

7. Lin Chien C. Hydrogen water chemistry technology in BWRs. A review of fundamentals and future development. — In: Proc. of 1998 JAIF Intern. Conf. on Water Chemistry in NPPs, Oct. 13—16, 1998, Kashiwazaki, Japan, p. 211—217.
8. Архипов О.П., Бугаенко В.Л., Кабакчи С.А. МОРАВА-Н2 (МОщность—Расхолаживание—АВАрия—молекулярный водород). Программа для ПЭВМ. Расчет образования и распределения водорода и других газов в оборудовании 1-го контура реакторных установок типа ВВЭР в проектных режимах, включая аварийные. ОФАП РНЦ «Курчатовский институт», 2000, № 00469-ОФАП-ЯР.
9. Brun C., Long A., Saurin P. e.a. Radiolysis studies at belleville (PWR 1300). Water chemistry with low hydrogen concentration. — In: Chemistry in Water Reactors: Operation Experience and New Development. Nice, France, Apr. 24—27, 1994, v. 1, p. 73—79.
10. Эршлер Б.В., Нежевенко А.А., Мясничева Г.Г. Механизм радиационного распада перекиси водорода. — Докл. АН СССР, 1959, т. 126, № 1, с. 126—129.

Поступила в Редакцию 15.12.2000

УДК 539.1.074

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

*Лукутцова Н.П. (Брянская государственная инженерно-технологическая академия), Козлов О.Ю., Крупный Г.И., Маслов М.А., Расцветалов Я.Н.,
Янович А.А. (ГНЦ РФ — ИФВЭ)*

Радиационная безопасность строительных материалов является одной из основных задач при строительстве жилья. Для Брянского региона, пострадавшего после аварии на Чернобыльской АЭС, это является особенно актуальным. В настоящее время радиационный контроль строительных материалов включает в себя не более десяти наименований материалов и изделий на их основе, в то время как предприятия стройиндустрии насчитывают их гораздо больше. При получении композиционных материалов (бетона, раствора и др.) используются местные строительные материалы и промышленные отходы, радиационный контроль которых почти не ведется.

НРБ-99 [1] ограничивают как внешнее, так и внутреннее облучение населения от природных (естественных) источников ионизирующего излучения. Внешнее облучение определяется содержанием естественных радионуклидов в строительных материалах (в основном, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), внутреннее — их эманлирующей способностью (главным образом, выходом ^{222}Rn из строительных конструкций в воздух помещений).

Для расширения базы данных о содержании естественных радионуклидов в материалах стройиндустрии и их эманлирующей способности в настоящей работе γ -спектрометрическим методом исследованы местные строительные материалы, промышленные отходы и материалы на их основе.

Внешнее облучение населения ограничивается введением классификаций строительных материалов по содержанию естественных радионуклидов. В соответствии с ГОСТом 30108-94 все строительные материалы и изделия в строительстве подразделяются на четыре класса по эффективной удельной активности ($A_{\text{эф}}$) [2], которая рассчитывается по формуле

$$A_{\text{эф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}}, \quad (1)$$

где A_{Ra} , A_{Th} — удельная активность ^{226}Ra и ^{232}Th , находящаяся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого семейства; A_{K} — удельная активность ^{40}K .

При строительстве жилых и общественных зданий используются только материалы первого класса, для которых содержание естественных радионуклидов не должно превышать 370 Бк/кг [1]. При изготовлении строительных материалов исходное сырье подвергается обработке, которая может изменить эффективную удельную активность в ту или другую сторону. Этот вопрос рассмотрен на примере технологии изготовления кирпича с добавкой в исходную шихту золы ТЭЦ.

Внутреннее облучение населения определяется присутствием в воздухе помещения ^{222}Rn за счет вдыхания дочерних продуктов его распада. Его вклад в облучение невелик и при радиоактивном равновесии между радоном и дочерними продуктами его распада не превышает 2%. Поэтому при оценке дозы внутреннего облучения используют эквивалентную равновесную объемную активность радона [3]

$$C = 0,104C_{\text{RaA}} + 0,516C_{\text{RaB}} + 0,379C_{\text{RaC}}, \quad (2)$$

где C_{RaA} , C_{RaB} , C_{RaC} — объемная активность ^{218}Po , ^{214}Pb и ^{214}Bi соответственно.

