

УДК 613.648-06

И.Б. Ушаков, Б.И. Давыдов, С.К. Солдатов

## ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИ УСЛОВНО МАЛЫХ ДОЗАХ ОБЛУЧЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Государственный научно-исследовательский испытательный институт авиационной и космической медицины МО РФ, Москва

Проведен обзор литературных эпидемиологических данных, касающихся оценки отдаленных последствий облучения в малых дозах радиации. Показано, что трудности в трактовке результатов исследований обусловлены рядом внешних и внутренних причин, определяющих сложный ответ организма на воздействие ионизирующих излучений. Большое значение придается биологии человека, состоянию окружающей среды, вредным привычкам и т. д.

**Ключевые слова:** ядерные аварии, население, облучение, малые дозы, радиационный риск, среднегодовая эквивалентная доза, эпидемиологические исследования, лейкозы.

Ядерные аварии под Челябинском, в Селлафилде, Три-Майл-Айленде и особенно на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) обострили проблему воздействия на человека ионизирующего излучения в малых дозах. Особый интерес представляют отдаленные стохастические последствия облучения для 1100 вертолетчиков, участвовавших в ликвидации аварии на ЧАЭС, а также для авиационных специалистов и членов их семей, проживающих на радиоактивных территориях, загрязненных вследствие аварии [12]. В этой проблеме тесно переплелись медицинские, социальные, психологические и этические аспекты, влияющие на профессиональную деятельность авиаторов. Поэтому необходимы тщательный анализ отдаленных эффектов малых доз и оценка их роли в генезе заболеваний пострадиационного периода.

Проблема малых доз широко обсуждалась ведущими специалистами США на семинаре, который состоялся в 1988 г. в г. Коронадо, штат Калифорния [27]. Этому послужили, в частности, следующие обстоятельства: неопределенность в отношении действия малых доз облучения и в связи с этим отрицательное отношение широких слоев населения к радиационным технологиям (АЭС, медицинское и промышленное применение ядерной энергии и т. д.); серьезное давление на государственные службы США со стороны общественности, требующей снижения допустимых уровней радиационного воздействия; теоретическая неясность экстраполяции стохастических эффектов с больших доз облучения на малые.

Что же считать малыми дозами? "Малые дозы" — довольно условное понятие. Они, с нашей точки зрения, не имеют абсолютно четкой размерности. В клинической практике под ними понимают дозы ионизирующей радиации, не приводящие к развитию клинически очерченных нестохастических эффектов (до 0,5—1 Гр) [11]. В радиационной гигиене к ним относятся значения, которые ниже или равны дозовым пределам, установленным международными организациями (МКРЗ, НКДАР при ООН, МАГАТЭ). Малые дозы — это область статистической и социально-психологической неопределенности. Любой факт, свидетельствующий о вредности влияния, воспринимается острее, чем факт о его безопасном воздействии.

В этом смысле показателен анализ радиационного риска у работников предприятий атомной промышленности и лиц, проживающих вблизи объектов ядерно-топливного цикла (ЯТЦ), особенно в периоды аварий, которые в определенной степени могут служить моделями для изучения отдаленных последствий радиационного воздействия. Например, в 1984 г. появилось сообщение, что в пос. Сискейл (в 3 км от Селлафилда, где с 1947 г. работает радиохимический завод) в 10 раз возросла смертность детей от радиационных лейкозов. Для данного случая представляло большую сложность реконструировать дозу облучения населения этого района. Исследования выполнялись применительно к радионуклидам, ответственным за формирование 95 % суммарной дозы внутреннего облучения [30].



Результаты расчетов среднегодовой эквивалентной дозы для красного костного мозга среднего ребенка, рожденного в Сискейле в 1950 г., показали, что за 30-летний период она колебалась в пределах 0,1—1 мЗв. После аварии атомного реактора в Уиндскейле добавочная доза на костный мозг составила в первый период немногим меньше 1 мЗв, а с 1960 по 1980 г. — в пределах 0,5 мкЗв. Были учтены также дозы за счет естественного радиационного фона, медицинских процедур и глобальных радиоактивных выпадений от ядерных взрывов. Детальным изучением установлено, что повышенная смертность детей от лейкозов не связана с радиационным фактором [29].

В двух исследованиях проведен анализ смертности от рака персонала предприятий британской атомной промышленности и атомной энергетики. В одном из них [15] коллективная доза оценена равной 660 чел./Зв, во втором — 780 чел./Зв [20]. В этих работах статистически достоверных сведений, свидетельствующих о канцерогенном действии малых доз облучения, не получено. Более того, отмечено, что смертность от всех форм рака среди персонала указанных предприятий ниже, чем среди всего населения страны.

