции, соответствующей государственным гигиеническим нормативам, а также снижения эффективной дозы облучения населения ниже установленных лимитов. Ввиду возросшего в последнее время интереса к радиационной защите не только человека, но и окружающей среды, представлены результаты исследований частоты возникновения радиобиологических эффектов при хроническом облучении сосны обыкновенной в Чернобыльской зоне отчуждения при разных уровнях поглощенных доз в апикальной меристеме деревьев.

Ключевые слова: радиобиология, радиоэкология, Чернобыльская катастрофа, облучение населения, морфозы, хромосомные aberrации.

Общая площадь зон радиоактивного загрязнения в Украине составляет 53,4 км², при этом на земли сельскохозяйственного использования с плотностью загрязнения больше 37 кБк/м² приходится 1,2 млн га. На этой территории в 74 районах 12 областей Украины расположено 2293 населенных пункта, в которых сейчас проживает 2291,9 тыс. человек, в том числе 488,7 тыс. детей до 14 лет. Требуют реабилитации и возвращения в хозяйственное использование 130,6 тыс. гектаров сельскохозяйственных угодий, которые после аварии были выведены из хозяйственного использования. Приблизительно только 30% этой территории было с плотностью загрязнения ¹³⁷Cs выше 555 кБк/м² [1].

За послеаварийный период радиационная ситуация в Украине значительно улучшилась благодаря проведению тщательного радиационного мониторинга сельскохозяйственного производства, угодий, продукции; ее радиологическому контролю и выбраковке; осуществлению комплекса контрмер в области сельскохозяйственного производства, направленных на снижение радиоактивного загрязнения продуктов питания населения; естественным природным автореабилитационным процессам (радиоактивному распаду, фиксации и перераспределению радионуклидов в почве). С начала 1990-х годов в общественном секторе Украины не производится продукция, загрязненная выше гигиенических государственных нормативов. В течение последних лет в Украине были ликвидированы колхозы и совхозы, произошла приватизация сельскохозяйственных земель. Это привело к значительному изменению структуры землепользования. В настоящее время только около 20% сельскохозяйственной продукции производится в фермерских хозяйствах, при этом практически весь картофель и молоко производит население в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ).

В ЛПХ до настоящего времени производится и потребляется населением сельскохозяйственная продукция, не соответствующая гигиеническим государственным нормативам по допустимым уровням содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в продуктах питания и питьевой воде (ДУ-2006). Сейчас в Украине остается около 10–15 сел, где удельная актив-

ность ¹³⁷Cs в молоке и мясе постоянно превышает ДУ-2006 (100 и 200 Бк/кг, соответственно) в 5–10 раз и около 100 населенных пунктов, где уровень радиоактивного загрязнения молока во многих ЛПХ (>30%) может превышать допустимые уровни. Вместе с тем встречаются случаи превышения допустимого содержания ¹³⁷Cs в овощах (40 Бк/кг) и картофеле (60 Бк/кг), выращенных на торфяниках севера Ровенской области, а также превышение содержания ⁹⁰Sr в зерне для приготовления хлебопродуктов в районах, примыкающих к зоне отчуждения ЧАЭС (около 50 сел), чего не наблюдалось ранее. В северо-западных наиболее критических районах украинского Полесья паспортная эффективная доза облучения населения изменяется в пределах 0,5 – 5,0 мЗв в год (табл. 1) и, в основном (на 80–95%), формируется за счет внутреннего облучения в результате потребления продуктов питания с повышенным содержанием ¹³⁷Cs (молоко, лесные грибы и ягоды).

