DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-3-65-78

УДК 621.039.58(549.3)

ТЛД-дозиметрия населения в регионе строительства АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш)

Панов А.В.¹, Якушкин В.С.², Курбаков Д.Н.¹

¹ ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск;

² АО ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского, Обнинск

Впервые, на основе ТЛД-дозиметрии (дозиметрии с использованием термолюминесцентных детекторов), оценены дозы внешнего облучения населения, проживающего в регионе строительства АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш. Показано, что в 30-км зоне наблюдения вокруг АЭС эти дозы в настоящее время определяются природными источниками излучения и, в среднем, составляют 1,68 мЗв/год. Дозы внешнего облучения населения, как и гамма-фон на местности, распределены по обследуемой территории достаточно равномерно на различном расстоянии и направлениях от строительной площадки (диапазон вариabельности доз 0,82-2,6 мЗв/год). Вклад «транспортной» дозы в накопленную ТЛД-дозиметрами за 6 месяцев составил, в среднем, 8,5%. Отмечено, что дозы внешнего облучения населения, проживающего в каменных домах на обследуемой территории, несколько ниже, чем аналогичные дозы, формирующиеся на открытой местности. Достоверных отличий в формировании доз внешнего облучения населения в зависимости от их профессиональной деятельности не выявлено. На площадке строительства АЭС накопленная ТЛД-дозиметром доза и гамма-фон оказались несколько выше, чем в целом по региону, что объясняется выемкой большого объема грунтов при проведении строительно-монтажных работ. С учетом общемирового вклада внешнего облучения от природных радионуклидов и космического излучения в суммарную дозовую нагрузку и результатов проведенной ТЛД-дозиметрии, суммарные среднегодовые дозы облучения населения от природных источников в регионе строительства АЭС «Руппур» оценены на уровне 4,5-5,5 мЗв/год. Полученные результаты ТЛД-дозиметрии можно в дальнейшем использовать для оценки влияния работы АЭС «Руппур» на радиационную обстановку в регионе.

Ключевые слова: ТЛД-дозиметрия, внешнее облучение, индивидуальный дозиметрический контроль, радиационный мониторинг, мощность дозы, природные источники облучения, гамма-фон, «транспортная доза», население зоны наблюдения, АЭС «Руппур».

Введение

В последние годы Госкорпорация «Росатом» активно продвигает российские ядерные технологии за рубеж. Общий портфель зарубежных заказов Госкорпорации на ближайшие десять лет оценивается в 130 млрд долл. США. В настоящее время в 8 странах возводятся в общей сложности 17 атомных энергоблоков: Турция (4), Беларусь (2), Иран (2), Индия (2), Венгрия (2), Бангладеш (2), Китай (2), Финляндия (1). В ряде стран это дополнительные блоки на уже существующих АЭС (Иран, Индия, Венгрия, Китай), в других – строительство абсолютно новых атомных электростанций, как, например, первая АЭС в Народной Республике Бангладеш. Ряд зарубежных проектов строительства АЭС находятся в стадии разработки.

В 2011 г. было подписано межправительственное соглашение России и Бангладеш о строительстве АЭС «Руппур» (NPP Rooppur) с двумя энергоблоками ВВЭР. В 2013-2016 гг. на подготовительном этапе реализации проекта проведены инженерно-экологические изыскания и получена лицензия на строительство АЭС. В 2017 г. начался основной этап строительства атомной электростанции [1]. Проект АЭС «Руппур» осуществляется в рамках развития ядерно-

Панов А.В.* – зам. директора, д.б.н., проф.; Курбаков Д.Н. – н.с. ФГБНУ ВНИИРАЭ. Якушкин В.С. – рук. лаб. ГНЦ РФ – ФЭИ.
*Контакты: 249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское шоссе, 109-й км. Тел. (484) 399-69-59; e-mail: riar@mail.ru.

энергетической программы Бангладеш в соответствии с рекомендациями и под контролем МАГАТЭ [2].

Площадка АЭС «Руппур» расположена в районе Раджшахи на восточном берегу реки Падма (Ганг), в 160 км к северо-западу от столицы г. Дакка, в 21 км к северо-западу от г. Пабна, в 5,6 км к юго-западу от железнодорожной станции Ишурди. В период 2014-2017 гг. специалистами ФГБНУ ВНИИРАЭ по заказу и при поддержке АО «Институт «Оргэнергострой» на основе комплексного обследования создана и ведётся система радиационно-экологического мониторинга атмосферного воздуха, наземных природно-антропогенных и аграрных экосистем, а также водных экосистем в 30-км зоне АЭС «Руппур» [3]. В соответствии с [4-6] разработана детализированная программа радиационно-экологического мониторинга региона АЭС «Руппур», выбраны и обследованы пункты наблюдений, определены объекты мониторинга, перечень наблюдаемых параметров, регламент наблюдений, а также определены методы наблюдений и нормативно-техническое обеспечение.

Для контроля дозовых нагрузок населения с целью обеспечения его радиационной безопасности активно используются различные методы дозиметрии [7, 8]. Проведение радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения АЭС включает в себя измерение накопленной дозы внешнего облучения жителей населённых пунктов, входящих в 30-км зону наблюдения, за определённый промежуток времени. Для таких оценок используется ТЛД-дозиметрия – дозиметрия внешнего гамма-излучения при индивидуальном дозиметрическом контроле (ИДК) с использованием дозиметров на основе термолюминесцентных детекторов. В период строительства АЭС дозу внешнего облучения населения формируют природные источники, которые включают следующие компоненты:

- космическое излучение, зависящее от широты местности и высоты над уровнем моря;
- излучение природных радионуклидов (ряды урана и тория, а также ^{40}K), содержащихся в земной коре;
- излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных конструкциях зданий.

Целью настоящей работы является анализ полученных результатов оценок доз внешнего облучения населения в 30-км зоне наблюдения вокруг АЭС «Руппур» на основе проведённой ТЛД-дозиметрии.

