

# Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(11)

2014 г.

## Учредитель

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-  
практический центр  
радиационной медицины  
и экологии человека»

## Журнал включен в:

- Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования диссертационных исследований по медицинской и биологической отраслям науки (31.12.2009, протокол 25/1)
- Перечень журналов и изданий ВАК Минобрнауки РФ (редакция май 2012г.)

## Журнал зарегистрирован

Министерством информации  
Республики Беларусь,  
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 28.03.14.  
Формат 60×90/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Печать цифровая. Тираж 211 экз.  
Усл. печ. л. 17,8. Уч.-изд. л. 16,01.  
Зак. 1203.

Издатель ГУ «Республиканский  
научно-практический центр  
радиационной медицины и экологии  
человека»  
ЛИ № 02330/619 от 3.01.2007 г.  
Продлена до 03.01.2017

Отпечатано в Филиале БОРБИЦ  
РНИУП «Институт радиологии».  
220112, г. Минск,  
ул. Шпилевского, 59, помещение 7Н

ISSN 2074-2088

## Главный редактор

А.В. Рожко (д.м.н., доцент)

## Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беяковский (д.м.н., профессор), Ю.В. Висенберг (к.б.н., отв. секретарь), Н.Г. Власова (к.б.н., доцент), А.В. Величко (к.м.н., доцент), В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор), А.В. Коротаяев (к.м.н.), А.Н. Лызииков (д.м.н., профессор), А.В. Макарович (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н., профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н.), М.Г. Русаленко (к.м.н.), А.Е. Силин (к.б.н.), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), О.В. Черныш (к.м.н.), А.Н. Цуканов (к.м.н.), Н.И. Шевченко (к.б.н.)

## Редакционный совет

В.И. Жарко (министр здравоохранения Республика Беларусь, Минск), А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Д.А. Базыка (д.м.н., профессор, Киев), А.П. Бирюков (д.м.н., профессор, Москва), Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), Ю.Е. Демидчик (д.м.н., член-корреспондент НАН РБ, Минск), М.П. Захарченко (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Л.А. Ильин (д.м.н., академик РАМН, Москва), К.В. Котенко (д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., Минск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.Л. Пиневиц (Минск), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), В.П. Сытый (д.м.н., профессор, Минск), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), В.П. Филонов (д.м.н., профессор), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Е. Шевчук (к.м.н., Минск)

## Технический редактор

С.Н. Никонович

## Адрес редакции

246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,  
ГУ «РНИЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала  
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97  
<http://www.mbr.rcrm.by> e-mail: [mbr@rcrm.by](mailto:mbr@rcrm.by)

© Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический  
центр радиационной медицины и  
экологии человека», 2014

№ 1(11)

2014

# Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

## **Founder**

Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

Journal registration  
by the Ministry of information  
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre  
for Radiation Medicine  
and Human Ecology

**ISSN 2074-2088**

**Обзоры и проблемные статьи**

- Ю.Г. Григорьев, А.П. Бирюков**  
Радиобиология мобильной связи: современные аспекты фундаментальных и прикладных исследований 6
- Р.К. Апсаликов, Ж.Б. Ибраева, Л.М. Пивина, А.М. Нуртанова, А.В. Липихина**  
Научно-методологические основы мониторинга состояния здоровья экспонированного радиацией населения Восточно-Казахстанской области 17

**Медико-биологические проблемы**

- А.Ю. Абросимов, М.И. Рыженкова**  
Папиллярный рак щитовидной железы после аварии на Чернобыльской АЭС: морфологические особенности первичных и рецидивных опухолей 24
- Е.А. Дрозд, Ю.В. Висенберг, Н.Г. Власова**  
Особенности формирования индивидуальных доз внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненной территории 33
- А.В. Иванова**  
Состояние липопероксидации в митохондриях мозга при гипогликемическом судорожном синдроме и различных способах его купирования 39
- И.Н. Николайкова, С.И. Вершинина**  
Показатели иммунного статуса у пациентов с носительством вируса папилломы человека высокого онкогенного риска 47
- А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая**  
Прогнозная оценка объемной активности радиоактивных изотопов инертных газов при штатном и аварийном выбросе Белорусской АЭС с реактором ВВЭР 53
- П.В. Уржумов, А.В. Возилова, П.Н. Донов, Е.А. Блинова, А.В. Аклеев**  
Связь полиморфизма генов систем репарации ДНК с повышенным уровнем хромосомных aberrаций у облученных лиц 59

