

Существующие дозы облучения населения Украины

Приведены оценки эффективных доз облучения населения Украины, обусловленные техногенно-усиленными источниками природного происхождения (радон в воздухе жилых помещений, радиоактивность строительных материалов и питьевой воды), а также оценки доз облучения населения от неуправляемых источников. Установлена средне-взвешенная суммарная доза облучения населения Украины и часть, приходящаяся на регулируемый компоненту этой величины.

Т. О. Павленко, І. П. Лось

Існуючі дози опромінення населення України

Наведено оцінки ефективних доз опромінення населення України від техногенно-підсилених джерел природного походження (радон у повітрі приміщень, радіоактивність будівельних матеріалів та питної води), а також оцінки доз опромінення, обумовлені некерованою компонентою сумарної дози. Визначено середньозважену сумарну дозу опромінення населення України та частину, що припадає на керовану компоненту цієї величини.

Оценка средневзвешенных эффективных доз (ЭД) для различных ситуаций облучения служит одним из базовых критериев при проведении процедур оправданности и оптимизации радиологической защиты населения. Для техногенно-усиленных источников природного происхождения (управляемая компонента суммарной дозы) эти величины во многом зависят от структуры жилищного фонда и демографической ситуации в стране, которые за последние 15 лет претерпели большие изменения. Миграция населения в поисках работы, низкая рождаемость и высокая смертность привели к существенному изменению соотношения городского и сельского населения, их возрастной структуры и т. д. — тех параметров, которые в значительной мере влияют на оценку величины ЭД. Так, в 1991 г. сельское население составляло 55 % общей численности жителей Украины, сегодня — 31 % [1], [2]. На уровне отдельных регионов эти изменения еще разительнее. Например, в Донецкой обл. осталось только 24 % населения, проживавшего в сельской местности в 1992 г., в Луганской — 27 %, Киевской — 50 %. В западных областях эта величина варьирует от 15 до 20 %.

Научные исследования, проведенные в течение последних 10 лет, позволили получить новую информацию об уровнях облучения населения природными источниками [3]. Дополнительно было обследовано более 15 тыс. сельских домов на содержание радона в воздухе с месячной экспозицией. Значительно увеличился массив данных о содержании природных радионуклидов в питьевой воде артезианских скважин, строительных материалах, продуктах питания [4], [5], выполнены оценки ЭД населения для ситуации пролонгированного облучения и т. д.

В данной статье приводятся основные результаты последних исследований в контексте суммарных эффективных доз облучения населения различных регионов Украины.

Методи досліджень

Эффективные дозы облучения населения рассчитаны по математическим моделям, предложенным Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) [6], и дозовым коэффициентам Национального комитета по действию атомной радиации Организации объединенных наций (НКДАР ООН) [7].

Для расчетов радоновой компоненты суммарной дозы использовались официальные статистические данные о демографии и собственные базы данных уровней радона в домах различных областей Украины (измерения 1989–2007 гг.). Расчеты проводились с рядом допущений. Во-первых, было принято, что сельское население проживает в одноэтажных зданиях; во-вторых, что среднее количество этажей для многоэтажных зданий составляет 9 и потому девятая часть городского населения проживает на первом этаже. Значения ЭД взвешивались сначала на уровне населенных пунктов, затем районов и, наконец, соответствующих областей с учетом структуры жилищного фонда.

Расчеты вклада в суммарную дозу облучения от составляющей, обусловленной природными радионуклидами, которые поступают в организм человека с питьевой водой, выполнены с учетом гидрогеологических особенностей каждого конкретного региона. Например, данные о содержании природных радионуклидов в пробах питьевой воды из артезианских скважин в Ровенской обл. и соответствующих

им ЭД были присвоены Волынской и Черниговской областям, которые располагаются вне Украинского кристаллического щита (УКЩ).

Для оценки вклада строительных материалов было принято допущение, что при строительстве домов используются только те материалы и сырье, которые производятся в данном регионе либо завозятся из ближайшей области (наиболее экономически выгодный вариант). Например, песок и щебень, добытые в Днепропетровской обл., поставляются в восточные регионы и на юг страны.

