

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСЧЕТА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ Sr-90 НА ОСНОВЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

Целью настоящего исследования явилось изучение применимости радиоэкологической модели расчета доз облучения населения, в которой в качестве исходных данных были взяты данные площадной активности по Sr-90 в отдаленные промежутки времени. С учетом этого, произведены расчеты суммарных годовых эффективных доз за счет внешнего и внутреннего облучения населения, а также рисков развития онкологических заболеваний на 2015 и 2025 годы. Расчеты произведены на основе измерений поверхностной активности территории Гомельской области по состоянию на 1.01.1994 и 1.01.2015 гг. Расчет данных по 991 населённому пункту Гомельской области позволил подобрать необходимые параметры моделирования доз и оценки рисков последствий облучения населения. Показано, что моделирование позволяет достаточно точно прогнозировать дозы и риски облучения населения. Выявлена высокая степень совпадения результатов расчета доз и рисков онкологических заболеваний при использовании данных о загрязнении территории в различные временные периоды.

Ключевые слова: онкологический риск, внешнее и внутреннее облучение, программное моделирование, радиоактивный стронций, радиоэкологическая модель.

A. V. Sosnovsky, A. R. Avetisov, A. N. Stojarov

EVALUATING THE POSSIBILITY OF SR-90 POPULATION RADIATION DOSES CALCULATION BASED ON THE RADIOECOLOGICAL MODEL (THE CASE OF GOMEL REGION)

The objective of this research is to study the applicability of the radioecological public radiation doses calculation model, in which raw data is represented by Sr-90 areal activity data from different time periods. From this perspective, total annual effective doses from external and internal irradiation as well as cancer risks are calculated for the years 2015–2025. The calculations are based on the surface activity measurements in Gomel region as of 01.01.1994 and 01.01.2015. The calculation of data for 991 settlements of Gomel region made it possible to select the necessary parameters for simulation of doses and risks of the effects resulting from radiation exposure of the population. It is shown that simulation enables to predict public radiation doses and risks with sufficient accuracy. The doses and risks simulation based on the area's contamination data in different periods reveals a high consistency of results.

Keywords: cancer risk, external and internal irradiation, computer simulation, Strontium-90, radioecological model.

Вопросы безопасности использования человечеством мирного атома остаются актуальными по сей день. И с каждым годом их значимость только возрастает. События последних десятилетий показывают, что одной из актуальных тем радиационной безопасности является расчет и оценка доз облучения, а также на их основе рисков для здоровья населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях. В этой связи изучение новых возможностей в области оперативного измерения и прогноза дозовых нагрузок на население представляет значительный интерес.

Целью настоящего исследования является оценка возможностей расчета и прогнозирования доз облучения и рисков развития онкологических заболеваний за счет Sr-90 с использованием радиоэкологической модели на примере Гомельской области.

Данные поверхностной активности 991 населённого пункта Гомельской области Республики Беларусь по Sr-90 по состоянию на 01.01.2015 года и на 01.01.1994 года были предоставлены ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Расчет годовых эффективных доз за счет внешнего и внутреннего облучения (мЗв/год) и рисков развития онкологических заболеваний осуществлялись на основании экологической модели с учетом перехода радионуклидов в системах почва–растения, растения–животные, животные–человек с помощью программы RESRAD Onsite 7.2 (США). Дозы внутреннего облучения рассчитывались за счет потребления основных продуктов питания (мясная, овощная и молочная продукция). Для расчетов использовались следующие параметры: площадь сельского населенного пункта 0,15 км², поселка городского типа – 2 км²; города – 15 км²; плотность почвы – 1,35 г/см³; масса потребляемых овощей – 163 кг/год; масса потребляемых молочных продуктов – 260 кг/год; масса потребляемого мяса – 91 кг/год; глубина залегания нуклидов – 0,2 м и 1,5 м. Картирование данных проводилось с помощью программы Surfer 13 производства компании Golden Software (США). Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного пакета Statsoft Statistica v.10.