Таблица 1

Распределение населенных пунктов в Украине по результатам дозиметрической паспортизации УНЦРМ 2001–2006 гг. [2, 3]

Год проведения паспортизации	Паспортная доза, мЗв/год				
	0,5–1	1–2	2–3	3–5	>5
2001	314	389	17	12	5
2002	317	351	7	14	3
2003	338	268	8	9	2
2004	410	187	3	12	0
2005	297	86	10	12	0
2006	285	52	6	6	1

В настоящее время все критические населенные пункты с наибольшими дозовыми нагрузками на население расположены на севере Ровенской области (табл. 2), где жители выпасают коров и заготавливают сено на неокультуренных естественных пастбищах, на переувлажненных торфяно-болотных почвах с аномально высокими коэффициентами

перехода ^{137}Cs в звене «почва-молоко» (6 ± 3 Бк/кг:кБк/м²). Эта особенность почвенных условий Украинского Полесья была установлена еще в работах А.Н. Марей с соавторами в начале семидесятых годов прошлого столетия задолго до Чернобыльской аварии [4]. Только в этих 10 критических селах средние эффективные дозы на население превышают 0,3 мЗв/год по данным измерений содержания ^{137}Cs в теле, что хорошо согласуется с расчетами для критической группы населения с помощью программы ReSCA (различия в $3,1 \pm 1,1$ раза), разработанной в рамках межрегионального проекта МАГАТЭ. Паспортные же средние эффективные дозы облучения населения в $5,5 \pm 1,8$ раза превышают расчетные значения, полученные на основе измерений содержания ^{137}Cs в теле. Это связано с консерватизмом методики оценок паспортных доз, самоограничениями в потреблении населением местных продуктов питания с повышенным содержанием ^{137}Cs (население хорошо информировано об уровнях загрязнения своей продукции), а также непредставительностью выборок при определении средних уровней радиоактивного загрязнения молока в течение года для расчета паспортных доз. Спецификой Украинского Полесья является то, что население содержит достаточно много коров (две на семью) и использует для их выпаса различные пастбища с разными уровнями радиоактивного загрязнения кормов. Как правило, при паспортизации населенного пункта приводятся максимальные уровни содержания ^{137}Cs в молоке.

В ближайшем будущем не следует ожидать значительного улучшения радиационной обстановки в этих населенных пунктах без применения контрмер, так как возможности природных автореабилитационных процессов (фиксации радионуклидов почвой) уже себя исчерпали [1]. Таким образом, при сохранении существующей ситуации уменьшение радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции в Украине в два раза будет осуществляться в основном благодаря радиоактивному распаду каждые 20–30 лет.

Именно благодаря применению контрмер в сельском хозяйстве дозовые нагрузки на население за первые 15 лет после Чернобыльской катастрофы были снижены в два

раза, что было официально признано МАГАТЭ и Мировым сообществом. Начиная с 2000 года, объемы проведения контрмер в сельскохозяйственном производстве Украины существенно уменьшились и не оказывают значительного влияния на улучшение радиационной обстановки [1]. Для гарантированного производства сельскохозяйственной продукции, соответствующей ДР-2006, и непревышения дозовых нагрузок на население (1 мЗв/год) ежегодно расходуется из Государственного бюджета Украины около 8 млн грн. (или 1 млн евро), что значительно ниже потребности областей и составляет всего 0,2% от ежегодных затрат на преодоление последствий Чернобыльской катастрофы в Украине (компенсации и льготы пострадавшим, капитальное строительство, содержание зоны отчуждения и т.п.). Ограниченность финансирования требует оптимизации применения защитных мероприятий на пострадавших в результате Чернобыльской катастрофы территориях с целью достижения максимального эффекта при минимальных затратах.

В рамках регионального проекта МАГАТЭ RER09/074 «Долговременная стратегия контрмер и мониторинг облучения человека в сельских районах, которые пострадали в результате Чернобыльской аварии» в 2003–2006 годах на тестовых критических населенных пунктах в Белоруссии, России и Украине на практике была оценена и продемонстрирована высокая эффективность контрмер в сфере сельскохозяйственного производства спустя даже 20 лет после Чернобыльской аварии. Так, за счет применения ферроцина и коренного улучшения лугов для выпаса молочных коров эффективная доза облучения населения была уменьшена в среднем в 2–4 раза. В рамках данного проекта была разработана система поддержки принятия решений по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий – ReSCA (Remediation Strategies after the Chernobyl Accident – Стратегии реабилитации после Чернобыльской аварии). Программа построена таким образом, чтобы максимально учесть данные, характерные для рассматриваемых населенных пунктов, включая конкретные выпасы молочных коров.

