УДК 504.06:614.895

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2026 В.П. Мешалкин[1], А.В. Васильев[2], В.В. Ермаков[2], Т.В. Быкова[2]

[1] Российский химико-технологический университет им. Д.И Менделеева, г. Москва, Россия
[2] Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 09.09.2026

Рассмотрены особенности экспериментального определения показателей удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитных материалов. Описана методика проведения исследований. Создано семьдесят два экспериментальных макетных образца композитов с различными характеристиками. Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы.

1. Результаты измерений удельной активности радионуклидов ^{26}Ra, ^{232}Th и ^{40}K оказались ниже порогов обнаружения.
2. В целом значения показателей эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующими наполнителями «Стекловолокно» и «Базальтовое волокно» более высокие по сравнению с другими наполнителями.
3. Изменение процентного содержания наполнителей в экспериментальных макетных образцах полимер-неорганических композитов не позволило выявить существенных изменений показателей эффективной удельной активности радионуклидов.

Сделано общее заключение, что анализ и использование результатов проведенных экспериментальных исследований удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов позволят создавать композиты с улучшенными экологическими характеристиками.

Ключевые слова: полимер-неорганические композитные материалы, активность радионуклидов, методика, измерения.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-236-245
EDN: TDWRWH

Исследование выполнено при поддержке междисциплинарного гранта Российского научного фонда № 25-69-00012.

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с возрастанием использования и расширением области применения полимерных композитных материалов возникает необходимость диагностики их физико-химических свойств, а также создания новых композитных материалов с улучшенными экологическими и эксплуатационными характеристиками [1-4, 8, 9].

Для полимер-неорганических композитов существенное значение приобретает их соответствие требованиям по радиационным свойствам [2-4, 10-12]. В том числе все строительные материалы должны иметь санитарно-гигиенические сертификаты с указанием удельной эффективной активности радионуклидов, а контроль за содержанием радионуклидов обязателен как при производстве, так и при применении строительных композитных материалов.

Для оценки радиационных свойств материалов, в том числе композитных материалов, широко используются методы оценки активности радионуклидов [4-7].. Основной контролируемый параметр - удельная эффективная активность природных радионуклидов (Аэфф), измеряемая в

Мешалкин Валерий Павлович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Международного Института логистики, ресурсосбережения и технологической инноватики (НОЦ). E-mail: vpmesh@mail.ru
Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность и управление качеством», директор научно-исследовательского центра техносферной безопасности и новых материалов. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru
Ермаков Василий Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технологи я и промышленная экология». E-mail: ncpe@mail.ru
Быкова Татьяна Владимировна, инженер научно-аналитического центра промышленной экологии. E-mail: tatyana.berdnikova.98@mail.ru

Беккерелях на килограмм (Бк/кг), включает суммарную активность радия-226, тория-232 и калия-40 с учетом их биологического воздействия.

Нормативные ограничения на содержание радионуклидов в строительных материалах в России регулируются следующими основными документами:

СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)»;

ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов»;

СанПиН 2.6.1.2800-10 «Требования радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения».

Использование сырья и материалов с эффективной удельной активностью природных радионуклидов выше 1500 Бк/кг в жилом, общественном и большинстве производственных строек запрещено.

В рамках междисциплинарного гранта Российского научного фонда № 25-69-00012 необходимо провести экспериментальную оценку удельной активности радионуклидов для различных типов композитов и видов армирующих наполнителей.

2. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИТОВ

Удельную активность радионуклидов ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{40}K в эпоксидных композиционных материалах с различными наполнителями определяли методом гамма-спектрометрии на спектрометре МКС-АТ1315 в соответствии с МВИ.МН 4498-2013. Измерения были направлены на установление содержания указанных радионуклидов в отвержденных композитах и выявление возможных различий, обусловленных составом наполнителей. Для многокомпонентных полимерных систем этот вопрос представляет практический интерес, поскольку введение минеральных или иных неорганических добавок может сопровождаться поступлением в материал радионуклидов, присутствующих в исходном сырье.