Значение суммарной среднегодовой ЭД облучения населения отдельных регионов Украины, обусловленное техногенно-усиленными источниками природного происхождения ($\bar{E}_{\text{ТУИП}}$), определялось с учетом всех ее составляющих, мЗв.год⁻¹:

$$\bar{E}_{\text{ТУИП}} = \bar{E}_{\text{Рн}} + \bar{E}_{\text{Вн}} + \bar{E}_{\text{ПВ}},$$

где $\bar{E}_{\text{Рн}}$ — среднегодовая ЭД облучения населения отдельных регионов за счет радона в воздухе жилых помещений; $\bar{E}_{\text{Вн}}$ — среднегодовая ЭД внешнего гамма-излучения населения отдельных регионов, обусловленная радиоактивностью строительных материалов и сырья; $\bar{E}_{\text{ПВ}}$ — среднегодовая ЭД облучения населения отдельных регионов, обусловленная поступлением природных радионуклидов с питьевой водой артезианских скважин.

Результаты исследований

Радон в воздухе жилых зданий. С начала исследований уровней радона-222 в воздухе жилых зданий (1989 г.) было обследовано более 28 тыс. домов различного типа, из них порядка полутора тысяч квартир, расположенных на первых этажах многоэтажных зданий, более тысячи квартир, расположенных выше первого этажа, остальные — одноэтажные сельские здания различных архитектурно-планировочных решений.

На первом этапе исследований было определено, что критическим по уровням радона типом зданий являются одноэтажные сельские дома, поэтому в дальнейшем в основном обследовался именно этот тип.

Основные закономерности формирования уровней радона в воздухе на территории Украины, а также другие методические аспекты проведения измерений радона подробно приведены в работах [8], [9], [10].

На рис. 1 показано частотное распределение ЭД облучения населения Украины от радона в воздухе жилых помещений. Анализ частотного распределения, которое носит логнормальный характер, установил, что среднегеометрическое значение ЭД от радона составляет 2,4 мЗв.год⁻¹, стандартное отклонение — 2,9 мЗв.год⁻¹. Установлено также, что для 5 % (около 400 тысяч человек) населения страны ЭД облучения превышают 10 мЗв.год⁻¹.

Для городского населения, проживающего в многоэтажных зданиях, средневзвешенные ЭД на региональном уровне практически не отличаются и составляют 1,3–1,5 мЗв.год⁻¹ для первых этажей, порядка 1 мЗв.год⁻¹ — для квартир, расположенных выше первого этажа. Для сельского населения диапазон средневзвешенных ЭД значителен: от 1,2 до 8,2 мЗв.год⁻¹ (рис. 2) при среднегеометрическом значении 3,9 мЗв.год⁻¹.

С точки зрения вариабельности ЭД облучения населения сельских регионов наиболее показательна Киевская обл.

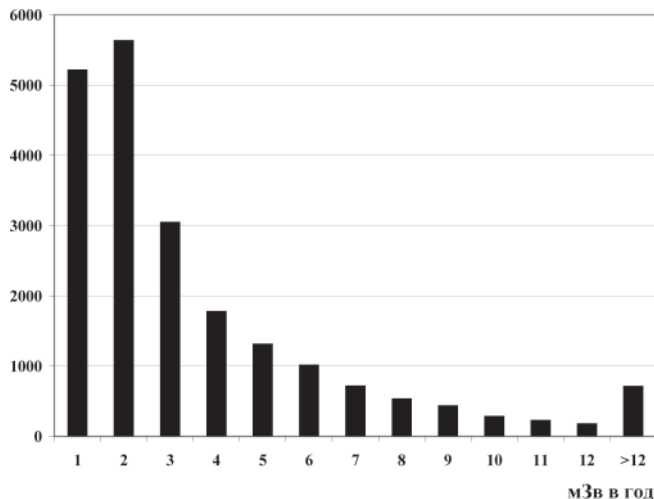


Рис. 1. Частотное распределение ЭД облучения населения Украины от радона в воздухе зданий

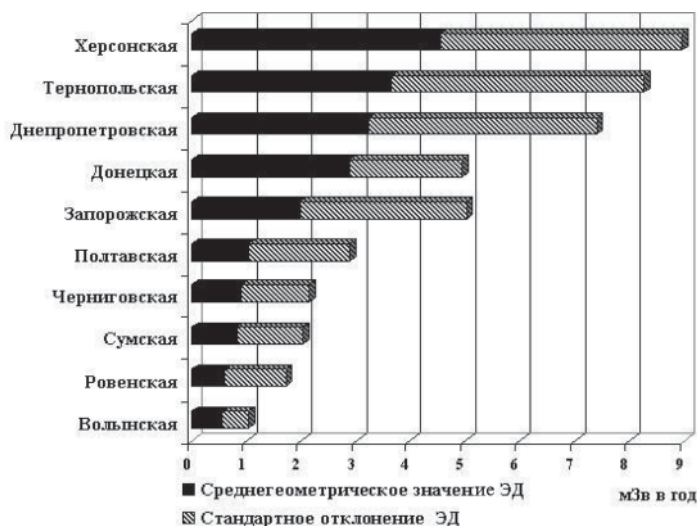


Рис. 2. Диапазон существующих средневзвешенных эффективных доз облучения населения некоторых областей Украины от радона в воздухе зданий

