

Э.Б. Хоботова,
д.х.н., проф., заведующая кафедрой химии
М.И. Игнатенко,
к.т.н., доцент кафедры химии,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ГРАНИТНЫХ ЩЕБНЕЙ

Естественные радионуклиды (ЕРН), содержащиеся в строительных материалах, создают поле γ -излучения в помещении. В качестве заполнителей бетонов чаще всего используются фракции гранитных щебней. Для снижения дозы облучения людей от строительных материалов до минимально возможного уровня необходимо исключить использование месторождений гранитных щебней с наиболее высоким уровнем эффективной удельной активности и регулировать содержание заполнителей в составе многокомпонентных бетонов. В связи с этим необходима предварительная целевая радиационно-гигиеническая оценка и минералогическое исследование заполнителей бетонов. В настоящее время остаются открытыми вопросы варьирования радиационных характеристик нерудного сырья по гранулометрическим фракциям, корреляции радиоактивных свойств с его минералогическим составом. Цель работы – оценка радиоактивных свойств образцов щебней гранитных карьеров Украины и их связь с минеральным составом.

Радиационные характеристики гранитных щебней. Исследован 21 образец фракций щебней из 15 карьеров 8 областей Украины. Измерения активности ЕРН образцов щебней выполнены с помощью гамма-спектрометрического анализа, проведенного на сцинтилляционном гамма-спектрометре СЕГ-001 «АКП-С». Определены удельные активности естественных радионуклидов (C_i) и $C_{\text{эфф}}$ гранулометрических фракций гранитных щебней:

$$C_{\text{эфф}} = C_{\text{Ra}} + 1,31C_{\text{Th}} + 0,085C_{\text{K}}, \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}. \quad (1)$$

В изученных образцах гранитных шлаков содержание ^{238}U определено по содержанию ^{226}Ra на основании закона радиоактивного равновесия. Разбросу активностей ^{226}Ra 6,35-104 Бк/кг для образцов щебней отвечает содержание ^{226}Ra $(0,176-2,88)\cdot 10^{-9}$ г/кг или $(1,76\cdot 10^{-11}-2,88\cdot 10^{-10})\%$ ^{226}Ra и ^{238}U – $(5,15-84,2)\cdot 10^{-4}$ г/кг или $(5,15\cdot 10^{-5}-8,42\cdot 10^{-4})\%$ ^{238}U . Тория-232 в исследованных гранитах содержится от $3,03\cdot 10^{-4}\%$ до $3,94\cdot 10^{-3}\%$. Калия-40 – $(1,47-5,11)\cdot 10^{-4}\%$. Для исследованных гранитов содержание ^{226}Ra и ^{40}K занижено, ^{238}U и ^{232}Th одного порядка с содержанием в изверженных породах; Th/U=4,68-5,88.

По полученным экспериментальным данным рассчитаны величины индексов: эквивалентная активность радия (индекс радиационной опасности) Ra_{eq} (Бк/кг), индекс внешней опасности I_{ex} , гамма-индекс I_{γ} , альфа-индексу I_{α} , с помощью которых проводится оценка радиационной опасности строительных материалов по международным нормам.

Индекс радиационной опасности используется для сравнения эффективных активностей строительных материалов, содержащих различное количество радия, тория и калия. Ra_{eq} рассчитывается по уравнению:

$$Ra_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1,43 C_{\text{Th}} + 0,077C_{\text{K}}, \quad (2)$$

исходя из предположения, что 1 Бк/кг ^{226}Ra , 0,7 Бк/кг ^{232}Th или 13 Бк/кг ^{40}K дают такую же мощность дозы γ -излучения, что и Ra_{eq} . Величина Ra_{eq} не должна превышать 370 Бк/кг, что соответствует величине дозы внешнего облучения 1,5 мЗв/год. Наибольшее значение Ra_{eq} определено для образца щебня Янцевского карьера, Запорожская обл. (фракция 20-40 мм) (374,9 Бк/кг), превышающее норматив.

Индекс внешней опасности I_{ex} рассчитывается по уравнению:

$$I_{\text{ex}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{370} + \frac{C_{\text{Th}}}{259} + \frac{C_{\text{K}}}{4810}. \quad (3)$$

Этот критерий учитывает внешнее облучение за счет γ -лучей и соответствует максимальной эквивалентной активности радия в стройматериалах 370 Бк/кг. Индекс I_{ex} используется для оценки уровня γ -радиационной опасности строительных материалов. Величина I_{ex} должна быть не более единицы. Расчетные значения I_{ex} для большинства исследованных образцов находятся в диапазоне от 0,17 до 0,94, за исключением образца щебня Янцевского карьера, Запорожская обл. (фракция 20-40 мм), для которого величина I_{ex} превышает 1. При величине $I_{\text{ex}} \leq 1$ образцы щебней являются радиационно-безопасными и могут использоваться в строительстве.

Еще одним критерием, характеризующим γ -излучение строительного материала, является гамма-индекс I_{γ} :

$$I_{\gamma} = \frac{C_{\text{Ra}}}{300} + \frac{C_{\text{Th}}}{200} + \frac{C_{\text{K}}}{3000}. \quad (4)$$

