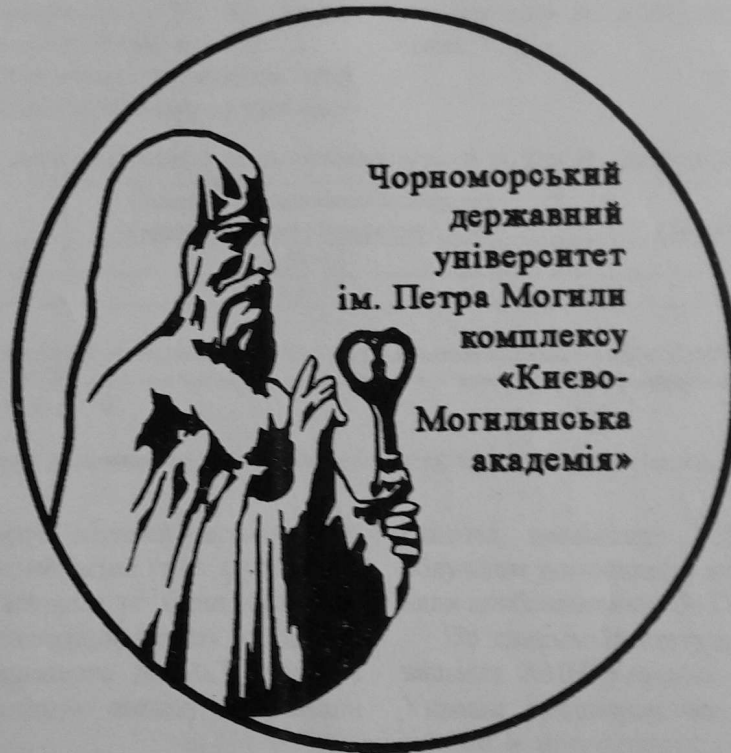


# Наукові праці

Видається з грудня 2001 року

Науково-методичний журнал



Серія

**«ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.  
РАДІОБІОЛОГІЯ»**

Випуск 249, 2015

Том 261

# РОЛЬ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОБЛЕМЕ ЛУЧЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

*Лучевые повреждения, представляет собой значительную медицинскую проблему, в связи с отсутствием эффективных методов лечения, связанных с недостатком знаний патогенеза. Резко повышает актуальность проблемы – распространенность причины возникновения лучевых повреждений – ионизирующего излучения воздействующего на человека. С целью выявления роли некоторых обуславливающих факторов, проведен анализ масштабов их влияния и показано, что они не только имеют глобальный уровень, но и со временем увеличиваются.*

**Ключевые слова:** лучевые повреждения; радиационные аварии; радиохимические технологии; радиобиологические технологии; радиационный неразрушающий контроль.

Актуальность проблемы лучевых повреждений обусловлена, прежде всего, широтой медицинского применения ионизирующего излучения, в основном при лечении онкологических больных, и фактом, что у большинства, лучевая терапия вызывает нежелательные последствия в виде ранних и поздних лучевых повреждений (1).

Вместе с тем, определение актуальности проблемы немислимо без выяснения ее масштабов, определяемой распространенностью влияния ионизирующего излучения (ИИ) на жителей Земли.

В мире источники радиации применяются в различных отраслях практической деятельности и в перспективе использование их будет возрастать, что в большой мере увеличивает вероятность развития повреждений у значительного контингента людей.

В предыдущей части исследования нами проанализированы возможные причины лучевых повреждений, которые могут быть вызваны действием естественного и техногенно усиленного радиационного фона Земли (2).

С целью выявления масштабов проблемы, проведен анализ некоторых ситуаций, при которых возможно немедицинское воздействие ионизирующих излучений в пределах, вызывающих лучевые повреждения.

**Объект исследования:** определение вероятных радиационных опасностей при авариях на атомных производствах и применении источников ионизирующего излучения в промышленности, сельском хозяйстве и других разделах практической деятельности, не связанных с медицинским облучением.

Аварии на атомных электростанциях, один из самых серьезных факторов, который может стать причиной масштабных лучевых поражений у миллионов людей по всему миру.

В процессе работы реактора АЭС суммарная активность делящихся материалов возрастает в миллионы раз. Так, при полной загрузке реактора ВВЭР-440 (более 30 т урана) суммарная активность топлива, с обогащением 3 % по  $^{235}\text{U}$ , составляет  $6 \times 10^{11}$  Бк (16 Ки). Через год эксплуатации радиоактивность продуктов, образовавшихся в процессе деления ядер, составит  $4 \cdot 10^{19}$  Бк ( $10^9$  Ки). При производстве 1 ГВт/год электроэнергии в реакторе АЭС образуется  $10^{19}$  Бк (300 млн Ки) продуктов деления.

