УДК 574::539.1.04:621.039

В. И. ВИТЬКО, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник,
Л. И. ГОНЧАРОВА, научный сотрудник,
В. В. КАРТАШЕВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
Г. Д. КОВАЛЕНКО, докт. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, и. о. директора,
А. И. КУЗИН, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, г. Харьков

МОНИТОРИНГ ГАММА-ФОНА В ЗОНАХ НАБЛЮДЕНИЯ АЭС НА ПРИМЕРЕ РОВЕНСКОЙ И ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

В работе приведены результаты исследований показаний датчиков гамма-излучения системы Гамма в местах расположения Ровенской АЭС и Запорожской АЭС. Показано, что максимальный вклад выбросов АЭС составляет не более 0,2 % от естественного фона. Выбросы, по величине сравнимые с контрольными уровнями, не отразятся существенно на уровне радиационного фона. Выбросы на уровне предельно-допустимых выбросов ИРГ могут увеличить уровень радиационного фона в несколько раз, и поэтому они могут быть хорошо заметны при анализе показаний системы датчиков в 30-километровой зоне АЭС. Показано, что флуктуации естественного гамма-фона для стационарного расположения станции мониторинга зависят от приземной объемной активности содержащихся в атмосферном воздухе дочерних продуктов распада радона и могут составлять +2,0/-0,3 мкР/ч.

гамма-фон, мониторинг, АЭС

В настоящее время мониторинг гамма-фона на территории Украины осуществляет Государственная служба гидрометеорологии с помощью переносных дозиметров. Ведомственные службы проводят мониторинг гамма-фона на территориях соответствующих предприятий в их зонах строгого режима, санитарно-защитных зонах и зонах наблюдения. Министерство охраны окружающей природной среды Украины осуществляет круглосуточный мониторинг зон наблюдения Ровенской и Запорожской АЭС с помощью автоматизированной системы раннего оповещения о радиационной аварии Гамма. Все перечисленные субъекты мониторинга используют дозиметрическую аппаратуру на основе газоразрядных счетчиков, которые не дают в полной мере информацию о структуре детектируемого излучения. В то же время использование спектрометрических установок, которые позволяли бы в случае необходимости установить причину повышения гамма-фона, пока для Украины экономически недоступно.

В данной работе проведен анализ данных мониторинга системы Гамма в 30-километровых зонах Ровенской и Запорожской АЭС и показано, каким образом может быть увеличена чувствительность системы гамма-датчиков на основе газоразрядных счетчиков, работающих непрерывно в режиме реального времени.

Система раннего оповещения о радиационной аварии Гамма в районах Ровенской АЭС (РАЭС) и Запорожской АЭС (ЗАЭС) смонтирована в 1995–1996 гг. и в 1997 г. введена в эксплуатацию. В состав системы входят 37 станций мониторинга гамма-фона, аэрозольный монитор, монитор для контроля радиоактивности р. Стырь, два региональных, учебный и национальный центры. На станциях мониторинга установлены гамма-датчики IGS421 производства фирмы Hörmann (Германия). Расположение станций мониторинга в Ровенском и Запорожском регионах приведено на рис. 1.

