



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000–28
ОРИ

Н.П. Лукутцова¹, О.Ю. Козлов, Г.И. Крупный,
М.А. Маслов, Я.Н. Расцветалов, А.А. Янович

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Направлено в АЭ

¹Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Протвино 2000

Аннотация

Лукутцова Н.П. и др. Радиационная безопасность строительных материалов и промышленных отходов: Препринт ИФВЭ 2000 –28. – Протвино, 2000. – 6 с., 1 рис., 2 табл., библиогр.: 7.

Проведены исследования по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) строительных материалов, промышленных отходов и материалов на их основе Брянского региона. Измерения активности ЕРН выполнены на полупроводниковом гамма-спектрометрическом комплексе. Показано, что широкий класс местных строительных материалов относится к I классу радиационного качества и может применяться в гражданском строительстве без ограничений.

Abstract

Lukutsova N.P. et al. The Radiation Safety of Construction Materials and Industrial Waste: IHEP Preprint 2000 –28. – Protvino, 2000. – p. 6, fig. 1, tables 2, refs.: 7.

The investigation on natural radioactivity (NR) of construction materials, industrial waste and materials containing the waste was carried out for the Brjansk region. The NR measurements were made with a semiconductor gamma-spectrometry complex. It was shown that the group of local construction materials belong to the 1st radiation class and can be used in the building industry without any restriction.

Введение

Обеспечение радиационной безопасности строительных материалов является одной из основных задач при строительстве жилья. Для Брянского региона, пострадавшего после аварии на ЧАЭС, эта проблема является особенно актуальной. 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 (бетонов, растворов и др.) используются местные строительные материалы и промышленные отходы, радиационный контроль которых практически не ведется.

С целью расширения базы данных по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) в материалах стройиндустрии были проведены исследования местных строительных материалов, промышленных отходов и материалов на их основе.

В соответствии с ГОСТ 30108-94 все строительные материалы и изделия в строительстве подразделяются на 4 класса по величине эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) ЕРН в стройматериалах. При строительстве жилых и общественных зданий используются только материалы 1 класса, для которых содержание ЕРН не должно превышать 370 Бк/кг [1]. В процессе изготовления строительных материалов исходное сырье подвергается обработке, которая может изменить $A_{эфф}$ в ту или другую сторону. Данный вопрос рассмотрен на примере технологии изготовления кирпича с добавкой в исходную шихту зол ТЭЦ.

Отбор проб

Отбор и подготовку проб проводили в соответствии с ГОСТ 30108-94. Для сыпучих материалов пробу, полученную путем перемешивания и квартования не менее 10 точечных проб, отбирали из контрольных точек штабелей по периметрам горизонтальных сечений с интервалом не более 10 м; на картах намыва – в узлах прямоугольной сетки 10x10 м². Пробу с размерами 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. Пробу измельчали, просеивали через контрольное сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм и высушивали до постоянной массы.

Объем проб в геометрии сосуда Маринелли составлял 1000 см³. Масса проб определялась взвешиванием на электронных весах с точностью ± 5 г. Герметично укупоренные пробы выдерживались в течение 30 суток с целью достижения равновесия ²²⁶Ra с дочерними продуктами распада.

Обсчет проб

Измерения проведены на гамма-спектрометрическом комплексе по методике [2]. В работе использовался гамма-спектрометр с полупроводниковым детектором типа ДГДК-80 в стальной защите. Собственный фон детектора в диапазоне энергий 100 – 3000 кэВ составляет 5.8 с^{-1} . Энергетическое разрешение спектрометра – 2.5 кэВ при $E_\gamma = 1.332 \text{ МэВ}$ (^{60}Co). Программное обеспечение комплекса позволяет выделять гамма-линии в аппаратурном спектре, производить их идентификацию, расчет удельных активностей проб, определение погрешностей [3].

Градуировка спектрометра по энергии выполнена с помощью стандартного набора образцовых гамма-источников (ОСГИ), а эффективность регистрации гамма-квантов с энергиями 186 кэВ (^{226}Ra), 583 кэВ (^{208}Tl), 609 кэВ (^{214}Bi) и 1460 кэВ (^{40}K) определена с помощью образцовых источников специального назначения (ОИСН) 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 аттестации ОИСН составляет 5% по радиевому и ториевому рядам и 7% по калию-40.

Результаты и комментарий

Основные результаты исследования радиационного качества материалов по данным обсчета проб приведены в табл. 1 для различных строительных материалов, включая золы ТЭЦ. Значения $A_{\text{эфф}}$ рассчитывались по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1.31 A_{\text{Th}} + 0.085 A_{\text{K}}, \quad (1)$$

где A_{Ra} , A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th , находящиеся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого семейства, A_{K} – удельная активность ^{40}K .

