

В. И. Витько¹, Л. И. Гончарова¹,
В. В. Карташев¹, Г. Д. Коваленко¹,
С. А. Сегеда¹, С. В. Барбашев²

¹ Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, г. Харьков, Украина

² Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, г. Чернобыль, Украина

Автоматизированная система радиационного контроля как основная составляющая радиационной безопасности населения

Перечислены основные источники радиоактивного загрязнения территории Украины. Описан опыт организации и функционирования систем автоматизированного контроля радиационной обстановки за рубежом и в Украине. Представлены организационные предложения по созданию единой автоматизированной системы радиационного контроля на территории Украины.

Ключевые слова: радиоэкологическая обстановка, радиационно-опасный объект, радиационный контроль, организационный подход, радиоэкологическая безопасность, единая автоматизированная система радиационного контроля.

В. И. Витько, Л. И. Гончарова, В. В. Карташов, Г. Д. Коваленко, С. О. Сегеда, С. В. Барбашев

Автоматизована система радіаційного контролю як основна складова радіаційної безпеки населення

Перелічено основні джерела радіоактивного забруднення території України. Описано досвід організації та функціонування систем автоматизованого контролю радіаційної обстановки за кордоном і в Україні. Представлено організаційні пропозиції щодо створення єдиної автоматизованої системи радіаційного контролю на території України.

Ключові слова: радіоекологічна обстановка, радіаційно-небезпечний об'єкт, радіаційний контроль, організаційний підхід, радіоекологічна безпека, єдина автоматизована система радіаційного контролю.

© В. И. Витько, Л. И. Гончарова, В. В. Карташев, Г. Д. Коваленко, С. А. Сегеда, С. В. Барбашев, 2013

Несмотря на события 2011 г., происшедшие в Японии и вызвавшие новую волну отрицательного отношения к атомной энергетике во многих странах мира, в настоящее время все активнее формируется мнение о необходимости дальнейшего строительства АЭС как наиболее эффективного способа получения электроэнергии и тепла для промышленности и населения. Однако нельзя отрицать: эксплуатация атомных станций связана с определенными рисками возникновения аварийных ситуаций, что подтверждается рядом аварий на АЭС [1, 2], самые крупные из которых — на комбинате «Маяк» (Челябинская обл., Россия, 1948, 1949, 1957, 1967 гг.), в Уиндскейле (Шотландия, Великобритания, 1957 г.), на 2-м блоке Three Mile Island (США, 1979 г.), на 4-м блоке Чернобыльской АЭС (Украина, 1986 г.), на АЭС «Фукусима-Дайичи» (Япония, 2011 г.). Эти аварии существенным образом изменили отношение к использованию атомной энергии в мирных целях, а также вскрыли ряд проблем, связанных с безопасностью эксплуатации АЭС.

Чернобыльская катастрофа и авария на японской АЭС приобрели характер мировых катастроф, которые повлияли на социальную, экономическую, техническую и научную политику в мировом масштабе. Эти техногенные катастрофы, а также аварийные ситуации на АЭС мира, которых со времен первой АЭС насчитывается достаточно много [2, 3], однозначно свидетельствуют о том, что атомная энергетика имеет право на существование только в случае обеспечения высокого уровня безопасности, недопущения какого-либо выноса радиоактивных веществ за ограниченные технологическими помещениями границы (барьеры безопасности) при любых обстоятельствах. С учетом сказанного, в процессе эксплуатации АЭС приобретает особую важность условие оперативного получения информации о состоянии окружающей среды как при штатной, так и при аварийной работе радиационно-опасных объектов (РОО) посредством ведения радиационного контроля, в том числе автоматизированного. Отметим, что такой контроль не предотвращает радиационную аварию, однако позволяет своевременно принять эффективные меры по защите персонала и населения от радиационного воздействия. Поэтому во всех странах мира, развивающих ядерные технологии, созданы системы радиационного контроля разного уровня.

