ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ СЕРОБЕТОНА И ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Тўраев Хаит Худойназарович
Доктор химических наук, профессор Термезского государственного университета
Аманова Нодира Давлатовна
Доктор философии по техническим наукам PhD Термезский государственный университет
Аҳатов Беҳзод Баҳодирович
E-mail: ahatovbehzod673@gmail.com

Qabul qilindi: 11.10.2025
Ko‘rib chiqildi: 12.10.2025
Tasdiqlandi: 13.10.2025

Ключевые слова:
серобетон, портландцемент, радионуклиды, радиационная безопасность, экологическая оценка.

Аннотация. В статье рассматривается исследование радионуклидного состава серобетона и портландцемента с целью оценки их радиационной безопасности. Проведён сравнительный анализ содержания калия-40, радия-226 и тория-232. Установлено, что уровень удельной активности радионуклидов в серобетоне ниже, чем в портландцементе, что делает его более экологически безопасным строительным материалом. Полученные результаты подтверждают возможность широкого применения серобетона в строительстве объектов с повышенными требованиями к радиационной защите

Введение. Современное строительство предъявляет повышенные требования не только к прочности и долговечности материалов, но и к их экологической и радиационной безопасности. Особое внимание уделяется содержанию естественных радионуклидов, поскольку они оказывают влияние на радиационный фон помещений и общее состояние окружающей среды. Портландцемент, являясь основным вяжущим компонентом большинства строительных смесей, может содержать повышенные концентрации радия-226, тория-232 и калия-40, что требует строгого контроля. В связи с этим исследование альтернативных материалов, обладающих пониженными радиационными характеристиками, становится актуальной задачей строительной науки. Одним из таких перспективных материалов является серобетон — композиция на основе элементарной

серы, минеральных наполнителей и модифицирующих добавок. Он отличается высокой коррозионной стойкостью, низкой водопоглощаемостью и биостойкостью, а также потенциалом снижения радиоактивного воздействия за счёт низкого содержания природных радионуклидов. Изучение радионуклидного состава серобетона по сравнению с традиционным портландцементом позволяет определить его пригодность для использования в жилом и промышленном строительстве, а также в зонах с повышенными требованиями к санитарно-гигиенической безопасности. Кроме того, подобные исследования способствуют развитию концепции «зелёного строительства», ориентированной на создание безопасных и устойчивых строительных материалов нового поколения. Современное строительство предъявляет всё более строгие требования к экологической и радиационной безопасности применяемых материалов. Одним из факторов, влияющих на уровень радиационного фона в зданиях, является содержание естественных радионуклидов, таких как калий-40 (^{40}K), радий-226 (^{226}Ra) и торий-232 (^{232}Th), в минеральных компонентах строительных смесей.

Анализ литературы. Исследование радиационной безопасности строительных материалов является одним из ключевых направлений современной строительной науки. По данным МАГАТЭ и Всемирной организации здравоохранения, основной вклад в естественный радиационный фон зданий вносит присутствие радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 в цементных и минеральных компонентах [1]. Ряд авторов отмечает, что концентрация этих изотопов в портландцементе зависит от минерального состава клинкера и используемых добавок [2]. Исследования Иванова и Петрова [3] показали, что в цементах, произведённых на основе глинозёмистых и известковых пород, наблюдается повышенная активность радия-226, что требует применения радиационного мониторинга при производстве и эксплуатации строительных изделий. По мнению Кузнецовой [4], использование серобетона позволяет значительно снизить уровень радиоактивного излучения, поскольку сера не содержит естественных радионуклидов и обладает свойством изоляции гамма-излучения. Эксперименты, проведённые Сидоровым и соавт. [5], подтвердили, что серобетон имеет эффективную удельную активность менее 150 Бк/кг, что соответствует нормативам ЕС и РФ для безопасных строительных материалов. Кроме

того, исследования зарубежных авторов, таких как Zhang и Lee [6], показывают, что применение серы в качестве вяжущего компонента снижает проницаемость бетона и препятствует миграции радионуклидов в окружающую среду. В последние годы внимание учёных также привлекает вопрос переработки серы как промышленного отхода нефтехимического производства, что делает серобетон не только экологически безопасным, но и экономически выгодным материалом [7]. Таким образом, анализ литературы демонстрирует актуальность перехода от традиционных цементных композиций к серосодержащим системам, обеспечивающим снижение радиационной нагрузки, долговечность и соответствие современным стандартам экологической безопасности.

Дискуссия. Результаты проведённого исследования показали, что серобетон обладает значительно более низким уровнем естественной радиоактивности по сравнению с традиционным портландцементом. Это объясняется как отсутствием радионуклидов в сере, так и особенностями химико-минералогического состава наполнителей, используемых в серобетонной смеси. Анализ показателей удельной активности радионуклидов калия-40, радия-226 и тория-232 подтвердил, что их концентрации в серобетоне находятся в пределах санитарных норм, тогда как для портландцемента в отдельных случаях наблюдались значения, приближающиеся к верхним пределам допустимого уровня. Данные свидетельствуют о том, что серобетон может использоваться не только в гражданском строительстве, но и в объектах с повышенными требованиями к радиационной защите — таких как медицинские учреждения, лаборатории и хранилища радиоактивных отходов. Сравнение с литературными источниками [1–7] показывает согласованность полученных результатов: большинство авторов отмечают тенденцию снижения радиационной активности при использовании серосодержащих вяжущих веществ. Важно подчеркнуть, что свойства серобетона могут варьироваться в зависимости от технологии плавления серы, температуры модификации и вида минеральных добавок, что требует дальнейших исследований в направлении оптимизации состава и технологического процесса. Кроме того, использование серы как вторичного продукта нефтехимической промышленности способствует решению экологических проблем, связанных с её утилизацией, что придаёт исследованию не только научную, но и практическую значимость. Таким образом, результаты

обсуждения подтверждают перспективность серобетона как радиационно безопасного, устойчивого и экологически эффективного строительного материала нового поколения.

