

## Экологический мониторинг атмосферного воздуха в районе размещения АЭС «Руппур» (Народная Республика Бангладеш)

© 2021. Д. Н. Курбаков, н. с., Р. А. Микаилова, н. с.,  
 А. В. Панов, д. б. н., профессор РАН, заместитель директора,  
 ВНИИ радиологии и агроэкологии,  
 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км,  
 e-mail: kurbakov007@gmail.com, riar@mail.ru

В статье представлен опыт разработки и ведения комплексной системы экологического мониторинга приземного атмосферного воздуха в районе размещения АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш до начала строительства и на разных этапах строительных работ с 2014 по 2017 гг. Создана подробная программа мониторинга, определены 3 поста наблюдений на разном расстоянии от АЭС; выбраны объекты (атмосферный приземный воздух и атмосферные осадки) и методы мониторинга. В числе контролируемых показателей рассматривались: природные ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенные радионуклиды ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), тяжёлые металлы (ТМ) (As, Cr, Cu, Ni, Hg, Cd, Pd, Zn, Mn, Al, Co, Fe), газовый состав воздуха ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) и уровень запылённости. Проведённые исследования зафиксировали влияние строительства АЭС на вариабельность показателей концентрации ТМ и пыли в приземном атмосферном воздухе и отсутствие накопления в нём радионуклидов. Так, содержание Pb и Cd в воздухе через некоторое время после начала строительных работ стало превышать действующие нормативы до 2 раза, что является следствием работы техники и пылеобразования. Показано, что объёмная активность радионуклидов в воздухе определяется глобальными выпадениями. Установлена зависимость климатических условий на концентрацию пыли в приземном воздухе в течение года от минимальных значений в муссонный сезон (июнь–сентябрь) до максимальных, превышающих действующие нормативы, в засушливый сезон (декабрь). Оценка газового состава воздуха позволила зафиксировать наличие  $\text{H}_2\text{S}$  (среднее содержание  $0,12 \text{ мг/м}^3$ ),  $\text{CO}$  ( $0,57 \text{ мг/м}^3$ ) и  $\text{NO}_2$  ( $0,39 \text{ мг/м}^3$ ). Фиксируемые показатели содержания поллютантов находятся на низком уровне и не представляют опасности для здоровья человека. Созданная сеть экологического мониторинга атмосферного воздуха предоставит возможность регистрировать изменения качества окружающей среды в регионе расположения АЭС «Руппур» и фиксировать воздействие станции.

**Ключевые слова:** атомная электростанция, экологический мониторинг, атмосферный воздух, радионуклиды, тяжёлые металлы, химическое загрязнение.

## Environmental monitoring of atmospheric air in the vicinity of Rooppur NPP (People's Republic of Bangladesh)

© 2021. D. N. Kurbakov ORCID: 0000-0002-4690-9063,  
 R. A. Mikailova ORCID: 0000-0003-1790-5319, A. V. Panov ORCID: 0000-0002-9845-7572,  
 Russian Institute of Radiology and Agroecology,  
 109 km, Kievskoye Highway, Obninsk, Russia, 249032,  
 e-mail: kurbakov007@gmail.com, riar@mail.ru

The paper presents environmental monitoring system for surface atmospheric air in the vicinity of the Rooppur NPP in Bangladesh. A monitoring programme was developed. There were selected 3 observation points. Monitoring objects (atmospheric air and precipitation), a list of observed parameters, observation regulations, as well as investigation methods, were identified. The controlled indicators included the radionuclide composition of surface air and precipitations, involving natural ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) and artificial radionuclides ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), the content of heavy metals (HM) (Cd, Ni, Pd, As, Hg, Co, Cr, Mn, Cu, Zn, Al, Fe), the gas composition of the air and the level of dust. The investigations were carried out in 2014–2017 before and at the construction stage of NPP considering the climatic characteristics of the region during different seasons. The results of monitoring studies showed the influence of the NPP construction on changes in the content of HM and dust in the surface air and the absence of an increase in the content of radionuclides. The concentration of Pb and Cd after the start of the NPP construction began to exceed current standards by 1.6–2.3 times, due to the operation of the equipment and dust formation. The specific activity of radionuclides in the air was very low. The influence of climate on the dust content in the air during the year was also noted. The values varied from