Известно, что наибольшей радиоактивностью характеризуются магматические кислые породы – граниты, представляющие собой продукт остаточной кристаллизации магмы [4]. С уменьшением содержания SiO_2 , т.е. с увеличением основности, содержание ЕРН значительно сокращается. Поэтому у базальта, относящегося к основным магматическим горным породам, содержание естественных радионуклидов ниже, чем у гранитного щебня. Авторами [4] также отмечается, что розовые и красные изверженные горные породы часто оказываются более радиоактивными, чем серые.

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 также близость рН образования нерастворимого желтого гидроксида урана $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ (рН = 4.2) к рН образованию гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ (рН = 4.1) [4]. 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 [5]. Поэтому концентрация радиоактивных веществ готовых керамических изделий по сравнению с исходным сырьем повышается (керамический и шамотный кирпичи, облицовочная глазурованная плитка, керамзитовый гравий).

Таблица 1. Радиационные качества строительных материалов

№ п/п	Наименование материала	Активность, Бк			Удельная эффективная активность, Бк/кг	Класс материала ГОСТ 30108-94
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K		
1	Кирпич магнезиальный	35±14	3±1	0	21±11	1
2	Песок	12±1	7±1	171±12	22±4	1
3	Газобетон силикатный	14±2	3±1	103±8	41±14	1
4	Известковый раствор М50	22±6	11±1	266±19	45±14	1
5	Цементно-песчаный раствор М200	29±6	13±2	299±21	52±13	1
6	Арболит	17±2	7±2	58±6	54±17	1
7	Кирпич диносовый	29±12	19±3	148±13	57±26	1
8	Базальт	22±9	22±2	472±33	59±27	1
9	Пенобетон	35±8	13±1	162±11	69±18	1
10	Трепел	23±5	16±3	228±21	96±29	1
11	Глауконитовый песок	69±6	41±5	174±16	110±33	1
12	Керамзитобетон М100	35±6	27±2	402±28	119±25	1
13	Шлак отвалный	61±20	43±5	1174±82	128±45	1
14	Бетон М300 (с глауконитовым песком)	53±6	59±7	826±66	146±26	1
15	Мелкозернистый асфальтобетон	33±4	39±5	754±60	160±32	1
16	Кирпич керамический	55±20	62±7	783±63	182±69	1
17	Керамзитовый гравий	34±16	34±3	565±40	204±98	1
18	Щебень	77 ±11	101±8	1913±134	243±41	1
19	Керамическая плитка глазурованная	85.±10	61±5	1236±87	253±43	1
20	Электротермофосфорный шлак	191±25	20±4	106±11	273±71	1
21	Кирпич шамотный	149±15	194±14	110±9	332±50	1
22	Зола (Брянск)	104 ± 21	86 ± 9	185 ± 17	347 ± 83	1
23	Зола (Серпухов)	679 ± 136	112 ± 11	577 ± 60	874 ± 210	3
24	Зола (Кашира)	102 ± 20	78 ± 8	380 ± 34	236 ± 57	1

В золах, образующихся при сжигании каменного и бурого углей, также наблюдается повышенная концентрация радиоактивных веществ за счет увеличения их концентрации в процессе обжига. Помимо основных оксидов, содержащихся обычно в золах, в их состав, как правило, входят частички несгоревшего угля, которые характеризуются содержанием радионуклидов исходного сырья.

Низкое содержание ЕРН отмечается для кварцевого песка, что согласуется с выводами авторов о низкой радиоактивности незаглинезированных песков [4].

Аморфная форма кремнезема распространена в природе гораздо меньше, чем кристаллическая. К ней относится трепел, образующийся на дне морей из SiO₂, входящего в состав организмов диатомовых водорослей, скелетов радиолярий и губок. А растительные остатки, обломки скелетов наземных позвоночных и рыб являются основными концентраторами урана. Влияние органики на процессы концентрации урана связано не только с ее повышенными сорбционными свойствами, но и с тем, что разложению остатков способствуют восстановительные процессы, приводящие к переходу растворимых соединений шестивалентного урана в труднорастворимые четырехвалентные.