ТЕХНОГЕННЫЙ ВКЛАД В ГАММА-ФОН ВЫБРОСОВ РАЭС И ЗАЭС

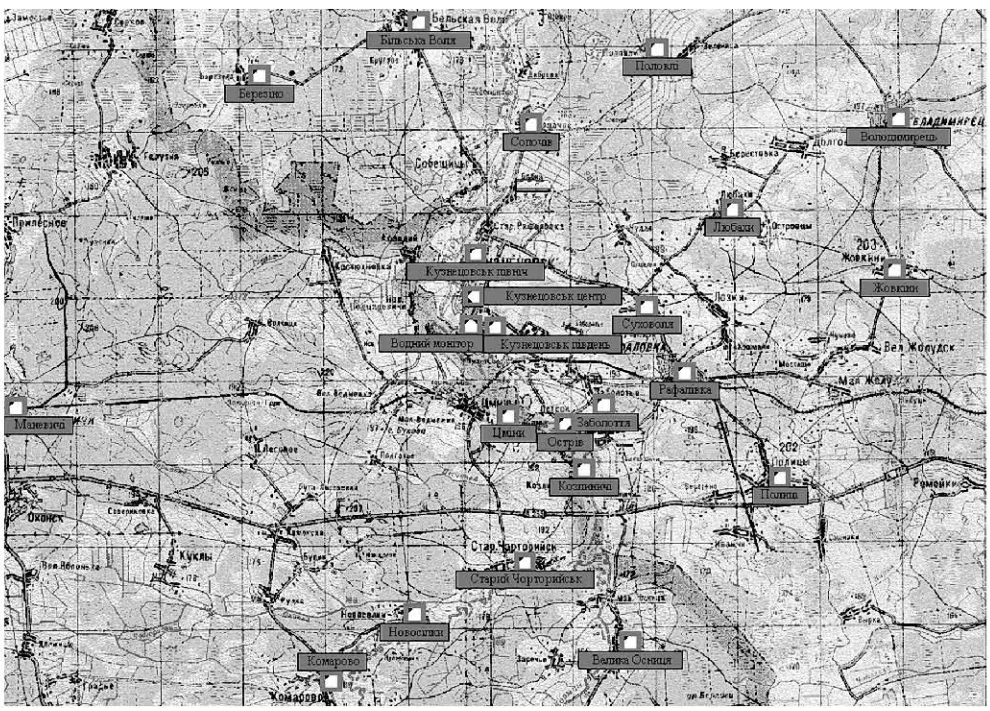
Суточный контроль выбросов на АЭС Украины осуществляется по трем группам радионуклидов: долгоживущие аэрозоли (ДЖА), инертные радиоактивные газы (ИРГ) и радио-йод (^{131}I). Колебания суточных выбросов радионуклидов с РАЭС достаточно существенные (в скобках приведены средние значения): $(7–45)\cdot10^{10}$ $(1,3\cdot10^{11})$ Бк/сут для ИРГ, $(3,8–1100)\cdot10^{4}$ $(4,0\cdot10^{5})$ Бк/сут для ДЖА и $(5,6–780)\cdot10^{4}$ $(7,9\cdot10^{5})$ Бк/сут для ^{131}I. Для ЗАЭС эти

© В. И. Витько, Л. И. Гончарова, В. В. Карташев, Г. Д. Коваленко, А. И. Кузин

величины составляют: (6–88)·10^{10} (1,6·10^{11}) Бк/сут для ИРГ, (1–21)·10^5 (8,2·10^5) Бк/сут для ДЖА и (7,2–3200)·10^4 (1,1·10^6) Бк/сут для ^{131}I. Как видно, выбросы ИРГ существенно, на 4–5 порядков превышают выбросы ДЖА и ^{131}I. Выбросы ИРГ Ровенской и Запорожской АЭС в среднем одинаковы при том, что мощность Ровенской АЭС более чем в два раза меньше. По-видимому, это связано с тем, что на Ровенской АЭС эксплуатируются наиболее старые реакторы (два реактора ВВЭР-440: 1980 г. и 1981 г. ввода в эксплуатацию) из работающих реакторов в Украине.

Техногенный фон от выбросов АЭС обусловлен в основном ИРГ – вклад ДЖА и йода на три-четыре порядка меньше. Максимальный вклад составляет не более 0,2 % от естественного фона. Поэтому заметить влияние АЭС в флуктуациях радиационного фона невозможно, что подтвердил корреляционный анализ, при котором учитывались направление ветра, категория стабильности атмосферы, расстояние до станции и другие факторы [1].

В табл. 1 приведены расчетные зависимости максимального техногенного вклада на расстоянии 1 км в радиационный фон от величины выбросов разных групп радионуклидов. Расчетный техногенный фон (первая колонка в таблице) соответствует выбросам отдельно каждой из групп радионуклидов в следующих колонках. По данным многолетних наблюдений в районе расположения РАЭС и ЗАЭС радиационный фон колеблется в пределах 30 % (3 мкР/ч). Вклад в радиационный фон на уровне 3 мкР/ч возможен при минимальной величине выбросов ИРГ – 1,7·10^{14} Бк/сут, или ДЖА – 3,7·10^{13} Бк/сут, или йода – 3,7·10^{13} Бк/сут для ЗАЭС и 3,4·10^{14} Бк/сут (ИРГ), или 5,6·10^{13} Бк/сут (ДЖА), или 5,5·10^{13} Бк/сут (йод) для РАЭС. В настоящее время выбросы ИРГ составляют 6,0·10^{10}–8,8·10^{11} Бк/сут, то есть на три-четыре порядка меньше выбросов, при которых вклад в радиационный фон может быть сравним с величиной флуктуаций естественного радиационного фона. В таблице также приведены значения техногенного фона соответствующего контрольным уровням и предельно-допустимым выбросам (ПДВ) групп радионуклидов. Как видно из таблицы, выбросы, по величине сравнимые с контрольными уровнями, не отразятся существенно на уровне радиационного фона, также как и выбросы на уровне ПДВ по ДЖА и йоду. Выбросы на уровне ПДВ по ИРГ могут увеличить уро-