Поток радона с единицы поверхности строительной конструкции зависит от многих факторов: коэффициента эманирования ($K_{\text{эм}}$) и удельной активности ^{226}Ra (A_{Ra}), геометрии конструкции, состояния ее поверхности и др. Для стены (перекрытия) толщиной $2d$, изготовленной из однородного материала плотностью ρ_0 , плотность потока радона [3]

$$Q = A_{\text{Ra}} K_{\text{эм}} \rho_0 d \lambda_0 \text{th}(\beta) / \beta,$$

где $\beta = d/l_0$ — отношение половины толщины стены к длине диффузии радона; $l_0 = \sqrt{D/\rho_0 \lambda_0}$ — длина диффузии радона в пористом материале; λ_0 — постоянная распада радона, с^{-1} .

В случае, если длина диффузии больше или равна толщине стены ($\beta < 0,5$), коэффициент $\text{th}(\beta)/\beta$ близок к единице, плотность потока радона при этом достигает максимального значения. Для ^{222}Rn длина диффузии в строительных конструкциях составляет около 20 см [3]. Для стен и перекрытий толщиной от 10 до 50 см значения $\text{th}(\beta)/\beta$ лежат в диапазоне от 0,68 до 0,98. В этом случае при прочих равных условиях основным параметром строительного материала, определяющим плотность потока радона и его объемную активность в воздухе помещения, является удельная эффективная активность радия, определяемая как произведение удельной активности A_{Ra} на коэффициент эманирования $K_{\text{эм}}$. Поэтому для выявления и оценки радоновыделения различных групп строительных материалов была поставлена задача определить коэффициент эманирования ^{226}Ra местных строительных материалов, промышленных отходов и материалов на их основе.

Отбор и подготовка проб. Пробы отбирали и подготавливали в соответствии с ГОСТом 30108-94. Для сыпучих материалов пробу, полученную путем перемешивания и квартования не менее 10 точечных проб, отбирали из контрольных точек штабелей по периметру горизонтальных сечений с интервалом не более 10 м, на картах намыва — в узлах прямоугольной сетки 10×10 м. Пробу с размером фракций более 5 мм измельчали до размеров менее 5 мм.

Из готовых строительных изделий (кирпич, бетонные плиты и блоки) отбирали пробу массой от 2,5 до 10 кг, которую измельчали, просеивали через контрольное сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм и высушивали до постоянной массы.

Объем проб в геометрии сосуда Маринелли составлял 1000 см^3 . Массу проб определяли взвешиванием на электронных весах с точностью ± 5 г. В соответствии с выбранной методикой измерения коэффициента эманации [4] пробы, в которых содер-

жание ^{226}Ra находилось на уровне фона спектрометра, герметично укупоривали и выдерживали в течение 30 сут для достижения равновесия ^{226}Ra с дочерними продуктами распада.

Обсчет проб. Измерения проводили на гамма-спектрометрическом комплексе по методике [4]. В работе использовали гамма-спектрометр с полупроводниковым детектором типа ДГДК-80 в стальной защите. Собственный фон детектора в диапазоне энергии 100—3000 кэВ составляет $5,8 \text{ с}^{-1}$. Энергетическое разрешение спектрометра 2,5 кэВ при $E_\gamma = 1,332 \text{ МэВ}$ (^{60}Co). Программное обеспечение комплекса позволяет выделять γ -линии в аппаратурном спектре, их идентифицировать, рассчитывать удельную активность проб, определять погрешность [5].