Материалы и методы

Исследования по оценке доз внешнего облучения в населённых пунктах, входящих в 30-км зону АЭС «Руппур», проведены в период 2016-2017 гг. специалистами ФГБНУ ВНИИРАЭ в сотрудничестве с лабораторией радиационного контроля отдела радиационной безопасности и охраны окружающей среды (ЛРК-ОРБ И ООС) АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», имеющего аккредитованную лабораторию радиационного контроля (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21.РК54). В область аккредитации лаборатории входит ИДК внешнего гамма-облучения в широком диапазоне доз (50 мкЗв – 10 Зв). Средством измерения являлся автоматизированный комплекс индивидуального дозиметрического контроля АКИДК-201 в комплекте с дозиметром ДТЛ-01 для измерения индивидуального эквивалента дозы $\text{Hr}(10)$ в полях фотонного излучения (табл. 1). В дозиметрах ДТЛ-01 используется детектор монокристаллический термолюминесцентный на основе фторида лития, активированного магнием и титаном – ДТГ-4. Под воздействием ионизирующего излучения в термолюминесцентном материале детектора возникают свободные электроны и дырки, которые локализуются на ловушках, образованных примесными атомами (магний, титан). Электроны, попавшие в ловушки, могут находиться в них длительное время. Осво-

бождение электронов происходит при нагревании термолюминесцентного материала, причём каждый акт освобождения электрона сопровождается испусканием кванта света. Количество электронов, а значит и количество испущенных при нагревании квантов света пропорционально поглощённой энергии ионизирующего излучения, воздействовавшего на термолюминофор. Измерения проводили в соответствии с требованиями [9-11], подготовка и проведение дозиметрии с учётом требований и рекомендаций [12-15].

Таблица 1

Основные дозиметрические характеристики АКДК-201 с ДТЛ-01

Наименование параметра	Значение
Диапазон измерений индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)^*$, мЗв	0,05-10000
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений дозы $H_p(10)$, %	± 15
Сходимость результатов измерений, %, не более	7,5
Порог регистрации $H_p(10)$, мЗв, не более	0,05
Самооблучение дозиметров, не более	0,05
Остаточная светосумма после облучения дозиметров дозой 100 мЗв, мЗв, не более	0,05
Изменение чувствительности при уровне дозы 2 мЗв после облучения дозой 100 мЗв, %, не более	± 5
Диапазон регистрируемых энергий фотонов при измерении $H_p(10)$, МэВ	0,020-20
Энергетическая зависимость чувствительности дозиметров в полях фотонного излучения относительно энергии ^{137}Cs , %, не более	± 15
Анизотропия чувствительности дозиметров в поле фотонного излучения со средней энергией 65 кэВ в углах 0-60°, %, не более	± 5
Множественность использования дозиметров, не менее	500

Примечание: $H_p(10)^*$ – дозиметр, носимый на груди.

ИДК на основе ТЛД-дозиметрии позволяет наиболее точно учесть все факторы, влияющие на формирование дозы внешнего облучения у жителей населённых пунктов. Длительный период ношения ТЛД-дозиметров даёт возможность исключить влияние различий в режимах поведения людей в отдельные дни (выходные и рабочие, дождливые и солнечные и т.п.), а также учесть все основные периоды деятельности человека (работу, пребывание дома, перемещения, досуг и т.д.), в полной мере характеризующие режим поведения данного субъекта в соответствии с Методическими рекомендациями [15], которые определяют также: в случае измерения фоновых значений время ношения дозиметра или размещения его в контролируемой точке должно составлять до 6 месяцев. Как правило, количество выдаваемых дозиметров должно быть не меньше 30 на изучаемую территорию, а персональный состав субъектов исследования должен быть репрезентативным с точки зрения профессиональной и социально-демографической структуры населения. Для учёта дозы, накопленной за счёт транспортировки к месту измерений и обратно, необходимо применять «транспортные» дозиметры. С учётом Методических рекомендаций была разработана и реализована программа проведения ТЛД-дозиметрии населения в регионе строительства АЭС «Руппур» (табл. 2). Работы проводились с ноября 2016 г. по июнь 2017 г.

В соответствии с программой исследований в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ были подготовлены и переданы экспедиционной группе 30 дозиметров ДТЛ-01 для их дальнейшего размещения в регионе строительства АЭС «Руппур». По прибытии на площадку АЭС «Руппур» в декабре 2016 г., 23 ТЛД-дозиметра были распределены среди местного населения, проживающего в населённых пунктах 30-км зоны АЭС (дозиметры № 1, № 3-14), а также среди специалистов ЗАО «Атомстройэкспорт» (АСЭ) (дозиметры № 15-24), осуществляющих строительство АЭС «Руппур» и постоянно проживающих в данном регионе. Пять ТЛД-дозиметров (№ 2, № 25-28) были размещены на открытой местности (на высоте 1 м от поверхности земли) на 3-х охраняемых площадках (на площадке АЭС и двух близлежащих населённых пунктах), где проводятся ис-

следования по экологическому мониторингу. Через 6 месяцев, в июне 2017 г. все ТЛД-дозиметры были собраны и отправлены в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ на считывание. Выдача и сбор ТЛД-дозиметров регистрировали в «Листе выдачи/сбора дозиметров» и все испытуемые были ознакомлены с правилами их ношения (табл. 3). В представленной таблице приведён сокращённый вариант ведомости без персонификации испытуемых, их пола, дат рождения, типе жилища и т.д. Возраст обследованного населения варьировал от 24 до 69 лет и все испытуемые проживали в каменных 1-2-этажных домах. Среди них были 21 мужчина и 2 женщины. По профессиональной принадлежности принимавшие участие в испытаниях представляли различные категории работников: инженеры, менеджеры, сотрудники АСЭ, предприниматели, переводчик, медсёстры, электрик.