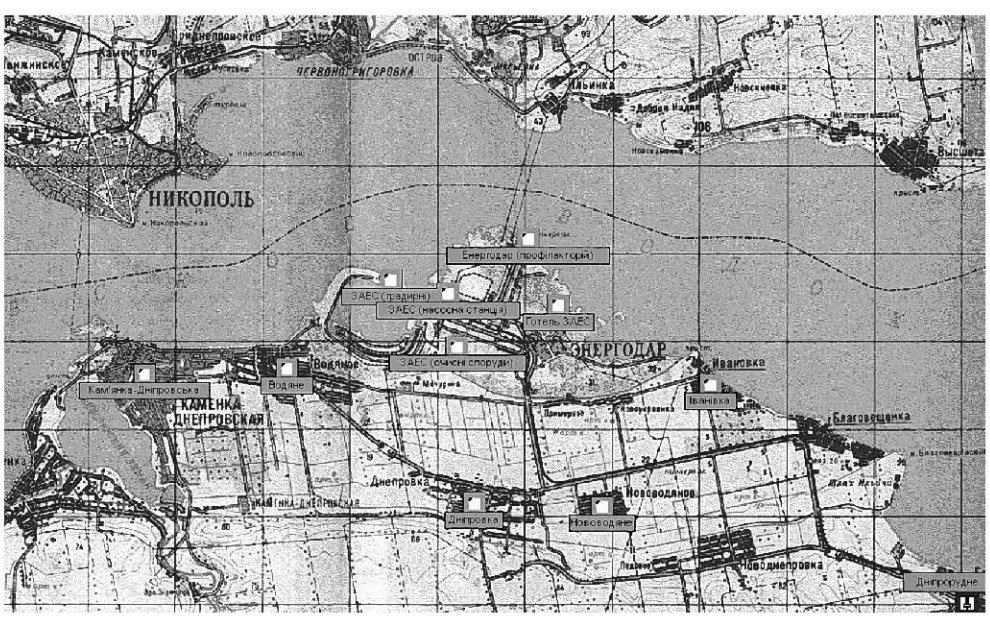


Рис. 1. Расположение станций мониторинга системы Гамма в Ровенском и Запорожском регионах

вень радиационного фона в несколько раз (ЗАЭС), и поэтому они могут быть хорошо заметны при анализе показаний датчиков системы Гамма [1].

Таблица 1.

Дополнительный вклад в радиационный фон от выбросов радионуклидов

Максимальная мощность техногенного фона, мкР/ч	Мощность выброса, Бк/сут		
	ДЖА	ИРГ	^{131}I
Ровенская АЭС (фактические выбросы)			
$2\cdot10^{-9}$–$6\cdot10^{-7}$	$4\cdot10^{4}$–$1\cdot10^{7}$		
0,0006–0,004		$7\cdot10^{10}$–$5\cdot10^{11}$	
$3\cdot10^{-9}$–$4\cdot10^{-7}$			$6\cdot10^{4}$–$8\cdot10^{6}$
Ровенская АЭС (контрольные уровни)			
$1\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{7}$		
0,04		$4\cdot10^{12}$	
$4\cdot10^{-6}$			$8\cdot10^{7}$
Ровенская АЭС (предельно допустимые выбросы)			
0,0003	$6\cdot10^{9}$		
2		$2\cdot10^{14}$	
0,0002			$4\cdot10^{9}$
Запорожская АЭС (фактические выбросы)			
$8\cdot10^{-9}$–$2\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{5}$–$2\cdot10^{6}$		
0,001–0,02		$6\cdot10^{10}$–$9\cdot10^{11}$	
$6\cdot10^{-9}$–$3\cdot10^{-6}$			$7\cdot10^{4}$–$3\cdot10^{7}$
Запорожская АЭС (контрольные уровни)			
$2\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{7}$		
0,06		$3\cdot10^{12}$	
$2\cdot10^{-5}$			$3\cdot10^{8}$
Запорожская АЭС (предельно допустимые выбросы)			
0,002	2·1010		
12		7·1014	
0,001			$1\cdot10^{10}$
Мощность техногенного фона и соответствующие выбросы (прогноз)			
0,5	$6\cdot10^{12}$	$3\cdot10^{13}$	$6\cdot10^{12}$
1	$1\cdot10^{13}$	$6\cdot10^{13}$	$1\cdot10^{13}$
5	$6\cdot10^{13}$	$3\cdot10^{14}$	$6\cdot10^{13}$
10	$1\cdot10^{14}$	$6\cdot10^{14}$	$1\cdot10^{14}$
15	$2\cdot10^{14}$	$8\cdot10^{14}$	$2\cdot10^{14}$