Таблица 2

Перечень наиболее критических сел, расположенных на радиоактивно загрязненной территории Украины [1–3]

Населенный пункт	Средние уровни загрязнения молока ^{137}Cs , Бк/л	Количество населения	Количество коров	Эффективная среднегодовая внутренняя доза облучения населения в 2005–2006 гг., мЗв/год		
				паспортная	ReSCA для крит. группы	средняя по содержанию ^{137}Cs в теле
<i>Рокитновский район Ровенской области</i>						
Вежиця	487–890	966	435	4,2–5,4	2,34	0,61–0,69
Старе село	236–590	2965	1042	2,7	1,68	0,54–0,60
Ельне	220–661	752	239	3,3–4,7	1,87	0,37–0,74
Дроздынь	230–613	1828	626	3,2–3,6	1,78	0,47–0,51
Переходичи	100–525	446	170	1,5–2,8	0,99	0,37–0,64
Будки-Каменские	70–309	180	92	0,7–0,9	0,76	0,42–0,47
Заболотье	210–328	458	110	2,2–2,4	0,92	0,29–0,37
<i>Дубровицкий район Ровенской области</i>						
Будымля	223–351	660	185	1,6–2,6	1,02	0,32–0,51
Великий-Черемель	104–391	143	55	2,2–2,9	1,22	0,48–0,62
<i>Заричнянский район Ровенской области</i>						
Бир	50–507	114	68	3,3–3,9	0,57	0,64–0,76

С помощью программы ReSCA с учетом общественного мнения и минимизации стоимости предотвращенной дозы была проведена оптимизация применения конгрмер во всех 206 населенных пунктах Украины, отнесенных ко второй и третьей зоне радиоактивного загрязнения, из которых не проводилось отселение населения, с эффективной паспортной дозой, превышающей 1 мЗв/год в 2004 году. Оценки, сделанные с помощью программы ReSCA, показали, что только в 14 населенных пунктах, в состав которых входят 10 наиболее критических сел (см. табл. 2), эффективная доза на критическую группу населения превышала 1 мЗв/год. Применение ферроцина (3–5 г в сутки на корову) в этих 14 селах (стоимость около 0,1 млн евро в год в ценах 2004 года) в течение лактационного периода (300 дней в году) вместе с комбикормом или в виде солевых брикетов позволяет в 2–3 раза уменьшить уровни загрязнения молока и говядины. Все это, вместе с проведением коренного улучшения лугов на части пастбищ двух населенных пунктов (0,6 млн евро в ценах 2004 года) позволяет уменьшить эффективные дозы облучения населения во всех критических селах до допустимых уровней, не превышающих 1 мЗв/год. При этом предотвращенная коллективная доза за год составит 47,1 чел-Зв, а средняя стоимость предотвращенной дозы 14,3 евро/чел-мЗв (2,7÷8,7 евро/чел-мЗв для применения ферроцина и 19,4÷26,7 евро/чел-мЗв для коренного улучшения лугов).

Коренное улучшение кормовых угодий является очень эффективной долговременной конгрмерой в условиях торфяников Ровенской области, а также с точки зрения социально-экономической реабилитации депрессивных регионов, хотя эти работы часто являются неоправданно дорогими (включая гидромелиоративные работы), с точки зрения уменьшения дозовых нагрузок на население. В ряде случаев их просто нельзя провести из-за отсутствия подходящих (свободных) площадей после приватизации земель в Украине. Для этих целей могут быть использованы только общественные (неприватизированные) земли запаса сельских советов.

