



УДК 504.054, 504.3.054, 539.16.04, 629.039.58

О МЕТОДАХ ВЫБОРА НОРМИРУЕМЫХ РАДИОНУКЛИДОВ И ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ РАДИОАКТИВНЫХ Веществ в атмосферный воздух

Курьиндин А. В., к. т. н. (kuryndin@secnrs.ru),
Шаповалов А. С. (shapovalov@secnrs.ru),
Тимофеев Н. Б. (ntimofeev@secnrs.ru)
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

В настоящей статье с точки зрения соответствия актуальным стандартам безопасности МАГАТЭ рассмотрены критерии и методы выбора подлежащих нормированию радионуклидов и источников выброса радиоактивных веществ в атмосферный воздух, установленные в нормативно-правовых актах Российской Федерации, регулирующих выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду.

Продемонстрированы преимущества использования данных критериев по сравнению с аналогичными подходами, действовавшими ранее.

► **Ключевые слова:** источник выброса, радиоактивные вещества, нормирование выбросов, атмосферный воздух.

DOI: 10.26277/SECNRS.2019.92.2.003

ON METHODS FOR SELECTION OF RADIOACTIVE AIRBORNE DISCHARGE SOURCES AND RADIONUCLIDES FOR WHICH DISCHARGE LIMITS SHALL BE SET

Kuryndin A. V., Ph. D., Shapovalov A. S.,
Timofeev N. B.
(SEC NRS)

The article is about criteria and methods for selection of radioactive airborne discharge sources and radionuclides for which discharge limits shall be set by Russian nuclear regulatory authority.

Also this article demonstrates the advantages of these criteria and methods in comparison with criteria and methods, which previously were used for similar regulatory purposes.

► **Keywords:** radioactive airborne discharge sources, discharge limits, radionuclides, atmosphere.

DOI: 10.26277/SECNRS.2019.92.2.003

В 2012 году в связи с изменениями [1], внесенными в [2], утверждена Методика [3], устанавливающая общие принципы и критерии разработки нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) радиоактивных веществ в атмосферный воздух и существенно изменившая существовавшие до этого подходы к нормированию выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Установленные в Методике [3] принципы и критерии разработки ПДВ подробно рассмотрены в [4].

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [5] по регулированию деятельности, сопровождающейся радиационным воздействием, важным аспектом регулирования является нормативное установление критериев, на основе которых должно приниматься решение о том, подлежит ли указанная деятельность регулированию. При этом в качестве критерия для принятия данных решений в [5] указано не превышение обусловленной такой деятельностью годовой эффективной дозой значения порядка 10 мкЗв/год или менее. Необходимо также отметить, что соблюдение или несоблюдение данного ограничения зависит в том числе и от того, какие из радионуклидов, оказывающие радиационное воздействие, обусловленное конкретным видом деятельности, учитываются. Так, например, для деятельности по обращению с твердыми материалами, содержащими радионуклиды, в [5] установлены критерии, выраженные в терминах активности радионуклидов в данных материалах, которые рассчитаны с учетом условия не превышения ограничения по эффективной дозе 10 мкЗв/год [6], [7].

Охарактеризованные выше рекомендации МАГАТЭ учитываются в российской практике регулирования выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, а именно в Методике [3], устанавливающей критерии выбора подлежащих нормированию радионуклидов и источников их выбросов. Критерий для выбора подлежащих нормированию источников в [3] (с учетом изменений [8]) определен следующим образом: нормированию подлежат только те источники выброса, создаваемая которыми годовая эффективная доза облучения населения «без учета рассеивания» превышает 10 мкЗв/год. Конкретные рекомендации по применению указанного критерия с учетом путей внутреннего облучения (ингаляция и ограничение потребления загрязненных продуктов питания) и внешнего облучения (облучение от выпадений на поверхность земли и облучение от радионуклидов, взвешенных в атмосферном воздухе) приведены в [9]. Таким образом, в рамках применения указан-

ного критерия должно консервативно приниматься, что облучаемые лица находятся непосредственно в месте, где радиоактивные вещества высвобождаются из источника выброса в атмосферный воздух. В случае если источником выброса является вентиляционная труба, то для расчета дозы «без учета рассеивания», сопоставляемой с критерием 10 мкЗв/год, принимается объемная активность радионуклидов в воздухе, характерная для газоаэрозольной смеси, выбрасываемой из трубы [9].