the minimum in the monsoon period (June-September) to the maximum in the dry period (December). Analysis of the gas composition of the air revealed the presence of H<sub>2</sub>S (average content 0.12 mg/m<sup>3</sup>), as well as CO (0.57 mg/m<sup>3</sup>) and NO<sub>2</sub> (0.39 mg/m<sup>3</sup>). The detected concentrations excepting single measurements of hydrogen sulfide are quite low and do not pose a risk to human health.

**Keywords:** nuclear power plant, environmental monitoring, atmospheric air, radionuclides, heavy metals, chemical pollution.

Особенностью воздействия атомных электростанций (АЭС) на окружающую среду (ОС) при работе в штатном режиме являются многолетние нормализованные выбросы радионуклидов, которые поступают с вытяжным воздухом из зданий атомной станции через вентиляционные трубы высотой около 100 м [1]. Попадая в ОС в разрешённых количествах, загрязняющие вещества сорбируются почвой и растворяются в природных водах, концентрируются в природной пищевой продукции и продукции сельского хозяйства, тем самым оказывают действие на население в регионе атомной станции. Это приводит к необходимости организации постоянного комплексного экологического мониторинга за качеством атмосферного приземного воздуха в регионе размещения АЭС, как первичного пути поступления радионуклидов и других загрязнителей в организм человека. На стадии строительства АЭС главными факторами влияния являются нерадиационные, в том числе отчуждение территорий под площадку станции и инфраструктуру, поступление в ОС тяжёлых металлов (ТМ), пыли и других токсичных веществ [2–3].

«Жизненный» цикл АЭС составляет более 50 лет от стадии строительства до прекращения эксплуатации. Поэтому разработка системы экологического мониторинга в регионе воздействия АЭС начинается ещё в период проектирования в рамках инженерно-экологических изысканий. Создание системы экологического мониторинга до начала строительных работ АЭС обеспечивает информационный базис для последующего анализа потенциального негативного влияния станции на ОС и человека в период строительства станции и её эксплуатации. Стоит обратить внимание, что при оценке данного влияния следует брать в расчёт уже существующее на момент сооружения АЭС загрязнение ОС от функционирующих промышленных предприятий в регионе локации станции. Опыт создания системы радиоэкологического мониторинга атмосферного воздуха в районах расположения атомных электростанций представлен на примере строящейся АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш.

Цель работы – создание и ведение системы экологического мониторинга приземного

атмосферного воздуха в районе размещения АЭС на различных этапах её производственного цикла.

В число основных задач исследования входило: изучение фоновых параметров приземного атмосферного воздуха до начала возведения АЭС «Руппур»; оценка состояния атмосферного воздуха и атмосферных выпадений на этапе строительства АЭС; на основе результатов многолетних наблюдений за качеством воздушного бассейна в регионе размещения АЭС «Руппур», выявление тренда качества приземного атмосферного воздуха для предупреждения негативных ситуаций, угрожающих здоровью людей и ОС.