По этой причине, аварии на АЭС представляют собой самую большую радиационную опасность из всех возможных на предприятиях ядерного топливного цикла.

Несмотря на пристальное внимание к безопасности и все меры, применяемые в этой связи, сложное оборудование и технологические процессы атомных электростанций, агрессивные процессы, происходящие в реакторной зоне, неучтенные или неизвестные факторы, факторы непреодолимой силы и другие причины создают большой риск радиационных аварий (3, 4).

Любая по масштабу радиационная авария от промышленной – последствия которой не распространяются за пределы территории производственных помещений и промплощадки объекта, а аварийного облучения испытывает лишь персонал, до трансграничной – когда зона аварии распространяется за пределы государственных границ страны, в которой она произошла, является фактором, обуславливающим вероятность развития лучевых повреждений (5).

За все время использования атомной энергетики в мире официально зафиксировано около 150 аварийных случаев выбросов радионуклидов в биосферу, но только 11 значительных аварий, из которых 4 связаны с работой АЭС (6).

Вместе с тем, последствия масштабных радиационных аварий, 5–7 уровня по международной шкале ядерных событий (INES), в части фактора радиационного повреждения – колоссальны (7).

Наибольшей радиационной аварией в истории гражданской атомной энергетики считается авария на Чернобыльской АЭС 1986 года.

По официальным данным, двое работников умерли непосредственно после аварии; высокие дозы радиации, полученные 134 сотрудниками станции и членами аварийных бригад, вызвали острую лучевую болезнь (ОЛБ), оказавшуюся смертельной для 28 из них.

Зарегистрированные дозы, участников ликвидации аварии в период между 1986 и 1990 годами, в основном за счет внешнего облучения, составляли от менее 10 мЗв до более 1000 мЗв. Около 85 % зарегистрированных доз находились в диапазоне 20–500 мЗв. Средняя эффективная доза оценивается сейчас примерно в 120 мЗв.

Коллективная эффективная доза у 530 тыс. ликвидаторов составляет примерно в 60 тыс. чел.-Зв.

Несоизмеримо больший вклад в развитие последствий облучения, внесло радиационное загрязне-

ние окружающей среды, куда попало около 3 % радионуклидов четвертого энергоблока ЧАЭС, что составляет более 300 МКи, или  $1,3 \cdot 10^{19}$  Бк (8).

Авария привела к загрязнению сотен тысяч квадратных километров территорий с миллионами, проживающими на них, жителями, что привело к беспрецедентному облучению населения (9).

У миллионов жителей загрязнённых территорий изотопы йода, избирательно накапливаясь в щитовидной железе, обуславливали поглощенные дозы от 100 до 5000 мГр и более. У детей дошкольного возраста она была в 2–4 раза выше, чем у взрослых.

Международной комиссией радиационной защиты (МКРЗ) определены общие коэффициенты риска рака вследствие хронического облучения, составляющие 5 % на 1 Зв, которые стали международным стандартом радиационной профилактики (10).

НКДАР ООН выведена зависимость повышения риска смерти на протяжении всей жизни, от злокачественных опухолей при разных уровнях облучения (11).

#### Повышенный риск смертности на протяжении всей жизни (в среднем по обоим полам)<sup>a</sup>

Доза острого облучения (Гр)	Солидные раковые заболевания в целом (% при конкретной дозе)	Лейкемия (% при конкретной дозе)
0,1	0,36-0,77	0,03-0,05
1,0	4,3-7,2	0,6-1,0

*Источник:* Действие ионизирующей радиации: Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации – доклад Генеральной Ассамблее за 2006 год с научными приложениями А и В, том I (издание Организации Объединенных Наций, в продаже под № R.08.IX.6), приложение А, пункт 593.

<sup>a</sup> – Повышенный риск смертности на протяжении всей жизни в размере 1,0 процента означает один дополнительный случай на 100 человек.

Для более чем 6 млн. жителей загрязненных территорий пострадавших областей (т. е. с уровнями <sup>137</sup>Cs более 37 кБк/м<sup>2</sup>), которые не были эвакуированы, средняя доза на щитовидную железу составляла примерно 100 мГр, а примерно для 0,7 процента из них дозы на щитовидную железу превышали 1000 мГр (9, 12).

В связи с облучением, в десятки раз увеличилась онкологическая и неонкологическая заболеваемость.

В Беларуси заболеваемость раком щитовидной железы среди детей в возрасте до 10 лет резко возросла и составила до 35 случаев на 1 млн при фоновой заболеваемости в этой группе – 2–4 случая.

В Украине заболеваемость онкологической патологией у детей, увеличилась по всем нозологиям в 5–10 и более раз. Заболеваемость раком щитовидной железы до 1986 года среди детей составляла до 5 случаев в год. Рост заболеваемости детей раком щитовидной железы (РЩЖ) началось с 1989 г. К 1998 году зафиксировано 937 случаев, в 1999–1217, 2000–1400 заболевших.