**Reviews and problem articles**

- Y. G. Grigoriev, A.P. Birukov**  
Radiobiology mobile communication: modern aspects of fundamental and applied research 6
- R.K. Apsalikov, Zh.B. Ibrayeva, L.M. Pivina, A.M. Nurtanova, A.V. Lipikhina**  
Scientific-methodological bases of health monitoring of population of East Kazakhstan region exposed to radiation 17

**Medical-biological problems**

- A.Yu. Abrosimov, M.I. Ryzhenkova**  
Papillary thyroid carcinoma after Chernobyl accident: morphology of primary and recurrent tumors 24
- E. Drozd, Yu. Visenberg, N. Vlasova**  
Peculiarities of formation of individual doses of internal exposure in population residing on the contaminated territory 33
- A.V. Ivanova**  
Lipoperoxidation state of rat brain mitochondria at hypoglycemic convulsive syndrome and different ways of its arresting 39
- I.N. Nikolaykova, S.I. Verшинina**  
Immune status in patients with human papillomavirus carriage high risk 47
- A.N. Perevolotsky, T.V. Perevolotskaya**  
The predictive estimate of volumetric activity of radioactive isotopes of inert gases under normal and emergency emission of the Belarusian NPP with the PWR reactor 53
- P.V. Urzhumov, A.V. Vozilova, P.N. Donov, E.A. Blinova, A.V. Akleev**  
Association of the DNA repair systems genes with elevated levels of chromosomal aberrations in exposed individuals 59

**И.Я. Шахтамиров, Р.Х. Гайрабеков, Х.М. Мутиева, В.П. Терлецкий, В.Ю. Кравцов**  
Биоиндикация генотоксичности стойких органических загрязнителей в Чеченской Республике. Сообщение 1. Микроядерный тест в эритроцитах птиц 65

**И.Я. Шахтамиров, Р.Х. Гайрабеков, Х.М. Мутиева, В.П. Терлецкий, В.Ю. Кравцов**  
Биоиндикация генотоксичности стойких органических загрязнителей в Чеченской Республике. Сообщение 2. Микроядерный тест в эритроцитах рыб 71

### *Клиническая медицина*

**И.Н. Мороз, Т.Г. Светлович, Т.В. Калинина**  
Физический и психологический компоненты здоровья как характеристики качества жизни лиц пожилого и старческого возраста при разных условиях оказания медико-социальной помощи 76

**О.В. Мурашко, О.К. Кулага**  
Эндокринные расстройства у женщин репродуктивного возраста с доброкачественными кистозными опухолями яичников 82

**Н.М. Оганесян, А.Г. Карапетян**  
Отдаленные медицинские последствия аварии на ЧАЭС: биологический возраст и качество жизни ликвидаторов 90

**А.Е. Силин, А.В. Коротаев, В.Н. Мартинков, А.А. Силина, Т.В. Козловская, И.Б. Тропашко, С.М. Мартыненко**  
Анализ спектра генетических вариантов рецептора липопротеинов низкой плотности в группе пациентов с гиперхолестеринемией 98

**Е. А. Слепцова, А. А. Гончар**  
Первичный гиперпаратиреоз: значимые ультразвуковые критерии в диагностике аденомы паращитовидной железы 104

**М.В. Фридман, С.В. Маньковская, Н.Н. Савва, Ю.Е. Демидчик**  
Результаты лечения спорадического папиллярного рака щитовидной железы у детей и подростков 111

**I.Ya. Shahtamirov, R.Kh. Gayrabekov, Kh.M. Moutieva, V.P. Terletskiy, V.Yu. Kravtsov**  
Bioindication genotoxicity of persistent organic pollutants in Chechen Republic. Message 1. Micronucleus test in chicken erythrocytes

**I.Ya. Shahtamirov, R.Kh. Gayrabekov, Kh.M. Moutieva, V.P. Terletskiy, V.Yu. Kravtsov**  
Bioindication genotoxicity of persistent organic pollutants in Chechen Republic. Message 2. Micronucleus test in fish erythrocytes

### *Clinical medicine*

**I.Moroz, T. Svetlovich, T. Kalinina**  
Physical and psychological health components as characteristics of quality of life of elderly and old people in various settings of medical and social care provision

**O.V. Murashko, O.K. Kulaga**  
Endocrine disorder in women of reproductive age with benign cystic ovarian tumors

**N.M. Hovhannisyan, A.G. Karapetyan**  
The remote medical consequences of failure on Chernobyl NPP: biological age and quality of the life of liquidators