Таблица 2

Программа ТЛД-дозиметрии населения в регионе строительства АЭС «Руппур»

Мероприятие	Сроки проведения
Подготовка ТЛД-дозиметров в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ	15.11.2016-28.11.2016 г.
Доставка ТЛД-дозиметров на площадку АЭС «Руппур»	29.11.2016-01.12.2016 г.
Выдача ТЛД-дозиметров населению и установка их на открытой местности	02.12.2016-11.12.2016 г.
Доставка «транспортных» ТЛД-дозиметров в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ	15.12.2016-17.12.2016 г.
Считывание «транспортных» ТЛД-дозиметров в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ	19.12.2016 г.
Проведение измерений в 30-км зоне АЭС «Руппур» (экспонирование ТЛД-дозиметров)	6 месяцев
Сбор ТЛД-дозиметров у населения и с точек контроля	03.06.2017-10.06.2017 г.
Доставка ТЛД-дозиметров в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ	15.06.2017-17.06.2017 г.
Считывание ТЛД-дозиметров в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ, обработка результатов измерений, определение и документирование полученных индивидуальных доз облучения	19.06.2017 г.

Таблица 3

Лист выдачи/сбора ТЛД-дозиметров для контроля внешнего облучения населения в 30-км зоне АЭС «Руппур»

№ дозиметра	Населённый пункт	Профессия / место размещения	Направление, расстояние от АЭС	Дата выдачи дозиметра	Дата сбора дозиметра
1.	Ишурди	Менеджер	С-В, 5,8 км	02.12.2016	10.06.2017
2.	АЭС	Открытая местность	-	02.12.2016	03.06.2017
3.	Руппур	Инженер	Ю-В, 2,2 км	02.12.2016	06.06.2017
4.	Ишурди	Инженер	С, 7,6 км	02.12.2016	04.06.2017
5.	Ишурди	Электрик	С-В, 5,2 км	02.12.2016	10.06.2017
6.	Руппур	Переводчик	Ю-В, 2,6 км	02.12.2016	10.06.2017
7.	Ишурди	Предприниматель	С-В, 9,1 км	02.12.2016	10.06.2017
8.	Раджахи	Менеджер	С-З, 29,3 км	02.12.2016	10.06.2017
9.	Куштия	Предприниматель	Ю-В, 20,3 км	02.12.2016	10.06.2017
10.	Лалпур	Медсестра	С-З, 15,6 км	02.12.2016	10.06.2017
11.	Багра	Медсестра	С-З, 25,2 км	02.12.2016	10.06.2017
12.	Верамара	Предприниматель	Ю-З, 7,7 км	02.12.2016	10.06.2017
13.	Ишурди	Предприниматель	С-В, 5,4 км	02.12.2016	05.06.2017
14.	Ишурди	Предприниматель	С, 10,5 км	02.12.2016	10.06.2017
15.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	05.06.2017
16.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	06.06.2017
17.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	10.06.2017
18.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	05.06.2017
19.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	04.06.2017
20.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	05.06.2017
21.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	04.06.2017
22.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	04.06.2017
23.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	04.06.2017
24.	Кутир	Сотрудник АСЭ	С-З, 1,2 км	11.12.2016	05.06.2017
25.	Грин Сити	Открытая местность	С-В, 2,1 км	11.12.2016	07.06.2017
26.	Грин Сити	Открытая местность	С-В, 2,2 км	11.12.2016	07.06.2017
27.	Кутир	Открытая местность	С-З, 1,3 км	11.12.2016	08.06.2017
28.	Кутир	Открытая местность	С-З, 1,3 км	11.12.2016	08.06.2017
29.	Транспортный дозиметр				
30.	Транспортный дозиметр				

Примечание: АСЭ – «Атомстройэкспорт»; С-В – северо-восток; Ю-В – юго-восток; С – север; С-З – северо-запад; Ю-З – юго-запад.

Учитывая достаточно большой промежуток времени исследования, ограниченное количество используемых ТЛД-дозиметров и ценность той информации, которая получена с их помощью, важным этапом работы было не только выбрать населённые пункты, входящие в 30-км зону на различном расстоянии и направлениях от площадки АЭС, но и определить персональный состав ответственных лиц (испытуемых), особенно из числа местного населения, принимающих участие в исследовании. По итогам проведённого обследования все 100% выданных населению и закреплённых на открытой местности ТЛД-дозиметров были возвращены на считывание. Таким образом, в результате организационной работы ТЛД-дозиметрией были охвачены как наиболее крупные населённые пункты, входящие в 30-км зону влияния АЭС «Руппур», так и территория, наиболее близко расположенная к площадке строительства атомной электростанции (рис. 1).

Рис. 1. Карта-схема размещения ТЛД-дозиметров в населённых пунктах 30-км зоны АЭС «Руппур».

Поскольку ТЛД-дозиметры были доставлены на площадку АЭС «Руппур» из Российской Федерации (на расстояние 7,5 тыс. км по маршруту авиаперелёта) и после экспозиции возвращены обратно, фактором, который мог оказать влияние на корректность оценок доз внешнего облучения населения является «транспортная доза», т.е. доза, накопленная ТЛД-дозиметром в процессе транспортировки из лаборатории к месту проведения обследования и обратно. В данном случае это была доза, полученная и накопленная ТЛД-дозиметром за счёт космического излучения в период авиаперелёта по маршрутам Москва-Дакка-Москва в течение, в среднем, 18 часов, а также доза, полученная при прохождении таможенного контроля в период авиаперелётов на лучевых досмотровых установках аэропортов, которые используются для досмотра ручной клади и багажа авиапассажиров. Несмотря на то, что авиаперелёт проходил в сторону южных широт с наименьшей дозовой нагрузкой от космического излучения и достаточно высокими требованиями по радиационной безопасности, предъявляемые к современным досмотровым

рентгеновским сканерам в аэропортах, «транспортную» дозу от выделенных факторов необходимо было оценить. Обоснованность учёта доз внешнего облучения от космического излучения достаточно подробно освещена в работе [16], а роль досмотровых сканеров аэропортов – в работе [17]. Для оценки «транспортной» дозы два ТЛД-дозиметра (№ 29 и № 30) были в максимально короткие сроки возвращены с площадки АЭС «Руппур» в ЛРК-ОРБ и ООС ФЭИ и 19.12.2016 г. проведены измерения накопленной ими дозы облучения. Эта доза составила соответственно $0,1 \pm 0,02$ и $0,08 \pm 0,01$ мЗв для двух ТЛД-дозиметров и является «транспортной» дозой. Средняя доза, накопленная этими «транспортными» ТЛД-дозиметрами (0,09 мЗв), была вычтена из доз каждого ТЛД-дозиметра, чтобы исключить фактор влияния транспортировки. Из измеренных доз всех ТЛД-дозиметров также вычитался их собственный фон, составивший 0,07 мЗв.

