

РОЛЬ ЕСТЕСТВЕННОГО И ТЕХНОГЕННО УСИЛЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА ЗЕМЛИ В ПРОБЛЕМЕ ЛУЧЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Лучевые повреждения представляют 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; радиационный фон.

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.

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

Объект исследования: определение вероятных радиационных опасностей при космическом облучении и техногенно усиленном естественном радиационном фоне Земли.

В зависимости от уровней облучения, видов излучения, поглощенных доз, мощности облучения, объема облучаемых тканей и др., эффекты облучения различными источниками, могут проявляться в виде детерминированных или стохастических.

Между тем, стохастические эффекты, проявляющие себя, как вероятные, при определенных условиях приобретают свойства детерминированных, когда речь идет о вызываемых ими последствиях при облучении большой когорты. В этом случае всегда говорят о конкретном количестве людей, у которых этот эффект закономерно проявится.

Естественный радиационный фон, являющийся основным источником облучения населения планеты от естественных источников радиации, будучи привычной средой обитания человека, может вызвать и вызывает в организме людей, скорее эволюционные изменения, нежели повреждения, требующие медицинской коррекции.

Годовая эффективная эквивалентная доза облучения на уровне моря от ионизирующей компоненты – 0,28 мЗв/год, от нейтронной – 0,021 мЗв/год, суммарная доза – 0,30 мЗв/год. Полная эффективная доза, обусловленная естественными источниками радиации, составляет, в среднем по Земле, около 2,4 мЗв в год [2].

Сегодня, нет фактических данных, подтверждающих наличие какого-либо риска здоровью таких дозовых нагрузок [3].

Вместе с тем, источник одной из составляющих естественного фона – космическое излучение, может стать причиной лучевых повреждений.

Несмотря на то, что уровень доз, получаемых населением Земли за счет космического внешнего облучения, составляет 0,3 мЗв/год, за счет космического внутреннего – 0,015 Зв/год и является таковым, который не может вызвать лучевых повреждений, оно может представлять опасность для космонавтов во время космических полетов при нахождении их в радиационных поясах Земли или других планет, а так же в космическом пространстве [4; 5].

По природе Космическое излучение – это поток элементарных частиц высокой энергии, преимущественно протонов, приходящих на Землю из космического пространства, а также рождённое ими в атмосфере Земли в результате взаимодействия с атомными ядрами воздуха, вторичное излучение, в котором встречаются практически все известные элементарные частицы [6; 4].

По виду их разделяют на первичные и вторичные. По происхождению на – галактические и солнечные.

К первичным относят Космические лучи до вхождения их в атмосферу Земли. Это преимущественно, поток атомных ядер высокой энергии галактического и солнечного (~ 90 %) происхождения, в основном протонов, α -частиц и ядер более тяжелых элементов. Кроме того в состав космического излучения входят электроны, позитроны, гамма-кванты и нейтрино [7].

Вторичные – порожденное в атмосфере Земли излучение, которое, в результате взаимодействия с атомными ядрами воздуха, приводит к образованию π – и κ – мезонов, в свою очередь формирующих ядерно-каскадное образование нескольких поколений вторичных частиц. Известно, что один протон с энергией $> 10^{14}$ эВ может создать 10^6 - 10^9 вторичных частиц [8; 9].

Источником космического излучения являются термоядерные процессы, происходящие в галактике, метagalактиках, Солнце.

К галактическим источникам относятся преимущественно нейтронные звезды и, возможно, черные дыры, шаровые звездные скопления нашей галактики.

К метagalактическим источникам – квазары, отдельные галактики и их скопления.

Солнечные космические лучи – космические частицы, генерируемые Солнцем (8-10).

Рождаются Галактические космические лучи, в результате процессов происходящих, прежде всего, при вспышке сверхновых звезд, когда гравитационный коллапс приводит к образованию пульсара с колоссальным увеличением плотности вещества до ядерной и выше, магнитного поля до 10^{13} Гс и скорости вращения до 10^3 оборотов в секунду. Эти и другие процессы создают условия для ускорения тяжелых заряженных частиц до исключительно высоких энергий – 10^{21} эВ (это намного порядков превосходит энергии частиц, доступных современным ускорителям – до 10^{12} эВ) и электронов до энергий 10^{12} эВ [11].

В дополнении к ним присутствует фотонная составляющая – рентгеновское и гамма-излучение, энергия которых может достигать значений превышающих 10^{11} эВ [12].

Не смотря на то, что фотонное излучение классифицируют множественно по происхождению, виду, энергии, однако, доля корпускулярного излучения, в составляющей космических лучей, значительно превосходит фотонную компоненту, потому, как правило, рассматривают космическое излучение, как поток элементарных частиц, с энергией – 10^6 - 10^{21} эВ [9].

