



УДК 631.95:628.516:615.849

**ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ ЗОНА ОТСЕЛЕНИЯ:
РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРСПЕКТИВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ**
**CHERNOBYL RESETTLEMENT ZONE: RADIATION-ECOLOGICAL ASPECTS
OF THE PROSPECTS OF AGRICULTURAL USE OF THE AREA**

А.И. Дутов¹, С.Ю. Булыгин², Ф.Н. Лисецкий³
A.I. Dutov¹, S.Yu. Bulygin², F.N. Lisetskiy³

¹ Государственная экологическая академия последипломного образования и управления. Украина, г. Киев,
ул. Митрополита Липкивского, 35

² Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Украина, г. Киев, ул. Героев Оборони, 13

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, г. Белгород,
ул. Победы, 85

¹ State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management, 35 Metropolit Lipkivskiy St, Kiev,
03035, Ukraine

² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 13, Heroev Oboroni St, Kiev, 03041, Ukraine

³ Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: dutov_naan@ukr.net; s.bulygin@rambler.ru; liset@bsu.edu.ru

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, Чернобыльская АЭС, удельная активность радионуклидов, безопасность сельскохозяйственной продукции, цезий 137, нормативы содержания радионуклидов.

Key words: contamination, the Chernobyl nuclear power station, the specific activity of radionuclides, safety of agricultural products, cesium 137, radionuclide content standards.

Аннотация. Представлены результаты многолетних радиационно-экологических исследований для оценки возможного сельскохозяйственного использования радиоактивно загрязненных территорий зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения применительно к отдаленному периоду развития радиоэкологической ситуации. Показано, что экологически ориентированные мероприятия наряду с экономической обоснованностью и целесообразностью сельскохозяйственного использования зоны отселения должны быть направлены на снижение как индивидуальной эффективной дозы облучения населения путем производства гарантированно радиоэкологически безопасной сельскохозяйственной продукции, так и коллективной – путем минимизации интенсивности потока радионуклидов с урожаем товарной продукции.

Resume. Production in the evacuation zone within the Chernobyl nuclear power station in Ukraine (area of 4200 km²) is possible only under special permit. However, over the past decade, the radiation situation in the resettlement areas due to the physical decay of short-lived radionuclides, the immobilization of Cs-137 soil-absorbing complex is much better. Therefore, the assessment of the prospects for agricultural use of Chernobyl evacuation zone for remote periods of the radiation situation directed the study in this article. Spectrometric definition of specific activity of Cs-137 as the main radionuclide in natural conditions for the five most contaminated areas of Ukraine was held. The results of radiological monitoring of the structure of production, in which the content of radionuclides in Ukraine exceeds the permissible levels were obtained. The results of long-term radiation-ecological studies to assess the potential of agricultural use of radioactively contaminated territories of Exclusion zone and unconditional (obligatory) resettlement in relation to remote period of radioecological situation were presented. Studies have shown that even the traditional processing of vegetables can significantly reduce radiation criticality in agrolandscapes of earlier resettled areas. At the same time the most promising areas of appropriate agricultural land use in the evacuation zone – is growing raw materials for further in-depth processing. It is shown that environmentally oriented activities along with the feasibility and desirability of agricultural use of the evacuation zone should be aimed at reducing both the individual effective doses to the population by producing guaranteed radioecological safety of agricultural products, and collectively – by minimizing the flow rate of radionuclides from the harvest of marketable products.

Введение

Сравнительный анализ международного опыта экологического нормирования позволил предложить систему экологических индикаторных показателей для оценки состояния окружающей природной среды в Украине [Варламов, Палагута, 2013]. Важнейшим компонентом диагностики качества окружающей среды является радиационная безопасность.