Для контроля результатов ТЛД-дозиметрии в декабре 2016 г. и июне 2017 г. аккредитованной испытательной лабораторией радиационного контроля ФГБНУ ВНИИРАЭ (аттестат аккредитации № RA.RU.21АД81) проведены маршрутные наблюдения за мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД) в 30-км зоне строительства АЭС «Руппур». Обследование проведено на площадке АЭС (пешая гамма-съёмка) и на различном расстоянии и направлениях от АЭС (автомобильная гамма-съёмка) с использованием дозиметра ДКГ–01 «Сталкер» с регистрацией значений МЭД и географических координат.

Результаты и обсуждение

Результаты ТЛД-дозиметрии в регионе строительства АЭС «Руппур» показали, что среднегодовая доза внешнего облучения населения в данном регионе Народной Республики Бангладеш находится на уровне 1,68 мЗв при вариабельности 0,82-2,6 мЗв (табл. 4). Вклад «транспортной» дозы в накопленную ТЛД-дозиметрами за 6 месяцев составил в среднем 8,5% (при вариации 6-16%), что необходимо учитывать при проведении ТЛД-дозиметрии, связанной с длительной авиатранспортировкой дозиметров на большие расстояния. Среднегодовая доза внешнего облучения испытуемых составила 1,62 мЗв. Пять дозиметров, расположенных в этот же период времени на открытой местности, показали дозу внешнего облучения на уровне 1,96 мЗв/год, что на 20% выше, чем у населения, проживающего в каменных строениях. С одной стороны, такая разница вполне укладывается в диапазон статистической погрешности измерений. Однако, она может и характеризовать отличия в путях формирования доз внешнего облучения населения, проживающего в разных типах жилищ, что требует проведения дополнительных исследований. Учёт особенностей мест проживания населения в данном регионе при оценках их доз внешнего облучения важен, поскольку значительная часть населения в регионе строительства АЭС проживает в сельской местности, в домах из бамбука и соломы без каменного фундамента с земляным полом и глиняными стенами, что может характеризовать формирование доз внешнего облучения, как на открытой местности.

В работе [18] на примере анализа большого массива данных из всех субъектов Российской Федерации о мощностях доз гамма-излучения в домах различных типов и на открытой местности показана разнонаправленная закономерность формирования фона гамма-излучения. Так, в ряде субъектов, более высокий гамма-фон был зафиксирован в каменных домах, в других субъектах он был выше на открытой местности. Поэтому исследования в данном направлении в регионе строительства АЭС «Руппур» необходимо продолжить и выявить более чёткие закономерности формирования доз внешнего облучения в разных типах жилищ.

Таблица 4

**Результаты ТЛД-дозиметрии населения в 30-км зоне
АЭС «Руппур» в 2016-2017 гг.**

№ дозиметра	Доза измерения, мЗв*	Доза за вычетом «транспортной», мЗв	Доза, мкЗв/ч	Доза мЗв/год
1.	1,492±0,224	1,402±0,210	0,28±0,04	2,46±0,37
2.	1,348±0,202	1,258±0,189	0,25±0,04	2,21±0,33
3.	0,874±0,131	0,784±0,118	0,16±0,02	1,38±0,21
4.	0,844±0,127	0,754±0,113	0,15±0,02	1,32±0,20
5.	1,538±0,231	1,448±0,217	0,29±0,04	2,54±0,38
6.	0,701±0,105	0,61±0,092	0,12±0,02	1,07±0,16
7.	0,843±0,126	0,753±0,113	0,15±0,02	1,32±0,20
8.	0,807±0,121	0,717±0,108	0,14±0,02	1,26±0,19
9.	1,538±0,231	1,448±0,217	0,29±0,04	2,54±0,38
10.	0,796±0,119	0,706±0,106	0,14±0,02	1,24±0,19
11.	1,002±0,150	0,912±0,137	0,18±0,03	1,60±0,24
12.	0,772±0,116	0,682±0,102	0,14±0,02	1,20±0,18
13.	1,569±0,235	1,479±0,222	0,30±0,05	2,60±0,39
14.	0,771±0,116	0,681±0,102	0,14±0,02	1,20±0,18
15.	1,238±0,186	1,148±0,172	0,23±0,03	2,01±0,30
16.	0,557±0,084	0,467±0,070	0,09±0,01	0,82±0,12
17.	0,914±0,137	0,824±0,124	0,17±0,03	1,45±0,22
18.	0,956±0,143	0,866±0,130	0,17±0,03	1,52±0,23
19.	1,041±0,156	0,95±0,143	0,19±0,03	1,67±0,25
20.	1,112±0,167	1,022±0,153	0,20±0,03	1,79±0,27
21.	1,565±0,235	1,475±0,221	0,30±0,05	2,59±0,39
22.	0,592±0,089	0,502±0,075	0,10±0,02	0,88±0,13
23.	0,992±0,149	0,902±0,135	0,18±0,03	1,58±0,24
24.	0,749±0,112	0,659±0,099	0,13±0,02	1,16±0,17
25.	1,248±0,187	1,158±0,174	0,23±0,03	2,03±0,30
26.	0,804±0,121	0,714±0,107	0,14±0,02	1,25±0,19
27.	1,341±0,201	1,251±0,188	0,25±0,04	2,19±0,33
28.	1,289±0,193	1,199±0,180	0,24±0,04	2,10±0,32

* – доза измерения представлена после вычета фона дозиметра 0,07 мЗв.

Анализ полученных результатов ТЛД-дозиметрии в регионе строительства АЭС «Руппур» также показывает, что среднегодовые дозы внешнего облучения по населённым пунктам распределены достаточно равномерно как по направлениям от площадки АЭС, так и по расстоянию. Варьирование доз внешнего облучения по населённым пунктам находится в диапазоне 1,20-2,54 мЗв/год (табл. 5). Более высокие дозы внешнего облучения на площадке АЭС и в населённом пункте Куштия обусловлены результатами измерений только одного ТЛД-дозиметра в этих точках исследования. И если на площадке строительства АЭС повышенные дозы внешнего облучения подтверждаются измерениями гамма-фона, то в Куштии, по всей видимости, данный показатель является завышенным, поскольку при увеличении числа ТЛД-дозиметров на населённый пункт (например, в населённых пунктах Кутир, Ишурди) значения среднегодовой дозы внешнего облучения населения приближаются к средним для данного региона.