Близость ионных радиусов U и Th и ряда других элементов приводит к тому, что U и Th часто входят в кристаллические решетки некоторых акцессорных минералов в виде изоморф-

ной примеси. Главными носителями урана и тория среди аксессуаров являются циркон, сфен, а также ксенотим, апатит, моноксит, являющиеся основным сырьем для производства фосфорной кислоты [6]. Следовательно, и отход этого производства – электротермофосфорный шлак должен иметь повышенную радиоактивность, что и подтверждается полученными данными. Удельная эффективная активность электротермофосфорного шлака составляет 273 ± 26 Бк/кг, а отвального – 128 ± 35 Бк/кг.

Глауконитовые пески Брянского фосфоритного завода содержат в своем составе 90% кварца, полевые шпаты, глауконит, частицы фторапатита и другие минералы. Более высокое содержание ЕРН обусловлено, в первую очередь, присутствием глауконита и фторапатита. Глауконит относится к минералам группы железистых гидрослюд переменного состава и занимает промежуточное положение между слюдами и каолинитом (или монтмориллонитом) [7]. Образование коллоидов, таких как глаукониты, фосфориты, происходит также за счет процессов подводного разложения минеральных частиц. В этих процессах существенную роль играют органические соединения, в том числе и живые организмы. С коагуляцией всех этих видов коллоидных частиц, адсорбирующих растворенные в воде ионы, и связано главным образом осаждение урана, тория и калия.

Большинство строительных материалов относятся к композиционным материалам и состоят из вяжущего, заполнителя и добавок.

Строительные растворы и ячеистые бетоны (пенобетон, газобетон), содержащие в качестве вяжущего цемент и известь, а в качестве заполнителя кварцевый песок, характеризуются сравнительно низким содержанием ЕРН. Для керамзитобетона и тяжелого бетона, большую часть которых составляет крупный заполнитель, 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 сдвигоустойчивые 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).

По содержанию естественных радионуклидов они относятся к материалам I класса и могут использоваться без ограничений.

При производстве кирпича (примерный состав шихты: 78% – глина, 8% – древесные опилки, 5% – шамот, 7% – граншлак, 2% – уголь) применяется также технология с использованием в качестве добавки в шихту зол ТЭЦ, исключив при этом прочие добавки (опилки, граншлак, уголь). Так как золы ТЭЦ характеризуются большими значениями $A_{эфф}$ (см. п.п. 22 – 24 табл. 1), то их процентное содержание в шихте должно быть регламентировано. Пусть исходное сырье имеет эффективную удельную активность $A_{эфф}^{исх}$, а зольные добавки – $A_{эфф}^{доб}$. Для обеспечения производства кирпича, пригодного для промышленного и гражданского строительства без ограничений по радиационному фактору, необходимо выполнение следующего условия: $(100 - X) \cdot A_{эфф}^{исх} + X \cdot A_{эфф}^{доб} \leq 37000$, где X – процент зольных добавок в конечном продукте. Следовательно, допустимое массовое содержание добавок в процентах должно удовлетворять условию:

$$X \leq \frac{(370 - A_{эфф}^{исх})}{(A_{эфф}^{доб} - A_{эфф}^{исх})} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Результаты расчетов предельно допустимой величины зольных добавок в шихту приведены на рис. 1 (кривые 1 – 6 соответствуют различным $A_{эфф}^{исх}$), а в табл. 2 представлены экспериментальные данные по изготовленной партии кирпичей на Серпуховском кирпичном заводе с добавками золы Каширской ТЭЦ в количестве 4 и 6 объемных процентов (см. п.п. 24 табл. 1).