Авария на Чернобыльской АЭС вошла в историю развития мировой цивилизации как беспрецедентная техногенная катастрофа. Экспертные оценки показали, что из разрушенного четвертого энергоблока в окружающую среду было выброшено более $1.3 \cdot 10^{19}$ Бк радионуклидов [Абагян, 1986; USSR State Committee ..., 1986; Сивинцев, Хрулев, 1995; Buzulukov, Dobrynin, 1993]. В той или иной степени радиационному загрязнению подверглись почти все страны се-

верного полушария [Израэль, Петров, Северов, 1987; Сивинцев, Хрулев, 1995; Израэль, 1998]. Только в Украине, Российской Федерации и Республике Беларусь площадь радиоактивно загрязненной территории с плотностью более 37 кБк/м² превышала 145 тыс. км². В зоны радиоактивного загрязнения попали около пяти тысяч населенных пунктов с населением более пяти миллионов человек [Департамент ..., 2011; Шойгу, Большов, 2011; Балоба, 2011]. На территории Белгородской области около 140 тыс. га пашни были загрязнены искусственными радионуклидами цезием-137 и стронцием-90, но за 19 лет после аварии на ЧАЭС третья часть радионуклидов уже распалась [Лукин и др., 2005].

Наибольшее количество выселенных населенных пунктов находится на территории Украины. Сразу после аварии из 30-километровой зоны вокруг ЧАЭС (зона отчуждения) было эвакуировано население 76 населенных пунктов и 86 (зона безусловного (обязательного) отселения) – по результатам радиоэкологического обследования в последующие годы [Закон України, 1991; Кабінет Міністрів Української РСР, 1991]. Общая площадь Чернобыльской зоны отселения в Украине составляет 4200 км² [Холоша, 2008]. На этой территории была запрещена любая деятельность, направленная на производство товарной продукции без специального разрешения.

За период после Чернобыльской катастрофы радиационная ситуация на отселенной территории существенно улучшилась. Произошло это вследствие физического распада короткоживущих радионуклидов, иммобилизации ¹³⁷Cs почвенно-поглощающим комплексом [Булигін и др., 2012; Дутов, 2012, 2014]. Закономерным является вопрос о возможности возобновления на этой территории хозяйственной деятельности. Поэтому изучение радиационно-экологических аспектов возможного сельскохозяйственного использования Чернобыльской зоны отселения для отдаленного периода развития радиационной ситуации является важным и актуальным.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в природных условиях наиболее загрязненных областей Украины (Волинская, Житомирская, Ровенская, Киевская и Черниговская). Удельную активность ¹³⁷Cs, как основного дозообразующего радионуклида, определяли спектрометрическим методом на гамма-спектрометрическом оборудовании с полупроводниковыми детекторами GEM-30185, Ge (Li), GMX серии «EG & G ORTEC») и многоканальным анализатором ADCAM-300. Полевые опыты проводили в 1988–2006 гг. в зоне безусловного (обязательного) отселения. Почвы – дерново-подзолистые. Площадь учетной делянки – 25 м², повторность – четырёхкратная. Отбор образцов и их подготовку к анализу осуществляли по общепринятым методикам с учетом специфики научно-исследовательских работ в области сельскохозяйственной радиологии [Прістер та ін., 1992]. При анализе и обобщении полученных данных также использовали методические рекомендации по проведению комплексного радиологического мониторинга территорий расположения АЭС, экспресс-методику оценки плотности загрязнения радиоактивными изотопами цезия по данным гамма-съемки местности с учетом радионуклидного состава и распределения радионуклидов по профилю почвы, методических рекомендаций по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по общепринятым методикам статистического анализа. Компьютерную обработку результатов исследований проводили с использованием пакета прикладных программ BioStat 2008, MS Excel 2007 с надстройкой AtteStat 12.1.7 и Origin Pro v 8.5.

Плотность загрязнения опытного участка ¹³⁷Cs 7030–8695 кБк/м² (190–280 Ки/км²). Для оценки накопления радионуклидов в урожае использовали коэффициент перехода (КП) радиоактивного цезия из почвы в растения – содержание радионуклида в растении по плотности загрязнения почвы, равной единице (Бк/кг воздушно-сухой массы растений) / (кБк/м² почвы).

Результаты и их обсуждение

Обязательным условием оценки перспектив возрождения сельскохозяйственной деятельности на радиоактивно загрязненных территориях является производство гарантированно безопасной в радиационном отношении товарной продукции, которая непосредственно используется в пищу. Именно эта продукция является наиболее критической в радиационном отношении и именно для нее существующими гигиеническими нормативами жестко регламентируется содержание радионуклидов. Усредненные результаты радиологического мониторинга по структуре продукции, содержание радионуклидов в которой превышает допустимые в Украине уровни (ДУ–2006) приведена на рисунке 1.