Гамма-бета-спектрометр МКС-АТ1315 оснащен сцинтилляционным детектором на основе кристалла NaI(Tl) размером 63 х 63 мм. Детектор расположен внутри защитного блока со свинцовыми стенками толщиной 10 см, снижающими влияние внешнего фонового излучения. Диапазон регистрируемых энергий гамма-излучения составляет от 50 до 3000 кэВ. При взаимодействии гамма-квантов с детектором возникают электрические импульсы, которые преобразуются в энергетический спектр. По положению фотопиков в спектре идентифицируют радионуклиды. Их активность определяют по площади фотопиков с учетом эффективности регистрации гамма-излучения.

Для измерений использовали сосуд Маринелли объемом 1 л. Исследуемый материал помещали в сосуд, после чего определяли массу пробы. Заполненный сосуд устанавливали в измерительное положение внутри защитного блока спектрометра. После установки пробы проводили регистрацию гамма-излучения с накоплением энергетического спектра. Полученные спектры обрабатывали с использованием программного обеспечения с учетом фонового излучения измерительной установки. По результатам обработки определяли удельную активность радионуклидов ^{26}Ra, ^{232}Th и ^{40}K в Бк/кг, затем рассчитывали эффективную удельную активность природных радионуклидов с учетом их вклада во внешнее гамма-облучение.

Для проведения измерений были созданы макетные образцы полимер-неорганических композитов с различными видами армирующим наполнителей и типами полимерных матриц, а также с различным содержанием наполнителей, % масс.

В качестве армирующих наполнителей использовались:

- Полипропиленовая фибра;
- Стекловолокно;
- Базальтовое волокно;
- Углеродная фибра.

В качестве полимерных матриц использовались:

- Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0;
- Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполианином (ПЭПА);
- Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0.

Содержание наполнителей, % масс, варьировалось от 0,5 до 5.

Фото некоторых экспериментальных макетных образцов показаны на рис. 1-10.

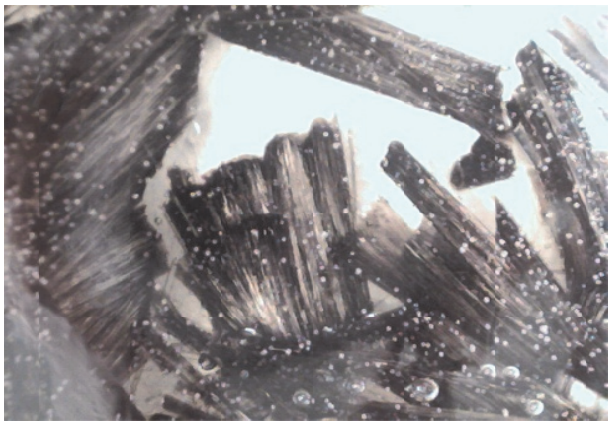

Рисунок 1 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Базальтовое волокно» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0».
Содержание наполнителя, % масс - 3

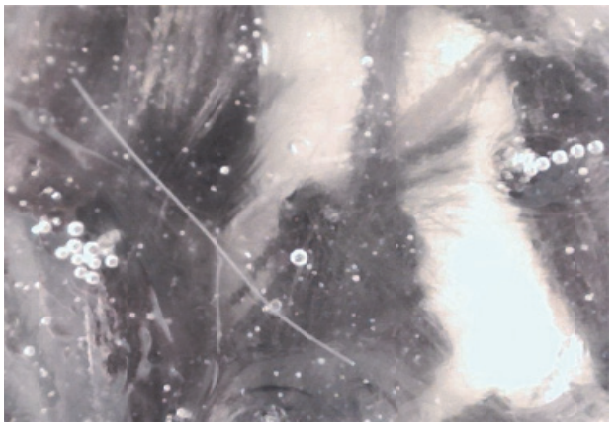

Рисунок 2 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Базальтовое волокно» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтилен-полианином (ПЭПА)».
Содержание наполнителя, % масс - 2

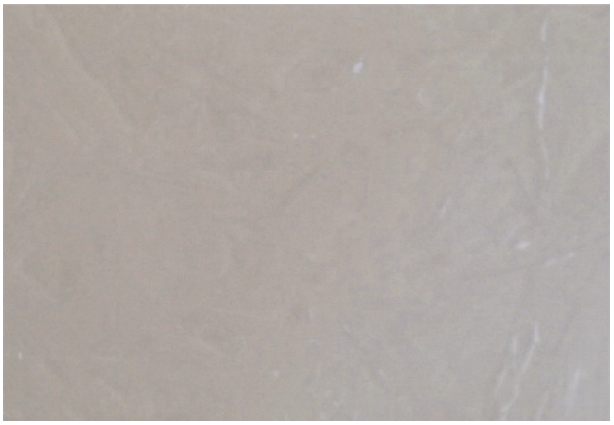

Рисунок 3 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Полипропиленовая фибра» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0».
Содержание наполнителя, % масс - 4

