

РАКОВЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО ВБЛИЗИ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Отчет об исследовании, проведенном в США научными работниками Национального института рака

Сеймур Яблон,
Зденек Хрубек и
Дэнон Д. Бойс

Хотя в США не было таких выбросов радиоактивных веществ, как в Чернобыле, по-прежнему поднимаются вопросы о возможных вредных для здоровья последствиях таких событий, как выброс радиоактивных веществ из реактора Три Майл Айленд¹ или из реактора в Хэнфорде², или даже в результате обычной эксплуатации ядерных установок.

Сообщается о большом количестве случаев заболевания лейкемией детей, живущих в окрестностях завода по переработке топлива в Селлафилде, Англия^{4,5}, недалеко от завода по переработке топлива в Даунрей, Шотландия^{6,7}, и у детей, которые проживают в нескольких километрах от предприятий по производству ядерного оружия в Олдермастоне или Бургфилде, Англия⁸. Форман и др.⁹ и Кук-Моцаффари и др.^{10,11} сообщают о большем количестве смертных случаев в результате заболевания лейкемией и болезнью Ходжкина среди лиц молодого возраста, проживающих вблизи 14 ядерных предприятий, восемь из которых являются атомными электростанциями. Однако Крамп и др.¹² не нашли никаких отклонений в количестве случаев раковых заболеваний среди лиц, живущих вблизи завода по производству оружия в Рокки-Флэтс, а в результате исследований, проведенных во Франции Дусе¹³, Филом и Ричардсоном¹⁴, Хиллом и Лапланшем¹⁵ не было обнаружено повышенной смертности в результате лейкемии или других раковых заболеваний среди лиц, живущих вблизи любого из шести ядерных объектов (включая два завода по переработке топлива).

Обследование населения, живущего вблизи атомных электростанций, дало неоднозначные результаты. В Великобритании Эвингс и др.¹⁶ обнаружили повышенное количество случаев заболевания лейкемией и лимфатических желез среди лиц молодого возраста, проживающих вблизи АЭС в Хинкли-Пойнт. Клэпп и др.¹⁷ отме-

тили повышенное количество заболеваний лейкемией среди мужчин в пяти городах недалеко от АЭС Пилгрим в шт. Массачусетс, однако Энштром¹⁸ не обнаружил повышенного количества смертных случаев среди лиц, живущих недалеко от АЭС Сап-Онофре, шт. Калифорния, а Кларк и др.¹⁹ сообщили, что ими не обнаружено повышенного количества заболевания лейкемией канадских детей в возрасте до 5 лет, которые проживают вблизи любой из этих установок, включающих в себя заводы по производству плутония.

Ряд британских ученых сообщили, что повышенное количество случаев раковых заболеваний среди лиц, живущих вблизи ядерных предприятий, не может быть результатом радиоактивных излучений, т.к. это излучение значительно ниже дозы, получаемой в результате естественного радиоактивного фона^{11,20}. К тому же, в ряде отчетов было мало сопоставимости в данных, касающихся расстояния от места проживания до установки, времени после начала эксплуатации установки или даже возраста изучаемых групп населения и характера заболевания.

В США для систематического изучения этих вопросов количество смертных случаев в результате раковых заболеваний оценивалось по округам страны, а также по регистрационным записям заболевания и смерти от рака в тех случаях, когда имели место такие записи, если они были удовлетворительного качества²¹.

Методы

Виды рака. В дополнение к доброкачественным и неустановленным видам новообразований и опухолей изучались следующие 15 видов раковых заболеваний: лейкемия и алейкемия, все злокачественные опухоли и новообразования, исключая лейкемию, болезнь Ходжкина, другие заболевания лимфатических сосудов, множественная миелома, рак желудка, рак толстой и прямой кишок, рак печени в первичной форме, рак любого глотательного органа, рак трахеи, бронха и легкого, рак груди у женщин, рак щитовидной железы, рак костей и суставов, рак мочевого пузыря, рак мозга и других участков центральной нервной системы. Лейкемия является радиогенным раковым заболеванием, которое появляется раньше всех других заболеваний после получения

Д-ра Яблон, Хрубек и Бойс работают в Национальном институте рака Министерства здравоохранения США, в Отделении радиационной эпидемиологии в Бетесда, шт. Мэриленд, США. Данный отчет базируется на их статье, опубликованной в Журнале Американской медицинской ассоциации (JAMA) 20 марта 1991 г., т. 265, № 11, Копирайт 1991, American Medical Association, 535 Dearborn St., Chicago, Illinois 60610 USA.