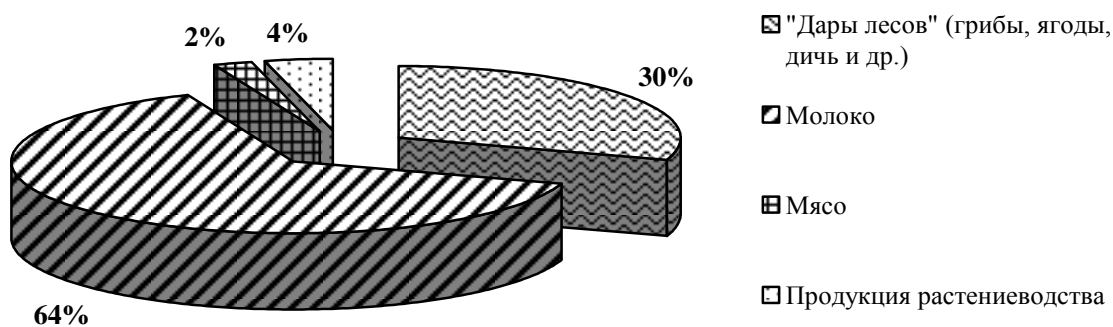


Рис. 1. Структура продукции с превышением допустимых уровней (ДУ-2006) содержания ^{137}Cs
 Fig. 1. The structure of production in excess of permissible levels (PL-2006) of ^{137}Cs

Анализ представленных данных показывает, что и в отдаленный период развития радиационной ситуации после Чернобыльской катастрофы, наиболее критическим в радиационном отношении остается молоко, которое производится в личных подсобных хозяйствах населения. В структуре загрязненной продукции оно занимает 64%. При этом ее критичность может существенно изменяться в зависимости от условий содержания животных. Так в засушливые годы, когда в качестве выпасов начинают использовать лесные угодья и/или некультуренные пастбища, для которых характерны аномально высокие коэффициенты перехода радиоактивного цезия из почвы в травостой, количество загрязненных образцов молока значительно увеличивается.

Таким образом, развитие молочной отрасли при возрождении сельскохозяйственного производства на ранее отселенных территориях является экологически безопасным. Для организации выпаса молочного стада личных подсобных хозяйств, необходимо использовать высокоплодородные почвы с минимальной плотностью загрязнения ^{137}Cs . При этом их радиационно-экологическая критичность в значительной степени может быть компенсирована применением мелиорантов и удобрений (в особенности калийных), посевом кормовых культур, которые отличаются относительно невысокой способностью накапливать радиоцезий, введением в рацион молочных коров премиксов с радиопротекторными свойствами.

При рассмотрении радиационно-экологических аспектов возрождения отрасли животноводства на отселенных территориях следует отметить перспективность развития его мясной отрасли. Заметим, что в Украине нет допустимых уровней содержания радионуклидов в кормах. В начальный период кормления КРС мясного направления можно использовать критические угодья с более высокой плотностью радиоактивного загрязнения. Для гарантированного получения нормативно безопасного в радиационном отношении мяса, основное внимание необходимо уделять заключительной стадии откорма животных чистыми кормами. Это позволяет в 5–8 раз снизить содержание радиоцезия в продукции.

Растениеводческая продукция, которая непосредственно используется в рационе местного населения, представлена, в основном, овощами. Несмотря на то, что зона Полесья, наиболее загрязненная после Чернобыльской катастрофы, не является типичной зоной овощеводства, объемы их производства и потребления в полесских регионах увеличивается, что дает основание рассматривать эту продукцию как основную дозообразующую. Поэтому радиационно-экологические аспекты развития овощеводства на ранее выселенных территориях должны учитывать потенциальные особенности накопления радионуклида в товарной части продукции. Обобщая результаты многолетних исследований, мы разделили овощные культуры на пять условных групп (рис. 2).