Информация о профессиональной принадлежности испытуемых также не позволила выделить каких-либо чётких закономерностей формирования доз внешнего облучения разных категорий работников. Минимальная (переводчик) и максимальная (электрик) дозы внешнего облучения зафиксированы по данным измерений только одного ТЛД-дозиметра у каждого из этих испытуемых. С увеличением количества дозиметров на каждую профессиональную группу, например, сотрудников АЭС (10 ТЛД-дозиметров) или предпринимателей (5 ТЛД-дозиметров) средняя доза внешнего облучения по этим профессиональным группам была близка к средней по региону (рис. 2).

Таблица 5

**Дозы внешнего облучения в населённых пунктах 30-км зоны
АЭС «Руппур» в 2016-2017 гг.**

Населённый пункт	Направление, расстояние от АЭС	Количество дозиметров	Доза, мкЗв/ч	Доза мЗв/год
Площадка АЭС	-	1	0,25	2,21
Руппур	Ю-В, 2,2-2,6 км	2	0,14	1,22
Куштия	Ю-В, 20,3 км	1	0,29	2,54
Верамара	Ю-З, 7,7 км	1	0,14	1,20
Кутир	С-З, 1,2-1,3 км	12	0,19	1,65
Лалпур	С-З, 15,6 км	1	0,14	1,24
Багра	С-З, 25,2 км	1	0,18	1,60
Раджахи	С-З, 29,3 км	1	0,14	1,26
Грин Сити	С-В, 2,1-2,2 км	2	0,19	1,64
Ишурди	С-В, 5,2-10,5 км	6	0,22	1,91

Рис. 2. Дозы внешнего облучения различных категорий работников в сравнении со средними показателями для региона АЭС «Руппур».

В табл. 6 представлены результаты измерения в 2016 и 2017 гг. мощности дозы гамма-излучения в ходе маршрутных наблюдений на строительной площадке АЭС «Руппур» и в 30-км зоне обследования. Число измерений в каждом случае варьировало от 33 до 328 и определялось маршрутом проведения гамма-съёмки. Анализ полученных результатов показывает стабильность значений гамма-фона и отсутствие заметной динамики в течение полугода. Фактический уровень МЭД ГИ обусловлен естественным гамма-фоном (естественный гамма-фон до 0,30 мкЗв/ч). Выявлено лишь незначительное повышение максимальных значений гамма-фона на площадке строительства АЭС «Руппур» в местах выемки грунтов и ведения строительно-монтажных работ. В целом же можно констатировать, что усредненные данные по оценке гамма-фона (2016 г. – 0,13 мкЗв/ч, 2017 г. – 0,11 мкЗв/ч) достаточно хорошо коррелируют с оценкой доз внешнего облучения населения (2016-2017 гг. – 0,19 мкЗв/ч).

Достаточно интересным является сопоставление полученных доз внешнего облучения населения в регионе строительства АЭС «Руппур» с информацией об аналогичных дозах из других публикаций (табл. 7).

Таблица 6

**Результаты измерения мощности дозы гамма-излучения в 30-км зоне
наблюдения АЭС «Руппур», мкЗв/ч**

Направление	Декабрь 2016 г.			Июнь 2017 г.		
	среднее	мин. – макс.	число измерений	среднее	мин. – макс.	число измерений
Площадка АЭС	0,15	0,1-0,23	102	0,14	0,1-0,19	189
Восточное	0,13	0,11-0,16	56	0,11	0,09-0,13	94
Южное	0,13	0,09-0,17	259	0,12	0,09-0,15	182
Юго-западное	0,12	0,10-0,14	33	0,11	0,09-0,14	158
Северо-западное	0,14	0,11-0,17	328	0,12	0,10-0,13	123
Северное	0,12	0,11-0,14	71	0,10	0,09-0,12	105

Таблица 7

**Распределение доз внешнего облучения населения в различных
регионах мира, мЗв/год**

Регион, источник данных	Среднее	Мин.	Макс.
Типичные общемировые значения [19]	0,9	0,6	1,6
Российская Федерация [17]	0,66	0,42	1,05
Российская Федерация [20]	0,7	0,27	1,37
Российская Федерация [21]	-	0,21	1,18
Российская Федерация [22]	0,62	-	-
ТЛД-дозиметрия в регионе АЭС «Руппур»	1,68	0,82	2,6

Стоит отметить, что в данных из [18, 20-22] речь идёт о дозах внешнего терригенного (земного) облучения без учёта компонента космического излучения. По общемировым данным [19], на долю космического излучения приходится доза внешнего облучения в среднем 0,39 мЗв/год (при разбросе 0,3-1,0 мЗв/год), а на долю терригенного облучения – около 0,48 мЗв/год (при диапазоне 0,3-0,6 мЗв/год). Таким образом, полученные при ТЛД-дозиметрии средние данные о дозах внешнего облучения населения от природных источников в регионе строительства АЭС «Руппур» достаточно близки к общемировому диапазону таких значений, находясь на его верхней границе. В [21] доза внешнего облучения, включая компонент космического излучения, оценивается уже в 1,02 мЗв/год, что также достаточно близко к результатам, полученным нами при ТЛД-дозиметрии в регионе строительства АЭС «Руппур».

В [19], как и в нашем случае, нет однозначной трактовки преимущественного пути формирования доз внешнего облучения населения в помещениях или на открытой местности. В приведённых данных для стран, входящих в Восточную Азию, нет информации по Бангладеш, а для других государств региона эти закономерности разнонаправлены. Так, в Таиланде на открытой местности дозы внешнего облучения населения выше (соотношение с помещениями 0,6), в Малайзии, Японии и Казахстане оба пути сопоставимы (соотношение 1,0-1,1). В Китае и Гонконге дозы внешнего облучения выше у населения, большую часть времени проводящего в помещениях (соотношение 1,6-2,3). Всё это подтверждает необходимость проведения дополнительных исследований по оценке формирования доз внешнего облучения населения, проживающего в регионе строительства АЭС «Руппур», с учётом структуры жилищ.