больших доз облучения при большой мощности излучения. Что касается риска заболевания в результате получения небольших доз при низкой мощности излучения, то он представляется с научной точки зрения неопределенным²².

Данные по смертности и случаям заболеваний. Округа являются наименьшими административными образованиями, по которым имеются в национальном масштабе оценочные данные по численности населения и ежегодные данные по количеству смертных случаев в результате конкретных причин. По округам за период с 1950 по 1984 г. имеются ежегодные данные о количестве смертных случаев с указанием причин смерти, пола и расы и отдельные данные по группе детей в возрасте до 5 лет. Однако качественные регистрационные данные по болезням имелись только по штатам Коннектикут и Айова применительно к четырем предприятиям. Поэтому анализ основывался главным образом на данных о смерти. Расчетные данные о ежегодной численности населения округов с разбивкой по полу, расовой принадлежности и возрастным группам были получены путем интерполяции данных переписи населения в округах в 1950 и 1969 г.²³, а данные за более поздние годы были подготовлены Бюро по переписи населения с использованием данных по переписи населения, которая проводится через каждые 10 лет, и других данных.

Округа, в которых проводились обследования. Радиогенная лейкемия имеет минимальный латентный период продолжительностью, по крайней мере, два года²², поэтому в этих данных не фигурирует количество смертей от лейкемии, которая могла возникнуть в результате облучения в 1982 г. или позднее. Поэтому и количество изученных установок ограничено числом 62. Такое количество установок находилось в эксплуатации до 1982 г. Оно включает в себя 52 коммерческие атомные электростанции, девять предприятий, находящихся в ведении Министерства энергетики (DOE), и один бывший коммерческий завод по переработке топлива. 62 предприятия расположены в 64 округах (Айдахская национальная технологическая лаборатория и Ок-Риджская лаборатория, каждая из которых имеет по одной установке, расположенной в двух округах). Хотя до 1982 г. в эксплуатации находилось более 80 реакторов, количество изучаемых объектов было меньше, чем реакторов, т.к. некоторые АЭС имеют более одного реактора. Иногда предприятия или установки находятся на границе или вблизи границы между двумя округами, и соседние округа включаются в зону, если она составляет по меньшей мере 20 % площади в зоне с радиусом 16 км от установки. Однако в ряде случаев соседние примыкающие округа, которые удовлетворяли одному критерию выбора, не включались в обследование вследствие наличия какого-либо большого города, расположенного далеко от установки, который оказывал бы доминирующее влияние на статисти-