Первая группа овощных культур характеризуется наименьшей потенциальной способностью накапливать радиоактивный цезий в товарной части продукции. В нее вошли (в порядке возрастания коэффициентов перехода ^{137}Cs из почвы в растения) баклажаны, лук, перец сладкий, тыква, патиссоны и томаты.

Вторая группа овощных – группа с относительно невысокой потенциальной способностью накапливать радионуклиды включает огурцы, физалис, шпинат, морковь, редис, петрушку, кинзу, капусту, перец горький, пастернак и топинамбур. В отдаленный период развития радиационной ситуации после Чернобыльской катастрофы случаев превышения гигиенических нормативов содержания радиоцезия в них не было зарегистрировано. Их можно возделывать повсеместно, где действующим законодательством разрешена хозяйственная деятельность.

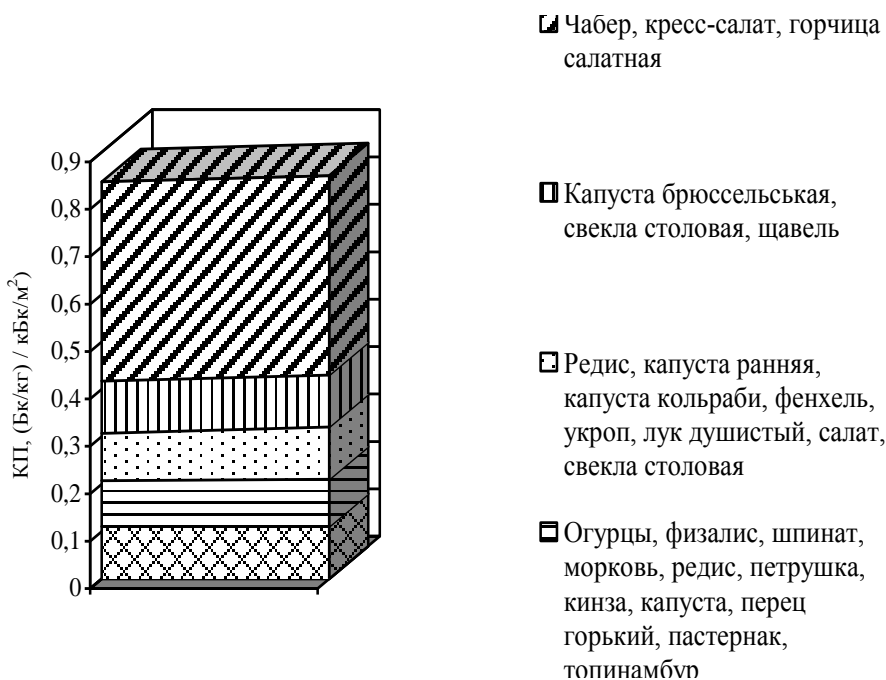


Рис. 2. Группировка овощных культур по коэффициенту перехода ¹³⁷Cs из почвы в товарную часть продукции

Fig. 2. Grouping of vegetable crops at a rate of ¹³⁷Cs transfer from soil to the commodity of the products

Третья группа овощных культур характеризуется средней способностью аккумулировать радиоактивный цезий товарной частью. Она включает редис, капусту раннюю, капусту кольраби, фенхель, укроп, салат и свеклу столовую. Эти культуры требуют большего внимания при их выращивании на радиоактивно загрязненной территории. Под них следует отводить более плодородные участки (почвы с высокой буферностью органоминерального комплекса) с невысокой плотностью загрязнения, осуществлять специальные мероприятия, направленные на снижение коэффициентов перехода ¹³⁷Cs из почвы в растения. Но особого внимания требуют овощные культуры, вошедшие в четвертую группу – группу с повышенной способностью к накоплению радиоцезия (капуста брюссельская, свекла столовая и щавель). И сегодня в отдаленный период развития радиационной ситуации после Чернобыльской катастрофы на критических в радиационном отношении органогенных грунтах при относительно невысокой плотности их загрязнения имеют место случаи превышения в них допустимых уровней содержания ¹³⁷Cs.