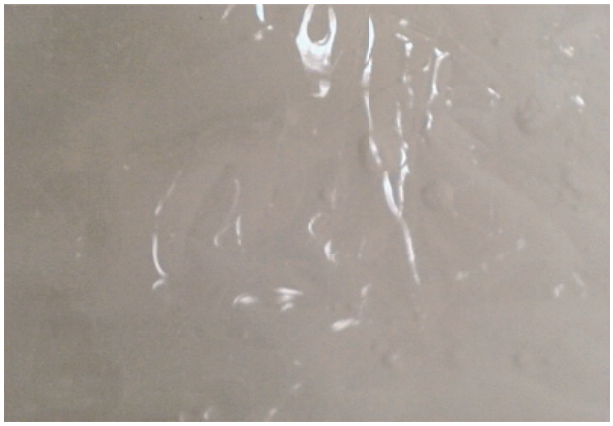

Рисунок 4 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Полипропиленовая фибра» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)».
Содержание наполнителя, % масс - 1

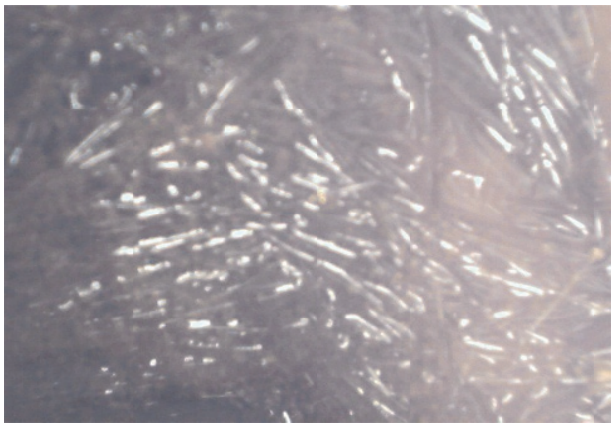

Рисунок 5 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Полипропиленовая фибра» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0».
Содержание наполнителя, % масс - 4



Рисунок 6 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Стекловолокно» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0».
Содержание наполнителя, % масс – 0,5

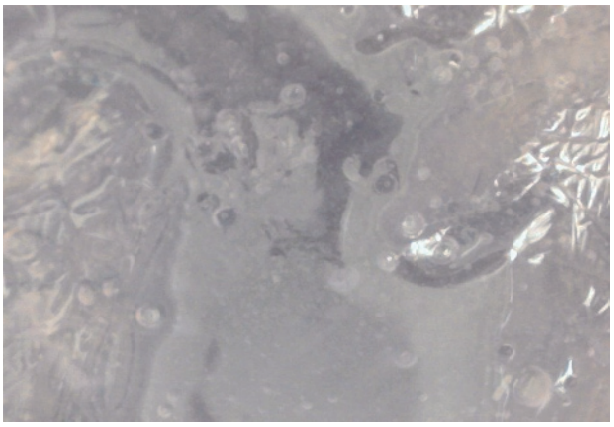

Рисунок 7 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Стекловолокно» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0». Содержание наполнителя, % масс – 3

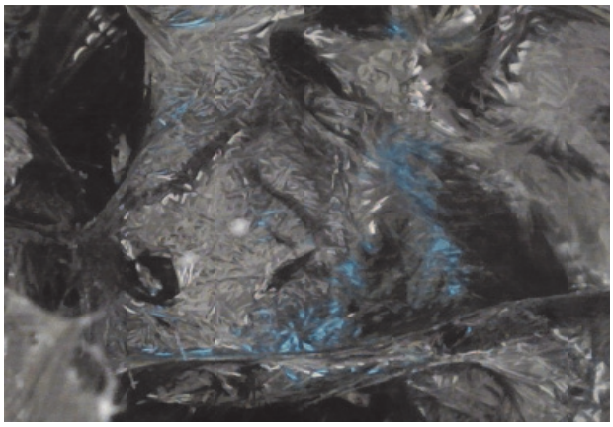

Рисунок 8 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Углеродная фибра» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0». Содержание наполнителя, % масс – 3