Продемонстрируем результаты применения выбора нормируемых источников в соответствии с [3], [9] на следующем примере. Предположим, что непосредственно в жилой застройке расположен источник выброса, из которого в атмосферу поступает один радионуклид ^{137}Cs . Оценим, какая активность выброса потребуется для того, чтобы на одном и том же расстоянии от источника создавалась бы годовая доза 10 мкЗв «с учетом рассеивания» в случаях:

- выброс осуществляется из высокой трубы 120 м;
- выброс осуществляется из низкой трубы 12 м.

Для обеспечения сопоставимости результатов расчета примем одинаковые метеоусловия в местах размещения источников выбросов, пренебрежем учетом теплового и динамического подъема выброса и предположим, что уже на небольшом удалении (порядка 10^1 м) от источников выброса расположены участки, на которых возделывается сельскохозяйственная продукция, учитывая помимо пути облучения, обусловленного потреблением загрязненных продуктов питания, ингаляционный путь поступления и пути внешнего облучения, а также прочие допущения [9].

В указанных условиях для низкого источника годовая эффективная доза 10 мкЗв создается выбросом ^{137}Cs , активность которого в ~ 100 раз меньше, чем в случае, если выброс осуществляется из высокого источника.

Таким образом, подход к выбору нормируемых источников, заложенный в [3], [9], обеспечивает оптимальный баланс между необходимостью с одной стороны обеспечить простоту и прозрачность принятия решения о необходимости нормирования выбросов из конкретного источника, а с другой стороны – стремлением обеспечить универсальность критерия с точки зрения необходимости его применения в отношении источников выбросов, характеризующихся широким спектром разнообразных параметров источников выбросов (геометрическая

высота, удаленность от места нахождения критической группы населения, тепловые и динамические характеристики потока выбрасываемой среды, и т. д.), влияющих на величину радиационного воздействия на население. Так, выбросы радиоактивных веществ могут осуществляться как атомными электростанциями (АЭС), источники выбросов которых расположены на удалении от мест проживания населения, так и находящимися в черте городов небольшими организациями (например, учреждениями в сфере здравоохранения или научно-исследовательскими институтами, где осуществляется обращение с радиоактивными веществами), источники выброса которых характеризуются незначительным разбавлением примеси к моменту ее попадания к местам нахождения облучаемых лиц.

Также важно отметить, что использование указанного подхода [3], [9] для выявления необходимости нормирования того или иного источника выброса следует практике, рекомендованной МАГАТЭ в [10], [11]. Так, документами МАГАТЭ [10], [11] допускается использование «итерационного» процесса, в соответствии с которым консервативные оценки (в том числе «без учета рассеивания») могут быть использованы для проверки необходимости (отсутствия необходимости) регулирования выбросов радиоактивных веществ на основе дозового критерия 10 мкЗв/год, а дальнейшие комплексные оценки «с учетом рассеивания» используются уже в случае превышения указанного дозового критерия. Примером приверженности подобному консерватизму в отношении определения необходимости нормирования выбросов из конкретных источников является имплементированное в законодательстве США [12] требование, согласно которому регулярный контроль выбросов радионуклидов должен осуществляться в отношении тех источников, которые в предположении отсутствия оборудования, предназначенного для очистки выбросов, обуславливают расчетную годовую эффективную дозу облучения населения 1 мкЗв/год.

Критерий выбора подлежащих нормированию радионуклидов в Методике [3] определен следующим образом: установление нормативов требуется в отношении тех радионуклидов в выбросах источника, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в выбросах в атмосферный воздух [13] и воздействием которых обусловлен 99%-ный вклад в годовую эффективную дозу. Таким образом, исчерпывающий перечень радионуклидов, подлежащих учету в рамках

регулирующего контроля, установлен в [13], а в [3] установлены критерии выбора тех радионуклидов, которые обуславливают наиболее существенный вклад в облучение населения и, таким образом, подлежат нормированию в выбросах. Данный регулирующий подход соответствует практике, рекомендованной МАГАТЭ в [11], согласно которой нормированию в выбросах подлежат радионуклиды, обуславливающие значительный вклад в облучение населения.