Группа овощей с высокой способностью накапливать радионуклиды в товарной части продукции (чабер, кресс-салат и горчица салатная) являются малораспространенными в классическом овощеводстве и достаточно редко используются в традиционном питании населения загрязненных территорий. Культивировать их при возрождении овощеводства на ранее отселенных территориях нецелесообразно.

Обращает на себя внимание тот факт, что такие овощные культуры как лук, капуста, свекла столовая могут быть отнесены к различным группам по потенциальной способности накапливать радионуклиды, что обусловлено различиями в накоплении ¹³⁷Cs разными сортами культур в пределах одного ботанического вида растений. В то же время, выращивание сельскохозяйственных культур в качестве сырья для последующей переработки, может существенно снизить критичность агроландшафтов для получения гарантированно чистой продукции (табл.).

Результаты многолетних исследований показывают, что даже традиционная переработка овощей (квашение и варка капусты, маринование томатов) может существенно снизить радиационную критичность агроландшафтов ранее отселенной территории. В то же время наиболее перспективным направлением их целесообразного сельскохозяйственного использования является выращивание сырья для дальнейшей углубленной переработки. Так крахмал и этанол, полученный из картофеля, который по радиационно-экологическим показателям не может быть непосредственно использован в питании, будет гарантированно соответствовать допустимым уровням содержания радионуклидов.

Таблица
Table

Максимальная плотность загрязнения дерново-подзолистой почвы (по содержанию ^{137}Cs) при выращивании продукции и ее переработки
The maximum density of contamination of sod-podzolic soil (content ^{137}Cs) during the growth of production and processing

Сельскохозяйственное сырье	Способ обработки (переработки)	Диапазоны плотности загрязнения почвы для производства безопасных:			
		овощей (без переработки)		сырья для переработки	
		кБк/м ²	Ки/км ²	кБк/м ²	Ки/км ²
Капуста	Варение	267–400	7–11	1333–2000	36–54
	Квашение	267–400	7–11	347–560	9–15
Томаты	Маринование	800–4000	22–108	880–5200	24–141
Картофель	Картофельное пюре	333	9	433–467	12–13
	На крахмал	333	9	1998–2664	54–72
	На этанол	333	9	16650–33300	450–900
Рапс (зерно)	На биотопливо	Вся территория, на которой разрешено АПП			

Примечание: кБк – Килобеккерель; Ки – Кюри.

Загрязненные земли Чернобыльской зоны отселения, на которых в перспективе будет разрешено сельскохозяйственное производство, без ограничения можно использовать для выращивания рапса в качестве сырья для переработки на биотопливо. Это обусловлено как минимальным коэффициентом переходом радионуклида из зерна рапса в конечный продукт, так и отсутствием допустимых уровней его содержания в биотопливе.

Заклучение

Таким образом, радиационно-экологическая оценка перспектив сельскохозяйственного использования Чернобыльской зоны отселения базируется на производстве продукции, содержание радионуклидов в которой гарантированно не превышает допустимых уровней. Наиболее рациональным направлением сельскохозяйственной деятельности в этих условиях является мясное животноводство и производство сельскохозяйственного сырья для последующей глубокой переработки, отдавая приоритет не производству продовольствия, а растениям, возделываемым человеком для получения технического сырья.