В США опубликованы также данные о состоянии здоровья и структуре смертности среди лиц, работающих на предприятиях ЯТЦ: на заводе по строительству атомных подводных лодок в Портсмуте [26], газодиффузионном заводе в Ок-Ридже [16] и в Ханфордском центре ядерных исследований [19]. В Портсмуте у персонала, который подвергался облучению в дозах до 5 бэр, увеличения частоты случаев лейкозов и рака легкого не обнаружено. Однако среди рабочих, контактирующих с асбестом, он встречался достоверно чаще [26]. Рак легкого от облучения, по мнению некоторых авторов, может возникать дополнительно (над спонтанным), но лишь при дозах более 100 бэр — за счет внутреннего  $\alpha$ -облучения от радона и дочерних продуктов [28].

В Ок-Ридже обследовали работавших на газодиффузионном заводе в 1947—1974 гг. (средняя продолжительность работы около 9 лет) [16]. Внешнему облучению в дозах 0,5—10 сЗв подверглось 2878 человек, более 10 сЗв — 22. Дозы внутреннего облучения составили 1—4,99 сЗв (у 1131 человек), 5—19,99 сЗв (у 1214) и 20—30 сЗв (у 416).

Приведенные цифры говорят о высоком уровне облучаемости людей.

По результатам этого исследования, смертность от различных заболеваний была ниже, чем в среднем по стране, и главным образом за счет меньшего числа сердечно-сосудистых, цереброваскулярных и желудочно-кишечных заболеваний. Выявлено 196 случаев рака, что незначительно отличается от числа ожидаемых исходов из среднеамериканской статистики. Не зарегистрировано ни одного больного с остеосаркомой, которая вызвана отложением урана в костях. Однако наблюдалась повышенная заболеваемость раком легких, преимущественно за счет  $\alpha$ -излучающих радионуклидов.

В Ханфордском центре аналогичный анализ проведен среди 44 100 сотрудников [19]. Большая их часть подверглась облучению в дозе 0,25 сЗв. 10 % человек получили дозу более 1 сЗв и только в 0,01 % случаев она превысила 5 сЗв. Превышение допустимого уровня поступления радионуклидов в организм наблюдалось у 1,3 % работающих. Статистически достоверно установлено, что по всем нозологическим формам смертность среди персонала центра ниже среднеамериканской. Такая же картина имела место и по всем видам рака. Не выявлено ни одного летального исхода от рака среди сотрудников, в теле которых содержание плутония или других радионуклидов было больше допустимого предела.

В одном из эпидемиологических исследований рабочих ядерных предприятий в Ханфорде и Окриджской национальной лаборатории зарегистрировали повышение уровня смертности от рака для некоторых его типов. Однако высказывается предположение, что это может быть обусловлено другими неблагоприятными нерадиационными факторами [13]. Эпидемиологические исследования состояния здоровья 114 900 работников атомной промышленности Японии (коллективная доза составила 1598,5 чел./Зв) показали, что число смертей от рака не отличается от средних показателей для страны [17]; примерно такие же данные получены относительно населения [21]. В 107 округах США, имеющих объекты атомной промышленности на своей или соседней территории, за период 1950—1982 гг. зарегистрировано около 900 тыс. случаев смерти от рака. Уровень смертности от лейкозов и рака среди жителей "ядерных" округов не превышает таковой в контрольных ок-



ругах. Коэффициент относительного риска детской смертности от лейкоза после ввода атомных объектов в работу был даже ниже, чем до начала их эксплуатации. Отсюда авторы делают вывод: если эти объекты и представляют риск для населения, то он настолько мал, что его невозможно определить с помощью применяемых статистических методов.

У детей, проживающих вблизи западногерманской АЭС (1980—1990), частота возникновения раковых заболеваний и лейкоза зависела от возраста и расстояния проживания от АЭС [23]. Так, у лиц в возрасте от 5 до 15 лет, живущих на расстоянии менее 15 км от АЭС, относительный риск составлял 0,97—1,06. В то же время у детей, живущих на расстоянии менее 5 км, относительный риск лейкоза составлял соответственно 3,01 и 1,44. Однако эти данные были ниже достоверного уровня [4, 16].

Результаты исследований частоты развития лейкозов у людей в возрасте до 25 лет, проживающих в окрестностях ядерных предприятий, противоречивы [18]. Так, в Великобритании было выявлено 5-кратное увеличение частоты лейкозов у людей в возрасте до 25 лет. В то же время в Нормандии показатель смертности от лейкозов у людей такого же возраста был ниже предполагаемого на 10 %. В США данные подобных исследований также неоднозначны.

На сегодняшний день наиболее объективны данные о состоянии здоровья людей после радиационного воздействия получены при обследовании жертв атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки. Эти исследования свидетельствуют, что все дополнительные случаи смерти от лейкемии выявлены среди лиц, подвергшихся облучению в дозах 0,5 Гр и более. Зарегистрированы они через 7—12 лет после взрывов [22].