Рекомендации по применению установленного в [3] критерия отбора радионуклидов, подлежащих нормированию в выбросах, установлены в [9]. Согласно [9] при определении вкладов радионуклидов в годовую эффективную дозу для всех радионуклидов, за исключением ^3H и ^{14}C (для этих радионуклидов расчетные соотношения имеют более простой вид, поскольку в [9] реализована модель, предполагающая использование дозовых коэффициентов, единых для всех возможных путей поступления данных радионуклидов в организм человека), доза «без учета рассеивания» может быть представлена как сумма четырех компонентов:

$$D_r^{\text{б.р.}} = D_r^{\text{б.р., облако}} + D_r^{\text{б.р., почва}} + D_r^{\text{б.р., ингаляция}} + D_r^{\text{б.р., пища}}, \quad (1)$$

где: $D_r^{\text{б.р., облако}}$, $D_r^{\text{б.р., почва}}$, $D_r^{\text{б.р., ингаляция}}$, $D_r^{\text{б.р., пища}}$ – годовые эффективные дозы «без учета рассеивания» за счет различных путей облучения населения (облучение от облака, от загрязненной радионуклидами поверхности земли, ингаляция, потребление загрязненных радионуклидами пищевых продуктов местного сельскохозяйственного производства).

Характерной особенностью соотношений для расчета величин $D_r^{\text{б.р., облако}}$, $D_r^{\text{б.р., почва}}$, $D_r^{\text{б.р., ингаляция}}$, $D_r^{\text{б.р., пища}}$ [9] является то, что все они представляют вид произведений активностей выброса на дозовые коэффициенты для того или иного пути облучения (внутреннего или внешнего) и на коэффициенты пропорциональности, которые учитывают переход активности или излучения от воздуха или загрязненной поверхности земли (в данной модели предполагается мгновенное осаждение радионуклидов на поверхность земли) к облучаемому лицу.

Продемонстрируем, как работает заложенный в [3] и [9] подход к отбору радионуклидов, для которых должны устанавливаться нормативы ПДВ на примере российских АЭС.

По результатам анализа имеющейся информации [14] выявлено, что АЭС с энергоблоками одного и того же типа характеризуются близким радионуклидным составом выбросов. В таблице 1 приведены сведения о радионуклидах, имеющих в выбросах энергоблоков разных типов (ВВЭР, РБМК, БН), перечни радионуклидов, подлежащих государственному учету и нормированию в соответствии с требованиями Методики [3].

Также в таблице 1 представлены единственные ранее обязательные для нормирования (согласно [15]) радионуклиды и перечень радионуклидов, контролируемых в выбросах европейских АЭС в соответствии с [16].

Из сопоставления данных, приведенных в таблице 1, с перечнем [13] следует, что значительная часть радионуклидов, активность которых была измерена прецизионными методами [14], присутствует в перечне [13] (различия обусловлены проектными решениями и применяемыми мерами эксплуатационного контроля).

В целях демонстрации большей, по сравнению с ранее использовавшимися подходами [15], ориентированности подхода к выбору нормируемых радионуклидов [3], [9] на нормирование радионуклидов, значимых с точки зрения радиационного воздействия, и демонстрации эквивалентности заложенного в [3], [9] подхода к выбору нормируемых радионуклидов и подхода, учитывающего рассеивание, для указанных в колонках 2 – 4 таблицы 1 радионуклидов выполнены расчеты годовых эффективных доз и годовых эффективных доз «без учета рассеивания». Расчеты доз проводились для источников выброса, в качестве которых рассматривались вентиляционные трубы АЭС с реакторами типа ВВЭР, РБМК и БН. Для расчета годовых эффективных доз облучения населения использовались соотношения (21) – (24) [9]. Результаты расчетов представлены в таблицах 2 и 3. В качестве исходных данных для их выполнения использованы значения дозовых коэффициентов и других параметров, рекомендуемые в приложении № 2 [9].

Таблица 1

Сведения о радионуклидных составах выбросов АЭС и о нормируемых радионуклидах

Тип энергоблока	Радионуклидный состав выбросов по результатам прецизионных измерений [14]	Нормируемые радионуклиды		Контролируемые радионуклиды в выбросах европейских АЭС [16]
		согласно [3]	согласно [15]	
1	2	3	4	5
РБМК	^{24}Na , ^{54}Mn , ^{51}Cr , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{91}Sr , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{99}Mo , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{135}I , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{139}Ce , ^3H , ^{14}C , ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{138}Xe	^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{131}I , ^{133}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{133}I , ^{140}Ba , ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe , ^{138}Xe	^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{131}I , сумма инертных радиоактивных газов	^3H , ^{14}C , ^{41}Ar , ^{85}Kr , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{89}Kr , $^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , $^{133\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe , ^{137}Xe , ^{138}Xe , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{238}Pu , ^{239}Pu + ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm
БН	^{24}Na , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , ^3H , ^{14}C , ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe	^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe	^{24}Na , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , сумма инертных радиоактивных газов	
ВВЭР	^{24}Na , ^{54}Mn , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{75}Se , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{152}Eu , ^3H , ^{14}C , ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{138}Xe	^3H , ^{14}C , ^{24}Na , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{95}Zr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{41}Ar , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr , ^{135}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$	^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{131}I , сумма инертных радиоактивных газов	

