

УДК 621.039.58  
© 2002

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВАРИЙ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКЕ: ВОЗМОЖНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И МЕРЫ ПОМОЩИ

*А.К. Гуськова*

*Россия, г. Москва, ГИЦ РФ «Институт биофизики»*

Приведены основные типы и характеристики имевших место и гипотетических аварийных ситуаций в атомной промышленности и энергетике. Рассмотрены возможные медицинские последствия радиационных инцидентов и меры медицинской помощи в соответствии с классификацией аварийных ситуаций.

В структуру атомной промышленности и энергетике входят как научные, так и производственные подразделения, объединенные общими проблемами и целями. Они занимаются разработками, созданием и испытанием ядерного оружия, производством и применением источников излучения для различных целей, получением электроэнергии на основе использования ядерного топлива в реакторах. Специальным разделом, преимущественно военного и космического назначения, является использование ядерных источников излучения и энергии на транспортных установках (ПЛА) и спутниках.

Обобщение 50-летнего опыта медицинского сопровождения деятельности указанных предприятий позволяет выделить ряд основных типов имевших место и возможных на них аварийных ситуаций: 1) значимых только для персонала; 2) распространяющих последствия аварии на большие контингенты населения [1–3].

К группе 1) относятся:

а) Так называемые *малые радиационные аварии в ограниченных группах* персонала, непосредственно обслуживающих промышленный или энергетический реактор (перегрузка

ТВЭЛ-ов, извлечение из реактора облученных материалов, ревизия прилегающих к активной зоне помещений, манипуляции в случае выброса из реактора аэрозолей и активных газов и воды 1 контура с ограниченным распространением их в окружающей среде). Одной из причин аварии подобного типа могут быть технологические дефекты оборудования [3, 8].

Число участников таких аварий, как правило, невелико. Тип облучения –  $\gamma$ -n и  $\gamma$ - $\beta$ , часто со значительной степенью неравномерности распределения дозы по телу и фракционированием дозы (повторные манипуляции в аварийной зоне с наличием местных поражений). Это затрудняет получение и интерпретацию данных о дозах излучения. Внутреннее облучение, как правило, мало значимо. Исключения составляют ситуации в замкнутых герметично помещениях стендовых установок и отсеках транспортных подвижных средств. Медицинские последствия заключались в развитии ОЛБ и МЛП различной тяжести с довольно быстрой идентификацией пострадавших. Возможности оказания им медпомощи в местных медицинских учреждениях при стационарном размещении установок весьма ве-

лика. Они значительно ограничиваются и усложняются при отрыве от баз транспортируемых источников или в особых ситуациях, ограничивающих выход персонала из аварийных помещений (изоляция отсеков, глубоководное погружение) [5–7].

Оценка тяжести и прогноза, в связи с указанными выше дефектами дозиметрии, в основном, проводится по простейшим медицинским данным. Прослежена многолетняя (до 35–40 лет) динамика восстановления у большой группы (59 человек) пострадавших, работавших на ПО «Маяк» в пусковой период [3]. Подобные разработки на группах порядка 150 человек проводятся и в ГНЦ «Институт биофизики». К такого же рода малым авариям, чаще всего сопровождавшимся местными лучевыми поражениями, относятся течи из технологических коммуникаций, обработка зон загрязнения персоналом радиохимического и химико-металлургического заводов, а также плавсоставом ВМФ при возникновении нештатных ситуаций. Иногда к таким же последствиям приводит забор радиоактивных материалов для целей анализа и переработки без соблюдения необходимых правил и мер безопасности. Число людей, вовлеченных в атомной промышленности в такие аварии, было невелико (1–10 в каждой ситуации). Именно у них (около 200 случаев) и наблюдались в отрасли МЛП без общих клинических проявлений реакции на облучение, но требовавшие медицинской помощи (дезактивация, обработка раны, лечение МЛП). Доля прямых участников подобных 5 ситуаций, описанных в литературе на ПЛА, также чаще составляла до 10 человек с явными лучевыми поражениями, при 120–150 участниках ситуации [7, 8].