Энергетический спектр Космических частиц имеет мягкую и жесткую компоненты. Мягкая компонента состоит из электронов, позитронов и фотонов и по проникающей способности она близка к гамма-излучению. Жесткая состоит из μ -мезонов и нейтрино и обладает очень высокой проникающей способностью. μ -мезоны могут проникать в толщу литосферы до 3 км, а нейтрино пронизывают Землю насквозь [13].

Другая часть Космического излучения – Солнечные космические лучи – образуются в результате термоядерных процессов на Солнце.

Его удельная часть в Галактическом излучении доходит до 98 %.

Частицы Солнечного излучения в небольшом количестве выбрасываются постоянно и в виде солнечного ветра, движутся к Земле со скоростью порядка 500 км/с. Величина их энергии обычно не превосходит 10^9 - 10^{10} эВ, а условно принятый нижний предел составляет 10^5 - 10^6 эВ. Во время солнечных вспышек самые мощные из которых повторяются в среднем, через 11 лет, а менее мощные через 27 дней поток солнечных космических лучей может увеличиться в 10^6 раз по сравнению с потоком галактических космических лучей [14; 15].

Под действием магнитного поля Земли элементарные частицы космических лучей образуют вокруг нее два радиационных пояса: внешний – на высоте 20-60 тыс. км от ее поверхности и внутренний – 600-6000 км от поверхности, сформированный в основном за счет альbedo вторичного излучения нейтронов, которые распадаясь рождают электроны и протоны, захватываемые магнитной ловушкой.

Внутренний радиационный пояс состоит в основном из электронов с энергиями от 20-40 КэВ до 1 МэВ, и протонов высоких энергий – от 20 до 800 МэВ [16].

Захваченные в магнитную ловушку Земли частицы совершают под действием силы Лоренца сложное колебательное движение по спирали вдоль силовых линий магнитного поля из Северного полушария в Южное и обратно с одновременным долготным дрейфом вокруг Земли [17].

Благодаря особой конфигурации силовых линий магнитного поля, в этой магнитной ловушке потоки заряженных частиц концентрируясь в сотни миллионов раз превышают потоки солнечного ветра в космическом пространстве [7].

Одно колебание вдоль силовой линии из Северного полушария в Южное протон с энергией порядка 100 МэВ совершает за время около 0,3 с. Время жизни такого протона в геомагнитной ловушке может достигать 100 лет ($\approx 3 \cdot 10^9$ с), за это время он может совершить до 10^{10} колебаний [8].

Именно в этих радиационных поясах, в частности внутреннего, на высоте 1500-1800 км над уровнем моря, мощность дозы ионизирующего излучения, может достигать чрезвычайных значений, доходя до $10^4 - 5 \cdot 10^6$ Гр/сут. Такие уровни радиации представляют смертельную опасность для людей, совершающих космические полеты [17].

Предполагается, что при межпланетных перелетах, к Марсу космонавты будут получать дозу не менее 80 бэр в год, что может вызвать гибель от рака у каждого десятого мужчины и каждой шестой женщины и множественные соматические патологии [18].

Что касается орбитальных полетов на международной космической станции (МКС), то ее сложная траектория движения на орбите, которая находится на высоте 410-425 км, обусловлена тем, что в некоторых местах нижняя часть внутреннего радиационного пояса опускается до 300 км над уровнем океана и пребывание в нем космического аппарата с космонавтами на борту может вызвать значительные превышения допустимых уровней облучения [19].

С целью профилактики этого, траектория по орбите исключает вхождение МКС в нижний край

внутреннего радиационного пояса Земли, где кроме разноэнергетических потоков протонов, электронов, ядер атомов различных элементов угрозу составляют гамма и рентгеновское излучение.

Сегодня выделяют 4 группы радиационной опасности для космонавтов: 1) галактические космические лучи; 2) радиационные пояса Земли; 3) солнечные протонные события, в которых генерируются солнечные космические лучи; 4) нейтронное и гамма-излучение: вторичное, возникающее при взаимодействии первичного космического излучения с веществом космического аппарата и биологической тканью или в случае наличия на борту ядерно-энергетических и каких-либо других радиоизотопных установок [20].

Следует учесть, что все эти факторы действуют одновременно, что обуславливает специфику облучения в космосе, биологические эффекты которых изучает наука космическая радиобиология, являющаяся одним из предметов Космической медицины [21].

В рамках космической медицины были проведены и продолжают фундаментальные научные радиобиологические исследования по различным режимам облучения, отдельными видами радиации и их сочетаниями, с определением влияния на развитие онкопатологии, соматической патологии неопухоловой природы, патологии ЦНС, влияния на иммунитет, механизмов развития лучевого склероза внутренних органов, продолжительность жизни и т. д., результаты которых стали постулатами многих медицинских наук, прежде всего медицинской радиологии, платформами для множества направлений практической деятельности, во всех хозяйственных сферах, а ожидаемые результаты увеличат количество знаний о лучевых повреждениях [22-24].

Проблемы, связанные с лучевыми повреждениями от космического излучения настолько существенны, что разработкой их занимается всё прогрессивное международное сообщество.