Таблица 2

**Результаты расчета годовой эффективной дозы
без учета рассеивания**

Тип энергоблока	Годовая эффективная доза без учета рассеивания, Зв			Отношения доз	
	от всех радионуклидов $D_{б.р. полн}$	от нормируемых, согласно [3], радионуклидов $D_{б.р. норм [3]}$	от нормируемых, согласно [15], радионуклидов $D_{б.р. норм [15]}$	$D_{б.р. норм [3]} / D_{б.р. полн}$	$D_{б.р. норм [15]} / D_{б.р. полн}$
РБМК	$9,30 \cdot 10^{-2}$	$9,20 \cdot 10^{-2}$	$8,20 \cdot 10^{-2}$	0,99	0,88
БН	$2,88 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-3}$	$1,50 \cdot 10^{-3}$	0,99	0,52
ВВЭР	$2,98 \cdot 10^{-2}$	$2,94 \cdot 10^{-2}$	$8,87 \cdot 10^{-3}$	0,99	0,30

Таблица 3

**Результаты расчета годовой эффективной дозы
с учетом рассеивания**

Тип энергоблока	Годовая эффективная доза, Зв		
	от всех радионуклидов $D_{полн}$	от нормируемых, согласно [3], радионуклидов $D_{норм [3]}$	от нормируемых, согласно [15], радионуклидов $D_{норм [15]}$
РБМК	$4,98 \cdot 10^{-6}$	$4,93 \cdot 10^{-6}$	$4,45 \cdot 10^{-6}$
БН	$1,67 \cdot 10^{-7}$	$1,65 \cdot 10^{-7}$	$8,76 \cdot 10^{-8}$
ВВЭР	$6,45 \cdot 10^{-8}$	$6,43 \cdot 10^{-8}$	$1,80 \cdot 10^{-8}$
Отношения доз			
Тип энергоблока	$D_{норм [3]} / D_{полн}$	$D_{норм [15]} / D_{полн}$	
РБМК	0,99	0,89	
БН	0,99	0,53	
ВВЭР	0,99	0,29	

По результатам выполненных расчетов можно сформулировать вывод о том, что подход к выбору нормируемых радионуклидов [3], [9] позволяет для каждого источника выброса адекватно выбирать те радионуклиды, которые, с учетом характеристик выбросов из конкретного источника, значимы с точки зрения радиационного воздействия на население. Для АЭС с реакторами БН дозы, рассчитанные с учетом расширенного, по сравнению с [15], перечня нормируемых радионуклидов, в ~ 2 раза, а для АЭС с реакторами ВВЭР в ~ 3,6 раз выше, чем дозы, создаваемые наборами радионуклидов, нормируемых согласно [15].

Также из выполненных расчетов можно сделать еще один важный вывод. Как видно из сопоставления данных, указанных в таблицах 2 и 3,

рассчитанные отношения доз «без учета рассеивания» и отношения доз «с учетом рассеивания», дают очень близкие результаты, что свидетельствует об универсальности установленных в [3], [9] подходов.

Таким образом, Методика [3] в совокупности с рекомендациями руководства по безопасности [9] обеспечивает подход к выбору нормируемых источников и радионуклидов при разработке нормативов ПДВ на население, являющийся всеобъемлющим и ориентированным на радиологическую значимость источников выброса и радионуклидов с точки зрения их радиационного воздействия, а также учитывающий международный опыт.