**A. Silin, A. Korotaev, V. Martinkov, A. Silina, T. Kozlovskaya, I. Tropashko, S. Martynenko**  
Spectrum analysis of genetic variants of low density lipoprotein receptor in the group of patients with hypercholesterolemia

**H. Sleptsova, A. Gonchar**  
Primary hyperparathyroidism: significant ultrasound criterias in diagnostics of parathyroid adenoma

**M. Fridman, S. Mankovskaya, N. Savva, Yu. Demidchik.**  
Sporadic papillary thyroid carcinoma in children and adolescents: the results of treatment

<b>И.М. Хмара, Ю.В. Макарова, С.В. Петренко, С.М. Чайковский</b> Йодная обеспеченность детей в Беларуси	120	<b>I. Khmara, Y. Makarova, S. Petrenko, S. Tchaikovsky</b> Iodine sufficiency of children in Belarus	
<b>В. Шпудейко, Ж. Пугачева, Д. Новик, Наото Такахаша</b> Пероксидаза – негативный острый миелоидный лейкоз с диффузным и гранулярным гликогеном в бластных клетках	129	<b>V. Shpudeiko, J. Pugacheva, D. Novik, Naoto Takahashi</b> Peroxidase negative acute myeloid leukemia with a diffuse or granular form of glycogen in blast cells. Case Report	
<b>Обмен опытом</b>		<b>Experience exchange</b>	
<b>К.Н. Апсаликов, А.В. Липихина, Ш.Б. Жакупова</b> Территория и население Карагандинской области Республики Казахстан, пострадавшие в результате деятельности Семипалатинского испытательного ядерного полигона. Архивно-аналитическая справка	135	<b>K.N. Apsalikov, A.V. Lipikhina, Sh.B. Zhakupova</b> Territory and population of Karaganda region of the Republic of Kazakhstan affected by the activity of Semipalatinsk nuclear test site. Archival analytical reference	
<b>А.П. Бирюков, Е.В. Васильев, С.М. Думанский, И.А. Галстян, Н.М. Надежина</b> Применение бизнес-интеллектуальных технологий OLAP и DATA MINING для оперативного анализа радиационно-эпидемиологических данных	141	<b>A.P. Biryukov, E.V. Vasil'ev, S.M. Dumansky, I.A. Galstjan, N.M. Nadezhina</b> Application business intelligent technologies OLAP and DATA MINING for operational analysis radiation-epidemiological data	
<b>С.Д. Бринкевич, О.Г. Суконко, Г.В. Чиж, Ю.Ф. Полойко</b> Позитронно-эмиссионная томография. Часть 2: Синтез и медицинское применение радиофармацевтических препаратов, меченых $^{18}\text{F}$	151	<b>S.D. Brinkevich, O.G. Sukonko, G.V. Chizh, Yu.F. Poloiko</b> Positron-Emission Tomography. Part 2: Synthesis and Medical Applications of $^{18}\text{F}$ -Labeled Radiopharmaceuticals	
<b>А.П. Саливончик, Е.С. Тихонова, С.В. Зыблева</b> Иммуноглобулин для подкожного введения как препарат выбора при лечении первичного иммунодефицита: история болезни	163	<b>A.P. Salivonchik, E.S. Tikhonova, S.V. Zybleva</b> Immunoglobulin for subcutaneous administration as the drug of choice in the treatment of primary immunodeficiency: a case history	
Правила для авторов	171		

**ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ ПРИ ШТАТНОМ И АВАРИЙНОМ ВЫБРОСЕ БЕЛОРУССКОЙ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР**

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Беларусь*

На основании модельных расчетов переноса радиоактивных изотопов ксенона, криптона и аргона в атмосфере выполнена оценка их объемных активностей при штатных и аварийных выбросах АЭС с реактором ВВЭР.

Установлено, что при наиболее вероятной нейтральной категории устойчивости атмосферы (*D*) на удалении 800-2500 м объемная активность по  $^{133}\text{Xe}$  будет достигать 2 Бк/м<sup>3</sup>,  $^{135}\text{Xe}$  – 0,4 Бк/м<sup>3</sup>, а по остальным радиоизотопам – до 10<sup>-2</sup> Бк/м<sup>3</sup>. При штатных радиоактивных выбросах мощность поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения на высоте 1 м от подстилающей поверхности, обусловленная излучением радиоизотопов инертных газов, при умеренно неустойчивом состоянии атмосферы (категория *B*) на расстоянии 300-800 м от АЭС не превысит 1×10<sup>-10</sup> Гр/ч, что примерно в 1000 раз меньше по сравнению с естественным радиоактивным фоном (10×10<sup>-8</sup> Гр/ч).