Ядерные установки, включенные в обследование

Название установки	Округ	Штат	Год ввода в эксплуатацию *
Установка Министрства энергетики			
Фернальд	Гамильтон	Огайо	1951
Ханфорд	Бентон	Вашингтон	1943
Айдахская национальная технологическая лаборатория	Бингхэм, Бутте	Айдахо	1949
Маунд	Монтгомери	Огайо	1947
Установка по ядерному топливу	Каттаравугус	Нью-Йорк	1966
Ок-Ридж	Андерсон, Роане	Теннесси	1943
Газодиффузионный завод в Падмоке	Баллард	Кентукки	1950
Газодиффузионный завод в Портсмуте	Пайк	Огайо	1952
Роки-Флитс	Джефферсон	Колорадо	1953
Саваанна-Ривер	Барнвелл	Юж. Каролина	1950
АЭС, принадлежащие энергетическим фирмам			
Арканзас	Поуп	Арканзас	1974
Биг Рок Пойнт	Шарлевуа	Мичиган	1962
Браун Ферри	Лаймстоун	Алабама	1973
Брунсвик	Брунсвик	Сев. Каролина	1975
Калверт Клиффс	Калверт	Мэриленд	1974
Кук	Берриен	Мичиган	1975
Купер Стейшн	Немаха	Небраска	1974
Кристал Ривер	Цитрус	Флорида	1977
Дэвис Бессе	Оттава	Огайо	1977
Дрезден	Грунди	Иллинойс	1960
Дуане Арнольд	Линн	Айова	1974
Фарлей	Хьюстон	Алабама	1977
Ферми	Монро	Мичиган	1963
Форт Калхоун	Вашингтон	Небраска	1973
Форт-Сент-Врейн	Велд	Колорадо	1976
Джиния	Вейн	Нью-Йорк	1969
Хэддем Нек	Миддлсекс	Коннектикут	1967
Хэллам	Ланкастер	Небраска	1962
Хэтч	Эплинг	Джорджия	1974
Хамболдт Бей	Хамболдт	Калифорния	1963
Индиян-Пойнт	Вестчестер	Нью-Йорк	1962
Кевона	Кевона	Висконсин	1973
Ла Кросс (Дженов)	Вернон	Висконсин	1967
МакГуир	Мекленбург	Сев. Каролина	1981
Мейн Янки	Линкольн	Мэн	1972
Миллстоун	Нью-Лондон	Коннектикут	1970
Монтиселло	Райт	Миннесота	1971
Найн Майл Пойнт	Освего	Нью-Йорк	1969
Норт Анна	Луиза	Виргиния	1978
Оюни	Оюни	Юж. Каролина	1973
Ойстер Крик	Оушн	Нью-Джерси	1969
Палисейдс	Ван Бурен	Мичиган	1971
Пасфайндер	Миннехаха	Юж. Дакота	1964
Пич-Боттом	Йорк	Пенсильвания	1974
Пилгрим	Плмут	Массачусетс	1972
Пойнт Бич	Манитовок	Висконсин	1970
Прери Айленд	Гудху	Миннесота	1973
Квод Ситиз	Рок-Айленд	Иллинойс	1972
Ранчо Секо	Сакраменто	Калифорния	1974
Робинсон	Дарлингтон	Юж. Каролина	1970
Сент-Луис	Сент-Луис	Флорида	1976
Салем	Салем	Нью-Джерси	1976
Сан-Онофре	Сан-Диего	Калифорния	1967
Секвойя	Гамильтон	Теннесси	1980
Шиппингпорт Бивер Валли	Бивер	Пенсильвания	1957
Сарри	Сарри	Виргиния	1972
Три Майл Айленд	Дофен	Пенсильвания	1974
Троян	Колумбия	Орегон	1975
Терки-Пойнт	Флорид	Флорида	1972
Вермонт Янки	Виндхэм	Вермонт	1972
Янки Роув	Франклин	Массачусетс	1960
Зайон	Лейк	Иллинойс	1972

* При обследовании был сделан анализ 62 ядерных установок, включающих в себя: 10 установок Министерства энергетики, в т. ч. один бывший коммерческий завод по переработке ядерного топлива (Ньюклар Фьюел Сервисиз) и 52 АЭС с вводом в эксплуатацию в период 1957—1969 гг. (15 АЭС), 1970—1974 гг. (25 АЭС) и 1975—1981 гг. (12 АЭС).

Данные по ядерным установкам и округам, включенным в обследование

	Исследуемые округа	Контрольная группа
Число округов	107	292
Численность населения (1980 г.)		
Общая	18720000	32980000
Средняя	62900	41600
Площадь, км ²		
Наибольшая	10951	52156
Средняя	1503	1498
Наименьшая	218	234
Число смертных случаев (1950—1984 гг.)		
От лейкемии	37200	78500
От других видов рака	838000	1794000

стику смертности от рака. В обследование были включены 107 различных округов. АЭС Пойнт Бич и Кевона (шт. Висконсин), расположенные в соседних округах, рассматриваются как одна установка. Поэтому приводятся данные по 61 району.