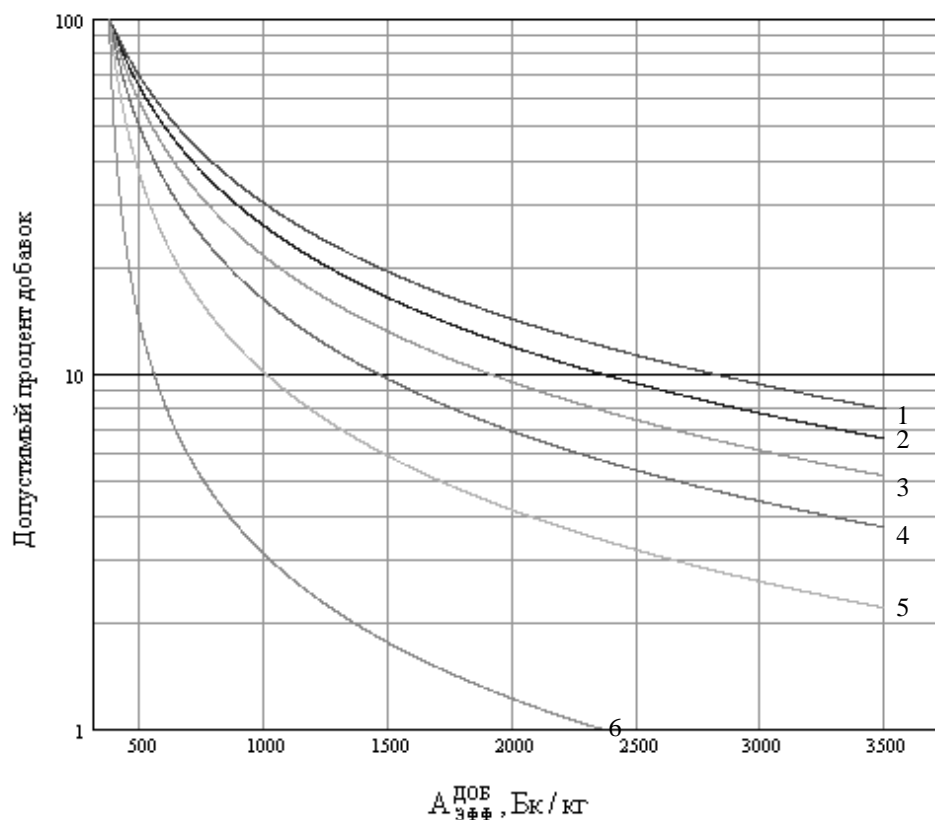


Рис 1. Допустимый процент зольных добавок в исходное сырье:
 1 – $A_{эфф}^{исх} = 100$ Бк/кг; 2 – $A_{эфф}^{исх} = 150$ Бк/кг; 3 – $A_{эфф}^{исх} = 200$ Бк/кг;
 4 – $A_{эфф}^{исх} = 250$ Бк/кг; 5 – $A_{эфф}^{исх} = 300$ Бк/кг; 6 – $A_{эфф}^{исх} = 350$ Бк/кг.

Таблица 2. Влияние зольных добавок на радиационные качества продукции

№ п/п	Наименование материала	Активность, Бк			Удельная эффективная активность, Бк/кг	Класс материала ГОСТ 30108-94
		^{226}R	^{232}Th	^{40}K		
1	Кирпич (X = 6%)	46 ± 9	48 ± 5	719 ± 65	170 ± 41	1
2	Кирпич (X = 6%)	27 ± 5	45 ± 5	787 ± 71	153 ± 37	1
3	Кирпич (X = 6%)	44 ± 9	51 ± 5	757 ± 68	175 ± 42	1
4	Кирпич (X = 6%)	30 ± 6	56 ± 6	629 ± 57	157 ± 38	1
5	Кирпич (X = 6%)	33 ± 7	58 ± 6	715 ± 64	170 ± 41	1
6	Кирпич (X = 4%)	37 ± 7	58 ± 6	630 ± 57	167 ± 40	1
7	Кирпич (X = 4%)	39 ± 8	55 ± 6	604 ± 54	162 ± 39	1
8	Кирпич (X = 4%)	40 ± 8	52 ± 5	643 ± 58	163 ± 39	1
9	Кирпич (X = 4%)	42 ± 8	56 ± 6	664 ± 60	172 ± 41	1
10	Кирпич (X = 4%)	23 ± 5	55 ± 6	631 ± 57	149 ± 36	1

Выводы

Рассмотренные виды строительных материалов, отходов и сырья местной стройиндустрии г. Брянска относятся к 1 классу радиационного качества и могут применяться в гражданском строительстве без ограничений. При необходимости минимизировать значения $A_{эфф}$ для готовых строительных изделий при подборе исходного сырья или добавок можно ориентироваться на соотношение (2).

Список литературы

- [1] ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. — М.: Изд-во стандартов, 1995, с. 11.
- [2] Методические указания. Гамма-спектрометры с полупроводниковыми детекторами. Методика поверки МИ1916 – 88, НПО ВНИИФТРИ, Москва, 1989.
- [3] 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, Протвино, 2000.
- [4] Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. – Л.: Недра, 1989, с. 407.
- [5] Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989, с.120.
- [6] Горшков В.С., Савельев В.Г., Федоров Н.Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. – М.: Высш. шк., 1988, с. 400.
- [7] Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1986, с. 688.

Рукопись поступила 7 июля 2000 г.

Н.П. Лукутцова и др.

Радиационная безопасность строительных материалов и промышленных отходов.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word.

Редактор Л.Ф. Васильева.

Технический редактор Н.В. Орлова.

Подписано к печати 11.07.2000. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.

Печ.л. 0,75. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 130. Заказ 169. Индекс 3649.

ЛР №020498 от 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
142284, Протвино Московской обл.