В настоящей статье, на основе анализа опыта эксплуатации систем радиационного контроля РОО в Украине и за рубежом, предлагается организационный подход к созданию такой системы для территории всей страны.

Перечислим основные источники радиоактивного загрязнения на территории Украины, которые несут в себе повышенную потенциальную опасность для населения и окружающей среды.

Сегодня на территории Украины в эксплуатации находятся четыре атомных электростанции с 15 действующими блоками, исследовательские реакторы в Институте ядерных исследований НАН Украины (г. Киев) и в Севастопольском национальном университете ядерной энергии и промышленности, объект «Укрытие», пункты захоронения радиоактивных отходов в Чернобыльской зоне, шесть межобластных спецкомбинатов по захоронению радиоактивных отходов, пять горнодобывающих комбинатов, гидromеталлургический завод по переработке урановой руды, Приднепровский химический завод с хвостохранилищами, а также ряд предприятий, использующих радиоактивные вещества, радиоизотопные приборы

и источники ионизирующих излучений, 20 месторождений урана [4].

Кроме того, в районе пгт. Смолино Кировоградской обл. планируется построить завод по производству ядерного топлива для украинских АЭС, который также можно отнести к РОО.

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт» НАН Украины совместно с Арагонской национальной лабораторией (США) разрабатывают проект нейтронного источника на базе подкритической сборки, управляемой линейным ускорителем. Целью разработки является создание экспериментальной базы для нейтронно-физических исследований с использованием интенсивных потоков нейтронов. Его влияние на население и окружающую среду незначительно, однако при аварии может достигать опасного уровня [5].

На радиационную обстановку в Украине также влияют предприятия нефтяной, газовой, угольной промышленности и тепловой энергетики, что обусловливается выбросами, сбросами и отходами с естественными радионуклидами. Свой вклад в обстановку могут вносить и АЭС России, Болгарии, Румынии, Чехии, Венгрии, Словакии, расположенные в непосредственной близости от нашей территории.

Анализ полученных постами Укргидрометцентра данных показывает существование в Украине достаточно больших областей с аномально высоким уровнем гамма-излучения [6], расположение которых хорошо совпадает с распределением плотности выпадений цезия-137 после аварии на ЧАЭС. Отметим, что в 2010 г. площади территорий, где мощность дозы излучения превышает 16 мкЗв/ч, заметно уменьшились по сравнению с 1993 г., что можно объяснить распадом цезия-137, а также его миграцией вглубь почвы.

Учитывая, что на территории Украины находятся большое количество РОО и участки с повышенным уровнем радиационного загрязнения, вызванного Чернобыльской аварией, Совет национальной безопасности и обороны принял решение о создании государственной автоматизированной системы радиационного контроля, которое было введено в действие Указом Президента № 585/2011 от 12.05.2011 г., а Кабинет Министров издал распоряжение «Об утверждении плана мероприятий для создания единой автоматизированной системы контроля радиационной обстановки на период до 2015 года» (№ 44-р от 15.01.2012 г.).

Попытки создания автоматизированной системы радиационного контроля на территории Украины, как и в ряде других стран, были предприняты сразу после Чернобыльской аварии.

Так, в 30-километровой зоне ЧАЭС в 1986 г. была развернута автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) на базе аппаратуры «Тунец». В 1989 г. Совет министров СССР принял постановление № 882 о создании единой государственной системы контроля радиационной обстановки (ЕГАСКРО). В рамках этого проекта должна была быть разработана Республиканская автоматизированная система контроля радиационной обстановки (РАСКРО). В течение 1990 г. Академией наук Украины разрабатывались концепция и основные направления реализации системы экологического мониторинга Украины (СЭМ «Украина»), в которой присутствовал блок радиационного экологического мониторинга (БРЭМ). Концепция и основные направления реализации системы СЭМ «Украина» были одобрены Постановлением Президиума АН УССР от 09.01.1991 г., а затем решением

коллегии Кабинета Министров Украины (протокол № 85 от 24.04.1991 г.) и решением Кабинета Министров Украины № 21–25/14 от 21.12.1991 г.