По данным [22] в Российской Федерации суммарные среднегодовые дозы облучения населения за счёт природных источников ионизирующего излучения варьируют в зависимости от

региона страны от 2,12 до 10,19 мЗв/год, что сопоставимо с данными [19] (1-10 мЗв/год). При этом в РФ на долю внешнего облучения за счёт гамма-излучения природных радионуклидов в зданиях, на открытой местности и космического излучения приходится около 29,5% от суммарной дозы. По общемировым данным этот вклад несколько выше – 36,3%. Если принять во внимание, что такие соотношения доз получены на основе анализа огромного массива данных, то, экстраполируя данную зависимость, можно сделать предварительную оценку суммарных доз облучения населения региона АЭС «Руппур», используя результаты проведённой ТЛД-дозиметрии. В этом случае, суммарную среднегодовую дозу облучения жителей 30-км зоны наблюдения АЭС «Руппур» за счёт природных источников излучения можно оценить в 4,6-5,7 мЗв/год. В то же время, более точные оценки дозовых нагрузок на население, проживающее в регионе строительства АЭС «Руппур», можно будет сделать только с помощью модельных расчётов на основе анализа данных мониторинга о содержании изотопов радона в воздухе помещений, а также радионуклидов в продуктах питания и питьевой воде.

Заключение

Впервые проведены исследования по ТЛД-дозиметрии в регионе строительства АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш, что дало возможность получить не только новые данные о дозах внешнего облучения населения в данном регионе, но и поставить ряд проблемных вопросов для дальнейших исследований. Небольшая выборка полученных данных не позволяет однозначно трактовать ряд результатов, например по влиянию типа жилья на дозовые нагрузки и роль профессии на формирование доз внешнего облучения населения. В то же время, на основе полученных результатов можно заключить, что радиационная обстановка в регионе строительства АЭС «Руппур» в целом благополучная и определяется природными источниками ионизирующего излучения. Данные ТЛД-дозиметрии можно использовать как для оценок текущих доз облучения населения, так и в будущем для регистрации возможного изменения ситуации в 30-км зоне АЭС «Руппур» и оценки влияния работы атомной электростанции на радиационную обстановку в регионе.

Авторы работы признательны сотрудникам российских компаний (проектировщикам и строителям АЭС «Руппур»), оказавшим содействие в проведении данного исследования, а именно: Аврамчику А.Л., Голубеву А.А. (АО «Институт «Оргэнергострой»); Исмаилову С.А., Елшину Ю.А. (АО «Атомэнергопроект»); Кошелеву Ю.М. (АО «Атомстройэкспорт»).

Литература

1. **Хоссейн И., Ташлыков О.Л.** Анализ состояния ядерной инфраструктуры Бангладеш, необходимой для строительства первой АЭС //Труды первой научно-технической конференции молодых учёных Уральского энергетического института, Екатеринбург, 16-20 мая 2016 г. Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 282-285.
2. Оценка положения дел в области развития национальной ядерной инфраструктуры. № NG-T-3.2. Вена: МАГАТЭ, 2009. 82 с.
3. **Панов А.В., Санжарова Н.И., Цыгвинцев П.Н., Исамов Н.Н., Курбаков Д.Н.** Радиационно-экологический мониторинг в районе расположения АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш //Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: последствия и пути преодоления: сб. тр. конференции, Обнинск, 19-21 апреля 2016 г. Обнинск, 2016. С. 329-337.
4. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНиП 11-02-96. М., 2012. 111 с.
5. СП 151.13330.2012. Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Ч. I. Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС). М., 2013. 187 с.
6. СП 151.13330.2012. Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Ч. II. Инженерные изыскания для разработки проектной и рабочей документации и сопровождения строительства. М., 2013. 155 с.
7. **Степаненко В.Ф., Орлов М.Ю., Петин Д.В., Тикунов Д.Д., Бoryшева Н.Б., Иванников А.И., Скворцов В.Г., Яськова Е.К., Колыженков Т.В., Крюкова И.Г., Московко Л.И., Цыб А.Ф.** Сравнение расчётного и инструментального методов индивидуальной ретроспективной дозиметрии у жителей населённого пункта с высоким радиоактивным загрязнением вследствие аварии на ЧАЭС //Радиация и риск. 2006. Т. 15, № 1-2. С. 146-156.
8. **Матущенко А.М., Степаненко В.Ф., Дубасов Ю.В., Смагулов С.К., Иванников А.И., Скворцов В.Г., Орлов М.Ю., Колыженков Т.В., Дубов Д.В., Цыб А.Ф.** Сравнение оценок доз внешнего облучения населения, полученных методами ретроспективной люминесцентной дозиметрии и ЭПР-дозиметрии с расчётными величинами доз для населения деревни Долонь, Казахстан: первое ядерное испытание СССР (29 августа 1949 г.) //Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 2. С. 46-57.
9. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
10. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (в ред. Изменений № 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 г. № 43): Санитарные правила и нормативы. Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации Минздрава России, 2010.
11. ДРБ 57-023. Порядок текущего контроля индивидуальных доз внешнего облучения от 09.04.2009 г. Обнинск: ГНЦ РФ – ФЭИ, 2009.
12. МВК 12.9.7(8)-13. Методика контроля индивидуальных доз внешнего облучения фотонами персонала ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ». Свидетельство С N0001514 об аттестации методики радиационного контроля № 45129.3Н014/01.00294-2010. ФГУП ВНИИФТРИ от 12.11.2013 г.
13. МУ 2.6.1.016-2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования //АНРИ. 2000. № 3 (22). С. 43-75.
14. МУ 2.6.5.026-2016. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. М.: Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации, 2016. 52 с.