Полученные с помощью программы ReSCA оптимизированные оценки затрат на проведение конгрмер показывают, что сейчас для уменьшения эффективных доз облучения населения в Украине после Чернобыльской катастрофы ниже допустимых уровней может вполне хватить используемых для этих целей средств. Только в этом случае конгрмеры должны проводиться в конкретных наиболее критических селах, а не распыляться по всей территории, пострадавшей в результате аварии. При этом основная масса конгрмер должна быть проведена только в одном Ракитновском районе Ровенской области (более 90% всех затрат).

В соответствии с законодательством Украины основным показателем радиационной обстановки является эффективная доза, рассчитанная по утвержденным методикам в ходе дозиметрической паспортизации населенных пунктов (см. табл. 1). В соответствии с дозиметрической паспортизацией, сейчас в Украине около 60 сел, в которых эффективная доза облучения населения превышает 1 мЗв/год и поэтому в них оправдано применение конгрмер. Для реализации конгрмер в этих селах необходимо около 40 млн грн. (5 млн евро). Наряду с радиологическим эффектом, реализация основной массы традиционных конгрмер в сельскохозяйственном производстве при-

водит к увеличению урожайности культур и повышению рентабельности самого производства, что, на наш взгляд, является оправданным и крайне важным для социально-экономического возрождения пострадавших в результате Чернобыльской катастрофы депрессивных регионов.

В последнее время особую актуальность приобрели вопросы радиационной защиты не только человека, но и окружающей среды. Поддается сомнению правомерность основной парадигмы радиоэкологии, утверждающей, что если защищен человек, то защищены и другие биологические объекты (91 Публикация МКРЗ), о чем свидетельствует широкая дискуссия, развернутая относительно допустимых уровней облучения биоты [5]. В настоящее время интенсивно разрабатываются дозиметрические модели и выводятся зависимости «доза-эффект» для референтных биологических объектов. Для решения этих вопросов в 2004 году МАГАТЭ была создана соответствующая рабочая группа в рамках EMRAS проекта (Environmental Modelling for Radiation Safety), а в 2005 году МКРЗ был создан 5-й комитет «Радиационная защита окружающей среды». Этим комитетом сосна обыкновенная (*Pinus Sylvestris*) была предложена в качестве референтного растения для оценки воздействия ионизирующего излучения на биоту. При этом Чернобыльская зона радиоактивного загрязнения рассматривается как один из базовых полигонов для получения зависимостей «доза-эффект» при хроническом облучении (внутреннем и/или внешнем) организмов.

Начиная с 2004 года, Украинским НИИ сельскохозяйственной радиологии проводятся в реальных условиях Чернобыльской зоны отчуждения комплексные исследования радиобиологических эффектов при различных поглощенных дозах хронического ионизирующего облучения сосны обыкновенной на трех экспериментальных полигонах: пункт временной локализации радиоактивных отходов «Рыжий лес» около траншеи №22, «Копачи» и «Иванков», расположенных на расстоянии 1,5 км на запад, 5 км и 60 км на юг от ЧАЭС соответственно. Удельная активность ^{90}Sr и ^{137}Cs в корнеобитаемом слое почв на полигонах изменялась от 0,02 до 135 кБк/кг и от 0,06 до 280 кБк/кг соответственно, при этом содержание радионуклидов в органах деревьев также изменялось в широких пределах (в древесине от 0,4 до 2390 кБк/кг по ^{90}Sr и от 0,2 до 36 кБк/кг по ^{137}Cs).

Для измерения активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в образцах почвы и растений использовались стандартные радиохимические и бета-гамма-спектрометрические методы. Активности ^{137}Cs в образцах измерялись на γ -спектрометре ADCAM-300, оснащенный полупроводниковыми детекторами из высококачистого германия GEM-30185 (EG&G ORTEC, США). Активности ^{90}Sr определялись по стандартной радиохимической методике, базирующейся на экстрагировании радиохимически чистого ^{90}Sr из раствора с последующим анализом экстрактов на β -спектрометре СЕБ-001 (Украина). В части проб активность ^{90}Sr измерялась на жидкостно-сцинтилляционном радиометре Mark-III (США).