**Ключевые слова:** радиоизотопы инертных газов, объемная активность, мощность поглощенной дозы,  $\gamma$ -излучение.

**Введение**

При возрастающем вкладе атомных электростанций в производство электрической энергии во всем мире все большую актуальность приобретают вопросы минимизации штатных радиоактивных выбросов и снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации энергетических ядерных реакторов [1-4]. Несмотря на значительное сокращение радиоактивных выбросов за счет совершенствования систем очистки за последние полвека [5-8], данная проблема не теряет актуальности для обеспечения радиационной безопасности работающих на АЭС и населения, проживающего в зоне их размещения [1, 3, 4]. Существенная доля в составе радиоактивных выбросов АЭС принадлежит радиоизотопам инертных газов, которые, в силу своих химических свойств, в наименьшей мере задерживаются системами очистки по сравнению радиоизотопами йода и аэрозолями [5-8].

Целью настоящего исследования является прогнозная оценка объемной активности радиоактивных изотопов инертных газов при суточном штатном выбросе и для максималь-

ной проектной аварии для условий размещения Белорусской АЭС с реакторами ВВЭР.

**Материал и методы исследования**

Прогнозирование распространения радиоактивных изотопов инертных газов в атмосфере проводили с помощью Гауссовых моделей рассеивания, многократно опробованных в различных регионах мира в широком спектре метеорологических условий и рекомендованных МАГАТЭ [9, 10].

Расчеты объемной активности радионуклидов в атмосфере и параметров метеорологического разбавления для разового выброса проводили в соответствии с рекомендациями, изложенными [9, 10, 11]. Оценку мощности поглощенной дозы внешнего  $\gamma$ -излучения в облаке выброса выполняли согласно [9, 11, 14].

Активность штатного выброса принимали, исходя из существующих данных о величинах выбросов реакторов ВВЭР и долевого вклада в суммарную активность отдельных радионуклидов [5-8]. В течение последних 10 лет выброс радиоактивных изотопов инертных газов для реакторов ВВЭР в России и их аналогов в мире составля-

ет  $\sim 10^{13}$  Бк на 1 ГВт мощности энергоблока в год, при этом 81% активности выброса определяется  $^{133}\text{Xe}$  ( $8,1 \times 10^{12}$  Бк), 14% –  $^{135}\text{Xe}$  ( $1,4 \times 10^{12}$  Бк), 2% –  $^{85}\text{Kr}$  ( $1,6 \times 10^{11}$  Бк), а активность остальных радионуклидов составляет менее 1% ( $4-8 \times 10^{10}$  Бк) [5-8]. Исходя из активности годового выброса, рассчитывали величину суточного выброса.

Активность выброса радиоактивных инертных газов при максимальной проектной аварии принята равной  $3,2 \times 10^{13}$  Бк по  $^{133}\text{Xe}$ ,  $1,3 \times 10^{13}$  Бк по  $^{88}\text{Kr}$ ,  $9 \times 10^{12}$  Бк по  $^{87}\text{Kr}$ ,  $6 \times 10^{12}$  Бк по  $^{135}\text{Xe}$ ,  $4 \times 10^{12}$  Бк по  $^{41}\text{Ar}$  и  $^{85\text{m}}\text{Kr}$ ,  $1,1 \times 10^{12}$  Бк по  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $1,1 \times 10^{11}$  Бк по  $^{85}\text{Kr}$  и  $^{131\text{m}}\text{Xe}$  при продолжительности активной фазы 10 часов [12-13].

Исходя из величины штатного и аварийного выброса, по каждому радионуклиду рассчитывали усредненную объемную активность в облаке выброса за время его существования.

Высота штатного выброса принята равной высоте вентиляционной трубы – 120 м, высота аварийного – 20 метрам [10, 11].

Поскольку для радиоактивных изотопов инертных газов отсутствует гравитационное осаждение и в очень слабой степени имеет место вымывание атмосферными осадками, то  $f_{oc}$  и  $f_g$  приняты равными 1.