Градуировка спектрометра по энергии выполнена с помощью стандартного набора образцовых γ -источников, эффективность регистрации γ -квантов энергией 186 кэВ (^{226}Ra), 583 кэВ (^{208}Tl), 609 кэВ (^{214}Bi) и 1460 кэВ (^{40}K) определена с помощью образцовых источников специального назначения различной плотности в геометрии сосуда Маринелли, содержащих ^{226}Ra , ^{232}Th (с дочерними продуктами распада) и ^{40}K . Это позволило корректно учесть зависимость эффективности регистрации спектрометра от плотности вещества пробы. Погрешность аттестованных образцовых источников специального назначения составляет 7%.

Активность ^{226}Ra определяется по линии 186 кэВ. Вклад в аппаратурный спектр от ^{235}U (линия 185,7 кэВ) можно учесть с помощью поправочного коэффициента $R = 0,5687 \pm 0,0023$ [4]. При этом истинную активность ^{226}Ra вычисляли по формуле

$$A_{\text{Ra}} = RA_{\text{Ra}}^*, \quad (4)$$

где A_{Ra}^* — полная активность ^{226}Ra и ^{235}U .

Коэффициент эманирования материала по радону в пробе рассчитывается по формуле

$$K_{\text{эм}} = 1 - \frac{A_{\text{Ra}}(^{214}\text{Bi})}{A_{\text{Ra}}}, \quad (5)$$

где активность дочернего продукта распада радия $A_{\text{Ra}}(^{214}\text{Bi})$ определяется для неукупоренной пробы по линии 609 кэВ.

Основные результаты исследования радиационного качества материалов по данным обсчета проб, стандартные погрешности величин приведены в табл. 1 для различных строительных материалов, включая золу.

При производстве кирпича (примерный состав шихты, %: глина 78, древесные опилки 8, шамот 5, граншлак 7, уголь 2) в качестве добавки в шихту используется зола ТЭЦ, при этом прочие добавки (опилки, граншлак, уголь) исключаются. Так как зола ТЭЦ характеризуется большой эффективной удельной активностью, ее процентное содержание в шихте должно быть регламентировано. Пусть исходное сырье имеет эффективную удельную активность $A_{\text{эф}}^{\text{исх}}$, зольные добавки $A_{\text{эф}}^{\text{доб}}$. Для производства кирпича, пригодного для промышленного и гражданского строительства без ограничений по радиационному фактору, необходимо выполнение следующего условия: $(100 - X)A_{\text{эф}}^{\text{исх}} + XA_{\text{эф}}^{\text{доб}} \leq 37\,000$, где X — процент зольных добавок в конечном продукте. Следовательно, допустимое массовое содержание добавок должно удовлетворять условию