ГАММА-ФОН В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАЭС И ЗАЭС

Ровенская АЭС. По данным системы мониторинга Гамма среднесуточная мощность дозы гамма-излучения в воздухе в районе РАЭС за исследуемый период времени (июль-ноябрь 2004 г.) лежит в диапазоне от 7,1 мкР/ч до 11,5 мкР/ч. Эти значения лежат в пределах флуктуаций естественного фона. Более высокие значения наблюдаются на станциях, расположенных на участках загрязнения ^{137}Cs в результате аварии на ЧАЭС. На рис. 2 приведена зависимость мощности дозы гамма-излучения в воздухе от времени для некоторых станций мониторинга в Ровенском регионе.

Запорожская АЭС. По данным мониторинга системы Гамма среднесуточная мощность дозы гамма-излучения в воздухе в районе ЗАЭС лежит в диапазоне от 5,7 мкР/ч до 11,2 мкР/ч. Эти значения лежат в пределах флуктуаций естественного фона. На рис. 3 приведена зависимость мощности дозы гамма-излучения в воздухе от времени для некоторых станций мониторинга в Запорожском регионе.

Естественный гамма-фон в приземном слое атмосферы формируется в основном за счет вторичного космического излучения, излучения от рассеянных в почве радионуклидов и излучения от радионуклидов, содержащихся в атмосферном воздухе.

Гамма-составляющая космического излучения на уровне земли составляет 0,91±0,03 мкР/ч [2].

Излучение от рассеянных в почве радионуклидов зависит от содержания в почве ^{40}K и радионуклидов семейств ^{238}U и ^{232}Th. Содержание радионуклидов в почвах Украины [3], коэффициенты пропорциональности между содержанием ^{40}K, ^{238}U и ^{232}Th (со своими дочерними продуктами) и мощностью поглощенной дозы на высоте 1 м [4], а также мощность дозы в воздухе приведены в табл. 2 (1 Р = 0,00873 Гр [5]).

Относительный вклад в мощность дозы радионуклидов, содержащихся в атмосферном воздухе, формируется в основном за счет дочерних продуктов распада радона (^{222}Rn) – ^{214}Bi, ^{214}Pb и торона (^{220}Rn) – ^{208}Tl. В предположении, что эти радионуклиды находятся в радио-

Таблица 2.

Гамма-фон от рассеянных в почве радионуклидов

Радионуклид	Мощность дозы на единицу удельной активности в почве, нГр/ч/(Бк/кг)	Удельная активность в почве, Бк/кг			Мощность дозы гамма-излучения в воздухе на высоте 1 м, мкР/ч		
		Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее
^{40}K	0,0417	100	700	370	0,48	3,34	1,77
226Ra (^{238}U)	0,462	10	50	25	0,53	2,65	1,32
^{232}Th	0,604	7	50	25	0,48	3,46	1,73
Сумма					1,49	9,45	4,82