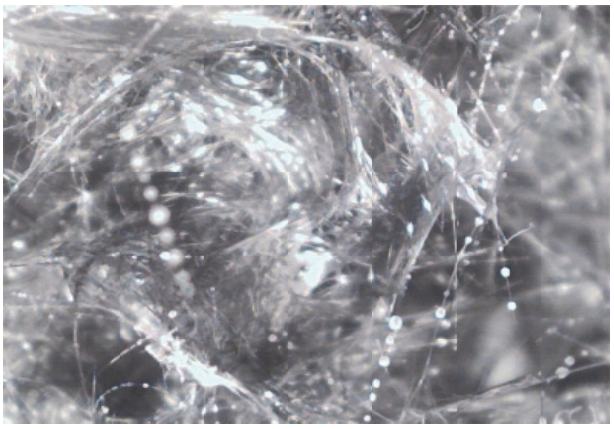

Рисунок 9 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Углеродная фибра» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполианином (ПЭПА)». Содержание наполнителя, % масс – 2

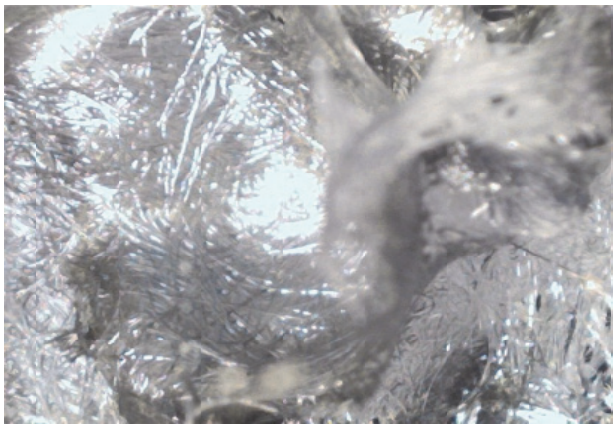

Рисунок 10 - Фото макетного образца полимер-неорганического композита с армирующим наполнителем «Углеродная фибра» и типом полимерной матрицы «Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0». Содержание наполнителя, % масс – 4

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Всего было обследовано 72 экспериментальных макетных образца полимер-неорганических композитов, для каждого из которых было проведено четыре измерения следующих параметров:

- Значение удельной активности радионуклидов ^{226}Ra, Бк/кг;
- Значение удельной активности радионуклидов ^{232}Th, Бк/кг;
- Значение удельной активности радионуклидов ^{40}K, Бк/кг;
- Значение эффективной удельной активности природных радионуклидов $A_{изм}$, Бк/кг.

Результаты измерений удельной активности радионуклидов ^{26}Ra, ^{232}Th и ^{40}K были ниже порогов обнаружения.

Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Полипропиленовая фибра» приведены в табл. 1.

Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Стекловолокно» приведены в табл. 2.

Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной эффективной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Базальтовое волокно» приведены в табл. 3.

Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Углеродная фибра» приведены в табл. 4.

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований характеристик удельной эффективной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Полипропиленовая фибра»

Номер пробы	Тип армирующего наполнителя	Тип полимерной матрицы	Содержание наполнителя, % масс.	Значение эффективной удельной активности природных радионуклидов $А_{изм}$, Бк/кг	Погрешность результатов измерений ±Δ, Бк/кг
РК-01-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	0,5	10,3	2,1
РК-02-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	1,0	10,2	2,0
РК-03-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	2,0	10,3	2,1
РК-04-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	3,0	10,3	2,1
РК-05-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	4,0	10,3	2,1
РК-06-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	5,0	10,4	2,1
РК-07-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиа нином (ПЭПА)	0,5	10,3	2,1
РК-08-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиа нином (ПЭПА)	1,0	10,2	2,0
РК-09-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполианином (ПЭПА)	2,0	10,2	2,0
РК-10-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполианином (ПЭПА)	3,0	10,3	2,1
РК-11-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиа 1инном (ПЭПА)4	4,0	10,2	2,0
РК-12-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполианинном (ПЭПА)	5,0	10,2	2,0
РК-37-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0	0,5	10,3	2,1
РК-38-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0	1,0	10,3	2,1
РК-39-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0	2,0	10,2	2,0
РК-40-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0	3,0	10,3	2,1
РК-41-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0	4,0	10,5	2,1
РК-42-26/4	Полипропиленовая фибра	Эпоксидная дианова смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М0	5,0	10,5	2,1