Т а б л и ц а 1. Радиационные качества строительных материалов

Материал	Удельная активность, Бк/кг			$A_{эф}$, Бк/кг	$K_{эм}$	A_{Ra} , Бк/кг
	A_{Ra}	A_{Th}	A_K			
Нефтегрунт (на кварцевом песке)	18±7	11±2	215±18	51±11	0,11±0,06	2,0
Известковый раствор М50	17±5	8±1	202±15	45±8	0,13±0,06	2,2
Магнезиальный кирпич	18±8	2±1	0	21±9	0,14±0,07	2,5
Песок	8±1	4±1	107±8	22±3	0,37±0,08	3,0
Базальт	14±6	14±2	304±22	58±10	0,24±0,13	3,4
Раствор с полиэтиленом	16±3	5±1	85±6	30±5	0,25±0,08	4,0
Отвальный пористый шлак	18±4	10±1	21±2	33±5	0,23±0,07	4,1
Керамический кирпич	49±18	56±6	703±54	182±30	0,10±0,05	4,9
Силикатный газобетон	21±3	5±1	158±13	41±5	0,26±0,07	5,5
Керамическая глазурованная плитка	80±10	57±5	1160±82	253±24	0,07±0,01	5,6
Тяжелый бетон	21±4	9±1	215±16	51±7	0,28±0,08	5,9
Арболит	30±4	13±3	102±10	56±9	0,28±0,09	8,4
Трепел	34±8	24±4	344±31	95±16	0,25±0,08	8,5
Отвальный плотный шлак	36±11	25±3	689±50	127±19	0,24±0,10	8,6
Гранитный щебень	51±7	66±5	1250±89	244±21	0,18±0,04	9,2
Динасовый кирпич	25±11	16±2	126±11	57±15	0,37±0,08	9,3
Цементный камень	31±13	10±2	118±10	54±16	0,31±0,17	9,6
Керамзитовый гравий	55±26	55±5	916±66	205±38	0,19±0,10	10,5
Бетон М300 с глауконитовым песком	39±5	43±5	605±46	147±15	0,28±0,07	10,9
Шамотный кирпич	120±12	157±12	89±7	333±28	0,10±0,02	12,0
Керамзитобетон	40±7	31±3	455±33	119±14	0,34±0,09	13,6
Мелкозернистый асфальтобетон	35±4	42±5	809±60	159±16	0,39±0,07	13,7
Отработанная формовочная смесь	31±9	12±2	167±13	61±13	0,50±0,21	15,5
Мелкозернистый бетон на отработанной формовочной смеси	27±8	9±1	136±11	50±10	0,60±0,24	16,2
Перлитобетон	29±5	6±1	140±10	49±7	0,63±0,17	18,3
Пенобетон	37±8	13±1	170±11	69±10	0,51±0,19	18,9
Золобетон	59±18	48±5	154±14	135±26	0,36±0,15	21,2
Электротермофосфорный гранулированный шлак	230±30	24±5	127±13	272±38	0,10±0,02	23,0
Зола (Кашира)	102±20	78±8	380±34	236±33	0,23±0,06	23,5

$$X \leq \frac{(370 - A_{эф}^{иск})}{(A_{эф}^{доб} - A_{эф}^{иск})} 100\%. \quad (6)$$

Результаты расчетов предельно допустимых зольных добавок в шихту приведены на рисунке, в табл. 2 представлены экспериментальные данные об изготовленной партии кирпичей на Серпуховском кирпичном заводе с добавками золы Каширской ТЭЦ в количестве 4 и 6% по объему.

Т а б л и ц а 2. Влияние зольных добавок на радиационные качества кирпича

Зольный остаток, %	Удельная активность, Бк/кг			Удельная эффективная активность, Бк/кг
	A_{Ra}	A_{Th}	A_K	
6	46±9	48±5	719±65	170±21
6	27±5	45±5	787±71	153±18
6	44±9	51±5	757±68	175±21
6	30±6	56±6	629±57	157±19
6	33±7	58±6	715±64	170±20
4	37±7	58±6	630±57	167±20
4	39±8	55±6	604±54	162±20
4	40±8	52±5	643±58	163±19
4	42±8	56±6	664±60	172±21
4	23±5	55±6	631±57	149±18

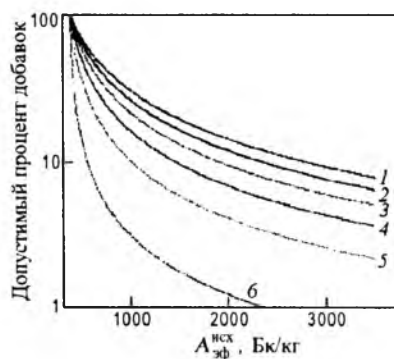
Комментарии по результатам определения $A_{эф}$. Известно, что наибольшим содержанием естественных радионуклидов характеризуются магматические кислые породы — граниты, представляющие собой продукт остаточной кристаллизации магмы [6]. С уменьшением содержания SiO_2 , т.е. увеличением основности их содержание значительно сокращается. Поэтому у базальта, относящегося к основным магматическим горным породам, содержание естественных радионуклидов ниже, чем у гранитного щебня.