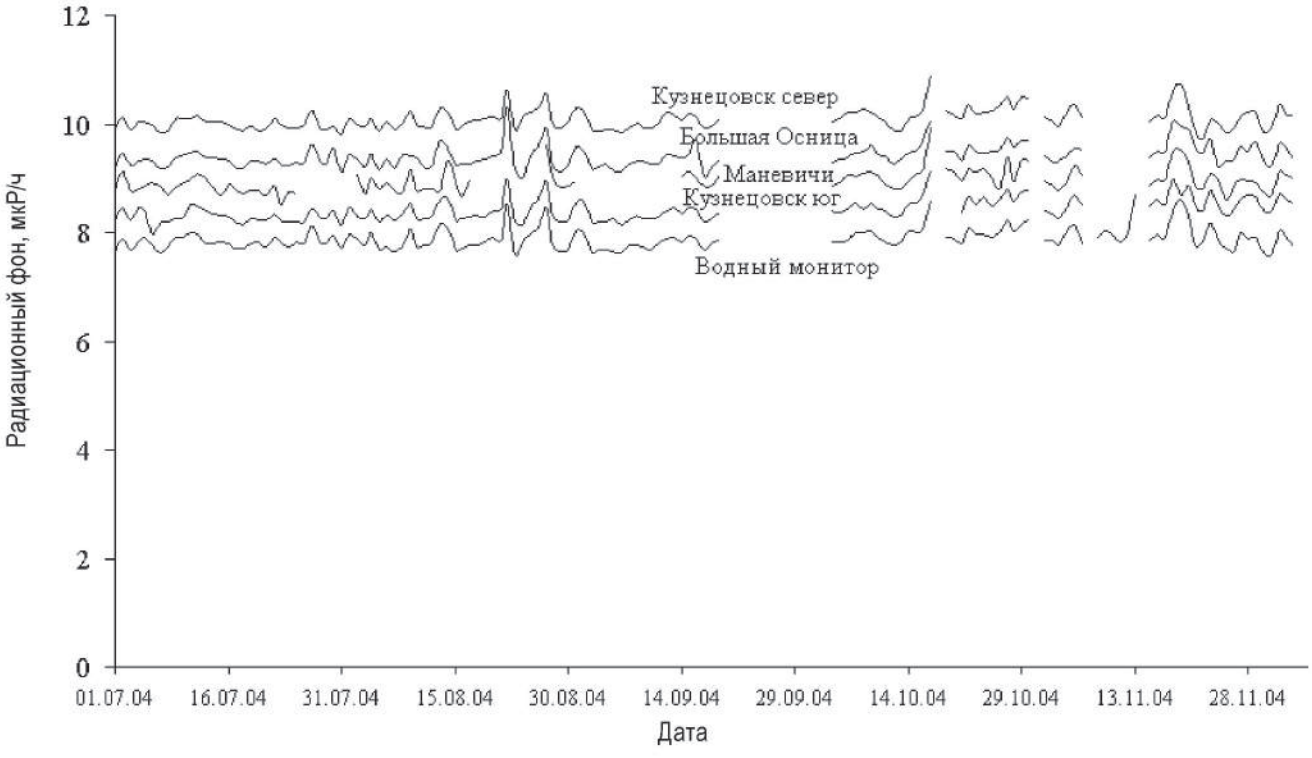


Рис. 2. Зависимость среднесуточной мощности дозы гамма-излучения в воздухе от времени для некоторых станций мониторинга Ровенского региона

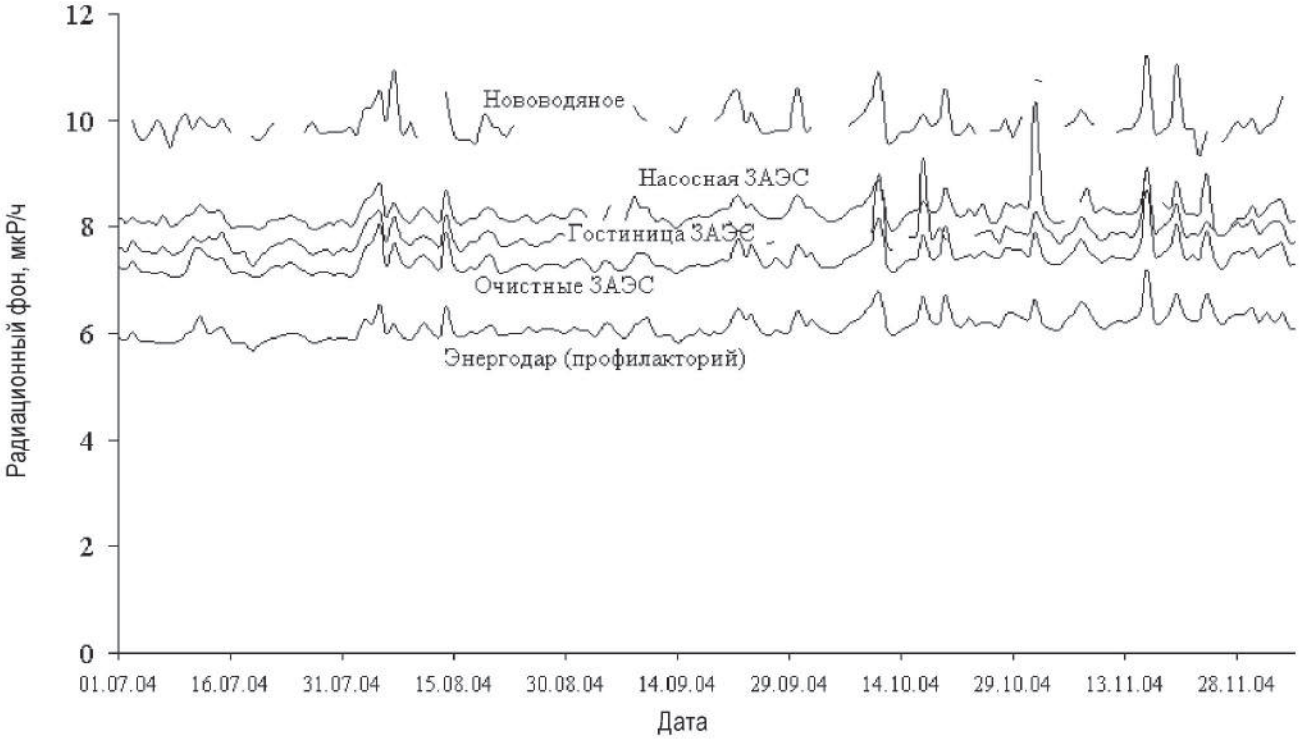


Рис. 3. Зависимость среднесуточной мощности дозы гамма-излучения в воздухе от времени для некоторых станций мониторинга в Запорожском регионе