В частности, установлено, что у мужчин, облученных в дозах 1—49 сГр, частота возникновения опухолей ниже, чем у необлученных [24]. У облученных в дозах 50—99 сГр отмечена более низкая частота гибели от всех причин, за исключением рака. Показатель смертности у лиц, облученных в дозах в диапазоне 1—199 сГр был ниже или равен показателю смертности у необлученных.

В работе W.H. Adams с соавт. [14] описано развитие отдаленных последствий у жителей Маршалловых о-вов через 35 лет после проведения термоядерных взрывов. Доза облучения всего тела у жителей о-вов Ронге-

лап и Утирик составила 1,9 и 0,11 Гр, а щитовидной железы у взрослых 11 и 1,6 Гр, у детей в возрасте до 1 года 50 и 14 Гр. Сокращения продолжительности жизни облученного населения островов по сравнению с контролем не выявлено. У жителей Ронгелапа отмечено увеличение частоты хромосомных aberrаций, уменьшение количества нейтрофилов и лимфоцитов. Отдаленные последствия проявлялись гипотиреозом, субклинической гипофункцией и образованием узлов в щитовидной железе, риском, связанным с хирургическим удалением железы и, как следствие, развитием гипофункций, возможностью образования опухолей гипофиза. Отмечалось, что смертность от незлокачественных заболеваний, вызванных облучением, превышает смертность от злокачественных заболеваний.

В Великобритании обследовано 21 358 человек, участвовавших в ядерных испытаниях 1950—1960 гг., и 22 333 человека в контроле [25]. У персонала, участвовавшего в ядерных испытаниях, через 7 лет смертность от таких заболеваний, как лейкоз, множественная миелома и другие формы рака, была даже ниже, чем в контрольной группе. Через 10 лет после испытаний смертность в наблюдаемой и контрольной группе была одинакова и не превышала уровень демографического показателя по смертности в Великобритании.

Представляет несомненный интерес оценка медицинских последствий аварии на Южном Урале. Состояние здоровья, заболеваемость и смертность населения, находившегося в зоне радиационного воздействия (эффективная эквивалентная доза от 1 до 52 сЗв, на отдельные органы — до 150 сЗв), не отличались от соответствующих показателей контрольной группы [10].

Оценка генетических последствий облучения в малых дозах радиации неоднозначна. Так, у детей и внуков профессионалов, подвергавшихся радиационному воздействию, не выявлено изменений показателей физического развития, уровня и характера заболеваемости, врожденных пороков [7—9].

Многофакторный анализ здоровья новорожденных (пороки развития, ранняя неонатальная смертность, заболеваемость новорожденных), родители которых проживали в зоне расположения предприятий атомной промышленности, не выявил влияния радиационного фактора в связи с выбросами атомных предприятий и рентгенодиагностическими процедурами.



Однако установлена связь неонатальной смертности с выбросами оксида азота и углеводородов металлургическими заводами [2].

Проведена оценка онкологической заболеваемости и смертности населения после аварии на ЧАЭС в Брянской обл. — одной из наиболее радиоактивно загрязненных территорий [4]. Результаты наблюдения были отрицательными. Показано, что ухудшение здоровья населения в ряде районов Могилевской обл., также попавших в зону радиоактивного загрязнения, связано с загрязнением окружающей среды химическими веществами, злоупотреблением алкоголем, курением, нерациональным питанием [6].

Превышение показателей заболеваемости детей в Чернобыльской зоне над доаварийными и среднероссийскими не позволяет на данном этапе сделать однозначные выводы о роли радиации в повышении заболеваемости злокачественными новообразованиями [1, 3]. На взгляд большинства радиобиологов эффект малых доз облучения выявить сложно. Смертность формируется на фоне развития негативных тенденций в медико-демографической ситуации в России. Поэтому необходимо тщательно учитывать ряд территориальных, половозрастных и социальных характеристик [5]. Поэтому оценка радиационного риска должна проводиться с учетом качества окружающей среды и других факторов, способных существенно модифицировать реакцию организма на облучение.

**В ы в о д ы.** 1. Оценка радиационного риска при малых дозах облучения должна опираться на относительную значимость различных факторов, влияющих на процесс канцерогенеза. 2. К числу основных причин, от которых зависят отдаленные эффекты радиации, относят индивидуальные показатели здоровья, внешние факторы (экология, производство, быт и т. д.), образ жизни.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксель Е.М., Двойрин В.В. // Обз. инф. экон. природопольз. — М.: ВИНТИ. — 1995. — № 3. — С. 30—42.