б) *Аварии критичности* – по своей распространенности с почти равной частотой наблюдались в научно-исследовательских и производственных подразделениях отрасли. В отчете «Review of Criticality accidents» 2000 г. описаны их технологические аспекты. Причиной аварий, как правило, были нарушения технических регламентов работ с жидкими и твердыми ядерными материалами самими пострада-

вшими. Число последних в каждой аварии, как правило, невелико (2–8 человек). Переход реакторов транспортного предназначения в критическое состояние наблюдался на испытательных стендах. Описаны единичные случаи возникновения тяжелых поражений [8, 9].

Основные радиационные факторы – неравномерное  $n$ - $\gamma$ -излучение широкого спектра с резкой неоднородностью распределения дозы в объеме тела. Продолжительность облучения – ничтожно мала, при очень высокой мощности дозы. Типичная форма: ОЛБ от резко неравномерного облучения, иногда с преобладанием местных поражений крупных сегментов тела. Влияние на окружающую среду, включая персонал соседствующих с аварийным помещений, минимальное.

Тяжесть проявлений, сложности реконструкции дозы требуют скорейшего привлечения высоко квалифицированных специалистов. Типична относительная частота летальных исходов, исключительная вариабильность тяжести и характера проявлений, даже у участников одной и той же ситуации [4, 6, 9, 10].

Подвариантом является критическая реакция или разрушение активной зоны реактора в малом замкнутом помещении, когда наряду с  $n$ - $\gamma$ -излучением имеет место поступление радиоактивных аэрозолей и жидкостей на кожу и слизистые находившегося в помещении персонала (отсек транспортной установки, замкнутый стендовый испытательный корпус и т. д.). Медико-биологические особенности и тактические решения те же, что для данного варианта – в целом, с учетом  $\gamma$ - $\beta$ -поражения кожи и слизистых, достигающих иногда значительной тяжести.

Группа 2) Вариант со значительным поступлением радиоактивных материалов в окружающую среду (при разрушении больших объемов активной зоны реактора, повреждении хранилища радиоактивных отходов, нештатном выбросе радиоактивных материалов в воздух и водную среду, а также массивные течи из технологических коммуникаций). В такого типа аварии, наряду с непосредственно обслужива-

ющим установку персоналом, вовлекаются значительные группы персонала смежных с аварийным помещением, лица, находящиеся поблизости в ближайшие сроки или проживающие в зонах газо-аэрозольных выбросов различной интенсивности, а также привлеченный для ликвидации последствий аварии.

Ситуация усложняется массовостью, наличием среди участников группы лиц, не имеющих элементарных сведений о характере происшествия, необходимостью привлечения к противоаварийным мероприятиям непрофильных учреждений региона или мест базирования, трудностями материально-технического обеспечения работ, сложностью срочного выделения малого числа реально облученных и пострадавших среди огромного числа вовлеченных (отношение: 10:100:1000) [5, 11].

Опыт (Чернобыль 1986 г.) позволяет детектировать ограниченную группу пострадавших — в пределах нескольких десятков-сот человек — непосредственных участников и свидетелей инцидента, подвергшихся облучению в дозах  $\geq 1$  Гр. Среди них, в первую очередь, и надо срочно — по клинико-дозиметрическим данным, идентифицировать лиц с возможным развитием ОЛБ II и большей степени тяжести (доза общего  $\gamma$ -облучения  $\geq 2$  Гр в пределах ориентировочной точности ее определения  $\pm 50\%$  и МЛП (доза на кожу  $\geq 20$  Гр). Это было адекватно решено аварийной бригадой ГНЦ — Института биофизики в апреле 1986 г. [11, 12].

Повторная сортировка через 7–8 дней (в стационаре или из числа лиц оставленных на месте под наблюдением) — позволяет дополнительно идентифицировать пострадавших с дозой  $\geq 1$  Гр и  $\geq 10$  Гр, а также более четко дифференцировать объем помощи и прогноз в группе с дозой 1–10 Гр и отклонить необоснованные подозрения о лучевой болезни.