Начиная с января 1992 г., по просьбе правительств Украины и Беларуси, в рамках технической помощи Комиссии европейского содружества (КЕС) начались работы по созданию системы раннего оповещения о радиационной аварии. В 1993 г. КЕС согласовала объем финансирования, необходимого для создания первой очереди системы «Гамма» в Украине и Беларуси. Общая стоимость проекта составила 3,7 млн. экю, стоимость оборудования в структуре проекта — около 1 млн. экю.

Система раннего оповещения о радиационной аварии «Гамма-1» в Украине была введена в эксплуатацию в 1997 г. Она состояла из Ровенского и Запорожского региональных центров мониторинга со своими системами датчиков и Национального центра в г. Киеве. Кроме того, в г. Харькове были расположены станции мониторинга и Учебный центр системы «Гамма-1». К сожалению, в 2009 г. финансирование системы «Гамма-1» было полностью прекращено, а работы по ее развитию свернуты.

Следует сказать, что система радиационного мониторинга и раннего оповещения о радиационных авариях «Гамма-1» является уникальной, поскольку впервые удалось реализовать ряд оригинальных идей, например таких, как использование приборов для измерения бета- и альфа-активных аэрозолей в атмосферном воздухе и гамма-активности воды в р. Стыр в режиме реального времени. Было показано, что контроль содержания бета- и альфа-активных аэрозолей — наиболее чувствительный метод идентификации ядерной аварии. Это обусловлено низкой активностью бета- и альфа-активных естественных аэрозолей в атмосферном воздухе, так что даже незначительное их поступление из источника позволяет зарегистрировать аварию. Чувствительность системы повышается еще и за счет того, что активность бета- и альфа-активных естественных аэрозолей, обусловленная продуктами распада радона, вычитается из измеряемых величин. Кроме того, опыт эксплуатации системы «Гамма-1» показал необходимость внедрения математических подпрограмм, которые в реальном масштабе времени осуществляли бы обработку данных, существенно уменьшая время оценки радиационной обстановки, прогнозируя тренды изменения радиационных параметров, моделируя последствия тех или иных аварийных ситуаций, облегчая тем самым административному руководству принятие решений в случае аварийных ситуаций.

В настоящее время на территории Украины действуют ведомственные (ответственный субъект — Министерство энергетики и угольной промышленности) автоматизированные системы контроля радиационной обстановки, расположенные вокруг АЭС (АСКРО АЭС). АСКРО Ровенской АЭС состоит из 16 постов на промплощадке, 2 — в санитарно-защитной зоне, 11 — в зоне наблюдения и 2 передвижных постов контроля. На Запорожской АЭС действует система «Кольцо» (3 локальных центра и 18 постов контроля для измерения мощности дозы гамма-излучения, объемной активности и метеопараметров с периодичностью 2 мин). Автоматизированный радиационный контроль вокруг Хмельницкой АЭС осуществляется 11 постами контроля мощности эквивалентной дозы, объемной активности воды по гамма-излучению, аэрозолей и радиоактивного йода в воздухе. На Южно-Украинской АЭС АСКРО находится на этапе ввода в эксплуатацию.

Однако, как было показано в [7], применяемые на АЭС автоматизированные системы радиационного контроля не обеспечивают получения представительной информации о влиянии предприятия на окружающую среду. Это, прежде всего, обусловлено тем, что расположение постов привязано преимущественно к населенным пунктам и не учитывает особенностей окружающей природной среды.

Ежедневные «ручные» измерения мощности дозы гамма-излучения на территории Украины проводятся Украинским гидрометцентром на уровне почвы и на высоте 1 м в 182 пунктах наблюдения, 17 из которых расположены непосредственно на территориях, относящихся к зонам радиоактивного загрязнения вследствие Чернобыльской аварии [8].