Наиболее пострадавшими от радиационной аварии территориями Украины считают 13 районов севера Киевской, Житомирской и Черниговской областей. При этом максимального влияния (как доз облучения, так и возможных радиологических последствий) понесли дети и подростки на момент аварии. Дозы на щитовидную железу достигали 4–7 Гр, а в некоторых

районах, превышали 7 Гр. Индивидуальные дозы облучения щитовидной железы в ряде случаев составляли приблизительно 50 Гр (13).

По данным Института эндокринологии и обмена веществ АМН Украины, за 1989–2004 гг. только в Украине прооперировано 3400 лиц, которые были детьми и подростками на момент аварии. Из числа заболевших умерло 11 человек. В 2001 г. было зарегистрировано 369 случаев заболеваний, в 2002 г. – 311, в 2003 г. – 337, в 2004 г. – 374, то есть заболеваемость вышла на определенное плато без ожидаемого снижения.

После 2001 г. зарегистрировано прогнозируемый экспертами избыток тироидного рака у ликвидаторов 1986–1987 гг. (среди мужчин превышение общенационального уровня в течение 1990–1997 гг. в 4 раза, а в 1998–2004 гг. – в 9 раз, среди женщин – ликвидаторов – соответственно 9,7 и 13 раз).

Лейкемии у ликвидаторов, по отдельным нозологиям, увеличились в 2,4–3,2 раза.

В 1,9 раза увеличилась заболеваемость раком молочной железы у женщин УЛНА 1986–1987 гг. – на протяжении 1990–2004 гг., по сравнению с показателями соответствующих возрастных групп женского населения Украины.

Результаты проведенных эпидемиологических исследований свидетельствуют, что в период 1988–2003 гг. доля здоровых среди УЛНА 1986–1987 гг.

уменьшилась с 67,6 % до 7,2 %, а доля больных хроническими болезнями увеличилась с 12,8 % (1988) до 81,4 % (2003). В структуре неопухоловой заболеваемости ведущими являются классы болезней систем кровообращения, пищеварения и нервной.

Так заболеваемость системы кровообращения возросла с 95,6 ‰ в 1988 г до 932,6 ‰ в 2003; пищеварительной – с 96,8 ‰ до 887,9 ‰, соответственно; мочеполовой – с 9,8 ‰ до 98,4 ‰; пищеварительной – с 96,8 ‰ до 887,9 ‰.

В настоящее время в структуре заболеваемости детей 0-14 лет ведущими являются болезни органов дыхания; нервной системы; органов пищеварения, кожи и подкожной жировой клетчатки; инфекционные и паразитарные болезни; болезни крови и кроветворных органов, иммунный дисбаланс, снижение уровня интеллекта (8).

В соседней с Украиной Беларуси, последствия аварии на ЧЭАС, тоже внушительны.

По данным Института радиобиологии НАН Беларуси за последние годы зафиксирован рост у ликвидаторов (а это в основном мужчины в возрасте 25-49 лет) болезней эндокринной системы в 6,3 раза (при этом болезней щитовидной железы – более чем в 10 раз, сахарного диабета – в 3,5 раза), системы кровообращения – в 7,8 раза, органов пищеварения – в 7,3 раза, нервной системы – в 2,7 раза, болезней крови и кроветворных тканей – в 4,7 раза, катаракты глаза – в 4,4 раза (14-19).

Приведенные некоторые данные о масштабах радиационного поражения, связанного с аварией, по разным причинам, не могут отразить его в полной мере. Более того, еще сейчас, уровень радиоактивного загрязнения почвы и пресноводных экосистем Украины, Беларуси и России достаточно высоки и со временем, за счет образования дочерних продуктов ядерного распада, будет увеличиваться, что не снижает актуальности этого вопроса (20-26).

Через 25 лет, поле аварии на ЧЭАС, 11 марта 2011 г. на АЭС Фукусима-1 в Японии произошла тяжелая авария (7-й уровень по шкале INES) с повреждением активной зоны реакторных установок энергоблоков № 1-3 и приреакторного бассейна выдержки отработавшего ядерного топлива энергоблока № 4, с радиоактивным выбросом ядерного топлива в окружающую среду (27, 28).