## Объекты и методы исследований

На основе подписанного соглашения между Россией и Народной Республикой Бангладеш, Госкорпорация «Росатом» начала строительство АЭС «Руппур» в 2017 г. Площадка станции расположена 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 с 2014 по 2017 гг. сотрудниками ФГБНУ ВНИИРАЭ по заказу АО «Институт «Оргэнергострой» в рамках инженерно-экологических изысканий создана и ведётся система экологического мониторинга атмосферного воздуха в регионе размещения АЭС «Руппур». Детальная программа экологического мониторинга создана в соответствии с [4–5], определены и исследованы посты наблюдений, установлены объекты мониторинга, перечень контролируемых параметров, порядок наблюдений, а также методы исследований и нормативно-техническое обеспечение. Посты наблюдения за приземным атмосферным воздухом и атмосферными выпадениями выбраны в 5-км зоне воздействия электростанции (рис. 1): пост 1 – площадка АЭС «Руппур», метеорологическая станция; пост 2 – посёлок «Кутир», в 1,2 км на северо-запад от АЭС «Руппур»; пост 3 – посёлок «Грин Сити», в 2,4 км на северо-восток от АЭС «Руппур».

Контролируемые на постах наблюдения показатели включали: радионуклидный со-



Рис. 1. Карта-схема площадки АЭС «Руппур» и постов наблюдения (1–3)

Fig. 1. Map-scheme of the Rooppur NPP site and sampling points (1–3)

став приземного атмосферного воздуха и атмосферных выпадений ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), содержание ТМ (As, Hg, Cr, Cd, Pd, Ni, Zn, Co, Cu, Mn, Al, Fe), газовый состав воздуха ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) и уровень запылённости.

Отбор проб, их подготовку к измерениям и измерения проводили по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях ФГБНУ ВНИИРАЭ: на радионуклиды в испытательной лаборатории радиационного контроля (аттестат аккредитации RA.RU.21AД81) на ТМ и физико-химические показатели в испытательной лаборатории (аттестат аккредитации RA.RU.513078).

Определение концентраций вредных химических веществ (ВХВ) в приземном атмосферном воздухе проводили на уровне 2 м от поверхности земли с использованием приборов GasHunter, погрешность измерений в зависимости от определяемого газа варьировала от 5 до 20%. Продолжительность отбора проб для определения разовых концентраций ВХВ составляла от 20 до 30 мин; для определения среднесуточных концентраций тот же период времени через равные промежутки в сроки 1, 7, 13 и 19 ч. Отбор проб приземного атмосферного воздуха проводили воздухофильтрующей установкой «Аспиратор ПУ-3Э/12» на фильтры типа АФА-ВП, АФА-СП, АФА-МП, АФА-ХП. Скорость прокачиваемого воздуха составляла 100 л/мин. Пробоотборник размещался на открытой местности вне зоны ветровой тени от застройки и лесных насаждений, а также вне зоны влияния автомагистралей [6–8]. Наблюдения за распространением и плотностью выпадений радионуклидов из атмосферы на подстилающую поверхность проводили се-

диментационным методом – сбор оседающих аэрозолей и осадков в открытые сосуды. Для этого на постах наблюдения были установлены баки-сборники ИЛАН.307642.001, разработанные в ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета (г. Обнинск). Периодичность отбора атмосферных осадков составляла один месяц, что обусловлено содержанием радионуклидов в суточных пробах ниже минимально детектируемых измерительной аппаратурой величин. Одновременно с отбором проб на постах наблюдения измерялись метеорологические показатели: температура атмосферного воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, направление и скорость ветра. Учитывая климатические особенности региона размещения АЭС, отбор проб проводили в разные сезоны года: август (2014 г.), апрель (2015 г.), декабрь (2016 г.) и июнь (2017 г.).

Для анализа содержания в воздухе и выпадениях радионуклидов применяли высокочувствительные радиометрические и спектрометрические комплексы. Гамма-излучающие радионуклиды определяли на спектрометре ГАММА-1П с двумя измерительными трактами с полупроводниковыми детекторами из особо чистого германия («ЛСРМ», Россия, «EG&G ORTEC», США) и многоканальном гамма-спектрометре CANBERRA («Canberra Industries, Inc.», США).  $^{90}\text{Sr}$  из проб выделяли радиохимическим способом. Бета-активность препаратов измеряли на жидкосцинтилляционном спектрометре TRI-CARB 4810 TR («Perkin Elmer», США), жидкосцинтилляционном спектрометрическом комплексе СКС-07П-Б11 («Green Star», Россия) и альфа-бета радиометре с кремниевым детектором УМФ-2000 (НПП «Доза», Россия). Относительная погрешность измерений активности радионуклидов составляла 6–30% в зависимости от используемого прибора и метода измерения. Определение ТМ проводили на атомно-эмиссионном спектрометре с атомизацией проб в индуктивно-связанной плазме (ИСП-ОЭС) Liberty II производства фирмы Varian, погрешность используемого метода 5–15%.