Для сопоставимости результатов и корректной оценки средних за год дозовых нагрузок на протяжении трех лет в динамике измерялась удельная активность разных органов сосны, произрастающей на экспериментальных полигонах. Удельная активность ^{90}Sr и ^{137}Cs в лубе сосны дос-

тигала 6000 и 300 кБк/кг соответственно. При обработке результатов измерений применялась полиномиальная аппроксимация для интерполяции зависимостей на периоды более редкого отбора проб. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что удельные активности ^{90}Sr приблизительно одинаковы для древесины, почек и молодой хвои на протяжении большей части года. В несколько раз более высокие удельные активности наблюдаются в других органах (самые высокие – в хвое второго года и лубе). Отмечаются два пика активности: весной и в начале осени. При этом второй пик в древесине и ветках несколько запаздывает и приходится на октябрь. Для всех органов сезонные вариации удельной активности ^{90}Sr составляют 2–3 раза.

Самое низкое загрязнение ^{137}Cs наблюдается для древесины – в среднем оно на порядок величины ниже, чем в молодых органах (хвоя, побеги, почки, луб) и в коре. Отмечаются существенные вариации удельной активности радионуклида во всех органах (от нескольких раз до порядка величины). Как и для радиостронция, можно выделить весенний и осенний максимумы удельных активностей (за исключением побегов и молодой хвои, для которых второй максимум наблюдается летом).

Основным внешним источником облучения деревьев экспериментальных массивов являются локализованные в почве радионуклиды (в основном ^{137}Cs , поскольку β -излучение ^{90}Sr поглощается преимущественно в почве, а активности других радионуклидов чернобыльского выброса на данный период пренебрежимо малы), учет вклада которого в формирование дозовых нагрузок на деревья осуществляется путем прямых измерений мощностей поглощенной дозы в местах произрастания деревьев. В то же время, учет β -излучения инкорпорированных в органах деревьев радионуклидов требует формализации задачи в рамках определенного концептуального подхода. Очевидно, что часть β -излучения от локализованных в органе-мишени (в нашем случае это центральная почка верхушечной меристемы; более конкретно, мощности доз определяются для точки в центре основы этой почки) и близлежащих органах-источниках (боковые почки, верхняя часть ствола, хвоя, боковые побеги) радионуклидов может достигать выбранной точки органа-мишени. Для решения подобных задач наиболее приемлемым является микродозиметрический подход, который и был нами применен. Во избежание неточностей, которыми характеризуются различные эмпирические дозовые функции, наш подход базировался на использовании табулированных значений дозовой функции точечного источника излучения, полученных методом Монте-Карло [6].

Разработанная дозиметрическая модель позволила провести расчет мощностей поглощенных доз на верхушечную меристему деревьев экспериментального массива, необходимых для построения дозовых зависимостей морфологических и цитогенетических эффектов хронического облучения сосны. Для деревьев экспериментального массива на контрольной площадке «Иванков» мощность поглощенной дозы составляет $4,5 \pm 0,5$ мГр/год. При этом существенный вклад в дозовые нагрузки вносит внутреннее облучение от инкорпорированного ^{137}Cs . В целом, внутреннее облучение дает до 2/3 суммарной мощности дозы, что, по-видимому, объясняется близостью площадки к зоне

отчуждения. Несмотря на наличие выраженной чернобыльской составляющей, суммарные дозовые нагрузки представляются достаточно невысокими, а выбор данной площадки в качестве контрольной – адекватным, особенно с учетом чувствительности исследуемого вида к почвенно-климатическим условиям.

На площадке Копачи мощности доз на верхушечную меристему имеют тот же порядок величины, составляя $1,9 \pm 0,3$ сГр/год, а вклад от внешних источников в 2–3 раза превышает вклад внутренних.