15. МР 2.6.1.0006-10. Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населённого пункта для оценки доз облучения населения: методические рекомендации. М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 40 с.
16. Морозова М.А., Лапшин В.Б., Доренский С.В., Сыроешкин А.В. Дозиметрия при авиаперелётах //Гелиогеофизические исследования. 2014. Вып. 10. С. 45-92.
17. Барковский А.Н., Воробьёв Б.Ф., Добренякин Ю.П., Мишин А.С., Титов Н.В. Обеспечение радиационной безопасности при использовании лучевых досмотровых установок и лучевых сканеров для персонального досмотра людей //Радиационная гигиена. 2010. Т. 3, № 4. С. 37-41.
18. Стамат И.П., Кононенко Д.В., Кормановская Т.А., Королёва Н.А. Анализ сведений о дозах внешнего терригенного облучения населения Российской Федерации в коммунальных условиях //Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 33-46.
19. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1 Sources. Annex B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). New York: UN, 2000. P. 84-156.
20. Романович И.К. Комментарии к Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009) /под ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко. СПб.: ООО «Литография», 2012. 201 с.
21. Барковский А.Н., Ахматдинов Р.Р., Барышков Н.К., Братилова А.А., Кормановская Т.А., Кувшинников С.И., Репин Л.В., Стамат И.П., Тутьельян О.Е. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2015 г. //Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 4. С. 47-73.
22. О состоянии контроля за радиационной безопасностью населения от природных источников ионизирующего излучения //Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 3. С. 58-59.

Thermoluminescent dosimetry of people residing in the vicinity of the Rooppur NPP construction site (People's Republic of Bangladesh)

Panov A.V.¹, Yakushkin V.S.², Kurbakov D.N.¹

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk;

² A.I. Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering, Obninsk

First-time thermoluminescent dosimetry was used for measurement of external radiation doses to people residing in the vicinity of the Rooppur NPP construction site, Bangladesh. At present in this area the residents receive external dose from natural radiation, their average radiation dose is 1.68 mSv/a. External radiation doses in the area surrounded the construction site, as well as the background radiation, are uniformly distributed, dose diversity range lies within 0.82 to 2.6 mSv/a. Contribution of "transport" dose to dose accumulated by TL dosimeters for 6 months was 8.5% on the average. External radiation doses to those residing in stone houses in the area under study was slightly lower than doses received during outdoor activities. No reliable differences in the radiation dose value to residents and professionals was found. Doses measured by TL dosimeter and background radiation were slightly higher than average doses in the region. This increase is due to excavation of large amount of subsoil during construction and engineering work. Mean annual radiation dose to people residing in the vicinity of the Rooppur NPP construction site is integral dose, it consists global dose from natural radionuclides and cosmic radiation and the dose measured by TL dosimeter. Total mean annual radiation dose from natural sources to people residing in the vicinity of the NPP construction site was 4.5-5.5 mSv/a. TL dosimetry data can be used in the future for evaluating effect of the Rooppur NPP operation on radiological situation in the region.

Keywords: *thermoluminescent dosimetry, external radiation, individual dosimetric control, radiation monitoring, dose rate, natural radiation sources, gamma-radiation background, "transport dose", observation zone population, Rooppur NPP.*

References

1. **Khosseyan I., Tashlykov O.L.** Analiz sostoyaniya yadernoy infrastruktury Bangladesh, neobkhodimoy dlya stroitel'stva pervoy AES. Trudy pervoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh Ural'skogo energeticheskogo instituta, Ekaterinburg, Rossiya, 16-20 maya 2016 g. [Analysis of the state of nuclear infrastructure in Bangladesh, necessary for construction of the first NPP there]. *Proceedings of the first scientific and technical conference of young scientist of Ural Energy Institute*, Ekaterinburg, May 16-20. Ekaterinburg, UFU, 2016, pp. 282-285.
2. Otsenka polozheniya del v oblasti razvitiya natsional'noy yadernoy infrastruktury. № NG-T-3.2 [Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development. № NG-T-3.2]. Vienna, IAEA, 2009. 82 p.
3. **Panov A.V., Sanzharova N.I., Tsygvintsev P.N., Isamov N.N., Kurbakov D.N.** Radiatsionno-ekologicheskiy monitoring v rayone raspolozheniya AES «Ruppur» v Narodnoy Respublike Bangladesh. Radioaktivnost' posle yadernykh vzryvov i avari: posledstviya i puti preodoleniya [Radioecological monitoring in the vicinity of Rooppur NPP in People's Republic of Bangladesh, *Radioactivity after nuclear explosions and accidents: consequences and overcoming ways*, Conference proceedings, Obninsk, April 19-21. Obninsk, 2016, pp. 329-337.
4. SP 47.13330.2012. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya. SNiP 11-02-96 [SP 47.13330.2012. Engineering surveys for construction. Main statements. SNiP 11-02-96]. Moscow, 2012. 111 p.
5. SP 151.13330.2012. Inzhenernye izyskaniya dlya razmeshcheniya, proektirovaniya i stroitel'stva AES. Ch. I. Inzhenernye izyskaniya dlya razrabotki predproektnoy dokumentatsii (vybor punkta i vybor ploshchadki razmeshcheniya AES) [SP 151.13330.2012. Engineering surveys for location, design and construction of NPP. Part I. Engineering surveys for developing pre-project documentation (selection of point and site for NPP location)]. Moscow, 2013. 187 p.
6. SP 151.13330.2012. Inzhenernye izyskaniya dlya razmeshcheniya, proektirovaniya i stroitel'stva AES. Ch. II. Inzhenernye izyskaniya dlya razrabotki projektnoy i rabochey dokumentatsii i soprovozhdeniya stroitel'stva [SP 151.13330.2012. Engineering surveys for location, design and construction of NPP. Part II. Engineering surveys for developing project and technical documentation and construction advising]. Moscow, 2013. 155 p.
7. **Stepanenko V.F., Orlov M.Yu., Petin D.V., Tikunov D.D., Borusheva N.B., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Yaskova V.K., Koluzhenkov T.V., Krukova V.G., Moskovko L.I., Tsyb A.F.** Comparison of computational and instrumental methods of individual retrospective dosimetry among inhabitants of the settlement with high radioactive contamination following the Chernobyl NPP accident. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2006, vol. 15, no. 1-2, pp. 146-156. (In Russian).
8. **Matuschenko A.M., Stepanenko V.F., Dubasov Yu.V., Smagulov S.K., Ivannikov A.I., Skvortsov V.G., Orlov M.Yu., Kolyzhenkov T.V., Dubov D.V., Tsyb A.F.** Comparison of external doses estimated with methods of luminescence retrospective and EPR dosimetry with calculated doses in residents of the Dolon village, Kazakhstan: the 1st Nuclear Test in the USSR on 29 August, 1949. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 46-57. (In Russian).
9. SanPiN 2.6.1.2523-09. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy [SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation Safety Standard (NRB-99/2009). Sanitary standards and regulations]. Moscow, Federal Centre of Hygiene and Epidemiology of Russian Agency for Health and Consumer Rights, 2009. 100 p.
10. SP 2.6.1.2612-10. Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti (OSPORB-99/2010) (v red. Izmeneniy № 1, utv. Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 16.09.2013 № 43): Sanitarnye pravila i normativy [SP 2.6.1.2612-10. Principal Sanitary Rules on the Radiation Safety Ensuring (OSPORB-2010) (as amended by Amendments Edition N 1, approved by the Decision of the Chief State Medical Officer of the Russian Federation of 16.09.2013 N 43): Sanitary standards and regulations]. Moscow, Centre for Sanitary and Epidemiological Standardization, Hygienic Certification of Russian Ministry of Health, 2010.