2. Булдаков Л. А., Демин С.Н., Лобчанский Э.Р. и др. // Гиг. и сан. — 1991. — № 6. — С. 50—53.

3. Двойрин В.В., Аксель Е.М. // Дет. онкол. — 1994. — № 2—3. — С. 3—9.

4. Дударев А.Л., Мирецкий Р.И., Размаев П.В. и др. // Мед. радиол. — 1993. — Т. 38, № 8. — С. 13—17.

5. Линге И.И., Мелихова Е.М. // В кн.: Ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС. Состояние здоровья. Материалы Междунар. консультатив. совещ. по проекту "Ликвидатор", Санкт-Петербург, 27 июня—1 июля, 1994 и материалы науч.-практ. конф. "Состояние здоровья и оказание мед. помощи ликвидаторам России", Обнинск, 12—14 дек. 1994. — М., 1995. — С. 83—91.

6. Логачев В.А., Михалихина Л.А., Цвирбут А.И. и др. // Мед. радиол. — 1993. — Т. 28, № 2. — С. 19—24.

7. Петрушина Н.П., Мусаткова О.Б. // В кн.: Тез. докл. науч. конф., посвященной 75-летию основания ЦНИРРИ, 2—4 ноября 1993. — СПб, 1993. — С. 313—316.

8. Петрушина Н.П., Мусаткова О.Б. // Радиация, экология, здоровье: Сред. Урал. Ч.2. — Екатеринбург: РАН, УрО, Ин-т пром. экологии, 1994. — С. 69—80.

9. Петрушина Н.П., Мусаткова О.Б. // Мед. радиол. и радиац. безопас. — 1996. — Т. 41, № 3. — С. 11—14.

10. Романов Г.Н., Булдаков Л.А., Шведов В.Л. // Природа. — 1990. — № 5. — С. 63—67.

11. Торубаров Ф.С., Чинкина О.В. // Клин. мед. — 1991. — Т. 69, № 11. — С. 24—28.

12. Ушаков И.Б., Давыдов Б.И., Солдатов С.К. Человек в небе Чернобыля (летчик и радиационная авария). — Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та. — 1994.

13. Ackland Len // Technol. Rev. — 1993. — 96. — P. 56—61.

14. Adams W.H. // J. Radioanal. Nucl. Chem. Act. — 1992. — Vol. 136, № 2. — P. 269—290.

15. Beral V. et al. // Brit. med. J. — 1985. — Vol. 291. — P. 440—447.

16. Checkowey H. // Amer. J. Epidem. — 1988. — Vol. 127, № 2. — P. 255—262.

17. Effects of low-dose radiation on human body not observed // STA Today. — 1995. — Vol. 7, № 10. — P. 4.

18. Gardner M.J. // Radiat. Res. — 1990. — Vol. 124, № 3. — P. 365—366.

19. Gilbert E.S., Petersen G.R., Buchanan J.A. // Hlth Phys. — 1989. — Vol. 56, № 1. — P. 11—25.

20. Inskip H., Belar V., Fraser P. // Brit. J. Industr. Med. — 1987. — Vol. 44, № 1. — P. 149—160.

21. Jablon S., Hrubec Z., Boice J.D. // JAMA. — 1991. — Vol. 265, № 4. — P. 1403—1408.

22. Kato H., Schull W. // Rad. Res. — 1982. — Vol. 90. — P. 395—432.

23. Keller B. et al. // Energ. sante / Serv. etud. med. — 1992. — Vol 3, № 1. — P. 137—138.

24. Kondo S. // J. Radiat. Res. — 1990. — Vol. 31, № 2. — P. 174—188.



25. MacGibon B.H. // *Dir. On-going Res. Cancer Epidemiol.* — 1991. — P. 302.

26. Rinsky R.A., Zumwalde R.D., Wax Weiler K.Y. // *Lancet.* — 1981. — № 1. — P. 231—235.

27. Sagan L.A., Cohen J.J. // *Hlth Phys.* — 1990. — Vol. 59, № 1. — P. 11—13.

28. Sevc J., Kunr E., Tomasek L. et al. // *Ibid.* — 1988. — Vol. 54, № 1. — P. 27—46.

29. Simmonds J.R., Robinson C.A., Phipps A.W. et al. // *NRPB Rept.* — 1995. — № 276. — P. i, iii—viii, 1—277.

30. Statther et al. // *Nucl. Engenier.* — 1987. — Vol. 28, № 5. — P. 138—142.

Поступила 18.05.98

**S U M M A R Y:** In the article the information concerning epidemiological aspects of radiation (Study the further consequences of low doses of irradiation) at the human population. Here was demonstrated that the difficulty of interpretation of resultates is conditioned by outside and inside causes in answer to the influence of radiation.

Also was shown that the human biology, condition of environmental, unhealthy habites, etc. have got the great importance.