(рис. 3), где обследовано более 9 тыс. домов. Средневзвешенные по районам области ЭД лежат в диапазоне от 1,3 до 8,6 мЗв.год⁻¹. Анализ результатов исследования показал, что максимальные значения зафиксированы в южных районах, которые располагаются на УКЩ в местах новых разломов с повышенной трещиноватостью. Для этих районов также характерна застройка 1960–1970 гг. Возраст большинства жителей этого региона пенсионный, что тоже накладывает существенный отпечаток на их режим поведения, а следовательно, и на режим вентилирования помещений. Средневзвешенная по районам величина ЭД от радона в воздухе для населения Киевской обл. оценивается в 3,3 мЗв.год⁻¹. Минимальные значения присущи северным регионам области, которые располагаются вне щита в низкой части Полесья.

Таким образом, по сравнению с более ранними оценками (3,8 мЗв.год⁻¹) [11] значение средневзвешенной ЭД облучения от радона уменьшилось на 36 %, что, в первую очередь, связано с изменением демографической ситуации в стране и значительной миграцией населения — существенным увеличением доли городского населения.

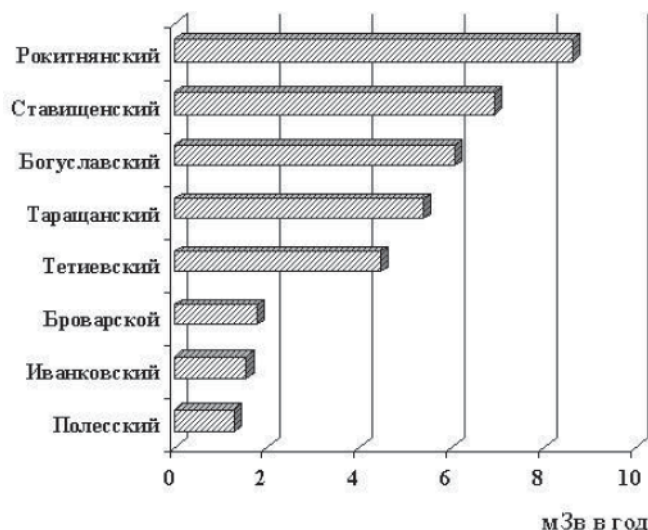


Рис. 3. Средневзвешенные ЭД облучения от радона в воздухе зданий населения некоторых районов Киевской обл.

Радиоактивность строительных материалов. Для оценки ЭД облучения населения, обусловленных излучением естественных радионуклидов, обследовано 22 карьера щебня, 8 карьеров песка и 3 карьера глины. Всего измерено порядка 1500 проб минерального строительного сырья. Проанализирована информация об архитектурно-планировочных решениях сельских зданий каждого региона, используемого в процессе оценки доз облучения. В основном необходимые сведения получены из собственных баз данных, которые заполнялись по сертификатам измерений радона в воздухе. Указанные сертификаты содержат информацию о материале, из которого построено здание, типе покрытий стен, подсыпке под фундамент, типе вентиляции и т. д. Например, сельский жилой фонд Киевской обл. на 60 % состоит из кирпичных зданий, 33 % — деревянных, 2 % — саманных и около 1 % домов построены из шлакоблоков и ракушечника; сельский жилой фонд Ровенской обл. на 65 % состоит из деревянных домов, 29 % — кирпичных, 8 % — шлакоблочных. Соответствующие оценки проведены и для других регионов.