Таким образом, существующая сеть постов автоматизированного радиационного контроля на территории Украины дает лишь частичное представление о радиологическом состоянии окружающей природной среды. В основном это районы расположения АЭС. Для обеспечения комплексного, достоверного и представительного автоматизированного контроля радиационной обстановки на всей территории Украины необходима модернизация существующей в стране системы радиационного контроля.

Украина является страной-наблюдателем в Совете государств Балтийского моря (СГБМ), который объединяет 11 государств-членов и 9 наблюдателей [9]. В рамках СГБМ создана рабочая группа по ядерной и радиационной безопасности, которая координирует работы в области измерений радиоактивности объектов окружающей среды. В апреле 2011 г. с целью улучшения качества существующих программ наблюдения за поведением радионуклидов в окружающей природной среде было проведено совещание членов СГБМ по гармонизации программ и методов измерения и по согласованию единого формата обмена данными радиационного наблюдения. Принятое по результатам совещания Соглашение является обязательным для всех стран-членов СГБМ. В настоящее время происходит обмен данными о мощности дозы гамма-излучения в атмосферном воздухе, но Соглашение не запрещает обмен другими результатами наблюдения.

Согласно Рекомендациям 2000/473/Евроатом каждое государство-член СГБМ должно установить систему непрерывного радиационного контроля мощности дозы гамма-излучения в воздухе в режиме реального времени, периодически сообщать о результатах контроля в Европейскую радиологическую платформу обмена данными (EURDEP), создать представительную сеть контроля [10, 11].

Обобщение изложенного выше дает основание сказать, что в основе задачи системы автоматизированного радиационного контроля в Украине должен лежать контроль состояния окружающей среды на всей территории страны для немедленной регистрации изменений параметров среды, вызванных источниками потенциальной опасности радиоактивного загрязнения, находящимися внутри страны, а также выявление влияния на окружающую среду РОО сопредельных государств. Организация такой системы должна учитывать уже существующий опыт Украины и других стран мира.

Для выбора наиболее конструктивных вариантов по созданию в Украине автоматизированной системы радиационного контроля нами рассмотрены функционирующие аналогичные системы в некоторых странах мира.

Анализ состояния автоматизированного контроля радиационной обстановки в окружающей среде в районах расположения РОО Украины и других стран приведен в [12]. Рассмотрены вопросы, связанные с построением единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки на территории Украины. Описаны общие методологические принципы построения рассматриваемых систем и методы их реализации. Здесь же мы продолжим анализ зарубежного опыта и остановимся на организационных вопросах создания единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки.

Финляндия. Система радиационного контроля состоит из 290 станций, равномерно расположенных по всей территории страны. Результаты измерений записываются в Национальный банк данных. Эта информация доступна органам власти в режиме реального времени. Автоматизированная система также получает информацию от других скандинавских стран и более чем от 20 станций, расположенных в районе Ленинградской АЭС [13].

Болгария. Национальная автоматизированная система для непрерывного контроля гамма-фона эксплуатируется с 1997 г. Помимо центров управления и реагирования система включает 26 локальных контрольных станций. В 2001 г. объединена с автоматизированной информационной системой контроля окружающей среды АЭС «Козлодуй» (8 станций). В 2008 г. дополнена еще одной контрольной станцией и на сегодняшний день включает 35 станций мониторинга, охватывая всю страну [14].

Великобритания. Национальная сеть радиационного мониторинга и аварийного регулирования (RIMNET) введена в эксплуатацию в 1988 г. для отслеживания влияния на страну зарубежных ядерных происшествий [15]. RIMNET состоит из 94 постов по всей стране (с наибольшей концентрацией в прибрежных районах), которые автоматически круглосуточно измеряют и анализируют уровень мощности дозы гамма-излучения в атмосферном воздухе. Все полученные, а также справочные данные хранятся в Национальной ядерной базе данных (UK National Nuclear Database).

