

їхньому поступовому охолодженні можливий синтез діоксиноподібних з'єднань. Для запобігання цього явища використовується вихрова труба [11].

Таким чином, по методу ВТЕП, удосконаленому автором, досягається такий технічний результат: висока температура процесів, що протікають, підвищує екологічну безпеку й ефективність даного способу утилізації відходів, у якому шляхом уведення додаткових конструктивних ознак, забезпечується стабільність процесу та безперебійне плавління неорганічних компонентів довільного хімічного складу; виключаються умови забруднення одержуваного енергетичного газу баластними домішками; попереджається випуск із реактора шкідливих хімічних сполук.

Література

1. **Державна програма поводження з ТПВ:** Постанова Кабінету Міністрів України від 04.03.04 №265.
2. **Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2001 р.** — К.: Видавництво Раєвського, 2003. — 184 с.
3. **Лапицький В. М., Борисовська О. О., Катічев О. М.** Проблема переробки і утилізації твердих побутових відходів в Україні та шляхи її вирішення// Сб.: Проблеми сбора, переработки и утилизации отходов. — Одесса, ОЦНТЭИ. — 2004. — 488 с.
4. **Кудрявцев А. А.** Экологические аспекты сепарации твердых бытовых отходов// Труды II международной научно-практической конференции Экологические проблемы индустриальных мегаполисов, Москва, 2005 — 218 с.
5. **Гонопольский А. М. и др.** Твердые бытовые отходы как энергетическое топливо. Инженерная защита окружающей среды. Сборник докладов Международной конференции / Под ред. Д. А. Баранова, Н. Е. Николайкиной, В. А. Миронова. — М.: МГУИЭ, 2002. — 244 с.
6. **Тугов А. Н. Москвичев В. Ф., Родионов В. И.** Опыт ВТИ в создании и освоении современных ТЭС, сжигающих ТПВ // Пятый международный конгресс по управлению отходами и природоохранным технологиям, сборник докладов ВэйстТэк-2007. — Москва, 2007.
7. **Гелетій З. С., Синкевич Б. Г.** Шляхи підвищення економічної ефективності виробництва електричної енергії підприємствами з переробленням побутових відходів // Энергетика и электрификация, 2002. — № 8. — С. 19–21.
8. **Синкевич Б. Г., Гелетій З. С.** Економічна ефективність використання низькоякісного твердого побутового топлива для виробництва енергії // Энергетика и электрификация, 2002. — № 8. — С. 21–25.
9. **Алексеев Г. М. и др.** Индустриальные методы санитарной очистки городов. — Л.: Стройиздат, 1983. — 96 с.
10. **Горда В. И.** Патент № 35979А, Украина, на изобретение. Способ утилизации бытовых отходов, заявлен 16.06.99г., опубликован 16.04.2001г., бюл. №3, 2001.
11. **Луњева О. В., Горда В. И. и др.** Патент № 79548, Украина, Способ утилизации отходов, заявлен 26.09.2005 г., опубликован 10.04.2007 г., бюл. № 4.

О Луњева О.В., 2008

УДК 628.518:539.16

Хоботова Э. Б., Здвизова Ю. В., Уханева М. И. (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ И ЭМАНАЦИЯ РАДОНА СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Определены эффективные удельные радиоактивности естественных радонуклидов в строительных материалах и отходах производства. Рассчитаны величины доз облучения человека. Оценено поступление изотопов радона в воздух помещений.

Важнейшими компонентами естественного облучения человека являются, во-первых, облучение в помещении от строительных материалов, изготовленных из природного сырья, содержащего в своем составе естественные радионуклиды (ЕР) — ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K [1, 2]; во-вторых, радиоактивный газ радон, образующийся при распаде ^{226}Ra и ^{232}Th и поступающий в воздух помещений из стен и почвы под зданием. Суммарно эти источники вносят до 70% в общую дозу облучения населения [2]. Внедрение безотходных технологий стимулирует использование отходов различных производств как компонентов бетонов: вяжущих и заполнителей. Так как многие отходы производства концентрируют естественные радионуклиды, могут возрасти дозы облучения людей, находящихся в каменных помещениях.