активном равновесии с материнскими радионуклидами, для объемной активности ^{222}Rn в воздухе – 5,18 Бк/м^3 и ^{220}Rn – 0,518 Бк/м^3 мощность дозы гамма-излучения в воздухе составит 0,32 мкР/ч [6].

Первые две составляющие естественного гамма-фона для стационарного расположения станции мониторинга являются достаточно постоянными и не влияют на флуктуации гамма-фона. Поэтому нам представля-

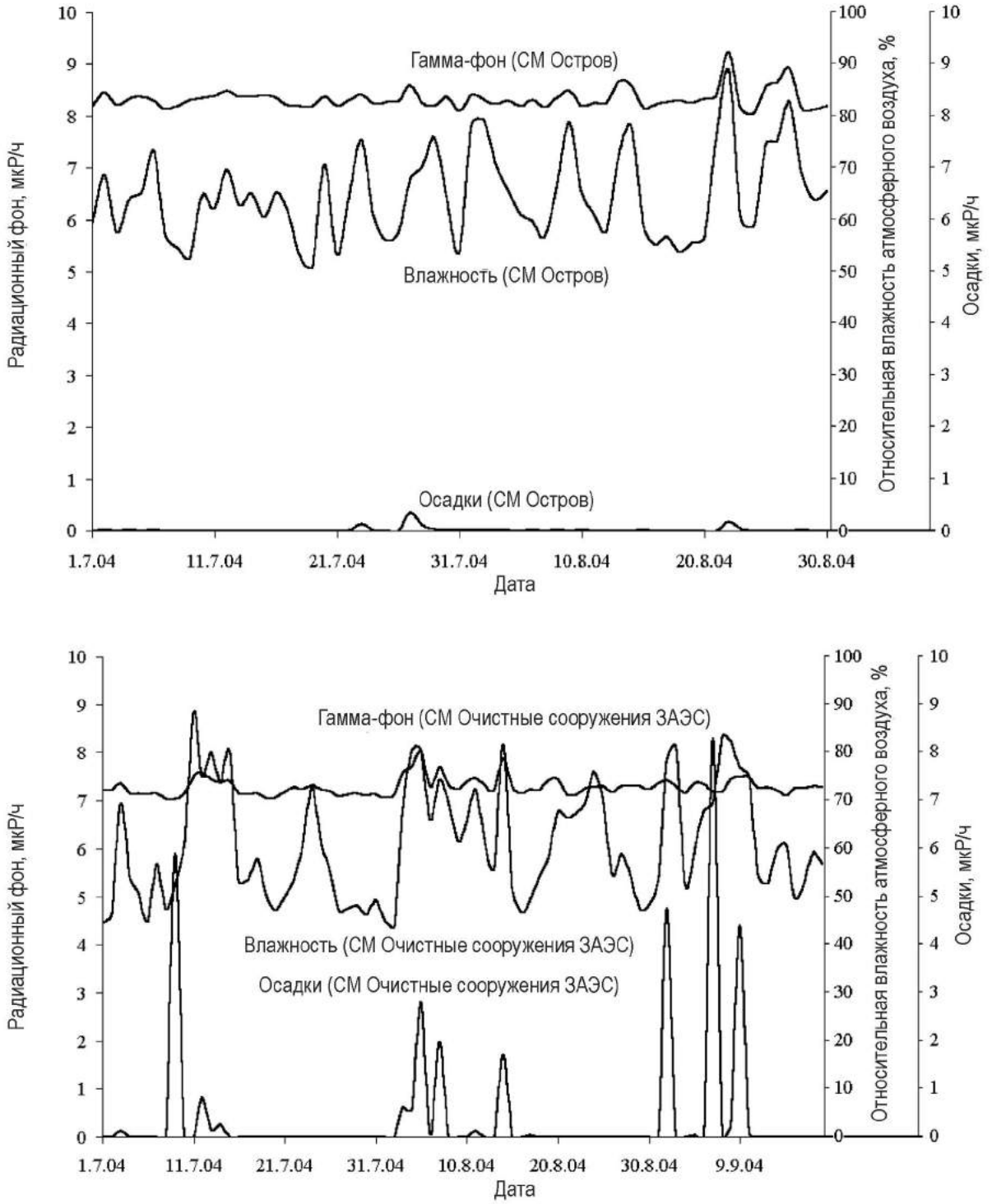


Рис. 4. Гамма-фон, относительная влажность воздуха и осадки по данным гамма-метеостанций системы Гамма