Касательно техногенно усиленного уровня в естественном радиационном фоне Земли, то вклад его незначительный, не превышает 1 % от естественного радиационного фона и составляет 0,024 мЗв/год средней эффективной дозы – величина крайне малая, считающаяся безвредной [25].

Для Украины удельные части составляющих годовой эффективной дозы распределены следующим образом: доля медицинского облучения – 0,5 мЗв (13 %), аварийного «чернобыльского» – 0,2 мЗв (3 %), облучения от практической деятельности – 0,3 мЗв (6 %), внутреннего бетта-облучения – 0,2 мЗв (3 %), космического облучения – 0,3 мЗв (6 %), природного гамма-фона – 0,15 мЗв (2 %), природных радионуклидов в питьевой воде – 0,1 мЗв (1 %), радиоактивности строительных материалов – 0,2 мЗв (3 %), ^{222}Rn жилых помещений – 2,4 мЗв (63 %) [26].

Вместе с тем, в силу неравномерного территориального распределения источников ИИ, усиливающих фон, уровни облучения от него у людей, проживающих или работающих на этих территориях, могут составлять реальную угрозу развития лучевых повреждений.

Естественный радиационный фон, а также облучение от него усиливают: предприятия горно-

добывающей и перерабатывающей промышленности, электроэнергетики, атомной промышленности, металлургии, сельского хозяйства, медицины, научно-исследовательские учреждения и т. д.

Учитывая, что радиоактивные вещества распределены по всей земной коре с преимущественной концентрацией в тех или иных ее областях, добыча, переработка и применение полезных ископаемых, традиционно не считающимися радиоактивными (уголь, газ, торф), могут вызвать существенное техногенное облучение работников предприятий, связанных с их освоением и населения, проживающего вблизи этих предприятий [27].

Содержание естественных радионуклидов в углях разных месторождений различается в 100-1000 и более раз, а в отдельных месторождениях колеблется в пределах четырех порядков [28].

Присутствие ^{226}Ra и ^{228}Ra в углях и вмещающих породах с выделением ^{222}Rn в воздушное пространство, создает радиационную опасность в угольных шахтах [29].

Объемная активность радона в некоторых выработках может достигать до 4000,0-6000,0 Бк/м³, при предельно допустимой концентрации – 200,0 Бк/м³ [30].

При добыче каменного угля и его сжигании в атмосферу выбрасывается колоссальное количество радиоактивных отходов сгорания, порядка 37 300 т урана и тория ежегодно [31].

Уголь, торф, газ как топливо для тепловых электростанций содержат десятки природных радионуклидов семейства урана и тория, количество которых на 1 ГВтч, за счет угленоса, золоотвала и дыма достигает $3 \cdot 10^{12}$ Бк.

На некоторых ТЭС активность в рабочем пространстве может составлять 2400 мкР/час, а вблизи золоуловителей – до 5000 мкР/час. Высокий уровень у ^{219}Pb и ^{210}Po обнаруживали в организме персонала в концентрациях, пятикратно превышающих норму, что обуславливало до десятикратного увеличения частоты хромосомных aberrаций, в сравнении с контролем [25; 28].

Для проживающих вблизи ТЭС на угле ежегодная эффективная доза может превышать 20 мЗв [32].

По оценкам НКДАР ООН, средняя ожидаемая годовая коллективная эффективная эквивалентная доза от сжигания угля на ТЭС составляет 2000 чел-Зв, а в жилых домах 10000 чел-Зв, что значительно увеличивает рост заболеваемости раком легкого [33].

При добыче нефти и газа также происходит увеличение природного фона за счет отложения сульфата радия (^{226}Ra , ^{228}Ra) на технологическом оборудовании и радиоактивного загрязнения земной поверхности в местах его очистки транспортировки и хранения [34].

Добыча и переработка фосфатных руд и производства минеральных удобрений, радиоактивные отходы химической промышленности формируют ожидаемые годовые коллективные эффективные эквивалентные дозы облучения соответственно 13 и 1950 чел-Зв [34].

Предприятия металлургии могут повышать радиационный фон за счет переплавки радиоактивного металлолома, общий объем активности которого составляет миллионы Ки [35; 36].

Однако основной причиной возможного облучения человека техногенными источниками являются предприятия атомной промышленности.

Не смотря на то, что годовая эффективная доза каждого жителя Земли от объектов атомной энергетики оценивается менее 1 % от естественного уровня радиации и составляет 0,001 мЗв/год, при нарушении техники безопасности, авариях, возросшие уровни облучения могут стать причиной лучевых повреждений, в том числе массовых [37].

Атомная промышленность представляет собой совокупность предприятий по созданию и применению источников ионизирующих излучений и устройств на основе ядерных технологий в различных отраслях народного хозяйства.