Работа выполнена в рамках государственной программы охраны окружающей среды — 4-ое направление научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Украины.

Проведено исследование радиационных свойств образцов строительных материалов предприятия ЗАО «Балаклейского райагостроя». Гамма-спектрометрическим методом в строительных материалах и отходах производства наряду с ЕР ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K обнаружены искусственные радионуклиды ^{137}Cs , ^{131}I . Экспериментальные и расчетные данные представлены в таблице 1. Содержание отдельных радионуклидов оказалось выше, чем средние значения по СНГ и Украине. Так, удельная активность ^{232}Th (C_{Th}), была выше средней C_{Th} по СНГ для строительных материалов ($25,5 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) и по Украине ($33 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) [1, 2] в образцах № 1, 4, 6. C_{Ra} образцов № 4, 6 превышала среднюю C_{Ra} по СНГ ($26,6 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) и по Украине ($28 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) [1, 2].

Таблица 1. Результаты гамма-спектрометрического анализа строительных материалов

№	Материал	Удельная радиоактивность, Бк·кг ⁻¹ (вклад, %)				Сумма удельных активностей, Бк·кг ⁻¹	$\frac{C_{\text{эф.}(1)}}{C_{\text{эф.}(2)}}$, Бк·кг ⁻¹
		^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K	^{137}Cs		
1	Глина	40,8 (11,3)	19,5 (5,4)	299 (83,2)	-	359	<u>98,3</u>
2	Вода (для производства кирпича)	-	3,25 (100,0)	-	-	3,25	<u>3,25</u>
3	Уголь	20,2 (11,2)	26,2 (14,6)	133 (74,2)	-	180,0	<u>40,2</u>
4	Зола (для производства бетона)	50,7 (8,2)	58,2 (9,5)	494 (80,1)	13,3 (2,2)	159	$\frac{167,1}{171}$
5	Высушенный кирпич	3,65 (6,8)	2,46 (4,6)	47,6 (88,6)	-	53,7	<u>11,3</u>
6	Обожженный кирпич	50,8 (8,0)	40,8 (6,5)	541 (85,5)	-	632	<u>153</u>

Влияние термической обработки на величину удельной активности образцов можно проследить при сравнении образцов № 5 и № 6, соответственно высушенного и обожженного кирпичей. Уровень C_{Th} , C_{Ra} и C_{K} у обожженного кирпича соответственно в 14; 16,5; 11 раз выше, чем у высушенного. Сумма удельных активностей обожженного кирпича в 12 раз выше, чем высушенного, а значение $C_{\text{эф.}}$ — в 13,5 раз больше. Такая разница в значениях удельных активностей может быть связана с уменьшением количества воды на единицу массы кирпича, а, следовательно, с увеличением массового вклада радионуклидов. При высушивании в готовом изделии остается вода во внутренних глубоких слоях. Большая часть этой воды

впоследствии свяжется в кристаллогидраты. Обжиг уменьшает как количество несвязанной, так и связанной в кристаллогидраты воды за счет их разрушения.

Из исследованных материалов только один образец № 2 (вода) характеризуется наличием единственного радионуклида ^{226}Ra с малой удельной активностью $3,25 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$.

Относительно активности искусственных радионуклидов можно отметить следующее. Значение $C_{\text{Cs-137}}$ в образце № 4 (зола) составляет $13,3 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$. С таким уровнем активности радионуклид ^{137}Cs не зарегистрирован более ни в одном образце. Его присутствие можно объяснить протеканием реакции спонтанного деления ^{238}U , о первоначальном присутствии которого свидетельствует наличие дочернего продукта деления ^{226}Ra . В других образцах обнаружены минимальные количества искусственных изотопов ^{137}Cs и ^{131}I , которые также можно объяснить протеканием спонтанного деления ^{238}U .