Список литературы References

- Абагян А.А. 1986. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. Атомная энергия, 61 (5): 301–320.
Abagjan A.A. 1986. Informacija ob avarii na Chernobyl'skoj AJeS i ee posledstvijah, podgotovlennaja dlja MAGATJe [Information about the Chernobyl accident and its consequences, prepared for the IAEA]. Atomnaja jenergija, 61 (5): 301–320. (in Russian, with English summary)
- Балога В.І. (гол. ред.). 2011. Національна доповідь України. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. К., КІМ, 356.
Baloga V.I. (gol. red.). 2011. Nacional'na dopovid' Ukraïny. Dvadcat' p'jat' rokov Chornobil'skoï katastrofi. Bezpeka majbutn'ogo [National report of Ukraine. Twenty-five years of the Chernobyl disaster. Safety future]. Kiev, KIM, 356. (in Ukrainian)
- Булигін С.Ю., Бондар О.І., Дутов О.І., Кашпаров В.О. 2012. Сучасний етап мінімізації наслідків чорнобильської катастрофи. Вісник аграрної науки, 7: 54–57.
Buligin S.Ju., Bondar O.I., Dutov O.I., Kashparov V.O. 2012. The current stage to minimize the consequences of the Chernobyl disaster. Visnik agrarnoi nauki, 7: 54–57. (in Ukrainian)
- Варламов Е.Н., Палагута О.А. 2013. Система экологических индикаторных показателей для оценки состояния окружающей природной среды в Украине. Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки, 24 (7): 188–192.
Varlamov E.N., Palaguta O.A. 2013. The environmental indicator system of indicators to assess the state of the environment in Ukraine. Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Estestvennye nauki [Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences], 24 (7): 188–192. (in Russian, with English summary)
- Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. 2011. Четверть века после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления. Национальный доклад Республики Беларусь. Минск, 90.
Departament po likvidacii posledstvij katastrofy na Chernobyl'skoj AJeS Ministerstva po chrezvyčajnym situacijam Respubliki Belarus'. 2011. Nacional'nyj doklad Respubliki Belarus'. Chetvert' veka posle chernobyl'skoj katastrofy: itogi i perspektivy preodolenija [National Report of the Republic of Belarus. A quarter-century after the Chernobyl accident: results and prospects of overcoming]. Minsk, 90. (in Russian)