Это сложное по структуре, технологиям и оборудованию образование, в котором используются агрессивные, в отношении безопасности, материалы и устройства. Поэтому человеческий фактор, неучтенные опасности в технологиях, ситуации непреодолимой силы могут стать причиной выхода из-под контроля тех или иных процессов и привести к опасному облучению людей.

Все предприятия атомной промышленности, в состав которой входят предприятия ядерного топливного цикла (ЯТЦ), транспортные средства с ядерными двигательными установками, транспортные средства с радиоактивными грузами, радиационно-опасная военная техника, радиационно-опасные объекты прочие, прежде всего медицинского и научного предназначения, могут стать причиной лучевых повреждений [33].

Львиная доля процессов, связанных с производством и потреблением радиоактивных источников, приходится на ЯТЦ – гигантской по своим масштабам структуре, представляющей собой ряд связанных производств, выполняющих последовательные операции по поиску и разведке урановых месторождений; добыче, переработке, концентрации и обогащению руды; изготовлению тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ); работы реакторов АЭС и других ядерно-энергетических установок; временному хранению остывающего горячего отработанного ядерного топлива (ОЯТ); химической переработке ОЯТ; транспортировке, хранении и захоронении радиоактивных отходов (РАО) [38; 39].

Самый большой объем радиоактивных отходов дает добыча и переработка урановых руд, где радиационную опасность обуславливают циклопические количества терриконов пустой породы, содержащих урановые минералы, а так же выбросы обогатительных фабрик радиоактивной пыли и отвалов – «хвостов», обеднённых по материнскому изотопу – урану и сильно обогащенному по дочерним продуктам: радю, радону, полонию, которые у поверхности могут создавать мощность эквивалентной дозы более 0,1 мЗв/ч [40; 41].

Кроме урана, хвосты содержат все элементы уранового ряда, включая долгоживущие радионуклиды ^{230}Th ($T = 80000$ лет), который постоянно производит ^{226}Ra ($T = 1600$ лет), являющийся непрерывным источником ^{222}Rn . Процесс уменьшения активности хвостов может длиться миллионы лет. Учитывая

период полураспада ^{238}U , равный 4,5 миллиардам лет, выход радона будет постоянным.

Количество хвостов равно сумме переработанной руды, поскольку при 0,1% содержании в руде урана 99,9 % её идёт в отходы.

Обычно одно хвостохранилище урановых руд занимает площадь 300-500 га и содержит 50-100 миллионов тонн отходов, активностью 2000-5000 ТБк.

Дочерние продукты радона обуславливают пожизненный дополнительный риск рака легкого жителей, живущих поблизости от открытых отвалов хвостов порядка 2 случаев из 100 [43].

Добыча сырья для ЯТЦ закрытым (шахтным) способом из-за вдыхания шахтерами воздуха, содержащего, прежде всего, ^{222}Rn , а так же других членов радиоактивного ряда урана – ^{214}Pb , ^{211}Bi и ^{214}Po , увеличивает вероятность развития рака легкого в шесть раз, по сравнению с горняками нерадиоактивных шахт [42].

Вентиляция шахт увеличивает радиационную нагрузку на жителей близлежащих территорий за счет вдыхания радона и урановой пыли и попадания последней внутрь организма, где в тропных органах и тканях концентрация радиоактивных изотопов может превышать концентрацию их во внешней среде в тысячи и сотни тысяч раз [40].

Средняя концентрация радона в воздухе населённых пунктов в некоторых регионах составляет 100-300 Бк/м³. Это даёт дополнительные случаи рака лёгкого 20 и 60, соответственно на 1000 жителей. Концентрация радона в жилых помещениях может достигать до 20000 Бк/м³, а в подвалах – 100000 Бк/м³ [43].

Атомная электроэнергетика одна из мощных, динамично развивающихся мировых отраслей индустрии. До аварии на «Фукусима-1» в мире эксплуатировалось 440 ядерных энергоблока и строилось еще 65. В ближайшие 10 лет планировалось соорудить еще 150 ядерных энергоблоков и более 200 в перспективе [26].

Для обеспечения ядерным топливом АЭС необходимо ежегодно почти 4000 т природного урана [40].

Кроме атомных электростанций, в 56 странах работает 300 научно-исследовательских и экспериментальных реакторов. Более 200 ядерных реакторов установлены на кораблях надводного и подводного флотов.

В Украине, после закрытия Чернобыльской АЭС действует 4 атомные электростанции с 15-тью ядерными энергоблоками: 6 – на Запорожской АЭС, 4 – на Ровенской АЭС, 3 – на Южно-Украинской АЭС, 2 – на Хмельницкой АЭС. Из них 13 – с реакторными установками типа ВВЭР-1000, и два – ВВЭР-440; два исследовательских ядерных реактора.

В Украине 4644 субъектов деятельности используют более 22 728 ИИИ, в том числе: радионуклидных источников – 10 084; генерирующих устройств – 12 644 [26; 44; 45].