Возможности локальной медслужбы, как правило, ограничивались неотложной помощью и идентификацией больных ОЛБ II степени и МЛП (II–III с.), с принятием решений о их первоочередной эвакуации.

К сожалению, сведения об авариях на ВМФ (ПЛА) преимущественно фигурируют в

виде не всегда адекватных и полных воспоминаний самих участников — инженерно-командного состава флота и МО [7–13].

В отличие от атомной промышленности в литературе почти нет сводных публикаций о числе, сроках, участниках и пораженных в 4–5 описанных ситуациях (аварийные ситуации 13.10.60 г., 04.07.61 г., 24.05.68 г. и 24.06.83 г.). Из сопоставления доступных сведений о частоте нерадиационных аварий (в основном пожары и механические технологические дефекты, ограничивающие всплытие и приход ПЛА на место базирования) с частотой радиационных инцидентов по указанным выше публикациям, следует значительное преобладание нерадиационных, в т.ч. многократное превышение фатальных исходов (12 и свыше 450 соответственно) погибших среди их участников (особенно при пожарах, задымлениях и взрывах) [7, 8, 10, 13].

Необходим квалифицированный анализ не только технологических причин всех имевших место радиационных аварий на транспортных установках в силу специфических условий их функционирования (вибрация, качка, давление), но и возможных особенностей влияния на здоровье персонала в конкретных ситуациях, отличающихся друг от друга существенно.

Очень нужны, и это является достойной внимания военных врачей, задачей, вдумчиво проанализированные сведения о судьбе героических участников всех подобных ситуаций, их состоянии здоровья и жизненном статусе в отдаленные сроки, особенно исходах немногих случаев реальных общих и местных лучевых поражений. По острому периоду эти сведения [8] также носят фрагментарный характер. К ним должны быть присвокуплены и материалы об отдельных инцидентах у военнослужащих, пострадавших вследствие контакта с транспортируемыми источниками, использующимися в местах наземного базирования. Последствия МЛП у этих лиц наблюдаются выборочно и неполно, не только в различных учреждениях, но и в различных странах. Общей оценки ситуации, как правило, нет [5, 6, 8, 10].

Очевидно, в известной мере различными будут и конкретные организационные решения по авариям между гражданскими и военными [8, 14] (особенно ВМФ) учреждениями, несмотря на безусловную принципиальную близость основных установок по критериям диагностики и мерам помощи пострадавшим. Свидетельством последнего являются наши совместные инструктивно-методические документы в течение всех этих лет.

Главными чертами отличий являются, по нашему мнению, следующие:

- огромная значимость комбинации аварийных факторов у персонала ПЛА, летного состава, выполнявших особые задания в зонах испытания ядерного оружия или при крупномасштабных авариях типа аварии ЧАЭС в 1986 г.;
- своеобразии персональных обязанностей, в т. ч. и при возникновении аварии, связанной с необычным размещением источников излучения и выполнением специфических для отдельных групп задач;
- различное расстояние и степень доступности учреждений, в которых может быть оказана специализированная медицинская помощь в полном объеме непосредственно после облучения.

Эти отличия должны быть учитываемы в медицинских инструкциях, чтобы сделать реальными их выполнение. Очень актуален постоянный обмен опытом между военными и гражданскими специализированными службами.

По первым сведениям, особенно о крупномасштабной аварии, необходимо быстро подключать к решению задач местные органы медицинского и административного, а также военного регулирования, а для гражданских лиц — подразделения МВД и МЧС — в целях организации ограничительных и поисково-спасательных мероприятий. Важно предусмотреть заранее оперативную систему целенаправленного адресного информирования о ситуации, использовать максимально доступную помощь на месте, рационально построить эвакуационные потоки, оптимизировать поведение всех вовлеченных в аварию лиц и, по возможнос-

ти, минимизировать ее последствия для здоровья пострадавших [5, 9, 15].

На основе уточненной последовательной информации проводится маркирование аварийных зон и определение контингентов с различными объемом и срочностью лечебно-профилактических мер и осуществляется оказание помощи по неотложным показаниям местными средствами.