С помощью программы ResRad был произведен расчёт доз внешнего и внутреннего облучения по Sr-90 для жителей 991 населённого пункта Гомельской области при указанных выше параметрах программы и глубине залегания нуклида, аналогичное средним глубинам залегания Cs-137, равное 0,2 м. Расчет доз на 2015 год был сделан как по данным загрязнения территории по состоянию на 01.01.2015, так и по данным загрязнения территории по состоянию на 01.01.1994 год. Этот подход был применен с целью верификации прогнозных данных, которые рассчитываются с помощью упомянутой выше программы на основании данных за различные промежутки времени.

При этом было замечено, что расчётные значения доз облучения могли отличаться в несколько раз. Это означало, что было необходимо найти те параметры моделирования, которые могли адекватно отражать реальный процесс формирования доз облучения. В итоге был найден параметр, связанный с глубиной залегания Sr-90. Из литературных источников известно, что Sr-90 может обнаруживаться в почвах на глубине более 1 метра [2]. С учетом этого было произведен подбор параметра глубины залегания Sr-90 таким образом, чтобы результаты вычислений не зависели существенным образом от времени определения поверхностной активности. Расчеты были произведены для глубин залегания 1 м, 1,5 м и 2 м.

Как видно из рисунка 1, при использовании значения глубины залегания 1,5 метра величины доз облучения, рассчитанные по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 годы практически совпадают. Остальные параметры программы, включая пищевой рацион и другие переменные, значительно меньше влияли на конечный результат. На основании вышеизложенного было решено для дальнейших расчётов параметр глубины залегания Sr-90 принять равным 1,5 м.

На следующем этапе была проведена статистическая обработка результатов вычислений годовых эффективных доз облучения (ГЭД). Тест Колмогорова-Смирнова в обоих случаях по-

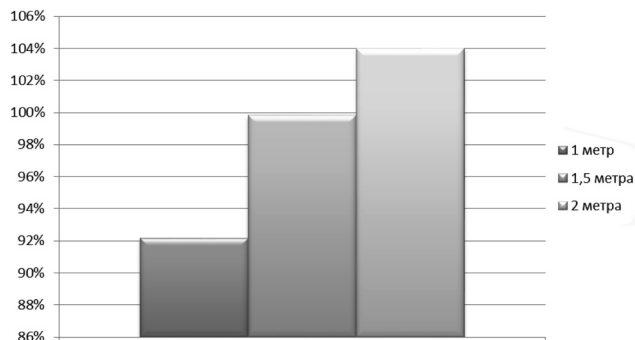


Рисунок 1. Величина совпадения дозы облучения, рассчитанной по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 годы в зависимости от используемого параметра глубины залегания Sr-90

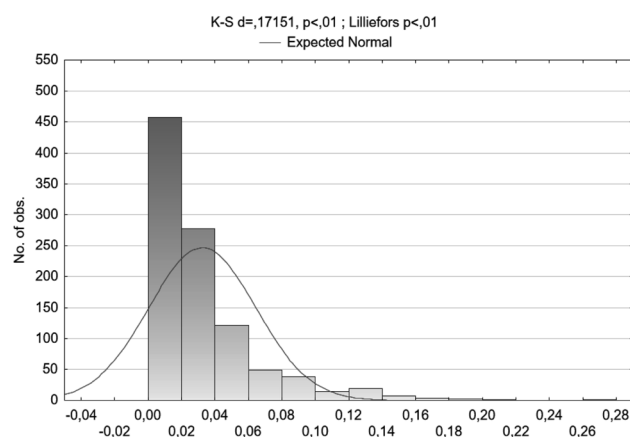


Рисунок 2. Тест Колмогорова-Смирнова на нормальность распределения значений ГЭД облучения населения Гомельской области по Sr-90 (мЗв/год), рассчитанной по данным загрязнения территории по состоянию на 01.01.2015

казал, что распределение не являлось нормальным ($d = 0,17$; $p < 0,01$). Подобный результат объясним неравномерным характером загрязнения территории и значительным преобладанием населенных пунктов с низким уровнем загрязнения территории. Это хорошо заметно на графике, отражающем величины годовой эффективной дозы облучения населения (рис. 2).