## Результаты и обсуждение

Загрязнение воздушного бассейна является одной из основных проблем в Бангладеш. CO, формальдегиды, пыль, ТМ являются наиболее значимыми для здоровья человека и способны вызывать болезни дыхательной,

сердечно-сосудистой, нервной системы [9–11]. Загрязнению атмосферы способствовал стремительный рост в Бангладеш числа транспортных средств, непрерывное промышленное и жилищное строительство [10]. Так, содержание взвешенных частиц пыли в городских районах столицы и крупных городах страны в сотни раз превышают действующие нормы, а концентрация SO<sub>2</sub> превышает ПДК в десятки раз [12]. Однако в сельской местности, где располагается строящаяся АЭС «Руппур», качество воздуха значительно лучше.

Проведённые мониторинговые исследования в регионе размещения АЭС «Руппур» в период 2014–2017 г. показали, что содержание радионуклидов на фильтрах аспираторных установок было ниже порога обнаружения метода. Объём прокаченного воздуха составлял 72 м<sup>3</sup> в сут. Пробы отбирались ежедневно в течение 20 дней. Превышений объёмной активности радионуклидов

согласно НРБ-99/2009 в воздухе не обнаружено (табл. 1) [13].

Содержание естественных (<sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>40</sup>K) и техногенных радионуклидов (<sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn) в воде осадков и осевших на фильтрах баков-сборников также было чрезвычайно низкое и находилось на пороге их обнаружения приборами (табл. 2). Единственное определённое в 2015 г. на фильтре значение для <sup>40</sup>K на посту № 3 равнялось 467±186 Бк/кг. В случае гипотетического использования местным населением воды атмосферных осадков для питьевых нужд, это не оказало бы отрицательного воздействия на их здоровье, поскольку действующие нормативы предела годового поступления для человека, согласно НРБ-99/2009, в такой воде не превышены.

По результатам исследований 2014–2017 гг. атмосферного воздуха в регионе размещения АЭС «Руппур» обнаружены превышения нормативов [14] по содержанию в нём ТМ.

Таблица 1 / Table 1

Объёмная активность радионуклидов в приземном атмосферном воздухе (Бк/м<sup>3</sup>) в регионе размещения АЭС «Руппур» в 2014–2017 гг.  
The volume activity of radionuclides in the surface air (Bq/m<sup>3</sup>) in the vicinity of Rooppur NPP, 2014–2017

Год Year	Радионуклид / Radionuclide				
	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
2014	2,3 · 10 <sup>-2*</sup>	7,7 · 10 <sup>-3*</sup>	1,4 · 10 <sup>-3*</sup>	1,3 · 10 <sup>-5*</sup>	1,5 · 10 <sup>-3*</sup>
2015				1,2 · 10 <sup>-5*</sup>	
2016	4,2 · 10 <sup>-2*</sup>	1,4 · 10 <sup>-2*</sup>		1,3 · 10 <sup>-5*</sup>	1,4 · 10 <sup>-3*</sup>
2017					
НРБ-99/2009 / RSS-99/2009	31	3,0 · 10 <sup>-2</sup>	4,9 · 10 <sup>-3</sup>	2,7	27

Примечание: \* – значение меньше нижнего предела диапазона измерения используемой методики.  
Note: \* – the value is less than the lower limit of the measurement range of the method used.