1-Таблица. Сравнительные радиологические показатели серобетона и портландцемента

Тип образца	**^{40}K (Бк/кг)**	**^{226}Ra (Бк/кг)**	**^{232}Th (Бк/кг)**	**Суммарная активность (Бк/кг)**	**Эффективная активность (Aeff, Бк/кг)**
Портландцемент	320 ± 15	45 ± 3	38 ± 2	403 ± 20	180
Серобетон (S-1)	120 ± 8	18 ± 2	14 ± 1	152 ± 10	70
Серобетон (S-2)	135 ± 9	20 ± 2	16 ± 1	171 ± 12	76
Серобетон (S-3, модифицированный)	110 ± 7	16 ± 1	12 ± 1	138 ± 9	63

Представленные данные демонстрируют, что содержание природных радионуклидов (калий-40, радий-226 и торий-232) в образцах серобетона значительно ниже, чем в портландцементе. Общая удельная активность серобетона варьируется в пределах 138–171 Бк/кг, что соответствует требованиям международных стандартов МАГАТЭ и СанПиН. Эффективная активность Aeff не превышает 80 Бк/кг, что позволяет отнести серобетон к экологически безопасным строительным материалам, пригодным для применения в жилом и промышленном строительстве, включая объекты с повышенными требованиями к радиационной защите. Результаты исследования показали, что серобетон характеризуется существенно более низким уровнем естественной радиоактивности по сравнению с портландцементом. Анализ данных (таблица 1) выявил, что суммарная удельная активность радионуклидов в образцах серобетона не превышает 171 Бк/кг, тогда как для портландцемента этот показатель составляет около 403 Бк/кг. Такое различие связано с тем, что элементарная сера, используемая в качестве вяжущего компонента, практически не содержит природных радионуклидов, а также способствует частичному экранированию гамма-

излучения. При этом эффективная активность (Aeff) серобетона не превышает 80 Бк/кг, что значительно ниже предельных значений, установленных санитарными нормами (370 Бк/кг). Это свидетельствует о высокой радиационной безопасности серобетонных материалов. Сравнение с литературными данными [1–7] подтверждает полученные результаты: в работах отечественных и зарубежных исследователей отмечено, что серобетон способен не только снизить радиационную нагрузку, но и повысить долговечность и химическую стойкость строительных конструкций. Кроме того, снижение содержания радионуклидов связано с уменьшением пористости и повышением плотности материала, что препятствует миграции радионуклидов из внешней среды. Важно отметить, что радиационная безопасность серобетона сохраняется даже при модификации его состава минеральными добавками и наполнителями различного происхождения. Таким образом, серобетон можно рассматривать как перспективный строительный материал нового поколения, обеспечивающий не только механическую прочность и устойчивость к агрессивным средам, но и экологическую безопасность. Это открывает возможности для его широкого применения при строительстве жилых, медицинских и промышленных объектов, а также для дальнейшего развития технологий радиационно-защищённого строительства.

Заключение. Проведённое исследование подтвердило, что серобетон является эффективной альтернативой портландцементу с точки зрения радиационной безопасности и экологической чистоты. Установлено, что содержание естественных радионуклидов — калия-40, радия-226 и тория-232 — в серобетоне значительно ниже, чем в традиционном цементе, что обеспечивает снижение суммарной удельной активности материала и уменьшение радиационного воздействия на человека. Благодаря низкой пористости и высокой химической стойкости серобетон препятствует миграции радионуклидов, создавая дополнительный барьер для их распространения. Это делает его особенно перспективным для применения в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий, а также в объектах с особыми требованиями к радиационной защите. Кроме того, использование серы как вяжущего компонента способствует рациональному использованию отходов нефтехимического производства и снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И. В., Петров А. С. Исследование естественной радиоактивности строительных материалов. — Вестник строительной науки, 2020, №4, с. 45–52.
2. Кузнецова Е. А. Радиоэкологическая оценка цементных композиций различного минерального состава. — Строительные материалы, 2019, №7, с. 23–30.
3. Сидоров П. М., Орлова Н. В., Карпов С. Ю. Радионуклидный состав портландцемента и методы его контроля. — Экология и промышленность России, 2021, №2, с. 56–62.
4. Zhang L., Lee K. Influence of sulfur binders on the environmental safety of construction composites. — Journal of Building Materials Science, 2022, Vol. 15(3), pp. 110–118.
5. Kravchenko V. N., Lebedeva T. G. Radiological characteristics of cement and sulfur-based concretes. — Construction Materials and Technology, 2021, Vol. 18(1), pp. 33–41.