Таблица 1. Эффективные дозы облучения населения Украины, обусловленные радиоактивностью строительных материалов, мЗв·год⁻¹

| Область | Население | |
|-------------------|-----------|----------|
| | городское | сельское |
| Винницкая | 0,31 | 0,10 |
| Волынская | 0,29 | 0,09 |
| Днепропетровская | 0,29 | 0,30 |
| Житомирская | 0,27 | 0,30 |
| Запорожская | 0,27 | 0,11 |
| Ивано-Франковская | 0,24 | 0,21 |
| Киевская | 0,33 | 0,20 |
| Одесская | 0,31 | 0,12 |
| Полтавская | 0,31 | 0,09 |
| Ровенская | 0,22 | 0,07 |
| Харьковская | 0,28 | 0,17 |
| Херсонская | 0,28 | 0,09 |
| Черкасская | 0,31 | 0,21 |

Оценки ЭД облучения городского населения рассчитаны для панельных и кирпичных домов, а затем полученные значения взвешены в соответствии со структурой жилищного фонда. В табл. 1 представлены основные результаты оценок ЭД облучения населения Украины, обусловленные радиоактивностью строительных материалов.

Анализ результатов исследований установил, что средневзвешенная ЭД облучения городского населения составляет 0,3 мЗв·год⁻¹, а средневзвешенная ЭД облучения сельского населения на уровне отдельных регионов отличается от этой величины в 2–3 раза.

Средневзвешенная в соответствии со структурой жилищного фонда ЭД облучения составила 0,23 мЗв·год⁻¹. Если сравнивать эту величину с более ранними оценками (0,26 мЗв·год⁻¹ [11]), то ее уменьшение, прежде всего, связано с системой ограничений, которая была введена в конце 80-х годов прошлого столетия (норматив на содержание естественных радионуклидов в строительных материалах). Возможно, эта величина уменьшилась бы значительно больше, если бы обновление жилищного фонда сохранилось в объемах 1990-х годов.

Естественные радионуклиды в питьевой воде. По результатам измерений более чем 1500 проб питьевой воды из артезианских скважин [5], [12], [13], сделаны оценки внутренних ЭД облучения населения страны, обусловленные этим источником. Установлено, что для населения, которое проживает на территории УКЩ и потребляет воду из артезианских скважин, средневзвешенные ЭД от радия-226 составляют 0,08, от урана — 0,09, радона-222 — 0,08 мЗв·год⁻¹. Соответствующие величины, средневзвешенные по всей территории Украины, оценены для радия-226 в 0,03 мЗв·год⁻¹, урана — 0,02, радона-222 — 0,07. Суммарная ЭД облучения от естественных радионуклидов, которые содержатся в питьевой воде артезианских скважин, — 0,12 мЗв·год⁻¹. Если учитывать, что эту воду употребляет около 10 % населения страны, вклад данной компоненты в суммарную дозу сегодня составляет порядка 0,1 мЗв·год⁻¹. Однако индивидуальные дозы облучения могут превышать 5 мЗв·год⁻¹.

Все перечисленные источники являются *управляемыми* и ограничиваются в соответствии с требованиями четвертой группы радиационно-гигиенических регламентов «Норм радиационной безопасности Украины» (НРБУ-97) [14]. Средневзвешенная величина этой компоненты для населения страны составляет 2,8 мЗв·год⁻¹; на уровне отдельных регионов вариативность управляемой компоненты суммарной дозы облучения, обусловленной техногенно-усиленными источниками природного происхождения, может быть двух—четырёхкратной. На рис. 4 представлены соответствующие среднегеометрические значения этой компоненты на региональном уровне. Вариативность ЭД представлена величинами стандартного отклонения, которые демонстрируют диапазон возможных ЭД облучения населения каждого конкретного региона.

Неуправляемые источники облучения населения Украины. К неуправляемым источникам относятся космическое излучение, космогенные радионуклиды, естественная радиоактивность грунтов и продуктов питания. Облучение этими источниками почти не меняется во времени и не поддается управлению.

Для большинства жителей Украины среднегодовая ЭД от космического излучения составляет 227–232 мкЗв·год⁻¹ и зависит от высоты территории проживания над уровнем моря. Если учитывать нейтронную составляющую,



Рис. 4. Суммарные ЭД облучения населения Украины, обусловленные техногенно-усиленными источниками природного происхождения

ее средневзвешенная величина может быть оценена в $0,3 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$.

Вторым по величине вклада в суммарную дозу источником является внутреннее бета-облучение, которое формируется за счет перорального поступления калия-40 с продуктами питания. Основные исследования содержания этого радионуклида в продуктах питания были проведены в 1990-е годы [15]. Среднегодовая ЭД облучения населения от этого источника оценена в $0,2 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. В работе [15] приведены также оценки терригенной составляющей средневзвешенной ЭД облучения населения Украины, которая обусловлена природным гамма-фоном и составляет $0,15 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$.