Выброс радионуклидов йода составил  $10^5$  ТБк, а  $^{134,137}\text{Cs}$  –  $10^4$  ТБк. Мощность дозы во время прохождения радиоактивного шлейфа возрастала на пять порядков величины от фонового уровня. Уровни загрязнения почвы  $^{131}\text{I}$  составляли более 1 МБк/кг, плотность выпадений составила порядка 4 МБк/м<sup>2</sup> по  $^{131}\text{I}$  и около 0,7 МБк/м<sup>2</sup> по  $^{137}\text{Cs}$ . Количество людей, проживающих в высоко загрязненных районах, вне установленной вначале зоны эвакуации радиусом 20 км вокруг станции Фукусима (874 км<sup>2</sup> с плотностью выпадений  $^{134,137}\text{Cs}$  выше 600,000 Бк·м<sup>2</sup>), составляло 70000 человек, включая 9500 детей возрастом до 14 лет. Из зоны радиусом 20 км от АЭС было эвакуировано 140 тысяч человек. Ряд районов из-за высокого уровня заражения, как ожидается, будет признан непригодным для жизни. Загрязненные территории находятся в интенсивном сельско-

хозяйственном использовании. Полная ликвидация аварии с демонтажем реакторов займет, по прогнозам, около 40 лет (24, 28, 29).

Авария на АЭС Фукусима-1 показала, что даже в такой технической и экономически высокоразвитой стране, как Япония, роль человеческого фактора при обеспечении безопасности на АЭС в должной мере не учитывалась, а культура безопасности еще не стала главным принципом при эксплуатации ядерно-опасных объектов.

Вместе с тем, радиационная авария в Японии, по сути, еще продолжается, т.к. массивное загрязнение обширных территорий и прежде всего акватории прилегающего океана, радиоактивными веществами, не прекращено.

Сегодня, на Украине, расчет выбросов при возможной аварии для блоков №№ 2-4 на Хмельницкой АЭС (ХАЭС), показал, что интегральный выход биологически значимых радионуклидов в окружающую среду составит, Бк:  $^{131}\text{I}$  – около  $2,0 \cdot 10^{15}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  –  $3,0 \cdot 10^{14}$ ,  $^{90}\text{Sr}$   $2,5 \cdot 10^{13}$ , т. е. от 20 до 300 ТБк.

В этом случае, мощность дозы для населения, проживающего на загрязненной территории вблизи АЭС, может достичь 10 мкЗв/ч, а эффективная доза за один год пребывания на этой местности с учетом всех путей поступления радионуклидов –  $10^3$  мЗв (30).

Таким образом, вероятность лучевых повреждений при радиационных авариях на атомных производствах и прежде всего АЭС, с учетом развития этой отрасли энергетики, со временем может только возрастать.

Продолжая анализ возможных факторов инициации лучевых повреждений, следует отметить, что в неэнергетических областях источники ионизирующего излучения активно используются в сельском хозяйстве, пищевой, химической и легкой промышленности, металлургии, строительной индустрии, геологии и др. по всему Земному шару.

В радиобиологических технологиях сельского хозяйства, пищевой промышленности, мутагенное, стимулирующее и цитотоксическое действие радиации применяется давно и чрезвычайно широко. Еще в 1925 году в Ленинградском радиовом институте впервые были получены индуцированные мутации на дрожжевых грибах. В 1934 году, Делоне Л. Н. описал положительные мутации, полученные при облучении пшеницы (31).

Среди направлений, практического применения ионизирующего излучения в сельском хозяйстве, можно выделить: селекционно-генетические исследования в растениеводстве и животноводстве для улучшения свойств растительных и животных объектов; стимуляцию роста и развития животных и растений с целью повышения хозяйственно полезных качеств; селекционно-генетические исследования в микробиологии и вирусологии для улучшения свойств вакцин и сывороток, получения высокопроизводительных мутантов-продуцентов антибиотиков, витаминов и т. д.; борьбы с вредными насекомыми и оздоровления окружающей среды; стерилизации животноводческих стоков; стерилизации биологических и фармакологических препаратов (вакцин, сывороток, питательных сред, витаминов и т. д.); стерилизации хирургического шовного и перевязоч-

ного материалов, приборов, устройств и инструментария, которые не подлежат температурной и химической обработке; стерилизации, консервирования, увеличения сроков хранения и обеззараживания пищевых продуктов и фуража, сырья животного происхождения; применение радиофармпрепаратов и меченых соединений в исследованиях по физиологии и биохимии животных и растений, а также в разработке методов диагностики и лечения животных.

Комбинированным воздействием радиации и химических мутагенов выведены многочисленные штаммы высокоактивных плесневых грибов – продуцентов антибиотиков, дающих их выход в десятки раз превосходящий таковой у исходных рас. В настоящее время вся мировая промышленность пенициллина, стрептомицина, ауреомицина, биомицина, тетрацицина и др. основана на использовании радиационных мутантов. В других отраслях микробиологической промышленности, для получения высокоактивных продуцентов витаминов, различных ферментов и органических кислот применяют радиохимические технологии.