Особую опасность представляет отработанное ядерное топливо, поскольку активности в нем в первые годы после выгрузки огромны, количество их стремительно и неуклонно возрастает по всему Земному шару, а методы надежной, безопасной утилизации, далеки от совершенных.

В первый день после выгрузки из реактора в 1 кг ОЯТ АЭС содержится от 26 до 180 тыс. Ки (960-6700 ТБк) радиоактивности. В течении 30-ти последующих лет она снижается в сотни раз, с дальнейшим медленным уменьшением в течении сотен лет [33].

Вместе с тем, снижение активности материнских изотопов сопровождается возрастанием ее дочерних продуктов, которая со временем может в десятки тысяч раз превышать радиоактивность материнских [46].

На начало 2010 года в мире было накоплено около 240 000 тонн ОЯТ (как тяжелого металла). Примерно 10 500 тонн нарабатывается ежегодно [33].

Специализированным предприятием по обращению с радиоактивными отходами является Государственная

корпорация «Украинское государственное объединение «Радон» (ГК «УкрГО «Радон»). Она объединяет в себе шесть межобластных спецкомбината: один законсервированный в 1965 г., – Донецкий и пять действующих: Днепропетровский, Львовский, Одесский, Харьковский, Киевский [26].

На этих предприятиях осуществляют хранение, обработку, переработку радиоактивных отходов, их предварительную обработку, иммобилизацию, кондиционирование, захоронение короткоживущих, а долгоживущих только в твердом состоянии, в стабильных геологических формациях [47].

По данным МАГАТЭ 2013 г. на ГК «УкрГО «Радон» количество отработанных ИИИ в табл. 1.

Таблица 1

Количество отработанных ИИИ

Спецкомбинаты	Отработанные ИИИ			
	ИИИ в биозащите		ИИИ без контейнерные	
	Количество, ед.	Активность, Бк	Количество, ед.	Активность, Бк
Днепропетровский	167800	6,38E + 14	8271	1,14E + 14
Донецкий	45	3,77E + 11	0	0
Киевский	90669	5,85E + 14	5805	1,65E + 14
Львовский	31297	1,24E + 14	7083	6,69E + 13
Одесский	33078	2,70E + 16	10916	1,70E + 13
Харьковский	87541	3,12E + 14	15348	9,06E + 13

По состоянию на 01.01.2013 на спецкомбинатах ГК «УкрГО «Радон» находится 457853 источников суммарной активностью 2,91E + 16 Бк [48].

Твердые отходы украинских АЭС на 94-99 % являются отходами I категории, то есть в радиационном отношении – наиболее активными [49].

Вместе с тем, основную опасность лучевых повреждений составляют главные предприятия ядерного цикла – атомные электростанции, атомные станции теплоснабжения и теплоэлектроцентрали и те, для обеспечения нужд которых используют ядерные установки, в состав которых входит реакторная установка, загруженные ядерным топливом и оснащенные средствами управления цепной реакцией; ядерные материалы I категории [50].

Сферы применения ядерных установок, многообразие их видов и назначений настолько широко, что даже простое перечисление не сможет уместиться в рамках данного исследования [34].

В результате радиационных аварий на них могут возникнуть масштабные лучевые поражения.

В процессе работы реактора любой АЭС из уранового топлива образуются около 300 различных радионуклидов, из которых более 30 могут попасть в атмосферу. Это прежде всего: ^{129}I – период полураспада 16 млн лет, ^{14}C – 5730 лет, ^{137}Cs – 30 лет, ^3H – 12,3 года, ^{85}Kr – 10,6 лет, ^{131}I – 8 сут, ^{133}Xe – 5,27 сут, ^{133}I – 20,9 ч, ^{41}Ar – 1,82 ч, ^{87}Kr – 78 мин, ^{138}Xe – 17 мин, ^{16}N – 7,35 с [33].

Наибольший вклад в дозу облучения дают нуклиды ^{129}I , ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I [51].

Для предотвращения газообразных выбросов радиоактивных отходов в атмосферу применяются множественные методы и способы очистки, являющиеся сложными технологическими и техническими процессами, сбой в которых, могут резко увеличить степень

выбросов, а также лучевую нагрузку на население, особенно вблизи АЭС [52].

Среди основных нуклидов, попадающих в атмосферу – ^{85}Kr , ^{14}C , ^3H , количество которых с началом атомной эры возросло в миллионы раз. Они хорошо поглощаются тканями организма человека, замещая обычные элементы. Их излучение разрушает органические молекулы, в том числе ДНК, вызывая гибель клеток и мутации [33].

За счет коррозии конструктивных материалов, дефектных ТВЭЛ, радиолитиза и термолитиза ионитов в фильтрах происходит неизбежное распространение жидких радиоактивных отходов [41].

Учитывая циклопическое количество отработанного ядерного топлива, накопившееся в мире, предприятия по его переработке, являются доминантными источниками по сбросу жидких радиоактивных отходов, прежде всего в прибрежные воды мирового океана. Количество сброшенных и продолжающихся сбрасываться активностей различных нуклидов вряд ли можно полностью оценить, но цифры составляют значения с пятнадцатью и более нулями [33].