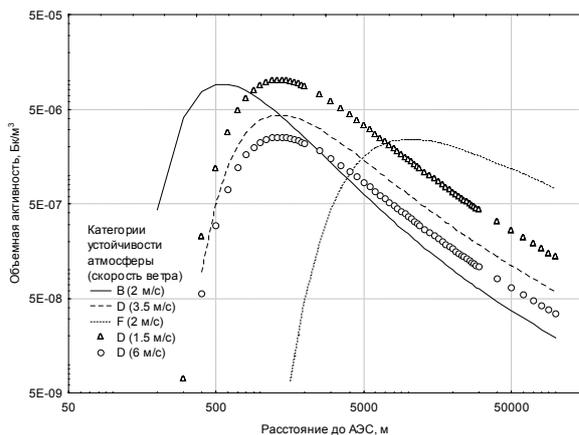
Определение величин стандартных отклонений проводили в соответствии с формулами Смита-Хоскера [10, 11], которые зависят от аэродинамической шероховатости поверхности и категории устойчивости атмосферы по классификации Тернера, модифицированной ИЭМ [10]. При расчетах стандартных отклонений была принята аэродинамическая шероховатость поверхности 100 см, что соответствует пересеченной местности с чередующимися сельскохозяйственными и лесными участками [11].

Прогнозирование объемной активности по всем вышеупомянутым радиоизотопам инертных газов в атмосфере при штатных и аварийных выбросах проводили для наиболее вероятных нейтральных условий устойчивости атмосферы (категории устойчивости D) (частота 44%) при скорости ветра 3,5 м/с для района размещения БелАЭС [13].

Для оценки влияния категории устойчивости атмосферы и скорости ветрового переноса на разбавление радиоактивных инертных газов рассчитывали объемную активность  $A_v(x)$  по  $^{133}\text{Xe}$  (как по радионуклиду, выбрасываемому в наибольших количествах) для умеренно неустойчивой атмосферы (категория устойчивости атмосферы B) с частотой  $\sim 8\%$ , нейтральных условий (категория устойчивости D) и умеренно устойчивой атмосферы (категория F) с частотой  $\sim 16\%$  [13]. Приняты средние скорости ветрового переноса для категорий B и F равные 2 м/с, а для категории D спрогнозированы изменения концентрации  $^{133}\text{Xe}$  при скоростях ветрового переноса 1,5, 3,5 и 6 м/с.

### Результаты исследования

Распределение объемной активности радиоактивных изотопов инертных газов в атмосфере при штатных и аварийных выбросах атомных электростанций определяется расстоянием от источника выброса, категорией устойчивости атмосферы и скоростью ветра. При изменении устойчивости атмосферы от умеренно неустойчивой (категория устойчивости B) до очень устойчивой (категория F) при одинаковой скорости ветра максимум объемной активности радиоактивных инертных газов (рассмотрено на примере  $^{133}\text{Xe}$ ) будет удаляться от АЭС с одновременным снижением абсолютного значения (рисунк 1). Данное обстоятельство определяется эффективным переносом газовой примеси в атмосфере с меньшим разбавлением по мере повышения ее устойчивости, неустойчивые состояния атмосферы создают условия для более эффективного перемешивания газовой примеси и высоких концентраций вблизи источника выброса [9, 15]. Различия в переносе инертных газов при разных категориях устойчивости атмосферы хорошо прослеживаются при сравнении прогнозируемой объемной активности на расстояниях  $>50$  км. При единичной активности выброса (1 Бк) на указанном расстоянии объемная активность  $^{133}\text{Xe}$  при умеренно неустойчивом состоянии атмосферы (категория устойчивости B) составит  $\sim 3 \times 10^{-8}$  Бк/м<sup>3</sup>, при



**Рисунок 1** – Объемная активность  $^{133}\text{Xe}$  при разовом суточном выбросе активностью 1 Бк при различных категориях устойчивости атмосферы

нейтральных условиях (категория D) –  $\sim 10^{-7}$  Бк/м<sup>3</sup>, а при устойчивой (категория F) –  $\sim 10^{-6}$  Бк/м<sup>3</sup>. Таким образом, можно констатировать максимально и умеренно устойчивые состояния атмосферы как наиболее неблагоприятные варианты распространения радионуклидов при аварийном радиоактивном выбросе в плане обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего в районе размещения АЭС.

Увеличение скорости ветрового переноса определяет пропорциональное снижение концентрации радионуклидов в атмосфере на одних и тех же расстояниях от АЭС вследствие более интенсивного перемешивания, что хорошо прослеживается для наиболее вероятной нейтральной категории устойчивости (категория D) при скоростях ветра 1,5, 3,5 и 6 м/с и подтверждается данными других авторов [15].