Для всех исследованных образцов рассчитано два варианта эффективной удельной активности $E\text{P}$ ($C_{\text{эф.}}$), используемой для сравнительных оценок радиоактивности стройматериалов по уравнениям

$$C_{\text{эф. (1)}} = C_{\text{Ra}} + 1,31C_{\text{Th}} + 0,086C_{\text{K}}, \quad (1)$$

$$C_{\text{эф. (2)}} = C_{\text{Ra}} + 1,31C_{\text{Th}} + 0,085C_{\text{K}} + 0,31C_{\text{Cs-137}} + 0,874C_{\text{Cs-134}}, \text{ Бк/кг.} \quad (2)$$

Результаты приведены в таблице 1. Сопоставление $C_{\text{эф.}}$ с данными о радиоактивности горных пород, почв и земной коры показало, что средние значения $C_{\text{эф.}}$ в строительных материалах СНГ близко к средней величине $C_{\text{эф.}}$ для почв и приблизительно в 1,5 раза ниже среднего значения для земной коры.

Для образцов № 4 и 6 величина $C_{\text{эф.}}$ превышает среднюю $C_{\text{эф.}}$ по СНГ ($93 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) и по Украине ($106 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$). Использование золы (образец № 4) в качестве вяжущего и заполнителя может привести к повышению $\bar{C}_{\text{эф.}}$ готового многокомпонентного бетона и к увеличению дозы. $\bar{C}_{\text{эф.}}$ материала рассчитывается с учетом массовых вкладов составляющих его компонентов по формуле [2]

$$\bar{C}_{\text{эф.}} = \frac{\sum (C_{\text{эф.}})_i \cdot m_i}{\sum m_i}, \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}. \quad (3)$$

Таким образом, необходимо строгое дозирование золы в качестве компонентов бетона. Обожженный кирпич также может применяться для сооружения зданий при условии, что другие совместно используемые строительные материалы будут иметь низкие значения $C_{\text{эф.}}$.

Все исследуемые материалы относятся к I классу радиационной опасности стройматериалов, используемых в строительстве без ограничений. Для них выполняется условие [3]

$$C_{\text{эф.}} \leq 370 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}. \quad (4)$$

Величину годовой эффективной эквивалентной дозы γ -излучения в каменном помещении $D_{\text{пом.}}$ рассчитывали по формуле [2]

$$D_{\text{пом.}} = 4,74\bar{C}_{\text{эф.}}, \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}. \quad (5)$$

Формула выведена, исходя из оценки НКДАР ООН, что жители промышленно развитых стран 80% времени проводят в помещениях, 15% — в дороге и 5% — на открытой местности.

Ниже приведены результаты расчета $\bar{C}_{\text{эф}}$ для бетонных и кирпичных помещений. Для бетонных помещений расчет велся по компонентам со следующими массовыми вкладами: цемент — 0,15, песок (отработанная формовочная смесь ОФС) — 0,14, вода — 0,07, гравий — 0,51, зола — 0,13. Удельные активности золы и воды взяты из данных таблицы 1. Удельная активность цемента — из работы [4]. Удельные активности песка (ОФС) и гравия — из работы [3]. Отсюда

$$\bar{C}_{\text{эф бетон}} = (80 \times 0,15) + (39,4 \times 0,14) + (3,25 \times 0,07) + (81 \times 0,51) + (167 \times 0,13) = 80,8 \text{ Бк/кг.}$$

Для кирпичных помещений учитывались компоненты с массовым вкладом: кирпич — 0,8, цемент — 0,04, вода — 0,08, песок — 0,08. Удельные активности воды и кирпича (образец № 6) взяты из данных таблицы 1. Отсюда

$$\bar{C}_{\text{эф кирпич}} = (153 \times 0,8) + (80 \times 0,04) + (3,25 \times 0,08) + (39,4 \times 0,08) = 129 \text{ Бк/кг.}$$

Таким образом, дозы гамма-излучения составляют:

- для бетона $D_{\text{пом.}} = 4,74 \times 80,8 = 383 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}$;
- для кирпича $D_{\text{пом.}} = 4,74 \times 129 = 611 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}$.