Больных ОЛБ и МЛП целесообразно, как можно скорее, сосредоточить в одном высококвалифицированном медицинском учреждении, способном обеспечить полный объем необходимой помощи на весь период формирования заболевания. Транспортировка возможна во всем диапазоне доз (в зависимости от расстояния и условий плавсредствами, авто- и авиатранспортом). Тяжело больные нуждаются в сопровождении медицинским работником для проведения у них неотложных лечебных мер по клиническим показаниям (рвота, коллапс, боль, нарушение поведения) в период транспортировки. Проводится (в течение 3–12 ч) или продолжается начатая на месте йодная профилактика.

На всех предприятиях в войсковых частях и НИИ возможны также и другие — не связанные с их технологией «обычные» инциденты, типичные для радиационных ситуаций с транспортируемыми источниками (используемыми для контроля эталонами, пробами технологических продуктов, источниками излучения в приборах контроля). Правила их идентификации и меры помощи — не отличаются от таковых в общей сети (дефектоскопия и др.) [4, 5, 16]

Крайне редкими, согласно имеющимся в литературе сведениям, в нашей стране и за рубежом были, как правило, лишь индивидуально значимые ситуации с возможностью разовых поступлений в организм опасных количеств радиоактивных веществ [4]. Такие ситуации требовали индивидуального адекватного решения.

Описаны отдельные случаи поступления цезия, полония, трития, йода при ингаляции и через неповрежденную и поврежденную

кожу — при возникновении дефектов в защитной одежде, перчатках, технологических боксах, нарушении целостности емкостей с нуклидами в лабораториях. Известно уникальное наблюдение ученых США о случае разрыва колонки, содержащей значительное количество америция-241, поступившего в организм оператора через поврежденную кожу и путем ингаляции. Пациент потребовал системы специальных мер по пути транспортировки, последующей временной изоляции пострадавшего, срочных мер по деконтаминации загрязненного помещения и длительной интенсивной терапии у него хелатами [5, 6].

В промышленности идентифицирован ряд случаев поступления плутония через кожу при ее ранении или подвергшуюся микротравматизации, также потребовавших индивидуальной верификации и дифференцированной для каждого пациента системы лечебно-профилактических мероприятий [3, 4].

Обнаружение подобных случаев в отрасли происходило либо при дозиметрическом контроле в момент выхода из рабочих зон, либо в связи с активным обращением пострадавшего с информацией о происшествии с последующим тщательным его расследованием.

Закономерно, что тщательному контролю подвергалось и рабочее место, на котором произошел инцидент, и его другие возможные участники.

Сведения о дозах облучения пациента и о дальнейших мерах по уменьшению лучевой нагрузки (обмыв, изоляция участка загрязнения, местное и системное применение сорбентов нуклида, оперативное удаление загрязненного участка) уточняются последовательно с участием квалифицированных специалистов в области клинической дозиметрии и хирургии загрязненных нуклидами ран.

Оценки степени опасности и прогноз могут при этом существенно трансформироваться.

В последние годы появился ряд частных [3, 6] и обобщающих [1, 2, 9] публикаций по имевшим место авариям. Как уже говорилось выше, они излагают преимущественно технические подробности инцидентов, их причины,

уровень доз с кратким и неполным упоминанием числа вовлеченных и пострадавших. Отдельно публикуются [4, 6, 8 и др.] клинические сведения о проявлениях общих и местных лучевых поражений, как правило, без обсуждения принципиально важного вопроса о соотношении типа аварии с характерной для них частотой, структурой и тяжестью поражений.

Еще более редки публикации об отдаленных сроках наблюдения [14, 17, 18]. В ГНЦ ИБФ проводятся работы по обобщению и анализу этих разнородных публикаций в медицинском плане, имея целью подготовить заранее медицинский персонал к аварийным ситуациям различного типа, оценить возможность получения при этом дозиметрической информации и на этой основе прогнозировать закономерную частоту и структуру их медицинских последствий [14, 16, 18].