Округа для сравнения. Для каждого округа, который изучался для сравнения, было выбрано по три других округа; не всегда было возможно для каждого изучаемого округа выбрать контрольные округа с отличным, независимым контролем, и поэтому для контроля были выбраны 292 различных округа. Контрольные округа сравнивались с изучаемыми по следующим параметрам: доля лиц в общей численности населения в возрасте более 25 лет с разбивкой их на белых, черных, американских индейцев, испанцев, с разбивкой на городское и сельское население, с указанием количества лиц, занятых в обрабатывающей промышленности, а также количества учащихся средних школ; средний доход одной семьи; уровень чистой миграции; величина детской смертности; численность населения. Все данные были приведены за 1979 г., кроме данных о численности населения, которые приводятся за 1980 г.

Однако большие различия в коэффициентах смертности от рака в различных географических районах не могут быть полностью объяснены лишь на основе обычной имеющейся статистики народонаселения. В ней, например, отсутствуют данные об особенностях диеты населения или его этнических особенностях. Поскольку имеется тенденция к тому, что эти факторы по-разному действуют в больших географических районах, округа для контроля выбирались из того же района, где находились и изучаемые округа.

Форма анализа

Отдельные предприятия или установки. Для каждого вида рака и каждого округа было рассчитано ежегодное число „предполагаемых“ смертных случаев, основанных на соответствующем опыте США в течение 35-летнего периода исследований (1950—1984 гг.). Коэффициенты ежегодной смертности в США умножались на оцениваемую численность населения, отдельно на численность детей до пятилетнего возраста, отдельно на численность населения по при-

знаку пола и расы (белые, цветные). Данные, полученные по двум расам и двум полам, затем суммировались для всех округов в изучаемом районе (если изучалось более одного округа) и для всех соответствующих контрольных округов. Затем данные суммировались за все годы, начиная с 1950 г. до времени пуска установки в эксплуатацию, и за все годы после начала ее эксплуатации до 1984 г. включительно; таким образом, получалась ожидаемая величина смертности до пуска установки или предприятия в эксплуатацию и после их ввода в действие. Отношение фактического количества смертных случаев к количеству ожидаемых в соответствии с рассчитанным коэффициентом смертности в США является стандартизированным коэффициентом смертности (SMR). Аналогичным образом отношение числа зарегистрированных случаев заболевания раком к ожидаемому в соответствии с обобщенными коэффициентами по всей стране является стандартизированным коэффициентом заболеваемости (SRR). Отношение коэффициентов SMR или SRR для изучаемых и контрольных округов было названо относительным риском (RR), хотя такое название не является традиционным использованием термина *относительный риск*. Коэффициенты не рассчитывались, если число смертных случаев в районах изучения или контрольных районах было менее трех или если их сумма в этих районах была менее 10. Разница между каждым коэффициентом, связанным с относительным риском, и единицей 1,00 оценивалась с точки зрения вероятности того, что наблюдаемая разница могла возникнуть случайно.

Комбинации установок или предприятий. Данные о смертности рассматривались также применительно к комбинациям установок. При этом использовался адаптированный метод Мантеля-Хенцеля, применяемый для обработки данных по формациям²⁴. Каждый изучаемый район и соответствующий контрольный район выполняли роль одной формации. Данные по атомным электростанциям и установкам Министерства энергетики рассматривались как отдельно, так и в совокупности.

Результаты

Смертность. Данные показывают, что если рассматривать смертность детей от лейкемии для каждой группы установок, будь то АЭС или установки Министерства энергетики, то относительный риск при сравнении изучаемых округов с контрольными был меньше после пуска установок в эксплуатацию, чем раньше. (Следует отметить, что некоторые установки Министерства энергетики были введены в эксплуатацию в 40-е годы и поскольку период времени, доступный для данного исследования, начинался с 1950 г., данные по большинству установок Министерства энергетики ограничены только опытом их работы уже после ввода установок в эксплуатацию.) Относительный риск RR применительно к детской смертности от лейкемии ни на од-

Результаты обследования

Смертность от лейкемии населения в возрасте до 10 лет в зависимости от типа предприятия или установки