Далее был применен парный t-критерий Стьюдента, который показал отсутствие статистически значимых отличий между значениями годовых эффективных доз облучения на 2015 год, рассчитанной по данным поверхностной активности по состоянию на 1.01.1994 и 1.01.2015 годы ($t = -0,33$; $p = 0,735$). Возможность использования данного критерия на больших выборках с ненормальным распределением определяется так называемой центральной предельной теоремой (3), которая допускает использование параметрических тестов при условии наличия больших выборок со сходными дисперсиями.

Для подтверждения высокой согласованности результатов расчетов дозовых нагрузок по данным измерений поверхностной активности Sr-90 за 1994 и 2015 годы был проведен анализ по методу Бленда-Альтмана. Данный анализ широко применяется для сравнительной оценки двух независимых методов измерений какого-либо параметра, например, для сравнения какого-либо нового метода лабораторного исследования с «золотым стандартом». Результаты приведены в таблице и на рисунке 2. Как видно из графика, имеется высокая согласован-

Таблица. Анализ Бленда-Альтмана оценки согласованности расчетов ГЭД в мЗв/год на 2015 год по данным загрязнения территории по Sr-90 за 1994 и 2015 годы

| N | Среднее смещение | Стандартное отклонение смещения | Стандартная ошибка смещения |
|-----|------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 991 | -0,0005 | 0,00813 | 0,000258 |

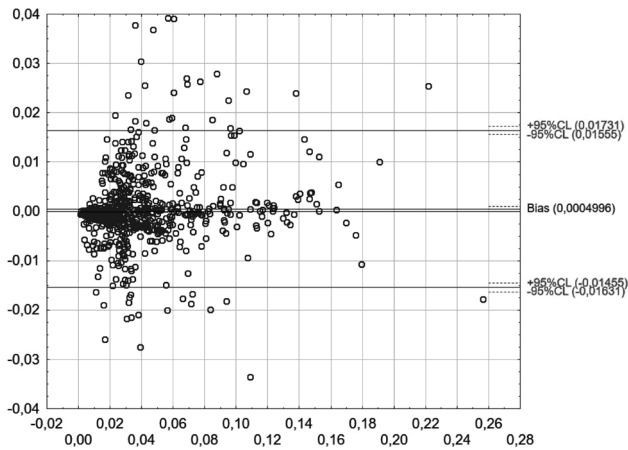


Рисунок 3. Диаграмма Бленда-Альтмана согласованности расчетов ГЭД на 2015 год по данным загрязнения территории по Sr-90 за 1994 и 2015 годы. По оси абсцисс отложены средние значения попарных значений, по оси ординат – разность попарных значений между результатами расчетов ГЭД по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 годы.

Как видно из диаграммы и таблицы, смещение значений средних величин ГЭД невелико и составляет лишь 0,0005 мЗв/год, что говорит об отсутствии систематического расхождения в результатах дозиметрии, проведенной по данным загрязнения территории в разные периоды, но по одной математической модели. Схожая ситуация наблюдается с величинами стандартного отклонения и стандартной ошибки.

Для еще более наглядного отражения полученных результатов нами было проведено картирование полученных результатов и их дальнейшее визуальное сопоставление с целью оценки различий в методиках оценки доз облучения на население. Результаты картирования полученных данных демонстрируют почти полное совпадение результатов вычисления ГЭД (мЗв/год) на 2015 и 2025 годы по данным загрязнения территории по состоянию на 1.01.1994 и 1.01.2015 годы (рисунки 4, 6). Аналогичная картина наблюдается для расчетов рисков онкологической заболеваемости (рисунки 5, 7).

На следующем этапе проведен сравнительный анализ компонентов доз облучения за счет Sr-90. Моделирование этого па-

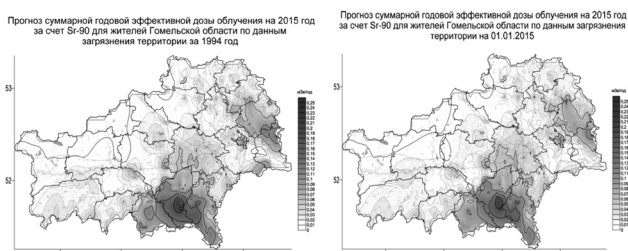


Рисунок 4. Прогноз суммарной ГЭД облучения на 2015 год за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 гг.