11. DRB 57-023. Poryadok tekushchego kontrolya individual'nykh doz vneshnego oblucheniya ot 09.04.2009 [DRB 57-023. Policy of current control of individual external radiation doses of 09.04.2009]. Obninsk, SSC RF – IPPE, 2009.
12. MVK 12.9.7(8)-13. Metodika kontrolya individual'nykh doz vneshnego oblucheniya fotonami personala FGUP «GNTs RF-FEI». Svidetel'stvo S N0001514 ob attestatsii metodiki radiatsionnogo kontrolya №45129.3N014/01.00294-2010. FGUP VNIIFTRI ot 12.11.2013 g. [MVK 12.9.7(8)-13. Procedure of control of individual external radiation doses by photons of personnel of FSUE “SSC RF – IPPE”. Certificate C N0001514 of approval of radiation control procedure N 45129.3H014/01.00294-2010. FSUE VNIIFTRI of 12.11.2013].
13. MU 2.6.1.016-2000. Opredelenie individual'nykh effektivnykh i ekvivalentnykh doz i organizatsiya kontrolya professional'nogo oblucheniya v kontroliruemyykh usloviyakh obrashcheniya s istochnikami izlucheniya. Obshchie trebovaniya [MU 2.6.1.016-2000. Determination of individual effective doses and dose equivalents and organization of control of professional exposure in monitored conditions of handling the radiation sources. General requirements] *ANRI*, 2000, no. 3 (22), pp. 43-75.
14. MU 2.6.5.026-2016. Dozimetriceskii kontrol' vneshnego professional'nogo oblucheniya. Obshchie trebovaniya [MU 2.6.5.026-2016. Dosimetric control of external professional exposure. General requirements]. Moscow, General Sanitary and Epidemiological Standardization of Russian Federation, 2016. 52 p.
15. MR 2.6.1.0006-10. Provedenie kompleksnogo ekspeditsionnogo radiatsionno-gigienicheskogo obsledovaniya naselen'nogo punkta dlya otsenki doz oblucheniya naseleniya. Metodicheskie rekomendatsii [MR 2.6.1.0006-10. Performance of complex expeditionary radiation and hygienic survey of locality for the assessment of radiation doses for members of public. Methodological recommendations] Moscow, Federal Centre of Hygiene and Epidemiology of Russian Agency for Health and Consumer Rights, 2011. 40 p.
16. **Morozova M.A., Lapshin V.B., Dorenskiy S.V., Syroeshkin A.V.** Dozimetriya pri aviapereletakh. Geliogeofizicheskie issledovaniya [Dosimetry in case of air travel]. *Geliogeofizicheskie issledovaniya – Helio-geophysical Investigations*, 2014, vol. 10, pp. 45-92.
17. **Barkovskiy A.N., Vorob'ev B.F., Dobrenyakin Yu.P., Mishin A.S., Titov N.V.** Obespechenie radiatsionnoy bezopasnosti pri ispol'zovanii luchevykh dosmotrovyykh ustanovok i luchevykh skanerov dlya personal'nogo dosmotra lyudey [Ensuring radiation safety while using the radiation scanners for personal screening of people]. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2010, vol. 3, no. 4, pp. 37-41.
18. **Stamat I.P., Kononenko D.V., Kormanovskaya T.A., Koroleva N.A.** Analiz svedeniy o dozakh vneshnego terrigen'nogo oblucheniya naseleniya Rossiyskoy Federatsii v kommunal'nykh usloviyakh [Analysis of information on external terrigenous exposure of Russian population in communal conditions]. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 33-46.
19. United Nations, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly with Scientific Annexes). Volume 1 Sources. Annex B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). New York, UN, 2000, pp. 84-156.
20. **Romanovich I.K.** Kommentarii k Normam radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009) [Comments to Radiation Safety Standard (NRB-99/2009)]. Ed.: RAMS acad. G.G. Onishchenko. St. Petersburg, LLC “Litografiya”, 2012. 201 p.
21. **Barkovskiy A.N., Akhmatdinov R.R., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Repin L.V., Stamat I.P., Tutel'yan O.E.** Itogi funktsionirovaniya Edinoy gosudarstvennoy sistemy kontrolya i ucheta individual'nykh doz oblucheniya grazhdan Rossiyskoy Federatsii po dannym za 2015 g. [Results of work of Unified State System of Controlling and Recording the Individual Radiation Doses of Russian Federation Citizens for 2015]. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2016, vol. 9, no. 4, pp. 47-73.
22. O sostoyanii kontrolya za radiatsionnoy bezopasnost'yu naseleniya ot prirodnykh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya [On the state of control of population radiation safety from natural ionizing radiation sources]. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2008, vol. 1, no. 3, pp. 58-59.