Доза, полученная за счет γ -излучения ЕР стройматериалов, $\Delta D_{\text{ЕР}}$, рассчитывается по разности [3]

$$\Delta D_{\text{ЕР}} = D_{\text{пом.}} - 305, \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}, \quad (6)$$

где $305 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}$ — это доза, которую получили бы люди, находясь весь год на открытой местности (для географических широт Украины) [3].

Отсюда для кирпичных помещений (обожженный кирпич)

$$\Delta D_{\text{ЕР}} = 611 - 305 = 306 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1},$$

для бетонных помещений

$$\Delta D_{\text{ЕР}} = 383 - 305 = 78 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Доза гамма-излучения для кирпичных помещений приближается к средней эквивалентной дозе γ -излучения строительных материалов в развитых странах ($350\text{--}411 \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}$) [3], а для бетона — намного меньше. Однако в последнее время многокомпонентные бетоны все более различаются по составу. Становится четкой тенденция использования отходов различных производств в качестве вяжущего компонента и наполнителя в многокомпонентных бетонах. В связи с этим представлял интерес расчет доз гамма-излучения многокомпонентных бетонов с включением золы (образец № 4). Рассматриваемый нами отход производства также может быть использован в бетонах в качестве различных компонентов. Рассмотрено три возможных варианта бетона:

- смешанное цементно-зольное вяжущее и мелкий заполнитель ОФС;

- цементное вяжущее (Ц) ($C_{\text{цемент}}=80 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$), смешанный мелкий заполнитель — зола (З) и отработанная формовочная смесь (ОФС) ($C_{\text{эф.ОФС}} = 39,4 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ [3]);
- смешанное цементно-ОФС вяжущее и мелкий заполнитель — зола.

Результаты расчета, приведенные в таблице 2, показывают, что $D_{\text{пом.}}$ и $\Delta D_{\text{ЕР}}$ достаточно велики и мало зависят от $C_{\text{эф.}}$ цементной составляющей, а в основном определяются активностью золы. Во втором и третьем случаях превышено среднее значение $\Delta D_{\text{ЕР}}$ по СНГ $100 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ [3]. С позиций необходимости снижения гамма-фона в помещении рекомендуются варианты бетона первый либо второй при условии, что доза излучения от ЕР не превысит $100 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Это возможно при вкладе золы в бетон не более 30% (расчет № 3).

Таблица 2. Значения $C_{\text{эф.}}$ бетона, $D_{\text{пом.}}$ и $\Delta D_{\text{ЕР}}$ для многокомпонентных бетонов

№	Содержание компонентов, %		$\bar{C}_{\text{эф.}}$, Бк·кг ⁻¹	$D_{\text{пом.}}$, мкЗв·год ⁻¹	$\Delta D_{\text{ЕР}}$, мкЗв·год ⁻¹
	Вяжущее	Наполнитель			
1	Ц : З 8 : 12	ОФС 80	57,6	273,2	-
2	Ц 20	З : ОФС 40 : 40	98,6	467,4	162,4
	Ц 20	З : ОФС 30 : 50	85,4	405	100
3	Ц : ОФС 7 : 13	З 80	144,3	684,1	379,1

γ -Излучение бетонов третьего состава превышает $\Delta D_{\text{ЕР}}$ более, чем в 3 раза и превышает суммарную дозу за счет действия γ -излучения стройматериалов и эманирования из стен изотопов радона ($350 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ [3]). Доза излучения за счет эманирования радона из почвы составляет $690 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ [3]. Таким образом, не рекомендуется использование золы в качестве единственного наполнителя бетона.