Ионизирующее излучение, в определенном диапазоне доз, обладает стимулирующим действием, которое обнаруживается у всех биологических объектов, начиная с одноклеточных и кончая высокоорганизованными растениями и животными.

Это позволяет в разы увеличить всхожесть, урожайность, прививаемость и сократить сроки созревания множества сельскохозяйственных культур.

Радиостимуляцию изучают и широко применяют в скотоводстве, свиноводстве, звероводстве (32, 33).

В сельском хозяйстве, в радиационно-биологических технологиях в качестве источников излучения используют гамма-установки с радионуклидами  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , ускорители электронов с энергией до 10 МэВ, а также радиационные контуры ядерных реакторов, частично или полностью отработанные твэлы. Эти установки могут быть передвижными, стационарного применения и в виде целых радиотехнических комплексов. (34-38).

В пищевой промышленности, ионизирующее излучение применяют для увеличения хранения мяса, полуфабрикатов и кулинарных изделий из них, рыбы и других продуктов моря, овощей, скоропортящихся ягод и фруктов, концентратов фруктовых соков и т. д., а так же для оздоровления окружающей среды, стерилизации животноводческих стоков и др. (33).

Применение ионизирующего излучения в химической промышленности развивается по множеству направлений и объединено понятием радиохимические технологии. В нее включают: 1) радиационное модифицирование полимеров, например, для получения проводов и кабелей с термостойкой полиэтиленовой изоляцией, термически и химически стойких полиэтиленовых труб и других санитарно-технических изделий, заменяющих металлические в системах горячего водоснабжения и др.; 2) радиационная вулканизация эластомеров (РТИ, детали автомобильных шин, силиконовые самослипающиеся термостойкие изоляционные материалы и др.); 3) радиационная полимеризация и сополимеризация мономеров и олигомеров на поверхностях (отверж-

дение покрытий на металлических и древесных изделиях, получение гранулированных удобрений (полимерным покрытием), а также в гомогенных (синтез полиакриламида, полиэтилена и др.) и гетерогенных системах (в древесине, бетоне, тупе) для производства бетон-полимерных, древесно-полимерных изделий, обладающих термической и химической стойкостью, ценными механическими и другими свойствами; 4) радиационно-химический синтез – окисление, хлорирование, сульфохлорирование, сульфокисление, теломеризация органических соединений; 5) радиационная деструкция органических полимеров для получения добавок к смазочным веществам, целлюлозы в отходах лесной и деревообрабатывающей промышленности и отходов сельского хозяйства – для получения кормовых добавок; 6) радиационного обеззараживания и очистки природных и сточных вод, твердых отходов и отходящих газов; 7) радиационного модифицирования неорганических материалов (полупроводников, катализаторов и др.) (39-52).

Еще одно из направлений – использования ИИ для нужд горнодобывающей промышленности; черной и цветной металлургии; химической промышленности; промышленности строительных материалов; легкой и пищевой промышленности; безопасности и других отраслей, это средства радиационного неразрушающего контроля (РНК).

Методы РНК: радиография, радиоскопия, метод радиоактивных индикаторов, метод радиационно-структурного анализа, метод радиационного анализа, радиационная толщинометрия, флюорография, флюороскопия, электрорадиография, кинорадиография, стереорадиография, цветовая радиография, цветовая радиоскопия, радиационная томография, вычислительная томография, стереорадиоскопия.

Средства РНК: радиационнотелевизионная установка, радиационнотелевизионная установка с электронно-оптическим преобразователем, радиационный толщиномер, радиационный уровнемер, радиационный плотномер, радиационный влагомер, радиационный концентромер, альбедный радиационный толщиномер, абсорбционный радиационный толщиномер, абсорбционный односторонний радиационный толщиномер, альбедно-абсорбционный толщиномер, эмиссионный радиационный толщиномер, флюорограф, радиационный интраскоп, флюороскоп (53).

Номенклатура и ареал применения РНК чрезвычайно широки. Выделяют классы стационарного, передвижного и переносного оборудования. В передвижных и переносных аппаратах самых разных типов действия, преимущественно используются источники рентгеновского и гамма-излучения (54).

Источниками рентгеновского, в промышленности служат – рентгеновские аппараты, бетатроны, микротроны, линейные ускорители и источники бета-излучения. В качестве источников гамма-излучения применяют радиоактивные элементы. Источниками нейтронов являются ядерные реакторы, радиоактивные элементы и ускорители заряженных частиц.

Сегодня распространённо применяются методы – рентгенография, гаммаграфия, радиоскопия, радиометрия, радиационно-спектральный метод, радиационно-структурный анализ, позитронный метод.

На практике, наиболее широко используют микро-рентгенографию, рентгенографию, электрорентгенографию с энергией источников от 15-20 кэВ, до свыше 300 кэВ.