Высокое содержание естественных радионуклидов в глинистых материалах связано, в первую очередь, с их повышенной адсорбционной способностью по отношению к катионам урана, тория и калия. Преимущественной осаждаемости урана в глинистых осадках способствует близость рН образования нерастворимого желтого гидроксида урана $UO_2(OH)_2$ (рН 4,2) к рН образованию гидроксида алюминия $Al(OH)_3$ (рН 4,1) [6]. Кроме того, существенную роль играет длительность пребывания глинистых частиц в форме гидрозолей, способствующая адсорбции ионов радиоактивных элементов.

В процессе обжига керамических материалов происходит спекание глин, т.е. их уплотнение и упрочнение [3]. Поэтому концентрация радиоактивных веществ готовых керамических изделий по сравнению с исходным сырьем повышается (керамический и шамотный кирпичи, облицовочная глазурованная плитка, керамзитовый гравий). В золе, образующейся при сжигании каменного и бурого угля, также наблюдается повышенная концентрация радиоактивных веществ за счет увеличения их концентрации в процессе обжига.

Низкое содержание естественных радионуклидов отмечается для кварцевого песка, что согласуется с выводами о низкой радиоактивности незаглинезированных песков [6].

Аморфная форма кремнезема распространена в природе гораздо реже, чем кристаллическая. К ней относится трепел, который образуется на дне морей из SiO_2 , входящего в состав организмов диатомовых водорослей, скелетов радиолярий и губок.



Допустимый процент зольных добавок в исходное сырье при удельной активности 100 (1), 150 (2), 200 (3), 250 (4), 300 (5), 350 Бк/кг (6)

Растительные остатки, обломки скелетов наземных позвоночных и рыб являются основными концентраторами урана. Влияние органики на концентрацию урана связано не только с ее повышенными сорбционными свойствами, но и с тем, что разложению растительных и животных остатков способствуют восстановительные процессы, приводящие к переходу растворимых соединений шестивалентного урана в труднорастворимые четырехвалентные.

Близость ионных радиусов урана и тория и некоторых других элементов приводит к тому, что они часто входят в кристаллические решетки некоторых аксессуарных минералов в виде изоморфной примеси. Главными носителями урана и тория среди аксессуаров являются циркон, сфен, а также ксенотим, апатит, моноцит, являющиеся основным сырьем для производства фосфорной кислоты [7]. Следовательно, и отходы этого производства — электротермофосфорный шлак должен иметь повышенную радиоактивность, что и подтверждается полученными данными. Удельная эффективная активность электротермофосфорного шлака составляет 272 ± 38 Бк/кг, отвального — 127 ± 19 Бк/кг.

Большинство строительных материалов относятся к композиционным и состоит из вяжущего, наполнителя и добавок. Строительные растворы и ячеистые бетоны (пенобетон, газобетон), содержащие в качестве вяжущего цемент и известь, наполнителя — кварцевый песок, характеризуются сравнительно низким содержанием естественных радионуклидов. Для керамзитобетона и тяжелого бетона, большую часть которых составляет крупный наполнитель, удельная эффективная активность будет определяться содержанием и активностью керамзитового гравия и щебня.

Использование в мелкозернистом асфальтобетоне гранитных отсеков, имеющих высокую шероховатость частиц по сравнению с кварцевым песком, позволяет получить сдвигустойчивые покрытия и в то же время приводит к возрастанию удельной эффективной активности естественных радионуклидов до 160 Бк/кг.

Из всех исследуемых материалов более высокое содержание естественных радионуклидов наблюдается в керамических материалах, золе, электротермофосфорном шлаке, получаемых путем спекания и увеличения концентрации исходных сырьевых материалов, низкое — в кварцевом песке и материалах на его основе (динасовом кирпиче, горелой земле, цементно-песчаном растворе).

Комментарии по результатам определения $K_{\Sigma M}$. Анализируя данные табл. 1, можно все исследуемые материалы разделить условно на две группы: 1) образовавшиеся в результате расплавления с последующим быстрым или медленным охлаждением и 2) полученные при температуре не более 200 °С.