Список литературы

1. О внесении изменений в некоторые постановления Правительства Российской Федерации по вопросам полномочий Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральной службы по надзору в сфере природопользования и Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 13.09.2010 № 717.
2. О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору: постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2004 № 401.
3. Об утверждении Методики разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух: приказ Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639 (зарегистрирован в Минюсте Российской Федерации 18.01.2013, рег. № 26595).
4. Строганов А. А., Курьиндин А. В., Шаповалов А. С., Орлов М. Ю. О нормировании выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. УДК 621.039.58 // Ядерная и радиационная безопасность. № 2 (68)-2013.
5. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards: IAEA General safety requirements part 3 № GSR part 3. – IAEA, Vienna, 2014.
6. Derivation of activity concentration values for exclusion, exemption and clearance: IAEA Safety reports series № 44. – IAEA, Vienna, 2005.
7. Principles and methods for establishing concentrations and quantities (exemption values) below which reporting is not required in the European directive: Radiation protection – 65. – Commission of the European Communities, 1993.
8. О внесении изменений в Методику разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух, утвержденную приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 7 ноября 2012 г. № 639: приказ Ростехнадзора от 28.06.2017 № 233.
9. Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух: приказ Ростехнадзора от 11.11.2015 № 458.
10. Generic models for assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment: IAEA Safety reports series № 19. – IAEA, 2001.
11. Regulatory control of radioactive discharges to the environment. General safety guide № 9: IAEA Safety standards. – IAEA, Vienna, 2018.
12. Radionuclides National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (40 CFR 61). Subpart H to Part 61, Subsection 61.93. – United States Environmental Protection Agency.
13. Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды: распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 № 1316-р.
14. Michael Zhukovsky, Aleksey Vasiliev, Aleksey Ekin, Maksim Vasyanovich, Maria Pyshkina, Maksim Semenov, Ekaterina Murashova, Ivan Kapustin. Radioactive atmospheric discharges of the European and Russian Nuclear Power Plants. RAD Conference Proceedings, vol. 2, 2017.
15. О введении в действие Санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций»: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.04.2003 № 69.
16. Commission recommendation of 18 December 2003 on standardized information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation. – Official journal of the European Union 6.1.2004.

References

1. On the Amendment of Some RF Government Orders Related to the Authorities of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Federal Service for Supervision of Natural Resources, and Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service: the RF Government Ordinance № 717 of 13.09.2010.
2. On the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service: the RF Government Ordinance № 401 of 30.07.2004.
3. On the Approval of the ‘Methodology for Elaborating and Establishing Limits for Discharges of Radioactive Substances in Atmospheric Air’: Rostekhnadzor Order № 639 of 07.11.2012 (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation, Ref. № 26595 dd. 18.01.2013).
4. A.A. Stroganov, A.V. Kuryndin, A.S. Shapovalov, M.Yu. Orlov. On Regulation of Discharges of Radioactive Substances in Atmospheric Air. UDK 621.039.58 // Nuclear and Radiological Safety. № 2 (68)-2013.
5. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards: – IAEA General Safety Requirements Part 3, № GSR Part 3. – IAEA, Vienna, 2014.
6. Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance: IAEA Safety Reports Series № 44. IAEA, Vienna, 2005.
7. Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption Values) Below Which Reporting is not Required in the European Directive: Radiation Protection – 65. – Commission of the European Communities, 1993.
8. On the Amendment of the ‘Methodology for Elaborating and Establishing Limits for Discharges of Radioactive Substances in Atmospheric Air’ approved by the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service: RF Government Ordinance № 639 of November 7, 2012: Rostekhnadzor Order № 233 of 28.06.2017.
9. On the Approval of the Nuclear Safety Guide ‘Methods Recommended for Calculating Parameters Essential for Elaborating and Establishing Limits for Discharges of Radioactive Substances in Atmospheric Air’: Rostekhnadzor Order № 458 of 11.11.2015.
10. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment: IAEA Safety Reports Series № 19. IAEA, 2001.
11. Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment. General Safety Guide № 9: IAEA Safety Standards. – IAEA, Vienna, 2018.
12. Radionuclides National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (40 CFR 61). Subpart H to Part 61, Subsection 61.93. – United States Environmental Protection Agency.
13. On the Endorsement of the ‘List of Pollutants and Contaminants Subject to Governmental Regulation in the Field of Environmental Protection’: the RF Government Ordinance № 1316-r of 08.07.2015.
14. Michael Zhukovsky, Aleksey Vasiliev, Aleksey Ekin, Maksim Vasyanovich, Maria Pyshkina, Maksim Semenov, Ekaterina Murashova, Ivan Kapustin. Radioactive Atmospheric Discharges of the European and Russian Nuclear Power Plants. RAD Conference Proceedings, vol. 2, 2017.
15. On the Enforcement of the Health and Hygiene Rules and Standards SanPiN 2.6.1.24-03 ‘Health Rules for Design and Operation of Nuclear Plants’: Chief Health Officer of the Russian Federation Order № 69 of 28.04.2003.
16. Commission Recommendation of 18 December 2003 ‘On Standardized Information on Radioactive Airborne and Liquid Discharges into the Environment from Nuclear Power Reactors and Reprocessing Plants in Normal Operation’. – Official Journal of the European Union 6.1.2004.