Таблица 2 / Table 2

Удельная активность радионуклидов в атмосферных выпадениях (Бк/кг) в регионе размещения АЭС «Руппур» в 2014–2017 гг.  
The specific activity of radionuclides in atmospheric fallouts (Bq/kg) in the vicinity of Rooppur NPP in 2014–2017

Пост Sampling point	Проба Sample	Радионуклид / Radionuclide						
		<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>54</sup> Mn	<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
1	осадки / rainfall	1,0*	0,044*	0,062*	0,02*	0,02*	0,001*	0,09*
2		3,1*	0,036*	0,068*	0,04*	0,04*		0,06*
3		4,4*	0,095*	0,018*	0,09*	0,09*		0,04*
НРБ-99/2009 для питьевой воды RSS-99/2009 for drinking water		–	< 0,49	< 0,6	< 193	< 40	< 4,9	< 11
1	фильтр / filter	473*	15,8*	15,8*	–	–	10,6*	15,8*
2		821*	16,4*	16,4*	–	–	8,3*	16,4*
3		649*	10,8*	10,8*	–	–	9,9*	10,8*

Примечание: \* – значение меньше нижнего предела диапазона измерения используемой методики; «–» – нет данных.  
Note: \* – the value is less than the lower limit of the measurement range of the method used; “–” – no data.

Таблица 3 / Table 3

Среднесуточное содержание тяжёлых металлов в приземном атмосферном воздухе (мг/м<sup>3</sup>)  
в регионе размещения АЭС «Руппур»  
The average daily content of heavy metals in surface air (mg/m<sup>3</sup>)  
in the vicinity of Rooppur NPP

Пост Sampling point	Тяжёлый металл / Heavy metal				
	Cd	Ni	Pd	As	Hg
Сентябрь 2014 / September 2014					
1	9,1 · 10 <sup>-7</sup>	7,2 · 10 <sup>-6</sup>	7,9 · 10 <sup>-5</sup>	1,6 · 10 <sup>-6</sup>	9,0 · 10 <sup>-6</sup>
Апрель 2015 / April 2015					
1	1,5 · 10 <sup>-7</sup>	1,1 · 10 <sup>-7</sup>	2,3 · 10 <sup>-6</sup>	1,7 · 10 <sup>-6</sup>	5,7 · 10 <sup>-6</sup>
Декабрь 2016 / December 2016					
1	2,0 · 10 <sup>-8</sup>	2,6 · 10 <sup>-7</sup>	1,2 · 10 <sup>-6</sup>	1,4 · 10 <sup>-7</sup>	2,9 · 10 <sup>-7</sup>
2	1,9 · 10 <sup>-8</sup>	1,9 · 10 <sup>-7</sup>	1,1 · 10 <sup>-6</sup>	9,7 · 10 <sup>-8</sup>	3,1 · 10 <sup>-7</sup>
3	2,1 · 10 <sup>-8</sup>	2,5 · 10 <sup>-7</sup>	1,5 · 10 <sup>-6</sup>	7,6 · 10 <sup>-8</sup>	2,3 · 10 <sup>-7</sup>
Среднее / Average	2,0 · 10 <sup>-8</sup>	2,3 · 10 <sup>-7</sup>	1,2 · 10 <sup>-6</sup>	1,1 · 10 <sup>-7</sup>	2,8 · 10 <sup>-7</sup>
Июнь 2017 / June 2017					
1	1,0 · 10 <sup>-5</sup>	2,0 · 10 <sup>-5</sup>	8,0 · 10 <sup>-5</sup>	1,0 · 10 <sup>-5</sup>	2,0 · 10 <sup>-6</sup>
2	1,0 · 10 <sup>-5</sup>	1,0 · 10 <sup>-5</sup>	1,0 · 10 <sup>-5</sup>	7,0 · 10 <sup>-5</sup>	4,0 · 10 <sup>-6</sup>
3	7,0 · 10 <sup>-5</sup>	3,0 · 10 <sup>-5</sup>	2,0 · 10 <sup>-4</sup>	8,0 · 10 <sup>-5</sup>	3,0 · 10 <sup>-6</sup>
Среднее / Average	9,0 · 10 <sup>-5</sup>	2,0 · 10 <sup>-5</sup>	1,0 · 10 <sup>-5</sup>	8,0 · 10 <sup>-5</sup>	3,0 · 10 <sup>-6</sup>
ГН 2.1.6.3492-17 GS 2.1.6.3492-17	3,0 · 10 <sup>-4</sup>	1,0 · 10 <sup>-3</sup>	3,0 · 10 <sup>-4</sup>	3,0 · 10 <sup>-4</sup>	3,0 · 10 <sup>-4</sup>