На территории Украины расположено более 8 тыс. различных учреждений и организаций, деятельность которых приводит к образованию радиоактивных отходов.

Основными их производителями и мест концентрации являются: АЭС – накоплено 70 тыс. м³ РАО; уранодобывающих и перерабатывающая промышленность – накоплено 65,5млн т РАО; Украинское государственное объединение «Радон» – накоплено 5 тыс. м³ РАО; зона отчуждения Чернобыльской АЭС – более 1,1 млрд м³ РАО [53].

Считается, что техногенно увеличившийся радиационный фон на Украине, составляющий 4,5 мЗв/год, является причиной 8,0 · 10⁵ случаев фатального рака и 1,2 · 10⁶ случаев стохастических эффектов, что в разы

превосходит количество случаев фатальных раков ($4,2 \cdot 10^5$) и стохастических эффектов ($6,2 \cdot 10^5$), вызываемых среднемировым радиационным фоном, составляющим 2,4 мЗв/год.

Даже без учета естественного фона и медицинского облучения, только за счет техногенной деятельности, количество фатальных случаев рака по Украине составило $1,0 \cdot 10^4$, стохастических эффектов – $1,5 \cdot 10^4$.

В результате воздействия техногенных источников на протяжении 70 лет в Украине дополнительно может произойти $1,0 \cdot 10^4$ случаев заболевания фатальным раком и $1,5 \cdot 10^4$ случаев стохастических эффектов [36].

Таким образом, космическое излучение естественного радиационного фона и техногенно усиленный радиационный фон Земли, в результате развития космической отрасли, энергетики и атомного производства, расширение ареала применения источников ионизирующего излучения в практической деятельности, выявляют новые риски развития лучевых повреждений, которые могут представлять существенную, масштабную опасность их развития, что определяет уровень проблемы по масштабу – глобальным, а по актуальности – значительной и возрастающей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стаханов М. Л. Постмастэктомический синдром: патогенез, классификация / М. Л. Стаханов, Л. З. Вельшер, А. А. Савин // Российский онкологический журнал. – 2006. – № 1. – С. 24–32.
2. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений : [методическое руководство]. – Т. 1: Организация и методы контроля. – М. : Атомиздат. – 1980. – 272 с.
3. ВОЗ. Медицинские последствия Чернобыльской аварии: обзор Информационный бюллетень № 303. – Апрель 2006 г. Режим доступа : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs303/ru/>.
4. Основы радиационной экологии : [учебное пособие] / Мар. гос. ун-т; Ю. А. Александров. – Йошкар-Ола, 2007. – 268 с.
5. Ишханов Б. С. Нуклеосинтез во Вселенной / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, И. А. Тутынь. – Издательство Либроком, 2009. – 208 с.
6. ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения.
7. ГОСТ 25645.103-84 Условия физического космического пространства. Термины и определения
8. Ишханов Б. С. Частицы и атомные ядра / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин. – Издательство ЛКИ. – 2007. – 584 с.
9. Никольский С. И. Широкие атмосферные ливни космического излучения / С. И. Никольский // Успехи физических наук. – 1962. – Т. LXXVIII. Вып. 3. – С. 365–410.
10. Свертилов С. И. Характеристики рентгеновских двойных звезд, пульсаров и гамма-всплесков по данным космических экспериментов на основе метода мониторинговых наблюдений : дис. ... д-ра физ.-мат. наук : 01.03.02 / С. И. Свертилов. – Москва, 2006. – 298 с.
11. Бережко Е. Г. Ускорение космических лучей ударными волнами / Е. Г. Бережко, Г. Ф. Крымский // Успехи физических наук. – 1988. – Том 154, вып. 1. – С. 49–91.
12. ГОСТ 25645.108-84 Излучение рентгеновское и гамма-излучение космическое. Термины и определения.
13. Мирошниченко Л. И. Физика Солнца и солнечно-земных связей : [учебное пособие] // Л. И. Мирошниченко ; [под ред. М. И. Панасюка]. – М. : Университетская книга, 2011. – 174 с.
14. Мурзин В. С. Введение в физику космических лучей / В. С. Мурзин. – [2-е изд., дополненное]. – М. : Атомиздат, 1979. – 304 с.
15. Топтыгин И. Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях / И. Н. Топтыгин. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 304 с.
16. Грачев Н. Н. Защита человека от опасных излучений / Н. Н. Грачев, Л. О. Мырова. – М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2005. – 317 с.
17. Shielding Space Explorers from Cosmic Rays. Eugene Parker in Space Weather, Vol. 3, No. 8, Article no. S08004; August 18, 2005.
18. Публикации рабочей группы NASA 2004 г. по вопросам радиационной защиты: [aoss.engin.umich.edu/RadiationShieldingSpaceTravelers\[Preview\]](http://aoss.engin.umich.edu/RadiationShieldingSpaceTravelers[Preview]) The perils of cosmic rays pose severe, perhaps insurmountable, hurdles to human spaceflight to Mars and beyond By Eugene N. Parker Scientific American March 2006 Issue P. 40–47.
19. Официальный сайт МКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sibirica.su/potaynaya-dver/zemlya-iz-kosmosa-ryamaya-translyatsiya-s-mks>.
20. Панасюк М. И. Модель космоса: научно-информационное издание в 2 томах / М. И. Панасюк, Л. С. Новиков. – М. : КДУ, 2007. – 2016 с.
21. Федоренко Б. С. Радиобиологические эффекты корпускулярных излучений. Радиационная безопасность космических полетов / Б. С. Федоренко ; ГНЦ РФ -Институт медико-биологических проблем, Рос. акад. наук ; [ред. В. В. Шиходыров]. – М. : Наука, 2006. – 189 с.
22. Закономерность в энергетическом спектре космических лучей. Научное открытие № 84 с приоритетом от 22 апреля 1958 г. / С. Н. Вернов, Г. Б. Христиансен, Г. В. Куликов, В. И. Соловьева, А. Т. Абросимов, Б. А. Хренов.
23. Шафиркин А. В. Радиационный риск для космонавтов при осуществлении полета к Марсу / А. В. Шафиркин, Ю. Г. Григорьев, А. В. Коломенский //Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2004. – Т. 38. – № 2. – С. 3–14.
24. Актуальные проблемы российской космонавтики: Труды XXXV Академических чтений по космонавтике. – Москва, январь 2011 г. / Под общей редакцией А. К. Медведевой. – М. : Комиссия РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2011. – 624 с.
25. Радиоэкология : [учебник для вузов] / М. Г. Давыдов, Е. А. Бураева, Л. В. Зорина и др. – Феникс, 2013. – 635 с.
26. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2012 році Держ. ком. ядер. регулювання України. – 2012. – 92 с.
27. Романов С. М. Актуальность радиационного контроля на угольных шахтах и разрезах / С. М. Романов, А. А. Шиллов, О. Н. Гурьянова // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – № 8. – С. 26–27.
28. Юдович Я. С. Уран в углях / Я. С. Юдович, М. П. Кетрис // Сыктывкар, 2001. – 84 с.
29. Шрамченко А. Д. Радиационная обстановка на предприятиях угольной промышленности / А. Д. Шрамченко // ТЭК. – 2000. – № 3. – С. 75.