Таблица 2 - Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Стекловолокно»

РК-13-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиаминном (ПЭПА)	0,5	10,2	2,0
РК-14-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиаминном (ПЭПА)	1,0	10,3	2,1
РК-15-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиаминном (ПЭПА)	2,0	10,2	2,0
РК-16-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиаминном (ПЭПА)	3,0	10,4	2,1
РК-17-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиа 1инном (ПЭПА)	4,0	10,3	2,1
РК-18-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиаминном (ПЭПА)	5,0	10,2	2,0
РК-19-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	0,5	10,3	2,1
РК-20-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	1,0	10,3	2,1
РК-21-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	2,0	10,4	2,1
РК-22-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	3,0	10,3	2,1
РК-23-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	4,0	10,3	2,1
РК-24-26/4	Стекловолокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	5,0	10,4	2,1
РК-25 26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	0,5	10,2	2,0
РК-26 26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	1,0	10,3	2,1
РК-27 26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	2,0	10,2	2,0
РК-28 26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	3,0	10,3	2,1
РК-29 26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	4,0	10,3	2,1
РК-30 26/4	Стекловолокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	5,0	10,2	2,0

Таблица 3 - Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Базальтовое волокно»

РК-31 26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	0,5	10,4	2,1
РК-32 26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	1,0	10,4	2,1
РК-33 26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	2,0	10,2	2,0
РК-34 26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	3,0	10,3	2,1
РК-35 26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	4,0	10,3	2,0
РК-36 26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная система ПЭО-510КЭ=20/0	5,0	10,4	2,1
РК-43-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)	0,5	10,4	2,1
РК-44-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)	1,0	10,4	2,1
РК-45-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)	2,0	10,3	2,1
РК-46-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)	3,0	10,4	2,1
РК-47-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)	4,0	10,4	2,1
РК-48-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая полиэтиленполиамином (ПЭПА)	5,0	10,3	2,1
РК-49-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	0,5	10,1	2,0
РК-50-26	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	1,0	10,1	2,0
РК-51-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	2,0	10,1	2,0
РК-52-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	3,0	10,2	2,0
РК-53-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	4,0	10,1	2,0
РК-54-26/4	Базальтовое волокно	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	5,0	10,2	2,0

Таблица 4 - Результаты экспериментальных исследований характеристик эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующим наполнителем «Углеродная фибра»

РК-55-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	0,5	10,3	2,1
РК-56-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	1,0	10,3	2,1
РК-57-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	2,0	10,3	2,1
РК-58-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	3,0	10,3	2,1
РК-59-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	4,0	10,3	2,1
РК-60-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	5,0	10,4	2,1
РК-61-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная система ПЭО-510К20/0	0,5	10,3	2,1
РК-62-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная система ПЭО-510К20/0	1,0	10,2	2,0
РК-63-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная система ПЭО-510К20/0	2,0	10,1	2,0
РК-64-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная система ПЭО-510К20/0	3,0	10,1	2,0
РК-65-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная система ПЭО-510К20/0	4,0	10,1	2,0
РК-66-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная система ПЭО-510К20/0	5,0	10,2	2,0
РК-67-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	0,5	10,2	2,0
РК-68-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	1,0	10,2	2,0
РК-69-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	2,0	10,1	2,0
РК-70-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	3,0	10,2	2,0
РК-71-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	4,0	10,1	2,0
РК-72-26/4	Углеродная фибра	Эпоксидная диановая смола марки ЭД-20, отверждённая отвердителем ЭТАЛ-45М	5,0	10,2	2,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований макетных образцов полимер-неорганических композитов позволяет сделать следующие выводы.

1. Результаты измерений удельной активности радионуклидов ^{26}Ra, ^{232}Th и ^{40}K оказались ниже порогов обнаружения.