Тип установки	До ввода в эксплуатацию					После ввода в эксплуатацию				
	Исучаемая группа		Контрольная группа		RR	Исучаемая группа		Контрольная группа		RR
	количество выявленных смертных случаев	SMR	количество выявленных смертных случаев	SMR		количество выявленных смертных случаев	SMR	количество выявленных смертных случаев	SMR	
Министерство энергетики АЭС энергетических фирм:	39	1,18	48	0,84	1,45	601	1,01	1009	0,96	1,06
1957-1969 гг.	539	1,09	1035	1,05	1,03	534	1,03	993	1,00	1,00
1970-1974 гг.	996	1,06	2383	0,98	1,09*	227	1,00	482	1,00	1,00
1975-1981 гг.	392	1,07	785	0,95	1,11	28	0,70	88	0,94	1,06
Всего	1981	1,07	4203	0,99	1,08*	789	1,01	1563	0,93	0,82
По всем установкам	2020	1,07	4251	0,99	1,08*	1390	1,01	2572	0,97	1,03

Смертность населения всех возрастов от лейкемии в зависимости от типа предприятия или установки

Тип установки	До ввода в эксплуатацию					После ввода в эксплуатацию				
	Исучаемая группа		Контрольная группа		RR	Исучаемая группа		Контрольная группа		RR
	количество выявленных смертных случаев	SMR	количество выявленных смертных случаев	SMR		количество выявленных смертных случаев	SMR	количество выявленных смертных случаев	SMR	
Министерство энергетики АЭС энергетических фирм:	258	1,01	401	0,92	1,07	6077	1,00	11657	1,03	0,96*
1957-1969 гг.	4088	1,02	7235	0,99	1,05*	8478	1,00	15474	1,01	0,99
1970-1974 гг.	8354	0,97	21172	0,97	1,00	5615	0,97	12823	1,00	0,98
1975-1981 гг.	3307	0,99	7163	0,94	1,04	1006	0,92	2620	0,95	0,98
Всего	15749	0,99	35570	0,97	1,02	15099	0,98	30917	1,00	0,99
По всем установкам	16007	0,99	35971	0,97	1,02	21176	0,98	42574	1,01	0,98*

Смертность от всех видов раковых заболеваний, кроме лейкемии, населения всех возрастов в зависимости от типа предприятия или установки

Тип установки	До ввода в эксплуатацию					После ввода в эксплуатацию				
	Исучаемая группа		Контрольная группа		RR	Исучаемая группа		Контрольная группа		RR
	количество выявленных смертных случаев	SMR	количество выявленных смертных случаев	SMR		количество выявленных смертных случаев	SMR	количество выявленных смертных случаев	SMR	
Министерство энергетики АЭС энергетических фирм:	5780	1,04	8991	0,96	1,06*	141635	1,06	247308	0,99	1,04*
1957-1969 гг.	79902	1,00	157745	1,06	1,00	197158	1,02	364675	1,05	1,01
1970-1974 гг.	179208	0,99	471890	1,02	0,98*	139175	0,99	317206	1,02	0,98*
1975-1981 гг.	69310	0,96	157884	0,96	1,02*	26325	0,98	68785	1,01	0,99*
Всего	328420	0,98	787519	1,01	0,99	362658	1,01	750666	1,04	0,99
По всем установкам	334200	0,99	796510	1,01	1,00	504293	1,02	997974	1,02	1,01

Случаи заболевания лейкемией в зависимости от времени ввода в эксплуатацию объекта (по округам штатов Коннектикут и Айова)

Возрастная группа населения, штаты	До ввода в эксплуатацию		После ввода в эксплуатацию	
	Количество выявленных смертных случаев	SRR	Количество выявленных смертных случаев	SRR
Детская возрастная группа до 10 лет:				
Хаддям Нек, шт. Коннектикут (1967 г.), округ Миддлсекс	15	0,96	16	0,97
Миллстоун, шт. Коннектикут (1970 г.), округ Нью-Лондон	49	1,19	44	1,55**
Форт Калхаун, шт. Небраска (1973 г.), округ Харрисон, шт. Айова	1	1,91	4	3,13
Дуэйн Арнольд, шт. Айова (1974 г.), округа Линн и Бентон	9	1,04	17	1,26
Всего	74	1,13	81	1,36**
Население всех возрастов, применительно ко всем установкам	577	0,92*	850	1,01