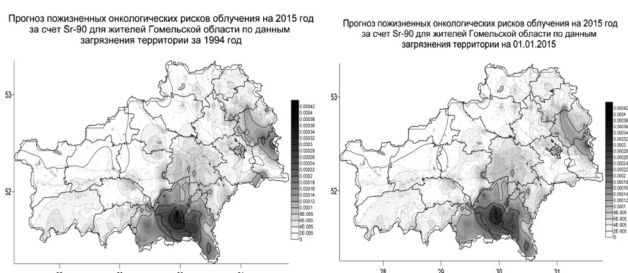


Рисунок 5. Прогноз пожизненных онкологических рисков облучения на 2015 год за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 гг.

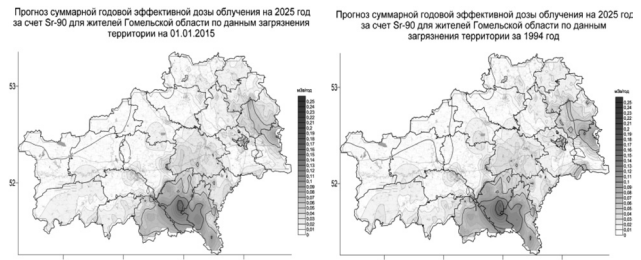


Рисунок 6. Прогноз суммарной ГЭД облучения на 2025 год за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 гг.

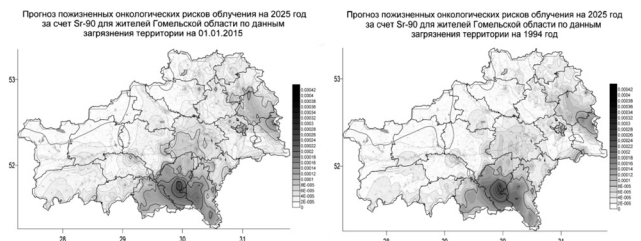


Рисунок 7. Прогноз пожизненных онкологических рисков облучения на 2025 год за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории за 1994 и 2015 гг.

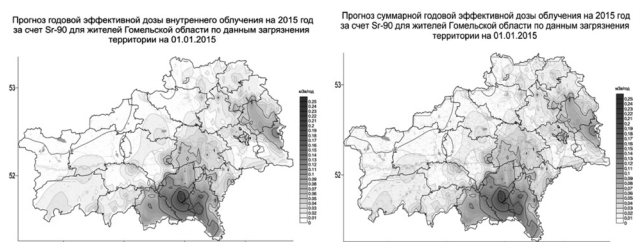


Рисунок 8. Расчет суммарной ГЭД и дозы внутреннего облучения за счёт Sr-90 для жителей Гомельской области по данным загрязнения территории за 2015 г.

раметра с помощью программы Resrad показало, что суммарная доза облучения более, чем на 99 % определяется внутренним облучением. В структуре внутреннего облучения ингаляционным компонентом можно пренебречь, а в облучении за счет продуктов питания преобладает растительная компонента (58 %), вклад мясной продукции составляет 34 %, молочных продуктов – 8 %. Учитывая незначительный вклад внешнего облучения результаты картирования суммарной ГЭД и дозы внутреннего облучения визуально неотличимы (рис. 8).

Таким образом, компьютерное моделирование доз облучения и рисков развития онкологических заболеваний населения по Sr-90 с помощью Resrad Onsite при использовании данных загрязнения территории на достаточно удаленном друг от друга периоде времени (1994 и 2015 годы) дает схожие результаты. Использование рекомендованных параметров настройки программы позволяет делать достаточно уверенные отдаленные прогнозы.

Литература

- Ильина, З. М. Таможенный союз: безопасность в сфере продовольствия (методические и практические аспекты) / З. М. Ильина, С. Б. Бубен, Г. А. Баран // Аграрная экономика. – 2013. – № 10. – С. 2–18.
- Лукин, С. В. Результаты радиоэкологического мониторинга агроэкосистем Белгородской области / С. В. Лукин, Р. М. Хижняк // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. – 2012. – № 21(140). – С. 154–159.
- Гланц, С. Медико-биологическая статистика; пер. с англ. – М., Практика, 1998. – 459 с.

Поступила 28.06.2017 г.