Сравнение распределения объемной активности радиоактивных инертных газов в атмосфере было проведено для наиболее вероятной категории устойчивости атмосферы (категория D) и скорости ветрового переноса 3,5 м/с при штатном суточном и аварийном выбросах. Как следует из проведенных расчетов объемной активности радиоизотопов инертных газов (таблица), при наиболее вероятной категории устойчивости атмосферы (категория D) со средней скоростью ветрового переноса 3,5 м/с ди-

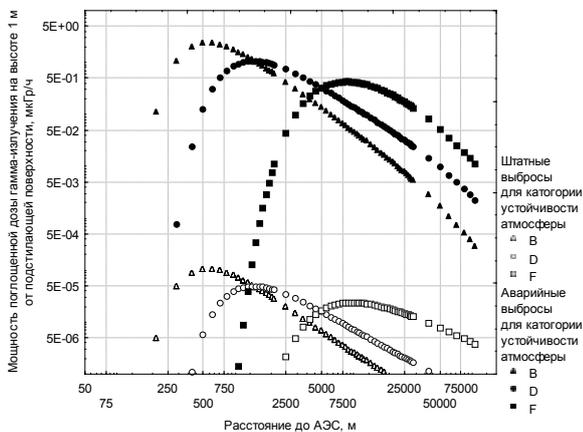
апазон максимальных объемных активностей инертных газов прогнозируется на удалении 800-2500 м от АЭС. Среди исследованных радионуклидов максимальная среднесуточная объемная активность в облаке штатного радиоактивного выброса прогнозируется по  $^{133}\text{Xe}$  – до 2 Бк/м<sup>3</sup> и по  $^{135}\text{Xe}$  – до 0,4 Бк/м<sup>3</sup>, а по остальным радионуклидам – менее  $10^{-2}$  Бк/м<sup>3</sup>. По мере удаления от АЭС ожидается уменьшение объемной активности радиоактивных изотопов инертных газов: на удалении 15 км в 10 раз, а на удалении 100 км – почти в 100 раз по сравнению с максимальными значениями.

При разовом аварийном выбросе в течение 10 часов для нейтральной категории устойчивости атмосферы наибольшие объемные активности прогнозируются для  $^{133}\text{Xe}$  на расстоянии 800-2500 м от АЭС в диапазоне 3000-4000 Бк/м<sup>3</sup>. Также относительно высокие объемные активности возможны по  $^{87}\text{Kr}$ ,  $^{88}\text{Kr}$  и  $^{135}\text{Xe}$  – до 1200 Бк/м<sup>3</sup>, исследуемый показатель по остальным радионуклидам не превысит 400 Бк/м<sup>3</sup>. Однако время существования столь высоких концентраций радионуклидов в атмосфере ограничен временем выброса радионуклидов из аварийного энергоблока АЭС.

Изменение мощности поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения на высоте 1 м от подстилающей поверхности, обусловленное радиоактивными изотопами инертных газов (рисунок 2), во многом, повторяет изменение их объемной активности в атмосфере. Прежде всего, следует отметить относительно низкие значения мощности поглощенной дозы в облаке штатных радиоактивных выбросов. Так, при умеренно неустойчивом состоянии атмосферы (категория устойчивости B), мощность поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения на высоте 1 м на удалении 300-800 м не превысит  $1 \times 10^{-10}$  Гр/ч, что примерно в 1000 раз меньше по сравнению с естественным радиоактивным фоном ( $10 \times 10^{-8}$  Гр/ч [5-8]). При повышении устойчивости атмосферы зона максимальных значений мощности поглощенной дозы «удаляется» от АЭС, снижаясь по абсолютному значению примерно в 2 раза

**Таблица 1** – Прогнозируемая объемная активность радиоизотопов инертных газов при штатном суточном выбросе и максимальной проектной аварии