В Рыжем Лесу подавляющий вклад в общее облучение верхушечной меристемы деревьев вносит излучение инкорпорированного ^{90}Sr . Мощности доз варьируют в широком диапазоне от нескольких сГр/год до нескольких Гр/год, при этом вклад внутреннего облучения растет с ростом суммарной мощности дозы. Заметим, что характерная для большинства деревьев на данной площадке мощность дозы в несколько Гр/год является достаточно высоким показателем, что и приводит к высокой частоте проявления радиобиологических эффектов в Рыжем Лесу даже на морфологическом уровне.

На всех экспериментальных площадках визуально определялась частота появления морфологических изменений (доля деревьев с морфозами – различными видами снятия апикального доминирования при развитии кроны деревьев), увеличивающаяся от 6% до 100% при изменении мощности поглощенной дозы в верхушечной меристеме сосны от 0,0045 до 8 Гр/год, что позволило в первом приближении построить зависимость «доза-эффект» для морфологических изменений при хроническом облучении сосны в реальных условиях после Чернобыльской аварии (рис. 1). В настоящее время для построения статистически достоверной зависимости проводятся работы по увеличению числа обследованных деревьев и их группировке по дозовым нагрузкам. Полученные в ходе работы экспериментальные данные были включены в электронную базу данных, созданную в среде Microsoft Access 2003.

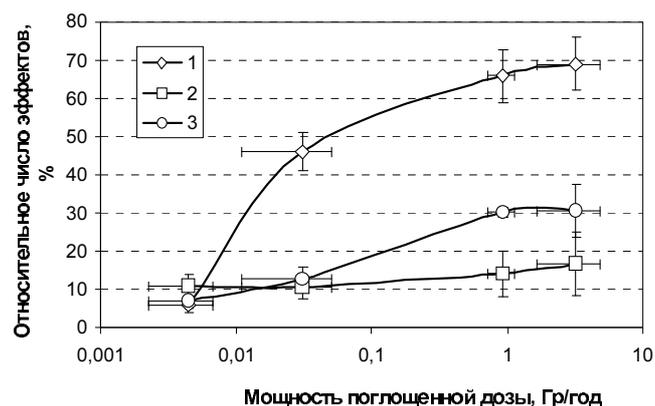


Рис. 1. Относительное число радиобиологических эффектов хронического облучения сосны обыкновенной в зависимости от мощности поглощенной дозы верхушечной меристемы деревьев: 1 – доля деревьев с морфозами – различными видами снятия апикального доминирования при развитии кроны деревьев; 2 – доля aberrантных телофаз клеток апикальной меристемы корней семян сосны; 3 – доля aberrантных анафаз клеток апикальной меристемы корней семян сосны

В работах С. Гераськина с соавторами [7] было установлено, что под действием хронического облучения сосны обыкновенной в Чернобыльской зоне отчуждения в ее семенах возникают многочисленные повреждения клеток, которые регистрируются по числу хромосомных aberrаций на стадии митоза клеток корневой меристемы. Цитогенетические исследования проводились на апикальной меристеме корешков семян сосны с разных экспериментальных площадок. На протяжении конца зимы 2006–2008 годов с модельных деревьев, в которых измерялась удельная активность радионуклидов в разных органах, отбирались шишки со зрелыми семенами сосны. Весной после открытия шишек семена проращивали в чашках Петри на влажной подстилке из фильтровальной бумаги и ватного тампона при температуре 22°C в термостате. Интенсивность прорастания семян не зависела от места их сбора. Фиксацию проростков семян проводили по стандартной методике [7, 8]. Первые митозы в корнях семян наблюдались при их длине около 7–9 мм.

Относительное количество хромосомных aberrаций определялось для каждого отдельного модельного дерева (со средними характеристиками для всего массива) с помощью метода получения давленных препаратов. При этом анализировалось около 10 тысяч клеток с дерева с помощью микроскопа Axioskop 40 (Zeiss) и программного обеспечения «ВидеоТест-Карио 3.1». В поле зрения подсчитывалось общее количество клеток, профаз, метафаз, анафаз, телофаз и интерфаз. Была создана база данных оцифрованных изображений хромосомных aberrаций, определено относительное количество aberrантных анафаз и телофаз, на основании чего статистически достоверно установлено увеличение числа хромосомных aberrаций с увеличением уровня поглощенной дозы в органах сосны (см. рис. 1). Так, доля aberrантных телофаз для наиболее загрязненного полигона «Рыжий Лес» достигает 35%, что в разы превышает значения для разового облучения семян сосны в аналогичных дозах [7], а также в два и четыре раза выше по сравнению с полигонами «Копачи» и «Иванков». В то же время данная тенденция для aberrантных анафаз является слабо выраженной.