ется, что определяющим фактором изменения гамма-фона является объемная активность радионуклидов в приземном слое воздуха и осаждение радионуклидов на поверхность земли. На рис. 4 приведены показания гамма-датчиков, датчиков влажности воздуха и осадков для станций мониторинга системы Гамма, на которых установлены метеостанции. При увеличении влажности воздуха частицы (аэрозоли), на которых конденсируется влага, увеличивают массу и за счет гравитационного осаждения увеличивается их концентрация в приземном слое воздуха. В зависимости от высоты слоя атмосферного воздуха, в котором находится основная масса аэрозолей (100–1300 м для разных категорий стабильности атмосферы [7]), гамма-фон от радиоактивных аэрозолей в воздухе может составлять 0,20–0,79 мкР/ч. При наличии осадков, в зависимости от высоты слоя атмосферы, из которого вымываются аэрозоли, и доли осаждаемых радионуклидов, гамма-фон от осевшей с осадками активности может составлять до 1,7 мкР/ч (при высоте слоя атмосферы, из кото-

рого вымываются аэрозоли – 3 км и доли осаждаемых радионуклидов – 100 %) [6].

Для одной станции мониторинга флуктуации гамма-фона за счет изменения приземной объемной активности радионуклидов в воздухе могут составлять ±0,3 мкР/ч, а при наличии осадков гамма-фон может повышаться на величину до 1,7 мкР/ч. Эти теоретические оценки хорошо согласуются с измеренными величинами. В табл. 3 приведены средние за исследуемый период времени значения мощности дозы гамма-излучения на станциях мониторинга системы Гамма и величина флуктуаций. Следует отметить, что наше рассмотрение относится лишь к гамма-фону, в то время как используемые датчики на основе газоразрядных счетчиков регистрируют также высокоэнергетичные электроны и мюоны вторичного космического излучения. Представляется важным в дальнейшем найти функциональную зависимость между метеорологическими параметрами и гамма-фоном, что позволит количественно объяснить причины изменения гамма-фона.

Таблица 3.

Средние значения мощности дозы гамма-излучения по данным системы Гамма

Станция мониторинга	Мощность дозы, мкР/ч
Ровенский регион	
Большая Осница	9,41 (+0,88/-0,39)
Водный монитор	7,89 (+0,84/-0,29)
Владимирец	9,35 (+0,22/-0,24)
Жовкины	10,29 (+1,02/-0,98)
Заболотье	9,39 (+1,12/-0,80)
Козлиничи	8,82 (+0,84/-0,32)
Комарово	8,63 (+0,95/-0,27)
Кузнецовск юг	8,41 (+0,75/-0,45)
Кузнецовск север	10,09 (+0,82/-0,36)
Кузнецовск центр	8,40 (+0,53/-0,31)
Любахи	9,09 (+1,01/-0,38)
Маневичи	8,96 (+1,01/-0,44)
Остров	8,39 (+0,85/-0,33)
Половли	8,12 (+0,83/-0,23)
Рафаловка	10,20 (+1,29/-0,42)
Сопачев	10,02 (+0,87/-0,42)
Старый Чарторийск	7,72 (+0,90/-0,59)
Суховоля	8,06 (+1,07/-0,32)
Цмины	9,31 (+0,73/-0,65)
Запорожский регион	
Водяное	9,06 (+1,07/-0,40)
Гостиница ЗАЭС	7,83 (+1,45/-0,55)
Очистные ЗАЭС	7,39 (+1,29/-0,34)
Насосная ЗАЭС	8,27 (+2,07/-0,43)
Нововодяное	9,98 (+1,23/-0,63)
Профилакторий ТЭС	6,14 (+1,05/-0,47)

ВЫВОДЫ

По данным мониторинга системы Гамма-1 среднесуточная мощность дозы гамма-излучения в воздухе в районах Ровенской и Запорожской АЭС располагается в диапазоне от 5,7 мкР/ч до 11,5 мкР/ч. Эти значения лежат в пределах флуктуаций естественного фона.