2. В целом значения показателей эффективной удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов с армирующими наполнителями «Стекловолокно» и «Базальтовое волокно» более высокие по сравнению с другими наполнителями.

3. Изменение процентного содержания наполнителей в экспериментальных макетных образцах полимер-неорганических композитов не позволило выявить существенных изменений показателей эффективной удельной активности радионуклидов.

На дальнейших этапах исследования предполагается дальнейшее проведение экспериментальных исследований радиационных и других характеристик полимер-неорганических композитов с учетом полученных результатов.

Можно сделать общее заключение, что анализ и использование результатов проведенных экспериментальных исследований удельной активности радионуклидов полимер-неорганических композитов позволят создавать композиты с улучшенными экологическими, в том числе радиационными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батаев, А.А.* Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. *Борисова, В.А.* Исследование физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов, модифицированных углеродными структурами / В.А. Борисова // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». – 2022. – № 1. – С. 161–173.
3. *Васильев, А.В.* Создание базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27. – № 5, – С. 200-208. – DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-5-200-208.
4. *Васильев, А.В.* Методы и подходы к исследованию экологических характеристик полимерсодержащих композитных материалов / А.В. Васильев // В сборнике материалов Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности-2025», г. Казань, 16-17 апреля 2025 г. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2025. – С. 799-805.
5. *Васильев, А.В.* Методика определения состава и свойств полимерсодержащих композитных материалов строительного назначения на основе активности радионуклидов и её реализация на примере золошлаковых отходов / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, А.С. Чипура // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, – № 3(2). – С. 452-458.
6. *Васильев, А.В.* Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 171-178. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
7. *Васильев, А.В.* Результаты экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска / А.В. Васильев, В.В. Ермаков, Д.Е. Щербаков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 4. – С. 179-184. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.
8. *Мешалкин, В.П.* Методологические основы и компьютерные инструменты системного анализа дефектов конструкционного стекла / В.П. Мешалкин, И.В. Ефимов, Д.Ю. Петров // Неорганическая химия - фундаментальная основа в материаловедении керамических, стеклообразных и композиционных материалов: Матер. науч. конф. – 2016. – С. 137 142.
9. *Михайлин, Ю.А.* Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с.
10. *Сидорова, Г.П.* Радионуклиды в углях и продуктах их сжигания / Г.П. Сидорова, Д.А. Крылов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61, – № 2. – С. 75-78.
11. *Шаповалов, В. М.* Экологические проблемы в получении и применении полимерных композитов в Республике Беларусь / В. М. Шаповалов // Полимерные материалы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 1. – С. 71–81. – http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-1-71-81.
12. *Wozniak A.I., Ivanov V.S., Zhdanovich O.A., Nazarov V. I., Yegorov A.S.* Modern approaches to Polymer Material Protecting from Ionizing Radiation, 2017, Vol. 33, No. 5, pp. 2148-2163.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SPECIFIC ACTIVITY OF RADIONUCLIDES OF POLYMER-INORGANIC COMPOSITE MATERIALS

© 2026 V.P. Meshalkin[1], A.V. Vasilyev[2], V.V. Ermakov[2], T.V. Bykova[2]

[1] Russian Chemical-Technological University Named after D.I. Mendeleev, Moscow, Russia
[2] Samara State Technical University, Samara, Russia

In this paper peculiarities of experimental determining of values of specific activity of radionuclides of polymer-inorganic composite materials have been considered. Method of researches has been described. 72 experimental samples of composites with different characteristics have been developed. Analysis of results of measurements will allow us to conclude:
1. The values of specific activity of radionuclides ^{26}Ra, ^{232}Th and ^{40}K are below the detection thresholds.
2. In general the values of efficient specific activity of radionuclides of polymer-inorganic composite materials with fillers "Fiberglass" and "Basalt fiber" are higher than for the other fillers.
3. Variation of percentage content of fillers in experimental samples is not showing the significant variation of values of efficient specific activity of radionuclides.
The general conclusion is that analysis and application of results of experimental researches will allow us to develop composites with improves ecological characteristics.
Key words: polymer-inorganic composite materials, analysis, radionuclide activity, method, measurements.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-5-236-245
EDN: TDWRWH