В последние годы проведены оценки ЭД облучения населения Украины от урана-238 и тория-232 в продуктах питания. Для этого изучено содержание данных радионуклидов в 268 пробах суточных рационов жителей различных регионов страны [16]. Оценки соответствующих ЭД облучения приведены в [17]. Если проанализировать результаты этих оценок, то диапазон ЭД облучения от урана-238 составляет два порядка. Минимальные значения ЭД получает население Ровенщины — $0,08 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, максимальные — $3,43 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ — зафиксированы в Хмельницкой обл. В среднем по Украине ЭД облучения от урана в продуктах питания равна $0,71 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$.

Диапазон ЭД облучения от тория-232 имеет меньший тренд: минимальные значения — $0,11 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ (Сумская обл.), максимальные — $0,65$ (Одесская обл.). Средневзвешенное значение ЭД от этого источника — $0,25 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$.

Таким образом, средневзвешенная ЭД облучения, обусловленная пероральным поступлением урана-238 и тория-232, составляет около $0,1 \text{ мкЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Если сравнить эту величину с ЭД от калия-40 ($0,18 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$), то вкладом этого источника можно пренебречь.

Аварийные источники облучения населения Украины в контексте пролонгированного облучения. Детальная оценка существующих доз облучения населения, которое проживает на территориях, пострадавших от Чернобыльской аварии, приведена в [18], [19]. В данной статье мы коснемся

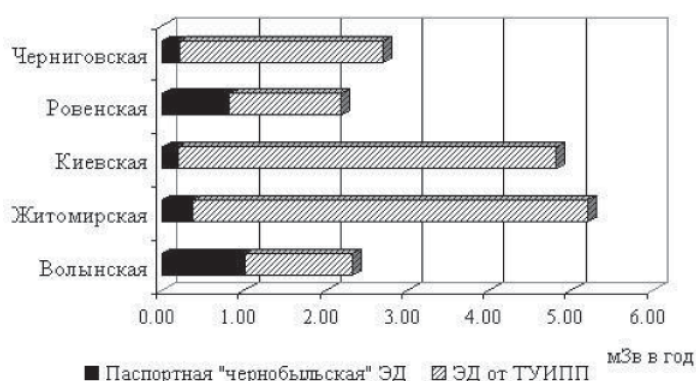


Рис. 5. Средневзвешенные ЭД облучения населения, которое проживает на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС

только тех аспектов этой проблемы, которые связаны со сравнительным анализом вклада аварийных источников в суммарную дозу облучения (рис. 5).

Анализ результатов исследований показал, что максимальные эффективные дозы в контексте пролонгированного облучения сегодня получают некоторые жители Житомирской обл. — около $5 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ и Киевской обл. — $4,6 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Минимальные значения ЭД зафиксированы в Волинской обл. — порядка $2 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Но если рассматривать процентный вклад аварийной компоненты в суммарную дозу, то ситуация несколько иная. Для большинства загрязненных областей «аварийные» дозы составляют 3–5 % величины пролонгированной компоненты. Исключением является Ровенская обл., для которой вклад аварийной компоненты оценивается в 36 % при средней суммарной ЭД $2 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. В первую очередь это связано с благополучной ситуацией относительно облучения техногенно-усиленными источниками природного происхождения и существенными «аварийными» дозами внутреннего облучения (в основном за счет цезия-137 в продуктах питания).

Оценки структуры и величины вклада отдельных источников в суммарную дозу облучения являются обязательной составляющей процедур оправданности вмешательства и оптимизации контрмер, причем дозовый критерий может быть вторичным для некоторых сценариев облучения. Практика показала, что на поздней, восстановительной стадии аварии на принятие решения о вмешательстве больше влияют не «дозовые», а социальные и политические аспекты проблемы реабилитации пострадавших территорий. Тем не менее, анализ существующих доз облучения свидетельствует о том, что на всех загрязненных территориях сегодня превалируют техногенно-усиленные источники природного происхождения и эта компонента также должна учитываться при выборе защитных мероприятий (например, как косвенная контрмера по уменьшению существующих доз облучения).

Выводы

1. Средневзвешенная суммарная ЭД облучения населения Украины, обусловленная природными источниками, составляет $3,5 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Вклад управляемой компоненты в суммарную дозу оценивается в $2,8 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$, причем существенная доля этой дозы формируется за счет радона-222 в воздухе зданий — $2,4 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$ (72 %).

