

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 614.876

Байко Д.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В РАМКАХ МОДЕЛИ BEIR VI

Научный руководитель: к.м.н., доцент Аветисов А.Р.

Белорусский государственный медицинский университет, г.Минск

Аннотация. В работе представлена методика оценки эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона с использованием расчетных косвенных индикаторов. Продемонстрирована научная и практическая значимость предлагаемого подхода, который реализован в соответствии с рекомендациями модели BEIR VI (Biological Effects of Ionizing Radiation VI), являющейся международным стандартом для оценки радиационных рисков. В качестве практического применения методики выполнены расчеты комплексного радонового показателя для территории г. Минска. Верификация результатов проведена путем сравнительного анализа с эмпирическими данными прямых измерений концентрации радона-222 в воздухе помещений. Установленная высокая степень корреляции подтвердила надежность прогнозной модели. Полученные результаты свидетельствуют о возможности эффективного использования методики для прогнозирования радиационного фона и разработки превентивных мер обеспечения радиационной безопасности в условиях городской среды. Комбинация расчетных методов с выборочным инструментальным контролем демонстрирует высокую эффективность для организации системы мониторинга и управления радиационными рисками на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: комплексный радоновый показатель, радон, Минск, дочерние продукты распада, BEIR VI.

Введение. Радон (Rn-222) представляет собой природный радиоактивный газ, не обладающий органолептическими свойствами, что затрудняет его обнаружение без специализированного оборудования. Его источником служит естественный распад урана-238 в горных породах и строительных материалах, широко применяемых в современном строительстве. Согласно современным эпидемиологическим исследованиям, включая мета-анализы Всемирной организации здравоохранения, ингаляционное воздействие радона признано вторым по значимости этиологическим фактором рака легких после курения табака [1]. Национальный исследовательский совет США в отчете BEIR VI количественно подтвердил линейную зависимость «доза-эффект» между концентрацией радона и заболеваемостью, отметив отсутствие безопасного порога воздействия. Это подчеркивает необходимость мониторинга даже относительно низких концентраций газа.

Традиционные методы измерения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) требуют применения дорогостоящего радиометрического оборудования и квалифицированного персонала, что ограничивает их использование для масштабных скрининговых исследований. В качестве альтернативы предложен комплексный радоновый показатель (КРП), разработанный А.Л. Чеховским, который интегрирует геологические, конструкционные и вентиляционные параметры. Данный метод позволяет осуществлять предварительную оценку радоноопасности территорий и зданий с последующей верификацией выборочными инструментальными измерениями, формируя экономически эффективную двухуровневую систему мониторинга.

Цель исследования. Оценить онкологические риски, зависящие от концентрации радона в г. Минске, основываясь на значении комплексного радонового показателя.

Материал и методы. Основные расчеты и исследование выполнены на основе картографических материалов из диссертации А.Л. Чеховского «Оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона (на примере восточных областей Беларуси)» [2] и данных Минского городского центра гигиены и эпидемиологии. Используются измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 в 183 помещениях Минской области различного назначения. Применена модель расчета избыточного относительного риска BEIR VI, адаптированная к конкретным числовым показателям. Посредством преобразования исходной формулы комитета мы получили рабочую модель для расчета избыточного относительного риска, Excess Relative Risk, $ERR=A*0,003534-A*0,00004427*\tau$, где $\tau=25$ (средний предполагаемый возраст проживающего в помещении) [3].

Расчет комплексного радонового показателя проводился по формуле (1):

$$КРП = M \cdot U \cdot F \cdot W \quad (1)$$

где КРП – значение комплексного радонового показателя, отн. ед.;

M – средневзвешенное значение относительной мощности дозы дочернобыльского фона, отн. ед.;

U – средневзвешенное значение относительной концентрации урана в почве, отн. ед.;

F – средневзвешенное значение относительного коэффициента фильтрации почвы, отн. ед.;

W – средневзвешенное значение относительного уровня залегания водоносного горизонта, отн. ед.

Результаты исследования. Результаты применения критерия Харке-Бера для проверки нормальности распределения данных зафиксировали исключительно низкое значение на уровне $6,54 \times 10^{-183}$, что указывает на статистически значимое отклонение эмпирического распределения от нормального. Распределение ключевых показателей избыточного относительного риска (ERR), ассоциированного с воздействием радона-222, характеризуется следующими значениями: средний риск составляет 0,0503 (5,03%), медианное значение – 0,0459 (4,59%), минимальный риск – 0,0353 (3,53%), максимальный риск – 0,152 (15,2%). Наблюдаемая значительная вариабельность показателей является отражением пространственной гетерогенности радиационного фона в условиях городской застройки.

Расчетная величина комплексного радонового показателя (КРП) для исследуемой территории достигла значения 0,0004 отн. ед. После конвертации данной величины в физические единицы измерения был получен уровень эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона, соответствующий 21,24 Бк/м³. Указанная концентрация была положена в основу последующей оценки радиационных рисков для здоровья населения. В результате вычислений по установленной методологии величина относительного избыточного риска (ERR, Excess Relative Risk) для полученной экспозиции достигла значения 0,052. В процентном выражении данный риск эквивалентен 5,2%, что указывает на значительный вклад радоновой нагрузки в общую канцерогенную нагрузку на исследуемой территории.

Важно отметить, что рассчитанный диапазон рисков полностью соответствует прогнозным значениям, которые устанавливаются авторитетной моделью BEIR VI для территорий с высокой плотностью застройки и характерными геологическими условиями. Это свидетельствует о применимости международных моделей риска в местных условиях.

Для верификации достоверности расчетных данных была проведена процедура сопоставления результатов, полученных с использованием КРП, с данными прямого эмпирического дозиметрического мониторинга, выполненного в рамках независимого исследования. Сравнительный анализ продемонстрировал высокую степень конгруэнтности между прогнозными и фактически измеренными значениями, что служит веским подтверждением адекватности, точности и надежности применяемой расчетной модели, а

также обоснованности использования комплексного радонового показателя для целей оценки радиационных рисков.

Заключение. Применение комплексного радонового показателя позволяет эффективно решать задачу идентификации радоноопасных территорий в тех ситуациях, когда традиционные методы прямого измерения объемной активности радона оказываются неприменимыми или существенно ограничены. Для оценки радиационных рисков на территории Республики Беларусь была применена модель избыточного относительного риска (ERR), разработанная в соответствии с методикой BEIR VI. Особое внимание в исследовании уделено жилым помещениям, поскольку они представляют наиболее репрезентативные объекты для оценки воздействия радона на население. Полученные в ходе исследования значения коэффициента ERR демонстрируют статистически значимое непараметрическое распределение. Диапазон варьирования данных значений составляет от 0,035 до 0,151, что указывает на отсутствие нормального распределения и подчеркивает существенную пространственную неоднородность. Значительный разброс величин ERR является убедительным свидетельством высокой вариабельности радиационного риска, обусловленного влиянием радона. Установленная вариабельность может быть связана с локальными геологическими особенностями, типом застройки, различиями в вентиляционных практиках и другими факторами, что подтверждает необходимость детального зонирования территории и разработки дифференцированных мер радиационной защиты для различных микрорайонов региона.

Список литературы:

1. Всемирная организация Здравоохранения. Канцерогенные факторы окружающей среды / Всемирная организация Здравоохранения // Отчеты ВОЗ. – 2024. – № 12. – С. 45–67.
2. National Research Council. Health Effects of Exposure to Radon // National Academies. – URL: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/5499/health-effects-of-exposure-to-radon-beir-vi> (date of access: 17.09.2025).