Бельгия. Эксплуатируемая здесь автоматизированная система измерения радиоактивности и оповещения

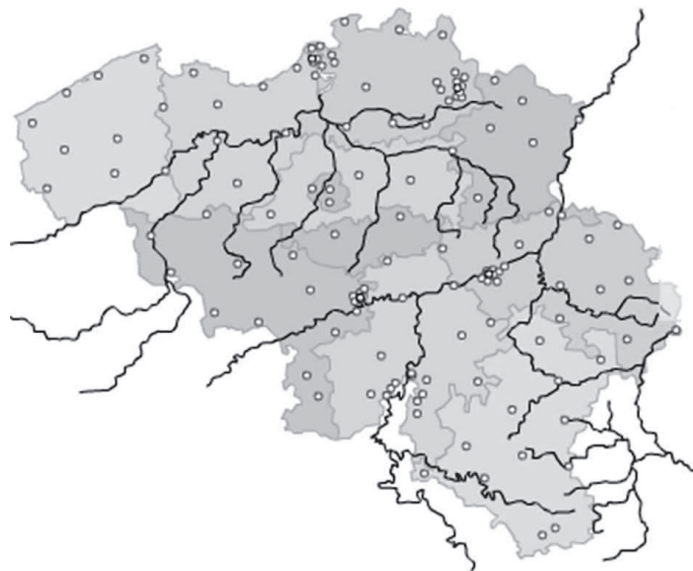


Рис. 1. Расположение постов контроля автоматизированной сети радиационного мониторинга TELERAD в Бельгии [16]

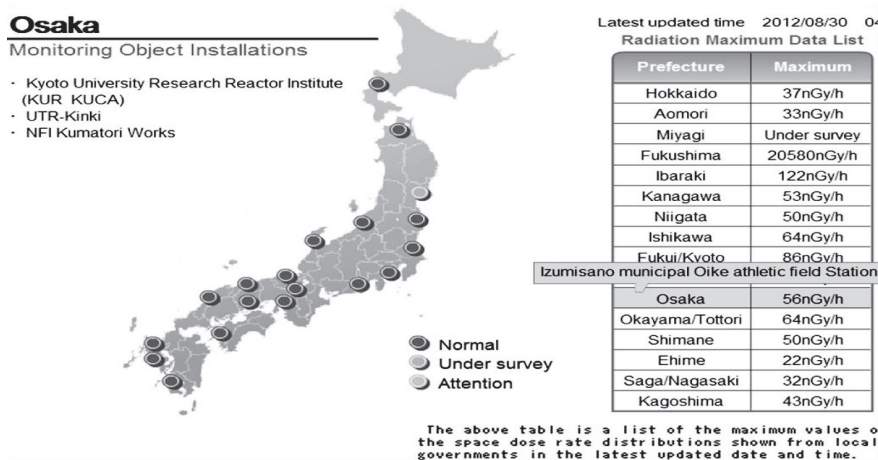


Рис. 2. Размещение в Японии автоматических постов контроля SPEEDI по префектурам и обобщенное представление результатов измерений [20]

TELERAD представляет собой сеть из 212 измерительных постов, расположенных по всей территории страны, находящихся между собой на расстоянии 20 км, а также дополнительных станций городов, близ которых расположены АЭС. Кроме того, функционируют 4 кольца из 62 постов вокруг атомных электростанций Mol, Fleurus, Tichange и Doel (рис. 1).

Используемые вокруг АЭС спектрометрические системы автоматически определяют искусственные радиоактивные изотопы. TELERAD дополнена 10- и 30-метровыми метеорологическими мачтами и рядом мобильных измерительных станций [16]. На сайте <http://telerad.fgov.be> можно получить информацию о расположении точек контроля, величинах эквивалентных доз по постам, измеренных с периодичностью в 1 ч.