Поведение глины при нагревании связано с дегидратацией, образованием новых фаз и плавлением при высокой температуре. Из табл. 1 видно, что наименьшие коэффициенты эманирования имеют обожженные глинистые материалы: керамический и шамотный кирпич ($K_{\Sigma M} = 0,1$) и керамическая глазурованная плитка ($K_{\Sigma M} = 0,07$). В процессе обжига происходит образование из глинистой составляющей достаточного количества стекловидной фазы, обволакивающей и цементирующей имеющиеся в массе частицы кварцевого песка или иных добавок. Поверхность пор покрывается стекловидной пленкой (офлюсовывается) [9]. Основным сырьем для изготовления керамического кирпича является местная глина. Глинистые минералы такой глины обычно находятся в смеси с примесями кварца, полевого шпата, слюды и др. Структура готовых изделий характеризуется наличием крупных зерен вторичных примесей, которые вкраплены в основную массу, состоящую из тонкозернистого муллита и стекла. Глазури на керамической плитке представляют собой силикатные стекла. Стекловидная фаза в прозрачных блестящих глазурях не содержит включений или пор, и такие глазури имеют совершенно гладкую поверхность.

Керамзитовый гравий — искусственный зернистый материал пористого строения с преобладанием замкнутых пор и со спекшейся прочной шероховатой оболочкой, по-

лучаемый путем вспучивания при 1100—1230 °С некоторых глинистых пород. Низкие коэффициенты эманирования керамзитового гравия ($K_{эм} = 0,19$) связаны с образованием на поверхности гранул вследствие окисления FeO в Fe₂O₃ кислородом окружающей среды [10]. Шамотные огнеупоры получают из огнеупорных пластичных глин или каолинов и содержат 35—50% муллита и 50—60% (по объему) алюмосиликатного стекла. Они имеют скрытокристаллическую структуру (размер кристаллов муллита не превышает 2—5 мкм) [11]. Стекло встречается в различных количествах во всех доменных шлаках, кроме тех, которые охлаждались очень медленно. В гранулированных шлаках оно является единственной составной частью, если не считать мелкие дендриты CaS [12].

Содержание стекла в отвальном шлаке Брянского сталелитейного завода составляет 18%, электротермофосфорном — 98%. Соответственно и коэффициенты эманирования равны 0,24 и 0,1, что связано в первую очередь с различной структурой материалов.

Основным компонентом отработавшей формовочной смеси является кварцевый песок (80—86%) с примесями бентонита и крепителя, подвергнутый воздействию высокой температуры 1200—1500 °С. Резкий переход β -кварца в α -кварц и обратно вызывает растрескивание зерен кварца [11], что повышает коэффициент эманирования до 0,5 по сравнению с кварцевым песком ($K_{эм} = 0,37$). Надо отметить высокий коэффициент эманирования кварцевого песка по сравнению с другими материалами. Это связано с невысокой плотностью кристаллической решетки кварца [9] (плотность SiO₂ равна 2650, MgO — 3590, Al₂O₃ — 3960 кг/м³).

Цементные растворы и бетоны являются многокомпонентными материалами, в которых коэффициент эманирования будет определяться не только коэффициентом эманирования его составляющих, но и структурой материала в целом. Высокие значения коэффициента эманирования бетонов и растворов (0,28 и более) объясняются их капиллярно-пористой структурой и образованием микротрещин в процессе усадки при гидратации. При взаимодействии цемента с водой основная масса новообразований получается в виде гелевидной массы, состоящей преимущественно из субмикроскопических частичек гидросиликатов кальция. Частички, слагающие гель, характеризуются кристаллической структурой, однако исключительно высокая дисперсность обуславливает их коллоидные свойства [13]. Повышение пористости (снижение плотности) приводит к увеличению коэффициента эманирования, что прослеживается в ряду тяжелый бетон, керамзитобетон, газобетон (0,28, 0,34, 0,51 соответственно). Причем первостепенную роль будет играть капиллярная пористость, так как поры геля радиусом менее 10⁻⁵ см при обычных условиях будут заполнены адсорбционной влагой.