Применяют источники на основе  $^{60}\text{Co}$  имеющие активность – 40–12 ТБк (1000–3000 Ки) с помощью которых просвечивают стальные объекты толщиной 100–200 мм;  $^{137}\text{Cs}$  – при радиографии объектов из стали толщиной 40–100 мм;  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ;  $^{169}\text{Yb}$ ;  $^{75}\text{Se}$  и др.

Ускорители электронов (линейные, бетатроны, микротроны и др.) с энергией от 1 до 12 МэВ и выше, мощностью дозы до 100 Гр/мин на расстоянии 1 м от мишени, применяют для радиографии объектов контроля на основе железа и стали с толщиной от 1 мм до 600 мм и больше.

В практике радиационного контроля в качестве основного источника нейтронов используют ядерные реакторы; радионуклидные источники нейтронов – прежде всего  $^{252}\text{Cf}$  и ускорители заряженных частиц, создающие потоки нейтронов порядка  $10^{10}$ – $10^{12}$  нейтронов/с энергией 14 МэВ.

Радиоскопия, радиометрия, флюороскопия – с рентгеновским излучением до 200 кВ. Вычислительная томография 50 кэВ – 16 МэВ (55-66).

Таким образом, востребованность методов РНК, мощные источники ионизирующего излучения, применяемые в них, возводят этот фактор в риск развития лучевого повреждения до степени – существенного.

Следует упомянуть еще один из факторов, рассматриваемой нами проблемы – возможность инициации лучевого повреждения вследствие облучения

источниками ИИ, применяемыми для борьбы со статическим электричеством, возникающим при переработке изделий в химической, бумажной, полиграфической, текстильной и других отраслях промышленности, где успешно используются радиоизотопные нейтрализаторы, на основе  $\alpha$ -частиц, испускаемых  $^{239}\text{Pu}$ , или  $\beta$ -частиц  $^3\text{H}$ .

Известен и широко применяется в разных отраслях промышленности, большой класс приборов радиоизотопного контроля, в частности, для блокировки агрегатных станков и машин и на автоматических линиях (67).

Приборы радиоизотопного контроля, применяемые в промышленности принято разделять по типуна следующие: абсорбционный радиоизотопный прибор, альбедный радиоизотопный прибор, альбедно-абсорбционный радиоизотопный прибор, эмиссионный радиоизотопный прибор, релейный радиоизотопный прибор; по функции: радиоизотопный толщиномер, радиоизотопный влагомер, радиоизотопный плотномер, радиоизотопный влагомер-плотномер, радиоизотопный уровень, радиоизотопный сигнализатор, радиоизотопный сигнализатор уровня, радиоизотопный концентратомер, пожарный радиоизотопный извещатель. (3, 68, 69)

Кроме того, стремительно возрастает применение источников ИИ для решения задач досмотра, безопасности, в радиоэлектронной промышленности и т. д. (70-72).

Таким образом, сегодня трудно найти отрасли научной и практической деятельности, где бы широко не использовалось ИИ, а так, проблема лучевых повреждений, их профилактики, лечения, выглядит чрезвычайно масштабной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стаханов М. Л., Вельшер Л. З., Савин А. А. Постмастэктомический синдром: патогенез, классификация // Российский онкологический журнал. – 2006. – № 1. – С. 24–32.
2. Кихтенко И. Н., Хворостенко Ю. М. Роль естественного и техногенно усиленного радиационного фона земли в проблеме лучевых повреждений // Наукові праці. – 2014, вип. 226. – С. 59-66.
3. Денисевич К. Б., Ландау Ю. А., Нейман В. А. и др. Энергетика: история, настоящее и будущее. Развитие атомной энергетики и объединенных энергосистем. – К.: Ред. изд. «Энергетика: история, настоящее и будущее», 2011. – 304 с.
4. Базеев Е. Т., Билека Б. Д., Вайльев Е. П. и др. Энергетика: история, настоящее и будущее. – К., 2005. Т. 3: Развитие тепловой и атомной энергетики. – К., 2008 – 528с.: ил.
5. Наказ 02.02.2005 N 54 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 травня 2005 р. за N 52/10832 Про затвердження державних санітарних правил «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України»
6. Гордиенко В. А., Показеев К. В., Старкова М. В. Экология. Базовый курс для студентов небиологических специальностей: учеб. пособие. – СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2014. – 633 с.: ил.
7. Бекман И. Н. Ядерная индустрия. – М.: МГУ. – 2005. – 870 стр
8. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. – К.: Атіка, 2006. – 224 с.
9. Последствия облучения для здоровья человека в результате чернобыльской аварии/ Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации Научное приложение D к Докладу НКДАР ООН 2008 года Генеральной Ассамблее Организация объединенных наций. – Нью-Йорк, 2012 год
10. Присяжнюк А. Е., Базыка Д. А., Романенко А.Е., и др. Риск рака в группах населения, пострадавшего вследствие аварии на Чернобыльской АЭС// Environmnt & Health. – № 3. – 2013. – С. 34–41.
11. Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации Организация Объединенных Наций – Нью-Йорк, 2010.
12. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации Пятьдесят шестая сессия Вена, 10–18 июля 2008 года Последствия облучения в результате Чернобыльской аварии для здоровья человека Информация.
13. Наследие Чернобыля: Медицинские, экологические и социально-экономические последствия и рекомендации правительствам Беларуси, Российской Федерации и Украины. Чернобыльский Форум: 2003-2005 г. Второе издание. – ВОЗ/МАГАТЭ/ПРООН. 2005. – 58 стр.
14. Конопля Е. Ф. Радиоэкологические и медико-биологические последствия чернобыльской катастрофы // Проблемы ликвидации в Республике Беларусь последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. Парламентские слушания 21 апреля 1999 г. – Минск: Нац. собрание Респ. Беларусь, 1999. – С. 12.
15. Основные закономерности заболеваемости злокачественными новообразованиями когорты, подвергшейся радиационному воздействию в детском возрасте Prysyzhnyuk et al. / International Journal of Radiation Medicine 2004, 6(1-4): 16-23.