Расстояние, м	Объемная активность радиоизотопов инертных газов, Бк/м <sup>3</sup>								
	<sup>41</sup> Ar	<sup>85m</sup> Kr	<sup>85</sup> Kr	<sup>87</sup> Kr	<sup>88</sup> Kr	<sup>131m</sup> Xe	<sup>133m</sup> Xe	<sup>133</sup> Xe	<sup>135</sup> Xe
Штатный суточный выброс									
500	0,0016	0,0013	0,0052	0,0027	0,0012	0,0020	0,0019	0,2600	0,0440
1000	0,0120	0,0100	0,0400	0,0200	0,0093	0,0150	0,0140	2,0000	0,3400
1500	0,0130	0,0110	0,0440	0,0220	0,0100	0,0170	0,0160	2,2000	0,3700
2000	0,0110	0,0096	0,0380	0,0190	0,0088	0,0150	0,0140	1,9000	0,3200
2500	0,0090	0,0079	0,0320	0,0150	0,0072	0,0120	0,0120	1,6000	0,2700
5000	0,0039	0,0036	0,0150	0,0063	0,0032	0,0058	0,0054	0,7400	0,1200
10000	0,0015	0,0015	0,0065	0,0022	0,0013	0,0025	0,0023	0,3200	0,0520
20000	0,0005	0,0006	0,0029	0,0007	0,0005	0,0011	0,0010	0,1400	0,0220
30000	0,0002	0,0003	0,0019	0,0003	0,0003	0,0007	0,0007	0,0930	0,0140
50000	0,0001	0,0002	0,0011	0,0001	0,0001	0,0004	0,0004	0,0560	0,0073
100000	>0,0001	>0,0001	0,0006	>0,0001	>0,0001	0,0002	0,0002	0,0290	0,0028
Максимальная проектная авария									
500	55	55	2	120	170	3	15	440	83
1000	410	420	12	920	1300	19	120	3400	630
1500	450	460	13	1000	1400	21	130	3800	700
2000	390	400	11	850	1200	18	110	3300	610
2500	320	330	9	690	980	15	94	2700	510
5000	140	150	4	290	440	7	44	1300	230
10000	51	62	2	100	170	3	19	550	98
20000	17	25	1	30	64	1	9	250	42
30000	8	14	1	13	34	1	5	160	26
50000	3	7	0,3	3	14	1	3	97	14
100000	0,3	2	0,2	0	3	0,3	2	50	5



**Рисунок 2** – Мощность поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения на высоте 1 м от подстилающей поверхности в облаке штатного суточного и аварийного выброса

для категории устойчивости атмосферы *D* и почти в 10 раз для категории *F*.

Таким образом, можно констатировать крайне низкую мощность поглощенной дозы внешнего  $\gamma$ -излучения, обусловленную радиоактивными изотопами инертных

газов в облаке штатного выброса АЭС, что согласуется с литературными данными [2, 11]. В связи с тем, что около 95% активности штатного выброса определяется радиоактивными изотопами инертных газов, вклад других радионуклидов (в частности, радиоизотопов йода и некоторых аэрозольей) будет крайне мал. При соответствии величин выброса установленным нормативам –  $7 \times 10^{14}$  Бк, что почти в 70 раз выше реального уровня радиоактивных выбросов [1], мощность поглощенной дозы не превысит несколько процентов от величины естественного радиоактивного фона.

При максимальной проектной аварии значительный выброс активности радиоактивных изотопов инертных газов может вызвать непродолжительное (на время существования облака) повышение мощности поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения. Так, при умеренно неустойчивой атмосфере (категория *B*) на удалении 250-800 м исследуемый по-

казатель на высоте 1 м от подстилающей поверхности составит от 100 до  $300 \times 10^{-8}$  Гр/ч, что в 10-30 раз выше по сравнению с естественным радиоактивным фоном. По мере повышения устойчивости атмосферы до нейтрального состояния (категория D), максимальный диапазон мощности поглощенной дозы ( $50-100 \times 10^{-8}$  Гр/ч) будет наблюдаться на расстоянии 800-3000 м от АЭС, а для сильной устойчивости (категория F) исследуемый показатель составит  $5-50 \times 10^{-8}$  Гр/ч на удалении до 30 км от станции. Таким образом, при максимальной проектной аварии возможно кратковременное (на время действия выброса и существования облака радиоактивных газов) повышение мощности поглощенной дозы, причем величина мощности дозы будет тем выше и ближе к источнику выброса, чем в большей степени неустойчиво состояние атмосферы. В целом же при непродолжительном повышении радиационного фона даже при максимальной проектной аварии не следует ожидать существенно отрицательного воздействия на человека и биоту в соответствии с современными научными данными [2, 3, 4, 12].

#### **Выводы:**

1. Максимальный перенос радиоизотопов инертных газов в атмосфере наиболее вероятен при ее устойчивых состояниях (категории F и G). Неустойчивые состояния (категории A и B) определяют быстрое перемешивание примеси и максимальные объемные активности вблизи источника выпадений.

2. В облаке штатного суточного выброса при наиболее вероятной нейтральной категории устойчивости атмосферы (категория D) максимальные объемные активности радиоизотопов инертных газов прогнозируются на удалении 800-2500 м от АЭС. Объемная активность по  $^{133}\text{Xe}$  не превысит 2 Бк/ $\text{м}^3$ ,  $^{135}\text{Xe}$  – 0,4 Бк/ $\text{м}^3$ , а по остальным радиоизотомам – до  $10^{-2}$  Бк/ $\text{м}^3$ . При максимальной проектной аварии объемные активности по  $^{133}\text{Xe}$  при аналогичном состоянии атмосферы могут достигнуть 4000 Бк/ $\text{м}^3$ , по  $^{87}\text{Kr}$ ,  $^{88}\text{Kr}$  и  $^{135}\text{Xe}$  – до 1200 Бк/ $\text{м}^3$ , а по остальным радионуклидам не превысят 400 Бк/ $\text{м}^3$ .