Введение в состав укрепленного грунта (цементогрунта) сырой нефти для повышения водонепроницаемости приводит к заполнению пор материала нефтью, что снижает коэффициент эманирования до 0,1, соответствующий обожженным керамическим материалам.

Для материалов, получаемых расплавлением с последующим резким охлаждением, характерны низкие коэффициенты эманирования 0,1 при высокой капиллярной пористости. Коэффициент эманирования многокомпонентных цементных материалов с меньшей капиллярной пористостью в 3 раза и выше за счет высокой удельной поверхности геля цементного камня и наличия микротрещин.

Выводы. Рассмотренные виды строительных материалов, отходов и сырья местной стройиндустрии Брянска относятся к первому классу радиационного качества и могут применяться в гражданском строительстве. При необходимости минимизировать эффективную удельную активность для готовых строительных изделий при подборе исходного сырья или добавок можно ориентироваться на соотношение (1).

Из исследуемых материалов газо-, золо- и перлитобетоны относятся к материалам с повышенной удельной активностью радия, увеличенным коэффициентом эманирования, несмотря на то, что по содержанию естественных радионуклидов они относятся к материалам первого класса в соответствии с ГОСТом 30108-94. В связи с сокращением сырьевых ресурсов и тенденцией к использованию в более широких масштабах промышленных отходов необходим обязательный контроль радона в строительных материалах, особенно содержащих промышленные отходы.

Рассмотренные геолого-химические аспекты исходного сырья могут служить в качестве рекомендаций для производства новых строительных материалов с низким содержанием естественных радионуклидов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). М., Минздрав России, 1999.
2. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с.
3. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 120 с.
4. Будаговский С.С., Завалесва Л.В., Шевченко Л.Н. и др. Гамма-спектрометрическое определение коэффициента эманирования строительных материалов по радону. — В кн.: Повышение качества строительных работ, материалов и проектных решений. Брянская гос. инженерно-технол. академия, 1998, с. 230—237.
5. Крупный Г.И., Стеценко Г.Н., Янович А.А. Методические вопросы использования пороговых активационных детекторов в радиационных исследованиях на ускорительном комплексе ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 2000-30.
6. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989. 407 с.
7. Горшков В.С., Савельев В.Г., Федоров Н.Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.
8. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1986. 688 с.
9. Кингери У.В. Введение в керамику. М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1967. 499 с.
10. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1971. 224 с.
11. Перепелицын В.А. Основы технической минералогии и петрографии. М.: Недра, 1987. 255 с.
12. Инсли Г., Фрешетт В. Микроскопия керамики, цементов, стекла, шлаков и формовочных песков. Пер. с англ. Под ред. В.В. Лапина. М.: Госстройиздат, 1960. 298 с.
13. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 480 с.

Поступила в Редакцию 26.07.2000

УДК 535.8.666.189.2; 539.107.8

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ КОРОТКОЖИВУЩЕЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ $\text{PbWO}_4:\text{Nb}$

*Ашуров М.Х., Гасанов Э.М., Исмоилов Ш.Х., Рустамов И.Р., Хатамов К.
(ИЯФ АН РУз), Пак А.Г. (НПО «Фонон», Узбекистан),
Козлов В.А. (Физический ин-т им. П.Н. Лебедева РАН)*

Кристаллы $\text{PbWO}_4:\text{Nb}$ зарекомендовали себя в качестве перспективных сред для детекторов частиц высокой энергии в электромагнитном калориметре CMS-эксперимента в ЦЕРНе [1]. Соответственно к ним предъявляются высокие требования в плане их радиационной стойкости. В этой связи следует отметить, что основные усилия исследователей были направлены на тестирование оптических характеристик кристаллов, предварительно подвергнутых воздействию ионизирующего излучения [1—4]. Очевидно, что при этом вне поля зрения большинства исследователей остались нестационарные процессы поглощения, возникающие в кристаллах в момент воздействия на них потока высокоэнергетического излучения (корпускулярное ядерное излучение, γ -, рентгеновские и УФ-кванты электромагнитного излучения). Из анализа опубли-