REFERENCES

1. *Bataev, A.A.* Kompozicionnye materialy: stroenie, poluchenie, primenenie: Uchebnik / A.A. Bataev, V.A. Bataev. – Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2002. – 384 s.
2. *Borisova, V.A.* Issledovanie fiziko-himicheskih svojstv i ekspluatacionnyh harakteristik polimernyh kompozicionnyh materialov, modificirovannyh uglerodnymi strukturami / V.A. Borisova // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MChS Rossii». – 2022. – № 1. – S. 161–173.
3. *Vasil'ev, A.V.* Sozdanie bazy dannyh rezul›tatov sistematizacii i ranzhirovaniya himicheskih komponentov i ekologicheskih harakteristik / A.V. Vasil›ev // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2025. – T. 27. – № 5, – S. 200-208. – DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-5-200-208.
4. *Vasil'ev, A.V.* Metody i podhody k issledovaniyu ekologicheskih harakteristik polimersoderzhashchih kompozitnyh materialov / A.V. Vasil›ev // V sbornike materialov Vserossijskoj nauchno-obrazovatel'noj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye tekhnologii v oblasti zashchity okruzhayushchej sredy i tekhnosfernoj bezopasnosti-2025», g. Kazan›, 16-17 aprelya 2025 g. – Kazan›: Izd-vo KNITU, 2025. – S. 799-805.
5. *Vasil'ev, A.V.* Metodika opredeleniya sostava i svojstv polimersoderzhashchih kompozitnyh materialov stroitel›nogo naznacheniya na osnove aktivnosti radionuklidov i eyo realizaciya na primere zoloshlakovyh othodov / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, A.S. Chipura // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2025. – T. 27, – № 3(2). – S. 452-458.
6. *Vasil'ev, A.V.* Metodika eksperimental›nyh issledovanij neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost›yu kak ob»ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil'ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 171-178. – DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
7. *Vasil'ev, A.V.* Rezul›taty eksperimental›nyh issledovanij neftesoderzhashchih othodov s povyshennoj radioaktivnost›yu kak ob''ekta ekologicheskogo riska / A.V. Vasil›ev, V.V. Ermakov, D.E. Shcherbakov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2023. – T. 25. – № 4. – S. 179-184. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.
8. *Meshalkin, V.P.* Metodologicheskie osnovy i komp'yuternye instrumenty sistemnogo analiza defektov konstrukcionnogo stekla / V.P. Meshalkin, I.V. Efimov, D.Yu. Petrov // Neorganicheskaya himiya - fundamental'naya osnova v materialovedenii keramicheskih, stekloobraznyh i kompozicionnyh materialov: Mater. nauch. konf. – 2016. – S. 137 142.
9. *Mihajlin, Yu.A.* Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy / Yu.A. Mihajlin. – SPb: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2008 – 822 s.
10. *Sidorova, G.P.* Radionuklidy v uglyah i produktah ih szhiganiya / G.P. Sidorova, D.A. Krylov // Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'. – 2016. – T. 61, – № 2. – S. 75-78.
11. *Shapovalov, V. M.* Ekologicheskie problemy v poluchenii i primenenii polimernyh kompozitov v Respublike Belarus' / V. M. Shapovalov // Polimernye materialy i tekhnologii. – 2023. – T. 9. – № 1. – S. 71–81. – http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-1-71-81.
12. *Wozniak A.I., Ivanov V.S., Zhdanovich O.A., Nazarov V. I., Yegorov A.S.* Modern approaches to Polymer Material Protecting from Ionizing Radiation, 2017, Vol. 33, No. 5, pp. 2148-2163.

Valeriy Meshalkin, Academician of Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the International Institute of Logistics, Resources Saving and Technological Innovation (Scientific-Educational Center). E-mail: vpmesh@mail.ru
Andrey Vasilyev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technosphere Safety and Quality Management, Director of Research and Development Center of Technosphere Safety and New Materials. E-mail: vasilyev.av@samgtu.ru
Vasiliy Ermakov, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Chemical Technology and Industrial Ecology. E-mail: ncpe@mail.ru
Bykova Tatyana Engineer of Scientific-Analytical Center of Industrial Ecology. E-mail: tatyana.berdnikova.98@mail.ru