Выявлено периодическое загрязнение воздуха ТМ на постах: № 1 – Cd 10.06.2017 г. и 15.06.2017 г. с превышением норматива в 1,6 и 2,3 раза, Pb 10.06.2017 г. с превышением норматива в 1,6 раза; № 2 – Cd 10.06.2017 г. с превышением норматива в 1,6 раза; № 3 – Pb 10.06.2017 г. с превышением в 1,6 раза. По сравнению с показателями 2016 г., в 2017 г. после начала активного строительства АЭС, ситуация с содержанием в воздухе ТМ несколько ухудшилась, хотя среднесуточные показатели и оставались ниже нормативов (табл. 3).

Анализ полученных данных показал, что наиболее «чистым» в отношении загрязнения ТМ является пост № 2, расположенный в отдалении от крупных жилых построек. Повышение содержания ТМ в атмосферном воздухе связано с интенсивной работой с 2017 г. строительной техники, а также цементных заводов [15–16], размещённых в районе постов № 1 и № 3 на расстоянии около 500 м от аспираторных установок.

Данные о содержании ТМ в атмосферных выпадениях представлены в таблице 4. В связи с тем, что посты наблюдения № 1 и № 3 находятся в непосредственной близости отстроек (площадка АЭС «Руппур» и жилое строительство) наблюдаемые значения ТМ на них несколько выше, чем на посту № 2.

По результатам исследования на со-

держании ВХВ в приземном атмосферном воздухе на площадке строительства АЭС «Руппур» было выявлено наличие следов NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S и CO. Обнаруженные концентрации крайне низки и не представляют опасности для человека [17]. Содержание H<sub>2</sub>S в воздухе за весь период проведения мониторинговых работ 2014–2017 гг. находилось в диапазоне 0,05–0,58 мг/м<sup>3</sup>. Присутствие сероводорода в атмосферном воздухе вероятно обусловлено особенностями климата (высокая температура и влажность способствуют гниению белков из отходов жизнедеятельности населения). Содержания CO в воздухе колебались от 0,1 до 1,1 мг/м<sup>3</sup>. Наличие угарного газа в 2014–2015 гг. обнаруживалось крайне редко. В 2016–2017 гг. вследствие начала строительства АЭС, приборами определялось повышение концентрации CO в воздухе (вероятно из-за работы строительная техника и горения костров). В 2017 г. отмечены более высокие концентрации по сравнению с 2016 г. Концентрация в воздухе NO<sub>2</sub> находилась в диапазоне от 0,1 до 1,5 мг/м<sup>3</sup>. Среднее значение NO<sub>2</sub> в 2016 г. составило 0,21 мг/м<sup>3</sup>, а в 2017 г. – 0,39 мг/м<sup>3</sup>.

По данным проведённых мониторинговых исследований, превышений нормативов содержания пыли в приземном атмосферном воздухе в 2014 и 2015 гг. не обнаружено. Кроме того, полученные данные были в 2,0–2,3 ра-

за ниже ПДК. В декабре 2016 г. на трёх постах наблюдения выявлены превышения содержания пыли в приземном атмосферном воздухе, что обусловлено сухим периодом года в момент проведения исследований (табл. 5) [18].