Техногенный фон от выбросов АЭС обусловлен в основном выбросами ИРГ – вклад ДЖА и йода на три-четыре порядка меньше. Максимальный вклад выбросов АЭС составляет не более 0,2 % от естественного фона. Вклад АЭС в радиационный фон на уровне флуктуаций естественного фона (3 мкР/ч) возможен при величине выбросов ИРГ – $2 \cdot 10^{14}$ Бк/сут, или ДЖА – $4 \cdot 10^{13}$ Бк/сут, или йода – $4 \cdot 10^{13}$ Бк/сут. В настоящее время выбросы ИРГ составляют от $6 \cdot 10^{10}$ Бк/сут до $9 \cdot 10^{11}$ Бк/сут, т. е. на четыре-пять порядков меньше выбросов, при которых вклад в радиационный фон сравним с величиной флуктуаций естественного радиационного фона.

Выбросы, по величине сравнимые с контрольными уровнями, не отразятся существенно на уровне радиационного фона, также как и выбросы на уровне ПДВ по ДЖА и йоду. Выбросы на уровне ПДВ по ИРГ могут увеличить уровень радиационного фона до двух раз, и поэтому они могут быть хорошо заметны при анализе показаний датчиков системы Гамма.

Показано, что флуктуации естественного гамма-фона для стационарного расположения станции мониторинга зависят от приземной объемной активности содержащихся в атмосферном воздухе дочерних продуктов распада радона (^{222}Rn) – ^{214}Bi, ^{214}Pb и торона (^{220}Rn) – ^{208}Tl, и могут составлять +2,0/ – 0,3 мкР/ч (расчетные величины для ЭРОА радона в воздухе 5,18 Бк/м^3) без учета статистической погрешности измерений и влияния на измерительную аппаратуру высокоэнергетичных электронов и мюонов вторичного космического излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Витько В. И., Гончарова Л. И., Карташев В. В., Коваленко Г. Д., Кузин А. И.* Гамма-фон в районах расположения Ровенской и Запорожской АЭС // XIII Международная научно-практическая конференция «Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов.»: Сб. науч. статей. – УкрГНТЦ «Энергосталь». – Харьков: Райдер, 2005. – Т. 1. – С. 342–347.
2. *D. A. H. Rasolonjatovo et al.* Measurement for the Dose-rates of the Cosmic-ray Components on the Ground // J. Radiat. Res. – 2002. – 43: Suppl. – P. S27–S33.

3. *Коваленко Г. Д.*, *Рудя К. Г.* Радиоэкология Украины. – Киев: «Київський Університет», 2001. – 167 с.
4. *Sources* and effects of ionizing radiation. UNSCEAR, UN. N. Y. – 2000. – V. 1. – P. 116.
5. *Нормы* Радиационной Безопасности Украины (НРБУ-97); Государственные гигиенические нормативы. – Киев: Отдел полиграфии Украинского центра Госсанэпиднадзора Министерства здравоохранения Украины, 1998. – С. 107.
6. *Витько В. И.*, *Гончарова Л. И.*, *Карташев В. В.*, *Коваленко Г. Д.*, *Кузин А. И.* Флуктуации гамма-фона в 30-километровой зоне вокруг Ровенской и Запорожской АЭС// Сб. науч. тр. СНИЯЭиП. (в печати).
7. *Radiation* Protection. ICRP Publication 72. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment. – EUR 15760 EN, 1995. – P. 88.

У роботі наведено результати досліджень показань датчиків гамма-випромінювання системи Гамма у місцях розташування Рівненської АЕС і Запорізької АЕС. Показано, що максимальний внесок викидів АЕС складає не більше 0,2 % від природного фону. Викиди за величиною на рівні контрольних не відіб'ються істотно на рівні радіаційного фону. Викиди на рівні гранично-допустимих викидів ІРГ можуть збільшити рівень радіаційного фону в кілька разів, і тому вони можуть бути добре помітні при аналізі показань системи датчиків у 30-кілометровій зоні АЕС. Показано, що флуктуації природного гамма-фону для стаціонарного розташування станції моніторингу залежать від приземної об'ємної активності дочірніх продуктів розпаду радону, що містяться в атмосферному повітрі, і можуть складати +2,0/–0,3 мкР/р.

In that work the investigation results of the indication of gamma radiation detectors of Gamma system in the Rovno NPP and Zaporozhye NPP locations are given. It is showed that the maximum contribution of NPPs emissions makes no more than 0,2 % from a natural background. The emissions on quantity comparable with control levels will not influence essentially in a level of a background radiation. The emissions at a level of ultimate emissions of noble radioactive gases can increase a level of a background radiation in several times, and, therefore, they can be well appreciable at the analysis of the indications of detector system in a NPP 30-km band. It is showed that the fluctuations of a natural gamma-background for a stationary arrangement of monitoring station depend on ground volumetric activity of a radon doughter decay products, contained in free air, and can be +2,0/-0,3 μR/h.