Полученные зависимости «доза-эффект» для морфологических (различные виды снятия апикального доминирования при развитии кроны деревьев) и цитогенетических (доля aberrантных клеток в апикальной меристеме корневых семян) радиобиологических эффектов при хроническом облучении сосны обыкновенной могут быть использованы для нормирования допустимых уровней облучения биоты, а также для развития теоретических подходов к описанию возникновения радиобиологических эффектов.

Список использованной литературы

1. Кашпаров, В.А. Проблемы сельскохозяйственной радиологии в Украине на современном этапе [Текст] / В.А. Кашпаров, Н.М.Лазарев, С.В.Полищук // Агроекологічний журнал. – 2005. – № 3, С. 31-41.
2. Ліхтарьов, І.А. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії [Текст] / І.А. Ліхтарьов, Л.М. Ковган, З.Н. Бойко [и др.]. // Узагальнені дані за 2001-2004 р. : Збірка 10. – Київ.: МНС, 2005. – 57 с.
3. Ліхтарьов, І.А. Загальнодозиметрична паспортизація та результати ЛВЛ-моніторингу в населених пунктах України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії [Текст] / І.А. Ліхтарьов, Л.М. Ковган, З.Н. Бойко [и др.]. Узагальнені дані за 2005-2006 р.: Збірка 11. – Київ.: МНС, 2007. – 63 с.
4. Марей, А.Н. Глобальные выпадения цезия-137 и человек [Текст] / А.Н. Марей, Р.М. Бархударов, Н.Я., Новикова – М.: Атомиздат, 1974. – 168 с.
5. Fesenko, S. V. Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant [Текст] / S. V. Fesenko, R. M. Alexakhin, S.A. Geras'kin [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – V. 80, issue 1. – P. 1–25.
6. Cross, W.G. Beta-ray dose distributions from point sources in an infinite water medium [Текст] / W.G. Cross, N.O. Freedman, P.Y. Wong // Health Physics. – 1992. V. 63 (2). – P. 160-171.
7. Geras'kin, S.A. Bioindication of the anthropogenic effects on micropopulations of *Pinus sylvestris*, L. in the vicinity of a plant for the storage and processing of radioactive waste and in the Chernobyl NPP zone [Текст] / S.A. Geras'kin, L.M. Zimina, V.G. Dikarev [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2003. – V. 66. – P. 171–180.
8. Паушева, З. П. Практикум по цитологии растений [Текст] / З.П. Паушева – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

V.A. Kashparov, V.I. Yoschenko, Yu.O. Bondar, E.S. Tankatch

Radiological Situation in Ukraine after Chernobyl Accident and Optimization of the Countermeasures Application at the Present Stage

Ukraine Institute of Agricultural Radiology (UIAR), Kyiv

Abstract. The present radiological situation in the agricultural production of Ukraine is considered and analyzed. On the basis of optimization of the countermeasures application the approaches are proposed which would guarantee the compliance of the agricultural production with the corresponding State hygienic regulations, as well as reduction of the effective exposure dose to population below the approved limits. Taking into account the lately growing interest to radiation protection of not only human, but the environment as well, the results of the studies of frequency of the radiobiological effects of chronic exposure to plantations of Scots pine in the Chernobyl exclusion zone depending on the levels of the dose to the trees' apical meristem are presented.

Key words: radiobiology; radioecology; Chernobyl accident, population exposure, morphological changes, chromosome aberrations.

V.A. Кашпаров
E – mail: vak@uiar.kiev.ua