В третьем варианте расчета дополнительное гамма-излучение ЕР составляет $379,5 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, а за 50 лет жизни — $0,0189 \text{ Зв}$. Однако эта величина меньше дозы облучения населения за счет ПРН и при медицинских процедурах [5, 6]. Суммарное фактическое облучение за 50 лет жизни людей, проживающих в каменных домах, составит $684,5 \cdot 50 : 1000000 = 0,0342 \text{ Зв}$. В настоящее время принято считать среднюю дозу облучения населения, обусловленную естественным радиационным фоном и медицинскими процедурами, равной $0,1-0,2 \text{ Зв}$ за 50 лет. При этом соматические отдаленные последствия составят $1-2\%$.

Исучаемые материалы оценивались по величине радоновыделения. Результаты расчетов приведены в таблице 3. Не обнаружено превышения $C_{\text{эф.Ра}}$ для I класса радиационной опасности стройматериалов ($22,2 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$) [3, 7]. Максимальную концентрацию ^{222}Rn в порах образцов материалов $C_{\text{Rn max}}$ рассчитывали по уравнению [3]

$$C_{\text{Rnmax}} = \frac{C_{\text{Ра}} \cdot \rho \cdot \eta}{P}, \text{ Бк}\cdot\text{л}^{-1}, \quad (7)$$

где ρ — плотность материала, $\text{кг}\cdot\text{л}^{-1}$; η — коэффициент эманирования; P — пористость образца, %.

Значения ρ , η и P приведены в таблице 4.

Таблица 3. Результаты расчета величин концентраций радона внутри пор строительных материалов, в воздухе помещений, годовой тканевой дозы облучения человека для неветилируемого (1) и вентилируемого (2) помещений

Показатель Образец	C_{Ra} , Бк/кг	$C_{Rn \max}$, Бк/л	C_{Rn} , Бк/л	C_{Rn} , Ки/л	$D_{\text{лег. (1)}}$, бэр/год	$D_{\text{лег. (2)}}$, бэр/год	$D_{\text{лег. (2)}}$, мкЗв/год
Высушенный кирпич*	2,46	0,02	$2 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-15}$	2,7	$7,56 \cdot 10^{-4}$	7,56
Обожженный кирпич**	40,8	0,02	$2 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-15}$	2,7	$7,56 \cdot 10^{-4}$	7,56

- кирпич полученный результатом процесса сушки открытого типа;
** -кирпич обожженный при $t = 900^\circ$.

Таблица 4. Значения плотности (ρ), пористости (P) и коэффициента эманирования (η) для высушенного и обожженного кирпича [7]

Значение параметра	Кирпич	
	Высушенный	Обожженный
Интервал ρ , кг/л	1,5–2,0	1,3–1,65
Среднее значение ρ , кг/л	1,75	1,5
Интервал P , %	6–10	8–16
Среднее значение P , %	8	12
η , %	3,8	0,4

Величина $C_{Rn \max}$ определяет значение объемной активности радона в воздухе помещений C_{Rn} . Последняя, в свою очередь, зависит от скорости воздухообмена. Концентрация радона в воздухе помещения C_{Rn} составляет $0,01 \cdot C_{Rn \max}$, что связано со стек-эффектом и присутствием отходов в стройматериалах, главным образом, в виде добавок. Расчетные результаты (таблица 3) показывают, что несмотря на почти 20-ти кратное превышение C_{Ra} в обожженном кирпиче по сравнению с высушенным, значения внутрипоровой и объемной концентрации радона в воздухе помещения совпадают. Причиной является изменение способности материала к эманированию радона при термической обработке материала. Сплавление частиц и укрупнение пор приводит к снижению коэффициента эманирования с 3,8% для высушенного кирпича против 0,4% — для обожженного. Незначительное повышение пористости не может компенсировать данный эффект. Если пор и становится больше, то они в основном замкнутые, что препятствует выходу радона. Это подтверждают экспериментальные данные по определению объемной активности радона, полученные с помощью радиометра PPA-01. Исходя из них, равновесная концентрация радона в воздухе, контактирующем со стройматериалом, равна 24 Бк/м^3 для обоих образцов кирпича. Это значение ниже предельно допустимой концентрации по радону 100 Бк/м^3 .