6. Дутов О.І. 2014. Агроекологічні підходи до мінімізації доз опромінення населення у віддалений період розвитку радіологічної ситуації після аварії на ЧАЕС. Екологічні науки: науково-практичний журнал, 1 (5): 24–30.
- Dutov O.I. 2014. Agroecological approaches to minimizing doses to the population in the remote period of the radiological situation after the accident. *Ekologichni nauki: naukovo-praktichnij zhurnal*, 1 (5): 24–30. (in Ukrainian)
7. Дутов О.І. 2012. Сучасні підходи до раціонального використання радіоактивно забруднених земель (на прикладі аварії на Чорнобильській АЕС). Агрохімія і ґрунтознавство, 77: 38–43.
- Dutov O.I. 2012. Current approaches to the sustainable use of radioactively contaminated land (for example, the Chernobyl accident). *Agrohimiya i ґruntoznavstvo*, 77: 38–43. (in Ukrainian)
8. Закон України. 1991. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи. Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР), 16: Ст. 199.
- Zakon Ukraїni. 1991. Pro pravovij rezhim teritorii, shho zaznala radioaktivnogo zabrudnennja vnaslidok Chornobil's'koї katastrofi [On legal regime of the area radioactively contaminated by the Chernobyl disaster]. *Vidomosti Verhovnoї Radi URSR (VVR)*, 16: St. 199. (in Ukrainian)
9. Израэль Ю.А. (науч. ред.). 1998. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии. Люксембург, Люксембургское бюро для официальных изданий европейских сообществ, 66.
- Izrajel' Ju.A. (nauch. red.). 1998. Atlas zagrjaznenija Evropy ceziem posle Chernobyl's'koj аварии [Atlas of cesium contamination of Europe after the Chernobyl accident]. *Luxemburg, Ljuksemburgskoe bjuro dlja oficial'nyh izdaniej evropejskih soobshhestv*, 66. (in Russian)
10. Израэль Ю.А., Петров В.Н., Северов Д.А. 1987. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на ЧАЭС. Метеорология и гидрология, 7: 8–17.
- Izrajel' Ju.A., Petrov V.N., Severov D.A. 1987. Modeling of radioactive fallout in the near zone of the Chernobyl accident. *Meteorologija i gidrologija*, 7: 8–17. (in Russian, with English summary)
11. Кабінет Міністрів Української РСР. 1991. Постанова Кабінету Міністрів УРСР від 23 липня 1991 р. № 106 «Про організацію виконання постанов Верховної Ради Української РСР про порядок введення в дію законів Української РСР "Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи" та "Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок чорнобильської катастрофи"». К., 220.
- Kabinet Ministriv Ukraїns'koї RSR. 1991. Postanova Kabinetu Ministriv URSR vid 23 lipnja 1991 r. № 106 «Pro organizaciju vikonannja postanov Verhovnoї Radi Ukraїns'koї RSR pro porjadok vvedennja v diju zakoniv Ukraїns'koї RSR "Pro pravovij rezhim teritorii, shho zaznala radioaktivnogo zabrudnennja vnaslidok Chornobil's'koї katastrofi" ta "Pro status i social'nij zahist gromadjan, jaki postrazhdali vnaslidok chornobil's'koї katastrofi" [Cabinet of Ministers of the USSR of 23 July 1991 g. № 106 «On organization of implementation of resolutions of the Supreme Soviet of the Ukrainian SSR of the procedure of enacting laws Ukrainian SSR "On legal regime of the area radioactively contaminated by the Chernobyl disaster" and "On Status and Social Protection citizens affected by the Chernobyl disaster"»]. *Kiev*, 220. (in Ukrainian)
12. Лукин С.В., Лисецкий Ф.Н., Терентьев М.В. (ред.). 2005. Состояние окружающей среды и использование природных ресурсов Белгородской области в 2003–2004 годах. Белгород, Изд-во БелГУ, 180.
- Lukin S.V., Liseckij F.N., Terent'ev M.V. (red.). 2005. Sostojanie okružhajushhej sredy i ispol'zovanie prirodnyh resursov Belgorodskoj oblasti v 2003–2004 godah [State of the environment and natural resources of the Belgorod region in 2003–2004. 2005]. *Belgorod, Izd-vo BelGU*, 180. (in Russian)
13. Пристер Б.С. та ін. 1992. Методичний посібник з організації проведення науково-дослідних робіт в галузі сільськогосподарської радіології. Київ, 136.
- Prister B.S. ta in. 1992. Metodichnij posibnik z organizacii provedennja naukovo-doslidnih robot v galuzi sil'skogospodars'koї radiologii [Toolkit for the organization of scientific research in the field of Agricultural Radiology]. *Kiev*, 136. (in Ukrainian)
14. Сивинцев Ю.В., Хрулев А.А. 1995. Оценка радиоактивного выброса при аварии 1986 г. на 4-ом блоке Чернобыльской АЭС. Атомная энергия, 78. Вып. 6: 403–417.
- Sivincev Ju.V., Hrulev A.A. 1995. Ocenka radioaktivnogo vybrosa pri аварии 1986 g. na 4-om bloke Chernobyl's'koj AJeS [Evaluation of radioactive release in an accident in 1986 at the fourth unit of the Chernobyl nuclear power station]. *Atomnaja jenergija*, 78 (6): 403–417. (in Russian, with English summary)
15. Холоша В.І. (ред.). 2008. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів). К., Інтелектуальні системи ГЕО, 49.
- Holoshha V.I. (red.). 2008. Radiologichnij stan teritorij, vidnesenih do zon radioaktivnogo zabrudnennja (u rozrizi rajoniv) [Radiologic state territories referred to the radioactive contamination (by area)]. *Kiev, Intel'ktual'ni sistemi GEO*, 49. (in Ukrainian)
16. Шойгу С.К., Большов Л.А. (общ. ред.). 2011. Российский национальный доклад. 25 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986–2011. М., 161.
- Shojgu S.K., Bol'shov L.A. (obshh. red.). 2011. Rossijskij nacional'nyj doklad. 25 let chernobyl's'koj аварии. Itogi i perspektivy preodolenija ee posledstvij v Rossii. 1986–2011 [Russian National Report. 25 years after the Chernobyl accident. Results and prospects of overcoming its consequences in Russia. 1986–2011]. *Moscow*, 161. (in Russian)
17. Buzulukov Yu., Dobrynin Yu., 1993. Release of radionuclides during the Chernobyl accident. The Chernobyl papers. Ed. Merwin, S. and Baolonov, M.: Research Enterprises, Richland WA, 1: 3–21.
18. USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy. 1986. The Accident at the Chernobyl-Nuclear-Power Plant and its Consequences. Post Accident Review Meeting (Vienna, 25–29 August 1986). *Vienna*: 8–25.