Гамма-индекс используют при скрининге для идентификации материалов, которые могли бы представлять интерес в строительстве. Значения I_{γ} исследованных щебней лежат в интервале 0,24-1,37. Для материалов, используемых в больших объемах, например, для бетона $I_{\gamma} \leq 1$ соответствует годовой эффективной дозе меньшей или равной 1 мЗв. $I_{\gamma} \leq 0,5$ соответствует к годовой эффективной дозе меньшей или равной 0,3 мЗв. В первую категорию попадают образцы щебней: карьера «Технобуд» Житомирской обл. (фракция 20-40 мм), Тельмановского карьера Донецкой обл. (фракция 10-20 мм), Новополтавского карьера Запорожской обл. (фракция 5-10 мм), Хлыстуновского карьера Черкасской обл. (фракция 10-15 мм), карьера «Будмайстер» Днепропетровской обл. (фракция 0,8-3 мм), Карьера «Карань» Луганской обл. (фракция 3-10 мм). Ко второй категории относятся образцы щебней: ООО «Нерудстройматериалы» и ЗАО «Горняк» Полтавской обл., (фракции 20-40 мм), Коломоевского карьера, Днепропетровской обл. (фракция 5-20 мм), карьера «Будмайстер» Днепропетровской обл. (фракция 0,65-2,5 мм), Карьера «Карань» Луганской обл. (фракция 5-20 мм), спецкарьера «Гайворонский», Кировоградской обл. (фракции 5-8мм, 8-11 мм, 11-16 мм), ККУ «Кварц»,

Полтавской обл. (фракции 5-10 мм и 10-20 мм). Исключение из данных категорий представляют образцы щебней Янцевского карьера Запорожской обл. (фракция 20-40 мм) ($I_\gamma=1,37$), Днепропетровского карьера Днепропетровской обл. (фракция 5-20 мм) ($I_\gamma=1,09$), Орликовского карьера Днепропетровской обл. (фракция 5-10 мм) ($I_\gamma=1,12$), Мокрянского карьера-3 Запорожской обл. (фракция 5-10 мм) ($I_\gamma=1,27$). При их использовании в больших количествах в тяжелых бетонах возможно превышение годовой эффективной дозой 1 мЗв.

Количественная оценка эксхалляции изотопов радона из строительных материалов может проводиться с помощью альфа-индекса I_α :

$$I_\alpha = \frac{C_{\text{Ra}}}{200}. \quad (5)$$

Данное соотношение выведено, исходя из того, что при активности ^{226}Ra в строительном материале выше 200 Бк/кг, концентрация радона, поступающего в воздух помещения, может быть равной 200 Бк/м³. $I_\alpha \leq 1$ соответствует активности ^{226}Ra , не превышающей 200 Бк/кг. Разброс значений I_α для исследованных щебней (0,03-0,52) свидетельствует об отсутствии опасности ингаляционного поступления радона из щебней внутрь помещения.

Таким образом, согласно величине $C_{\text{эфф.}}$, рекомендуемой НРБ Украины в качестве главного критерия радиационной опасности строительных материалов, исследованные щебни могут использоваться в строительстве без ограничений. Имеется некоторая настороженность по поводу использования образца щебня фракции 20-40 мм щебня Янцевского карьера Запорожской обл. Данный образец имеет завышенные индексы радиационной, внешней опасности и гамма-индекс, то есть характеризуется повышенным гамма-излучением. Использование данной фракции щебня в качестве заполнителя может привести к возрастанию средней $C_{\text{эфф.}}$ готового многокомпонентного бетона, к увеличению $D_{\text{пом.}}$ и дозы, получаемой за счет γ -излучения ЕРН строительных материалов ($\Delta D_{\text{ЕРН}}$). Средние величины для стран СНГ $D_{\text{пом.}} = 350-411$ мкЗв/год и $\Delta D_{\text{ЕРН}} = 100$ мкЗв/год. Вредные воздействия природных ионизирующих излучений представляют наибольшую опасность, так как с течением времени могут создать суммарную дозу облучения для человека более значительную, чем от искусственных радионуклидов.

Связь радиоактивности щебней с минеральным составом. Радиоактивность горных пород определяется их составом, условиями залегания, фациальными особенностями, генезисом и другими факторами. Радиоактивные минералы, в которых радионуклиды составляют не основной компонент, могут содержать естественные радионуклиды в виде изоморфной примеси, механической примеси (минеральные смеси) и в сорбированном состоянии. Сорбционная способность минералов по отношению к радионуклидам определяется наличием слоистой или каркасной кристаллической структуры. Слюды, цеолиты могут проявлять сорбционную активность по отношению к радионуклидам. Минеральный состав определен методом рентгенофазового анализа для образцов щебней: Янцевского карьера Запорожской обл. (фракция 20-40 мм); Коломоевского карьера Днепропетровской обл. (фракция 5-20 мм); Днепропетровского карьера Днепропетровской обл. (фракция 5-20 мм); Хлыстуновского карьера Черкасской обл. (фракция 10-15 мм). Обнаружены следующие минералы: кварц SiO_2 , альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, микроклин KAlSi_3O_8 , мусковит $\text{K}_{0,94}\text{Na}_{0,06}\text{Al}_{1,83}\text{Fe}_{0,17}\text{Mg}_{0,03}(\text{Al}_{0,91}\text{Si}_{3,09}\text{O}_{10})(\text{OH})_{1,65}\text{O}_{0,12}\text{F}_{0,23}$, флогопит $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})\text{F}_2$, анортит $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8$. То, что большая часть исследованных щебней имеет величину $C_{\text{эфф.}}$ меньшую, чем средняя по Украине (223-322 Бк/кг), объясняется наличием в гранитах осадочных пород. Так кварц относится к осадочным породам низкой радиоактивности (до 3,65 Бк/кг); полевые шпаты – к осадочным породам средней активности (3,65-36,5 Бк/кг) или повышенной активности (36,5-365 Бк/кг) наряду со слюдами. Прослеживается четкая корреляция между $C_{\text{эфф.}}$ щебней и суммарным содержанием полевошпатных минералов: альбита и микроклина. Активность ^{40}K варьирует с содержанием калийных минералов (микроклина и мусковита). Так образец гранитного щебня Коломоевского карьера, в котором отсутствует микроклин, имеет наименьшую активность ^{40}K .