Только это, по нашему мнению, позволяет в полной мере использовать огромный коллективный опыт технологов, физиков здоровья, военных и гражданских врачей в подготовке конкретных планов противоаварийных мероприятий, совершенствовании дозиметрической информации и интерпретации клинических эффектов. К сожалению, и в дальнейшем не исключается возможность радиационных ситуаций с развитием острых общих и местных лучевых поражений. Все мы должны быть готовы к этим ситуациям на основе изучения уникального опыта прошлого и постоянного совершенствования наших диагностических и лечебных возможностей, соответствующих современному уровню медицинской науки.

#### ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аклеев А.В., Голощанов П.В., Косенко М.М., Дегтева М.О. Радиоактивное загрязнение окружающей среды в регионе Южного Урала и влияние на здоровье населения. — М.: ЦНИИАтомИнформ, 1991, 64 с.
2. Кирюшкин В.И., Гуськова А.К., Косенко М.М. Организация наблюдения за ограниченной частью населения в условиях повышенно-

- го облучения / Руководство по организации медицинского обслуживания лиц, подвергшихся действию ионизирующего излучения. — М.: Энергоатомиздат, 1985, с.137–168.
3. Kossenko M.M., Degteva M.O., Vyushkova O.V. et al. Issues in the comparison of Risk Estimates for the Population of the Techa River Region and Atomic Bomb survivors. *Rad. Res.* 148, 1997, p. 54–63
  4. Okladnikova N.D., Pestemikova V.S., Sumina M.V., Doshchenko V.N. Occupational diseases from radiation exposure at the first nuclear plant in the USSR // *The sci. Of Total Enviroment*, 1994, 142, p. 9–17.
  5. Degteva M.O., Kozheurov V.P., Tolstykh E.J. et al. The Techa River Dosimetry System Method for the Reconstruction of Internal Dose // *Health Phys.*, 2000, 79, №1, p. 24–35.
  6. Никипелов Б.В., Лызлов А.Ф., Кошурникова Н.А. Опыт первого предприятия атомной промышленности: уровни облучения и здоровье персонала // *Природа*, 1990, №2, с. 30–38.
  7. Никипелов Б.В., Лызлов А.Ф., Булдаков Л.А. и др. Радиационная авария на Урале в 1957 г. // *Атомная энергия*, 1989, т. 67, вып. 2, с. 74–80.
  8. Гогин Е.Е., Емельяненко В.М., Бенецкий Б.А., Филатов В.Н. Сочетанные радиационные поражения. — М.: Известия, 238 с.
  9. A Review of Criticality Accidents. Los Alamos NL. New Mexico 87545, 2000, 143 p.
  10. Guskova A. Assessment of the Consequences of Radiation Accidents Rep. 210 10 JRPA 2000, Hiroshima, May 2000.
  11. Guskova A., Nadejina N., Moiseev A. et al. Medical assistance given to personnal of the Chemobyl Nuclear Power Plant after the 1986 accident in *Book Hematology Reviews*, 1995, v. 7, p. 27–99.
  12. Ильин Л.А. Реалии и мифы Чернобыля. — М.: ALARA Limited, 1994, 446 с.
  13. Гуськова А.К., Байсоголов Г.Д. Лучевая болезнь человека. — М.: Медицина, 1971, 383 с.
  14. The Radiological Accident in Istanbul. IAEA, Vienna, 2000, 76 p.
  15. Оказание медицинской помощи пораженным при радиационных авариях на догоспитальном этапе. Библиография Всероссийской службы медицины катастроф. Пособие для врачей. М., 1999, 60 с.
  16. The Radiological Accident in Yanango. IAEA, Vienna, 2000, 42 p.
  17. Okladnikova N.D., Pesternikova V.S., Sumina M.V. и др. Последствия и исходы острой лучевой болезни (40–45 лет наблюдения) // *Мед. радиология*, 2000, т. 15, вып. 2, с. 16–22.
  18. Надежина Н.М., Галстян И.А., Савицкий А.А., Ртищева Ж.Н. База данных как метод системного анализа состояния здоровья лиц, перенесших лучевую болезнь. VIII Межд. симпозиум «Урал промышленный, Урал атомный — 2000». 2000. Тез. докл. печати.