16. ЕКРР-2003. Рекомендации Европейского Комитета по Радиационному Ризику. Выявление последствий для здоровья облучения ионизирующей радиацией в малых дозах для целей радиационной защиты. Регламентирующее издание. Брюссель, 2003. Пер. с англ. 2004, Москва, Центр экологической политики России, 218 с. ([www.euradcom.org2003](http://www.euradcom.org2003)).
17. Рекомендации Европейского Комитета по радиационному риску / Под ред. А. В. Яблокова. Москва 2004. – 220 с.
18. Доклад о состоянии ядерной и радиационной безопасности в Украине в 2009 году. – С. 92. <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=132444>
19. Карпов А. Б., Семенова Ю. В., Тахауов Р. М. и др. Роль «малых» доз ионизирующего излучения в развитии неонкологических эффектов: гипотеза или реальность? Бюллетень сибирской медицины, № 2, 2005. – стр. 63-70.
20. Миронов В. П., Ильяшук А. Ю. Плутоний и америций на территории Беларуси: уровни загрязнения и физико-химические формы / Материалы Международной научно-практической конференции «Радиоэкология XXI века» 10–12 мая 2012 года, Красноярск, СФУ, СибГАУ. Стр 320–324.
21. Національна Академія Наук України Інститут Ядерних Досліджень Щорічник – 2008 Київ – 2009 Друкується за постановою вченої ради інституту Інститут ядерних досліджень НАН України, 2009. – 189 стр.
22. Оптимизация международных усилий по изучению, смягчению и минимизации последствий чернобыльской катастрофы Доклад Генерального секретаря Distr.: General 4 October 2007. - 31с.
23. Радиация. Дозы, эффекты, риск / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 79 с, ил.
24. Яблоков А. В., Нестеренко В. Б., Нестеренко А. В. и др. ЧЕРНОБЫЛЬ: последствия Катастрофы для человека и природы. Киев, Универсаріум. 2011. 592 с.
25. Басби К. (Ред.) ЕКРР. Рекомендации 2003 Европейского Комитета по Радиационному Ризику / Пер. с англ. – Товарищество научных изданий «КМК». – 2004. 218 с.
26. Гуманитарные последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Стратегия реабилитации // Отчет представлен по заказу ПРООН и ЮНИСЕФ при поддержке УКГД ООН и ВОЗ. – Нью-Йорк ; Минск ; Киев ; Москва, 2002, 6 февраля. – 94 с.
27. Гашев М. Х., Громов Г. В., Дыбач А. М., и др. Вопросы целевой переоценки безопасности действующих энергоблоков АЭС Украины в свете событий на АЭС Фукусима-1 в Японии / Ядерна та радіаційна безпека 3 (51).2011 стр. 3-8.
28. Арутюнян Р. В., Павловский О. А., Панченко С. В и др. Авария на АЭС «Фукусима-1»: оперативный прогноз и оценка радиационных и радиологических последствий /Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки / науч. ред. Р. В. Арутюнян. – 2013. – 246 с. : ил.
29. Пристер Б. С. Соблюдение принципа «Безопасность – абсолютный приоритет атомной энергетики» необходимо обеспечить законодательно / ENVIRONMENT & HEALTH. – 2013. – № 1. – стр 4 – 11
30. Барбашев С. В., Скалозубов В. И. Радиационное воздействие аварии на АЭС «Фукусима-1» на окружающую среду и население и основанная на ее последствиях оценка радиационных рисков от запроектных аварий на АЭС с ВЭР-1000 Ядерна та радіаційна безпека 1 (53). 2012. – стр. 10-15.
31. Делоне Л. Н. Экспериментальное получение мутаций у пшениц. – Харьков, Укрсельхозгиз. – 1934. – 56 с.
32. Белов А. Д. и др. Радиобиология. – М.: Колос, 1999. – 384 с
33. Казиахмедов А. С. Ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности мяса цыплят-бройлеров при обработке ионизирующим излучением : автореферат дис. ... кандидата ветеринарных наук : 06.02.05. – Москва, 2012. – 22 с.
34. Лурье А.А. Сельскохозяйственная радиология и радиоэкология. Конспект лекций. – М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. – 228 с.