2. Изменения, которые произошли в демографической ситуации и структуре жилищного фонда, привели к существенному изменению средневзвешенной ЭД облучения населения Украины: де-факто она уменьшилась почти в два раза. Соответствующие оценки для сельского населения претерпели значительно меньшие изменения. Для техногенно-усиленных источников природного происхождения средневзвешенная ЭД облучения составила $3,9 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$, а ЭД от всех природных источников — $4,6 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$.

3. Установлена значительная вариабельность ЭД облучения на региональном уровне. Отличается также структура и относительная величина вклада отдельных источников в суммарную ЭД облучения.

Литература

1. Населення України: 1992 рік // Демографічний щорічник. — К.: Техніка, 1993. — 238 с.
2. Демографічна ситуація в Україні, № 174 // www.ukrstat.gov.ua.
3. Павленко Т. О. Рівні радону в повітрі будинків України // Довкілля та здоров'я. — 2007. — № 2. — С. 22–25.
4. Павленко Т. О., Аксьонов М. В., Фризюк М. А. Будівельні матеріали як джерело доз опромінення населення України // Вестник гигиены и эпидемиологии. — 2007. — Т. 11, № 1. — С. 94–96.
5. Бузинний М. Г. Природна радіоактивність питної води свердловин на території України // Гігієнічна наука та практика на рубежі століть: Мат. 14 з'їзду гігієністів України. — Т. II. — Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2004. — С. 308–310.
6. ICRP Publication 65. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. — Vienna: Pergamon, 1994. — 78 p. (Annals of the ICRP Vol. 23 No. 2).
7. Effects of Radiation on the Environment: Report to the General Assembly with Scientific Annex / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR 2000). — New York: UN, 2000. — 842 p.
8. Pavlenko T. A., Los I. P. Indoor ^{222}Rn levels and irradiation doses on the territory of Ukraine // Radiation Measurements. — 1995. — V. 25, N 1–4. — P. 595–600.
9. Pavlenko T. O., Los I. P., Aksenov N. V. Exposure Doses due to Indoor ^{222}Rn in Ukraine and Basic Directions for Their Decrease // Radiation Measurements. — 1997. — V. 28, N 1–6. — P. 733–738.
10. Павленко Т. Контроль радона в воздухе жилых помещений // СЕС: профілактична медицина. — 2007. — № 5. — С. 28–31.
11. Дози опромінення населення України джерелами природної радіоактивності / Лось І. П., Павленко Т. А., Бузинний М. Г. та ін. // Радіаційна безпека в Україні: Бюлетень НКРЗУ. — 1994. — № 1. — С. 26–29.
12. Zelensky A. V., Buzynny M. G., Los I. P. Measurement of Radium-226, radon-222 and Uranium-238,234 in Underground Water of the Ukraine with Ultra Low-Level Liquid Scintillation Counter // Proc. of Int. Conf. on Advances in LSC, Radiocarbon. — 1993. — P. 405–411.
13. Костенецький М. И., Севальнев А. И. Радиоактивность питьевой воды подземных источников и дозы облучения населения: Мат. III Междунар. водного форума АКВА Украина-2005. — К., 2005. — С. 229–232.
14. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): Державні гігієнічні нормативи. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. — 135 с.
15. Лось И. П. Гигиеническая оценка дозообразующих источников ионизирующих излучений природного и техногенного происхождения и доз облучения населения Украины. Дис. ... доктора биол. наук.: 14.00.07. Защищена 1993. Утверждена 1993. — К., 1993. — С. 402.
16. Shiraiishi K. Dietary intakes of trace elements and health effects in Ukraine: Report of Research Project, grant-in-aid for Scientific Research, Japan Society for the Promotion of Science / National Institute of Radiological Sciences. Chiba, Japan. — Chiba, 2005. — P. 66, 134.
17. Аксьонов Н. В., Павленко Т. А., Фризюк М. А. Дозы облучения населения Украины, обусловленные поступлением урана и тория с продуктами питания // Гіг. насел. місць. — 2008. — № 51. — С. 302–305.
18. Лось І. П., Павленко Т. О. Порівняльна оцінка доз опромінення населення джерелами «аварійного» та неаварійного походження // Журнал академії мед. наук України. — 2006. — Т. 12, № 1. — С. 168–173.
19. Павленко Т. О. Оцінка існуючих доз опромінення населення, що мешкає на територіях, забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС // Довкілля та здоров'я. — 2006. — № 1 (36). — С. 23–25.

Надійшла до редакції 22.01.2009.