Республика Беларусь эксплуатирует автоматизированные системы контроля радиационной обстановки в зонах наблюдения АЭС сопредельных государств [17]. Они обеспечивают контроль радиационной обстановки (мощности дозы гамма-излучения) в 100-километровых зонах Чернобыльской (7 постов), Смоленской (3 поста), Ровенской АЭС и в 30-километровой зоне Игналинской АЭС (9 постов), а также передачу данных в пункты контроля и центры реагирования. Аппаратно-программный комплекс системы представляет собой сеть из автоматических пунктов измерения, локальных центров реагирования, региональных центров реагирования и Национального центра реагирования. Кроме того, Департамент по гидрометеорологии Республики Беларусь и Росгидромет совместно эксплуатируют автоматизированную систему программных комплексов RECASS NT. Она используется для анализа и прогноза ситуации в случае аварии на радиационно-опасных объектах, обеспечивает в режиме реального времени прием и анализ (в том числе и подготовку карт загрязненных территорий) радиационных и метеорологических данных [17].

На территории Российской Федерации за счет интеграции существующих (и создаваемых) государственных и ведомственных систем радиационного мониторинга создана единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки. На базе государственной сети контроля состояния окружающей природной среды Росгидромета выделены подсистемы автоматизированного контроля радиационной обстановки в районах РОО, на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий и инцидентов, в местах захоронения радиоактивных отходов, автоматизированные подсистемы раннего

предупреждения о трансграничном переносе радиоактивности в случае аварий [18].

Япония. В стране создана компьютеризированная система для автоматического определения доз и оперативно-прогнозирование радиационной ситуации, которая используется также для наблюдения метеоусловий в районах расположения радиационно-опасных предприятий, расчетов показателей радиационной ситуации и их графического представления [19]. Система охватывает 19 префектур и состоит из 217 постов (рис. 2) [20].

На сайте <http://www.bousai.ne.jp/eng/index.html> пользователь может получить информацию (дата, время, доза, направление и скорость ветра, количество осадков) по каждому посту за последние 6 месяцев с периодичностью в 10 мин.

Приведенный обзор опыта организации и функционирования автоматизированных систем радиационного контроля в некоторых странах мира позволил нам предложить для Украины, как один из вариантов, следующую схему формирования постов радиационного контроля на территории страны в автоматизированном режиме:

создание из постов контроля «колец» разного диаметра вокруг РОО, расположив их с учетом экологических, метеорологических и демографических особенностей контролируемой территории;

одновременное с автоматизированным радиационным контролем использование мобильных и метеорологических станций;

размещение автоматизированных гидрологических постов на наиболее важных водных объектах;

организация связи системы регистрации данных с системой оповещения о радиационной опасности;

расположение постов на границах государства.

В результате проведенного анализа и обобщения опыта создания сети постов, а также функционирования систем радиационного мониторинга [7, 12] нами выработаны предложения по организации работ по созданию единой автоматизированной системы радиационного контроля (ЕГАСКРО) на территории Украины. На первом этапе работ предлагается:

создать Центр управления системой для обеспечения ее эксплуатации;

четко разделить функции научно-методического сопровождения работы системы и технического обеспечения и эксплуатации;

создать Информационный центр и портал для сбора, хранения, обработки получаемых данных, а также

предоставления их заинтересованным организациям и лицам;

обеспечить возможность обмена информацией о радиационном состоянии окружающей природной среды с другими государствами (поскольку Украина является государством-наблюдателем в Совете государств Балтийского моря);

переоборудовать посты радиационного контроля Укргидрометцентра в автоматизированные станции, работающие в режиме реального времени, например так, как предложено в [12];

создать независимую от ведомственной сеть постов контроля вокруг радиационно-опасных объектов, на участках рек, где находятся РОО, и на трансграничных участках;

дополнить систему мобильными измерительными станциями, мониторами бета-активных аэрозолей, автоматизированными гидрологическими постами, метеостанциями, а также программными комплексами для прогнозирования, моделирования ситуаций и корректировки мероприятий.

Выводы

Учитывая, что в Украине имеется большое количество РОО, с целью обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды крайне необходимо создать единую автоматизированную систему радиационного контроля, которая позволит эффективно оценивать радиоэкологическую обстановку на территории страны.