3. При штатных радиоактивных выбросах радиоизотопов инертных газов прогнозируется незначительное повышение мощности поглощенной дозы  $\gamma$ -излучения на высоте 1 м от подстилающей поверхности – менее  $1 \times 10^{-10}$  Гр/ч на удалении 300-800 м от АЭС, что примерно в 1000 раз меньше по сравнению с естественным радиоактивным фоном ( $10 \times 10^{-8}$  Гр/ч). В случае максимальной проектной аварии возможно кратковременное повышение мощности поглощенной дозы на том же удалении от АЭС до  $300 \times 10^{-8}$  Гр/ч.

#### **Библиографический список**

1. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций»: утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь. 31.03.2010. № 39. Минск, 2010. – 63 с.
2. Крышев, И.И. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России / И.И. Крышев, Е.П. Рязанцев. – М.: ИздАт, 2010. – 496 с.
3. Маргулис, У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность / У.Я. Маргулис. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 223 с.
4. Техногенное излучение и безопасность человека / Л.А. Ильин [и др.]; Под ред. акад. Л.А. Ильина. – М.: Издат, 2006. – 303 с.
5. Sources and effects of ionizing radiation: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly with scientific annexes. – New York : United Nations, 2000. – 566 p.
6. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with annexes: in 3 vol. – New York: United Nations, 2008. – Vol.1: Sources. – 463 p.
7. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2004 г.: Ежегодник. – М.: Метеоагентство Росгидромет, 2005. – 288 с.
8. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в

2010 г.: Ежегодник. – Обнинск : Росгидромет, ФГБУ «НПО Тайфун», 2011. – 282 с.

9. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.

10. Методика разработки нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (ДВ-2010) в 2 томах. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2010. – Т. 2: Технические приложения, рекомендации для расчетов. – 216 с.

11. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население: Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 января 2010 г. № 11. – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2011. – 117 с.

12. Хмельницкая АЭС. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС): в 18 частях. – ОАО Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Энергопроект", 2011. – Часть 5 : Воздушная среда. – 77 с.

13. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь: в 14 книгах (Редакция 06.07.2010 г.). – Минск: Проектное научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие "БелНИПИЭнергопром" Министерство энергетики Республики Беларусь. 2010. – Книга 11: Отчет об ОВОС. Оценка воздействия на окружающую среду. – 532 с.

14. Методические указания МУ 2.6.1.2153-06. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 4.12.2006 г. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2007. – 32 с.

15. Допустимые выбросы радиоактивных и вредных химических веществ в приземный слой атмосферы / Под ред. Е.Н. Терновского, И. А. Терновского. – М.: Атомиздат, 1980. – 242 с.

A.N. Perevolotsky, T.V. Perevolotskaya

## THE PREDICTIVE ESTIMATE OF VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADIOACTIVE ISOTOPES OF INERT GASES UNDER NORMAL AND EMERGENCY EMISSION OF THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT WITH THE PWR REACTOR

On the basis of model calculations of transfer of radioactive isotopes of xenon, krypton and argon in the atmosphere had been estimated their volumetric activity under normal and emergency emissions of the Belarusian nuclear power plant with the PWR reactor.

It is established that at the most probable neutral category of stability of the atmosphere (category D) on removal of 800-2500 m volume activity on  $^{133}\text{Xe}$  will reach  $2 \text{ Bq/m}^3$ ,  $^{135}\text{Xe}$  –  $0,4 \text{ Bq/m}^3$ , and on other radioisotopes – to  $10^{-2} \text{ Bq/m}^3$ . The power of the absorbed dose of  $\gamma$ -radiation under normal radioactive emissions at the height of 1 m from the underlying surface, caused by the radiation of radioisotopes of inert gases, under moderately unstable condition of the atmosphere (category B) at distance of 300-800 m from the nuclear power plant will not exceed  $1 \times 10^{-10} \text{ Gy/h}$ , that is approximately 1000 times less in comparison with a natural radioactive background ( $10 \times 10^{-8} \text{ Gy/h}$ ).

**Key words:** radioisotopes of inert gases volumetric activity, absorbed dose rate,  $\gamma$ -radiation.

Поступила 26.02.2014