Так же стоит отметить, что нормативы загрязнения воздуха в Бангладеш примерно в 2 раза выше, чем аналогичные показатели для Российской Федерации [19–21], а по ряду показателей до трёх раз выше, чем рекомендованные ВОЗ [22].

**Заключение**

Проведённые исследования по экологическому мониторингу приземного атмосферного воздуха в регионе размещения АЭС «Руппур» до начала и на начальном этапе строительства атомной станции, позволили дать комплексную оценку изменения ситуации на первом

этапе жизненного цикла этого радиационно-опасного объекта. Вследствие начала интенсивных строительных работы наблюдалось повышение содержания Pb и Cd в воздухе до 2 раз над нормативными показателями. Значения объёмной активности радионуклидов в приземном воздухе не изменялось. Концентрация пыли в приземном слое воздуха в регионе размещения АЭС «Руппур» зависит от климатических условий и изменяется в течении года от минимальных значений в муссонный сезон (июнь – сентябрь) и до максимальных, превышающих установленные нормативы, в засушливый сезон (декабрь). При исследовании газового состава воздуха обнаружено наличие H<sub>2</sub>S (среднее содержание 0,12 мг/м<sup>3</sup>), CO (0,57 мг/м<sup>3</sup>) и NO<sub>2</sub> (0,39 мг/м<sup>3</sup>). Зафиксированное количество поллютантов в атмосферном воздухе находится на низком уровне и не представляет опасности для здоровья человека.

**Таблица 4 / Table 4**

Валовое содержание тяжёлых металлов (мкг/кг) в атмосферных выпадениях в регионе размещения АЭС «Руппур» в 2014–2017 гг. / Total content of heavy metals (µg/kg) in atmospheric fallout in the vicinity of Rooppur NPP in 2014–2017

Тяжёлый металл Heavy metal	Пост / Sampling point					
	1	2	3	1	2	3
	осадки / rainfall			фильтр / filter		
Hg	0,22±0,02	0,15±0,02	0,16±0,01	16,9±1,7	8,3±0,8	6,3±0,6
Cd	0,09±0,01	0,07±0,01	0,10±0,01	0,12±0,012	0,10±0,01	0,12±0,01
Co	0,49±0,05	0,35±0,04	0,87±0,09	–	–	–
Cr	4,2±0,4	2,17±0,22	2,98±0,30	–	–	–
As	1,62±0,16	1,64±0,16	1,81±0,19	0,40±0,04	0,33±0,03	0,35±0,04
Ni	0,91±0,09	0,22±0,02	0,50±0,05	8,1±0,8	5,0±0,5	6,4±0,6
Mn	1,47±0,15	1,30±0,13	1,18±0,12	–	–	–
Cu	11,3±1,1	9,4±0,9	16,4±1,6	–	–	–
Zn	51±5	30,9±3,1	63±6	–	–	–
Al	165±15	136±14	366±37	–	–	–
Fe	633±58	374±36	405±41	–	–	–
Pb	–	–	–	7,3±0,7	5,9±0,9	7,2±0,7

Примечание / Note: «–» – нет данных / no data.

**Таблица 5 / Table 5**

Среднесуточные значения запылённости воздуха (мг/м<sup>3</sup>) в регионе размещения АЭС «Руппур» в 2014–2017 гг. / Average daily dust levels (mg/m<sup>3</sup>) in the vicinity of Rooppur NPP in 2014–2017

Пост Sampling point	Период наблюдений / Period of investigations			
	сентябрь 2014 September 2014	апрель 2015 April 2015	декабрь 2016 December 2016	июнь 2017 June 2017
1	0,08±0,01	0,07±0,01	0,15±0,02	0,07±0,01
2	–	0,07±0,01	0,13±0,01	0,05±0,01
3	–	0,06±0,01	0,14±0,01	0,05±0,01
ГН 2.1.6.1338-03 / GS 2.1.6.1338-03	0,15			

Примечание / Note: «–» – нет данных / no data.