При разработке проекта системы нужно максимально использовать опыт зарубежных стран, рекомендации Евроатома, отечественный опыт создания и эксплуатации системы «Гамма-1» как прообраза полной системы, систем АСКРО на АЭС, а также результаты научных исследований, выполненных с учетом современных подходов к методологии создания систем радиоэкологического мониторинга.

Список использованной литературы

1. Крупнейшие радиационные аварии и катастрофы в мире. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ria.ru/jrquake_info/20110312/347505544.html.
2. Аварии на атомных электростанциях. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gr-obor.narod.ru/p661.htm>.
3. Случаи аварийных остановок АЭС в мире в 2005—2009 гг. Справка. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ria.ru/documents/20090721/178123825.htm>.
4. Лисиченко Г. В. Уранові руди України / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Мельник, О. Ю. Лисенко, Т. В. Дудар, Н. В. Нікітіна; За ред. чл.-кор. НАНУ Г. В. Лисиченка. — К.: Наук. думка, 2010. — 221 с.
5. Витько В. И. Радиационная безопасность исследовательской ядерной установки ННЦ ХФТИ «Источник нейтронов, основанный на подкритической сборке, управляемой линейным ускорителем электронов» / В. И. Витько, Л. И. Гончарова, В. В. Карташев, Г. Д. Коваленко, Е. И. Петряченко // Экологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: VII Міжнар. наук.-практ. конф. — Х.: Райдер, 2011. — Т. 1. — С. 131—140.
6. Kartashov V. V. Organization and structure of radiation monitoring in Ukraine / V. V. Kartashov, G. D. Kovalenko, C. G. Rudy, V. I. Vit'ko // Proceedings of an International symposium on ionizing radiation — Stockholm, 1996. — P. 664—669.
7. Барбашев С. В. Пути и способы усовершенствования системы радиационного контроля АЭС / С. В. Барбашев, Б. С. Пристер // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. — 2010. — Вып. 4. — С. 17—23.
8. Звіт про радіоекологічне забруднення території України в 2011 році / Під ред. О. О. Косовця. — К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2012. — 107 с.
9. Council of the Baltic sea states. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.cbss.org>.
10. The European Atomic Energy Community. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/euratom/euratom_en.htm.
11. European Radiological Data Exchange Platform. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://eurdep.jrc.ec.europa.eu>.
12. Барбашев С. В. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки: принципы построения и методы реализации / С. В. Барбашев, Б. С. Пристер // Ядерна та радіаційна безпека. — 2013. — Вып. 1 (57). — С. 41—47.
13. Devell L. Radiological Emergency Monitoring Systems in the Nordic and Baltic Sea Countries / L. Devell, B. L. Riso. — Roskilde: NKS, 2002. — 72 p.
14. Радиоэкологичен мониторинг / Дирекция «Безопасност и качество» АЕЦ «Козлодуй». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.kznpp.org.
15. Department of the Environment. The National Response Plan and Radioactive Incident and Monitoring Network (RIMNET): Phase 1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://archive.defra.gov.uk/evidence/statistics/environment/radioact/radrimnet.htm>.
16. Radiological monitoring in Belgium. Experts permanently monitor the radioactivity in our environment / FANC: Brussels. — 12 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fanc.fgov.be/GED/00000000/400/471.pdf>.
17. Состояние окружающей среды на трансграничных территориях союзного государства. Экологический атлас-альбом / Под ред. Л. М. Драбович, А. А. Дылейко. — Минск: Бельга, 2006. — 55 с.
18. Единая Государственная Автоматизированная Система Контроля Радиационной Обстановки на территории Российской Федерации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.feerc.obninsk.org/Ru/Egaskrow.xml>.
19. Masamichi Chino. System for prediction of environmental emergency dose information SPEEDI/WSPEEDI. — Indonesia, 2011. — 36 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.batan.go.id/ptlr/seminar/sites/default/files/Materi_Speedi_Masamichi_Chino.pdf.
20. Disaster Prevention and Nuclear Safety Network for Nuclear Environment. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bousai.ne.jp/eng/index.html>.

Получено 16.05.2013.