Среднюю годовую тканевую (легочную) дозу облучения человека за счет радона ($D_{\text{лег.}}$) для неветилируемого помещения рассчитывали по формуле [8]

$$D_{\text{лег.}} = 5 \cdot 10^{14} \cdot C_{Rn}, \text{ бэр} \cdot \text{год}^{-1}, \quad (8)$$

где C_{Rn} , Ки·л⁻¹.

Легочная доза для вентилируемого помещения составляет [8]

$$D_{\text{лег.}} = 1,4 \cdot 10^{11} \cdot C_{Rn}, \text{ бэр} \cdot \text{год}^{-1}. \quad (9)$$

Исследованные материалы могут быть рекомендованы в качестве строительных материалов, используемых для сооружения жилых зданий, где воздухообмен интенсивный, так как не превышено среднее значение $D_{\text{лег}}$ по СНГ ($350 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ [8]) для помещений с интенсивным воздухообменом.

Основная опасность при использовании исследованного кирпича будет связана с повышенным γ -излучением ЕР стройматериалов. Для уменьшения γ -излучений ЕР рекомендуется при строительстве комбинировать кирпич с другими строительными материалами; использовать отделочные материалы, способствующие уменьшению гамма-излучений. Использование многокомпонентного бетона с включением золы возможно при условии строго дозирования данного отхода производства в качестве наполнителя (не более 30%).

Литература

1. **Крисюк Э. М.** Нормирование радиоактивности строительных материалов // Гигиена и санитария, 1980. — № 12. — С. 32–34.
2. **Крисюк Э. М.** Радиационный фон помещений. — М.: Энергоиздат, 1989. — 120 с.
3. **Ахременко С. А.** Управление радиационным качеством строительной продукции. — М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2000. — 234 с.
4. **Хоботова Э. Б., Дмитриченко Л. В., Самоквит А. В., Шмырева Ю. А.** Радиационно-химическая оценка материалов, используемых в строительстве // Вестник национального технического университета «ХПИ». Сб. научных трудов. Тематич. вып. «Химия, химические технологии и экология», 2004. — № 15. — С. 123–128.
5. **Нормирование радиоактивности строительных материалов при разном виде их использования** / Э.М. Крисюк, В.И. Карпов, П. Кляус и др. // Report SAAS-250. Berlin, 1979. — S. 205–213.
6. **Сивинцев Ю. В.** Фоновое облучение человеческого организма. — М.: Атомиздат, 1960. — 165 с.
7. **Крисюк Э. М.** Радиационно-гигиеническая оценка строительных материалов: Методические рекомендации. — Л.: МЗ РСФСР, ЛНИИРГ, 1976. — 86 с.
8. **Перцов Л. А.** Ионизирующие излучения биосферы. — М.: Энергоиздат, 1973. — 287 с.

О Хоботова Э. Б., Здвигова Ю. В., Уханева М. И., 2008

УДК 661.632:546.79

Хоботова Е. Б., Уханьова М. І., Малиновська Ю. С. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АЗОТНО-ФОСФОРНИХ ДОБРІВ

Зроблено розрахунки питомих радіоактивностей ґрунту при поверхневому та глибинному внесенні азотно-фосфорних добрив. Показано, що рівні забруднення вище ніж залишкові допустимі концентрації радіонуклідів. Рекомендовано корекція норм внесення добрив згідно їх радіоактивним властивостям.

Основний внесок (60–90%) в колективну дозу опромінювання Землі вносять природні джерела іонізуючого випромінювання, які формують природний радіаційний фон. Окрім природного радіаційного фону виділяють також техногенно змінений фон. Він визначається як випромінювання від природних джерел іонізуючого випромінювання, яке не мало б місця, якби не використовувався якийсь технологічний процес, не призначений безпосередньо