30. Нифантов Б. Ф. Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях. Перспективы переработки / Б. Ф. Нифантов, В. П. Потапов, Н. В. Митина. – Кемерово : Институт угля и углехимии СО РАН. – 2003. – 100 с.
31. Родс Р. Потребность в ядерной энергии. Взгляд на трудное энергетическое будущее мира / Ричард Родс, Денис Беллер // Бюллетень МАГАТЭ. – 2000. – Т. 42. – № 2. – С. 43–50.
32. Овсейчук В. А. Радиоактивность углей и продуктов их сжигания / В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова // Атомная стратегия. – Т. XXI. – 2013. – С. 11–13.
33. Бекман И. Н. Ядерная индустрия : [курс лекций] / И. Н. Бекман. – Москва, 2005 – 870 с.
34. Межведомственный научный совет по радиохимии при Президиуме РАН и ГК Росатом: основные итоги работ в 2009 г. – Москва – 2009. – 122 с.
35. Суматохіна І. М. Промислові відходи як чинник стану екологічної безпеки регіону: оцінка, картографування, управління / Суматохіна І. М., Дук Н. М., Шевченко О. А. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 1. – С. 69–75.
36. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины : [монография] / Г. Д. Коваленко. – Х. : ИД «ИНЖЕК», 2008. – 264 с.
37. Радоуцкий В. Ю. Опасные технологии производства : [учеб. пособие] / В. Ю. Радоуцкий, В. Н. Шульженко, Н. В. Нестерова ; [под ред. В. Ю. Радоуцкого]. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2008. – 202 с.
38. «Комплексная безопасность. Новые горизонты». Сборник материалов международной научно- практической конференции, 25 ноября 2011 года. – Химки : ФГБОУ ВПО «АГЗ МЧС России». – 2012. – 304 с.
39. Экологическая энциклопедия : в 6 т. / Гл. ред. В. И. Данилов-Данильян ; авт.-сост. К. С. Лосев. – М. : Энциклопедия, 2008 – 2011 с.
40. Гордиенко В. А. Экология. Базовый курс для студентов небиологических специальностей : [учебн. пос.] / В. А. Гордиенко, К. В. Показеев, М. В. Старкова. – [1-е изд.]. – 2014. – 592 с.
41. Мерзликин Г. Я. Основы теории ядерных реакторов / Г. Я. Мерзликин. – 2001. – 341 с.
42. Титаева Н. А. Ядерная геохимия : [учебник] / Н. А. Титаева. – [2-е изд., испр. и доп.] – М. : МГУ, 2000. – 336 с.
43. Сахаров В. К. Радиоэкология : [учебное пособие] / В. К. Сахаров. – СПб. : Издательство «Лань», 2006. – 320 с.
44. Іванюта С. П. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків : [монографія] / С. П. Іванюта, А. Б. Качинський ; НІСД. – К. : НІСД, 2012. – 308 с.
45. Оцінка регіональних еколого-ресурсних та еколого-техногенних загроз національній безпеці України / Є. О. Яковлев, Ю. М. Скалецький, С. П. Іванюта, Л. М. Якушенко. – [2-е вид., доп.]. – К. : НІСД, 2011. – 32 с.
46. Лашко Т. Н. Оценка вклада низкоактивных альфа-излучателей облученного топ лава в формирование дозовых нагрузок нейтронных полей / Т. Н. Лашко, А. П. Лашко ; Институт ядерных исследований НАН Украины // Щорічник. – 2008. – 139 с.
47. Закон України Про поводження з радіоактивними відходами от 30.06.1995 № 255/95-ВР редакція дійсують с 01.01.2011.
48. Выполнение регулирующих требований при обращении с отработавшими источниками ионизирующего излучения в Украине Семинар КЭГ МАГАТЭ «Международные программы по обращению с использованными радиоактивными источниками в России и странах бывшего СССР» 11-12 апреля 2013 года МАГАТЭ. – Вена. – 128 с.
49. Доклад о состоянии ядерной и радиационной безопасности в Украине в 2009 году. – 93 с.
50. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2003 р. № 625 Про затвердження Порядку визначення рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання відповідно до їх категорії із змінами і доповненнями, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2006 року № 1829.
51. Василенко І. Я. Радиоактивный йод / И. Я. Василенко, О. И. Василенко // Энергия: экономика, техника, экология. – 2003. – № 5. – С. 57–62.
52. Международная конференция высокого уровня «Атомная энергия в 21 веке». – СПб : 27–29 июня 2013 года. – Режим доступа : <http://nuclearforum2013.ru/program/>.
53. Безпека життєдіяльності / В. Г. Цапко, Д. І. Мазоренко, Ю. С. Скобло, Л. М. Тіщенко. – Київ, 2008. – 400 с.