35. Бекман И.Н. Ядерная физика Издательство: МГУ Год: 2010. – С. 511 (по применению в промышленности и с. х).
36. Степанов В. Г. Ветеринарная радиология : учебное пособие. – Симферополь : ИТ «Ариал», 2011. – 360 с
37. Ежегодный доклад МАГАТЭ за 2010 год [http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC55/GC55Documents/Russian/gc55-2\\_rus.pdf](http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC55/GC55Documents/Russian/gc55-2_rus.pdf).
38. Ежегодный доклад МАГАТЭ за 2002 год [http://icne.mephi.ru/wp-content/uploads/2011/02/2-7Lecture\\_RU.pdf](http://icne.mephi.ru/wp-content/uploads/2011/02/2-7Lecture_RU.pdf).
39. Химическая энциклопедия Том 4: Советская энциклопедия / Под ред. И. Л. Кнунянца. – М. : ПОЛ-ТРИ, 1995.
40. Круль Л. П. Особенности гетерогенной структуры и физико-химические свойства радиационно-привитых полимерных материалов : Д ... докт. хим. наук. – М., 1989. – 496 с
41. Артамонов Н. А., Хатилов С. А. Способ радиационно-химического модифицирования политетрафторэтилена и материал на его основе (патент РФ № 2304592 Патент РФ № 2304592 с приоритетом от 31.03.2006 г).
42. Антипов С. А., Сичкарь В. П., Воронина Е. Н. Способ терморadiационной обработки изделий из политетрафторэтилена Патент РФ № 2211228 с приоритетом от 19.02.2001 г.
43. Морозов С. В. Экспериментальный комплекс для исследования радиационной стойкости волокнистых наполнителей полимерных композиционных материалов дис. к. т. н. – Барнаул, 2004. – 99 стр.
44. Головина Е. А., Маркин В. Б. Основы радиационного материаловедения Учебное пособие. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2008. – 145 с.
45. Гордиенко В. П. Радиационное модифицирование композиционных материалов на основе полиолефинов. – Киев : Наук, думка, 1986. – 176 с.
46. Гордиенко В. П. Действие ионизирующего излучения на наполненные полимеры. // Тез. докл. V Респ. конф. по высокомолекуляр. соединениям. – Киев : Наук, думка, 1984. – С. 36 – 37.
47. Сухинина А. В. Разработка радиационно-сшиваемых наполненных композиций на основе сэвилена для кабельных термоусаживаемых изделий. Дис к. т. н. – М., 2009. – 130 стр.
48. Баддина М. С., Долгих О. О. Радиационная очистка природных и сточных вод – Режим доступа: <http://www.polar.mephi.ru/tu/conf/2002>
49. Слабыня Г. Н. Технология консервирования хлеба с использованием ионизирующего излучения Дис. к. т. н. Санкт-Петербург. – 2008. – 162стр.
50. Подзорова Е. А. Комбинированные радиационные методы очистки воды и сточных вод/дис. доктор химических наук.- 2001. – М. – 299 с. <http://www.disscat.com/content/kombinirovannye-radiatsionnye-metody-ochistki-vody-i-stochnykh-vod>
51. Козарь А. А. Радиохимические и ядерно-физические параметры технологии рециклирования трансмутационных мишеней. Дис. Д. т. н. – 2007. – Москва. – 251стр.
52. Пустовит В. Т. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность. Часть II: Курс лекций. – Мн. : Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2005. – 196 с.
53. ГОСТ 24034-80 Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения.

large masses of the population, extension of the range of application of ionizing radiation sources in practical activities, identify new risks for the development of radiation damage, which can be a significant, large-scale risk that determines the level of problems in scale – global, and relevance is significant and growing.

**Key words:** radiation damage; radiation accidents, radiochemical techniques; technology radiobiology; radiation non-destructive testing.

**Рецензенти:** *Бондаренко І. Н.*, д-р мед. наук, професор;  
*Ковтуненко О. В.*, д-р мед. наук, професор.

© Кіхтенко І. М., 2015

Дата надходження статті до редколегії 14.07.2015