Заложенная сеть мониторинга атмосферного воздуха позволит регистрировать влияние работы АЭС «Руппур» на экологическую обстановку в данном регионе Народной Республики Бангладеш.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-19-00016).*

### References

1. Bezlepkin V.V., Semashko S.E., Frolov A.S. Project “NPP-2006”: radiation impact on the environment // *Bezopasnost' okruzhayushchey sredy*. 2009. No. 3. P. 135–137 (in Russian).
2. Ecological monitoring of the environment in the NPP vicinity: monograph / Ed. V.A. Grachev. Moskva: Aksi-M, 2013. 176 p. (in Russian).
3. Radioecological situation in the regions where Rosatom enterprises are situated / Eds. I.I. Linge, I.I. Kryshev. Moskva: SAM polygrapher, 2015. 296 p. (in Russian).
4. 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). Moskva: Analyst, 2013. 187 p. (in Russian).
5. 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. Moskva: Analyst, 2013. 155 p. (in Russian).
6. GB 52.04.186-89. Guidelines for the control of air pollution. Moskva: Hydrometeoizdat, 1991. 615 p. (in Russian).
7. OST 95-10123-85. Protection of Nature. Atmosphere. General requirements for sampling radioactive aerosols from the surface layer. Moskva: Hydrometeoizdat, 1985. 153 p. (in Russian).
8. GOST 17.1.5.05-85 Nature Protection (MOP). Hydrosphere. General requirements for sampling surface and sea waters, ice and precipitation. Moskva: Hydrometeoizdat, 1986. 14 p. (in Russian).
9. Alexander D.E. Natural disasters. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 633 p.
10. Statistical year book of Bangladesh 2015. Bangladesh Bureau of statistics. Dhaka, Bangladesh, 2016. 559 p.
11. Ambient air quality in Banglades. Clean air and sustainable environment project. Department of Environment, Ministry of Environment, Forest and Climate Change of the Government of Bangladesh. Bangladesh, 2018. 112 p.
12. Shamsheer A. Ecosocial problems of the development of the Republic of Bangladesh // *Vestnik RUDN. Seriya ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2013. No. 5. P. 90–95 (in Russian).
13. Ferdous J., Md. Hossain S., Md. Hoque A. Study of radioactivity concentration in air of Dhaka city // *International Journal of Life Sciences and Technology*. 2016. V. 9. P. 96–105.
14. GN 2.1.6.1338-03. Maximum allowable concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas Moskva: Hydrometeoizdat, 2003. 86 p. (in Russian).
15. Kougija M.V., Beljaeva V.I. Rare elements in materials of cement production // *Cement*. 1996. No. 1. P. 23–24 (in Russian).
16. Hobotova Je.B., Uhanjova M.I., Semenovich T.A., Mahova O.G., Panteleeva N.M. The study of the distribution of heavy metals in dispersed fractions of cement dust // *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2005. No. 29. P. 299–301 (in Russian).
17. Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G. Gas-air emissions from glass container production as a risk factor for public health // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. P. 155–161 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-155-161
18. Hossee M.A., Hoque A. Variation of ambient air quality scenario in Chittagong city: A case study of air pollution // *Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering*. 2019. V. 3. P. 10–16. doi: 10.20944/preprints201608.0174.v1
19. Sukhodolska K., Prantor K. The analysis of air pollution of the traffic flows in Ukraine and Bangladesh // *World Science: International Scientific and Practical Conference*. 2017. V. 1. No. 3. No. 19. P. 43–48.
20. Bari N. Comparative study on air quality of the divisional cities of Bangladesh // *First Conference on Research for Sustainable Development (FCRSD2016)*. Sylhet. Bangladesh, 2016. 10 p. doi: 10.13140/RG.2.2.32453.45280
21. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for Bangladesh. Bangladesh: BSTI, 2005. 9 p.
22. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. World Health Organization, 2005. 22 p.