І. М. Кіхтенко, Ю. М. Хворостенко,
Дніпропетровська медична академія, м Дніпропетровськ, Україна

РОЛЬ ПРИРОДНОГО І ТЕХНОГЕННОГО ПОСИЛЕНОГО РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ ЗЕМЛІ В ПРОБЛЕМІ ПРОМЕНЕВИХ ПОШКОДЖЕНЬ

Променеві ушкодження являють собою значну медичну проблему, у зв'язку з відсутністю ефективних методів лікування, пов'язаних з нестачею знань патогенезу. Різко підвищує актуальність проблеми поширеність причини виникнення променевих ушкоджень – масштабність впливу на людей, іонізуючого випромінювання. З метою виявлення ролі окремих факторів, що зумовлюють актуальність, проведено аналіз масштабів їх впливу і показано, що вони не тільки мають глобальний рівень, але і з часом збільшуються.

Ключові слова: променеві ушкодження; радіаційний фон.

I. M. Kikhtenko, Y. M. Hovorostenko,
Dnipropetrovsk medical Academy, Dnipropetrovsk, Ukraine

THE ROLE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC ENHANCED BACKGROUND RADIATION OF THE EARTH IN THE PROBLEM OF RADIATION DAMAGE

Subject of research – the relevance of radiation damage at modern development of industry and medicine. In the world of radiation sources used in different fields of practice and their application in the future will increase, which greatly increases the likelihood of injury in a significant contingent of people.

Research topic – definition of the role of natural and technologically enhanced radiation background of the Earth in the problem of radiation damage. The purpose of research – identifying the scale of the problem of radiation damage in situations in which it is possible exposure to ionizing radiation in the range causing radiation damage. Methodology – analysis of situations in which the possible effects of ionizing radiation in the range causing radiation damage. Scientific novelty – the development of space industry, energy and nuclear production, expanding the range of application of ionizing radiation sources in practice, identify new risks of radiation damage. Application: medicine, oncology, radiology, nuclear medicine, radiobiology, therapeutic radiology, radiation therapy, hygiene, ecology and other. Conclusions: cosmic radiation, natural background radiation and anthropogenic enhanced background radiation of the Earth, resulting in the development of the space industry, energy and nuclear production, 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.

Keywords: radiation damage; radiation background.

Рецензенты: *Томилини Ю. А.*, д. б. н., профессор;
Сухина Е. Н., д. мед. н., профессор.

© Кихтенко И. Н., Хворостенко Ю. М., 2014

Дата надходження статті до редколегії 23.11.2014