Примечания: SRR означает стандартизированный коэффициент заболеваемости раком и рассчитывается как отношение числа зарегистрированных случаев раковых заболеваний к ожидаемому числу заболеваний на основе рассчитанных темпов заболевания этой болезнью. SMR означает стандартизированный коэффициент смертности и рассчитывается как отношение числа выявленных смертных случаев к числу ожидаемых смертных случаев на основе рассчитанного уровня смертности в масштабе всей страны (США). RR означает относительный риск. С помощью этого показателя сравнивается риск в изучаемом районе с риском в контрольном районе. RR для всех видов установок в совокупности был получен с помощью метода Мантель-Хенцеля и иногда отличается от простого соотношения коэффициентов SMR изучаемых и контрольных районов.

*P ≤ 0,05.
**P ≤ 0,01.

ной установке не был значительно повышен. Не наблюдалось значительного повышения относительного риска в изучаемых районах по сравнению с контрольными районами после ввода в эксплуатацию объектов в отношении детской смертности от рака, помимо лейкемии, ни на одной установке или в группе установок. Данные, касающиеся смертности от лейкемии во всех возрастных группах вместе, показывают, что относительный риск RR после пуска объекта в эксплуатацию был меньше, чем ранее. После пуска объектов в эксплуатацию относительный риск везде был меньше 1,00. Дефицит является значительным (Р меньше 0,05) для всех установок Министерства энергетики вместе и для всех объектов в целом. Данные по всем возрастным группам и по всем видам рака, кроме лейкемии, показывают, что RR после ввода объекта в эксплуатацию был близок к 1,00 и варьировался только в пределах 0,98—1,04. RR по предприятиям Министерства энергетики существенно высоки (1,04), но меньше соответствующего RR, который наблюдался до ввода предприятий в эксплуатацию. В таблицу включено более 2 млн. смертных случаев, поэтому даже малое отклонение от 1,00 имеет иногда существенное статистическое значение.

Случаи заболеваний. Данные по раковым заболеваниям имеются в наличии только в округах штатов Коннектикут и Айова. Ввиду отсутствия данных по всем контрольным округам оценка базировалась на стандартизованных коэффициентах заболеваемости (SR) до и после ввода объекта в эксплуатацию.

SRR по детской заболеваемости лейкемией по четырем установкам в совокупности до ввода их в эксплуатацию составлял 1,13 (незначительная величина). Однако после ввода установок в эксплуатацию этот показатель увеличился до 1,36 (Р менее 0,01). Только применительно к АЭС в Миллстоун, округ Нью-Лондон, шт. Коннектикут, SRR после ввода этой АЭС в эксплуатацию значительно повысился. Он составил 1,55 (Р меньше 0,01). На основе в общей сложности 44 случаев коэффициенты SRR были 1,46 в период 1971—1975 гг., 1,34 в период 1976—1980 гг. и 2,02 в период 1981—1984 гг. Однако в течение 10 лет до ввода установок в эксплуатацию (1961—1970 гг.) наблюдалось 30 случаев лейкемии у детей (SRR 1,34). Для населения всех возрастов не было значительного увеличения SRR по лейкемии после ввода в эксплуатацию применительно как к любой отдельной установке или предприятию, так и ко всем установкам вместе взятым.

SRR по другим видам раковых заболеваний у детей, помимо лейкемии, не отклонялся значительно от 1,00. Аналогичным образом SRR по раку груди у женщин и раку щитовидной железы (все возрасты) не отклонялся значительно от 1,00 после пуска объектов в эксплуатацию.

Комментарии

Это обследование было стимулировано исследованием, проведенным британской службой переписи и обследования населе-

ния^{9,10}. Обследование, проведенное в США, охватывало более длительный период времени (35 лет), оно дало возможность провести более детальный анализ, включая сравнение данных по установкам до и после ввода в эксплуатацию и сравнение с данными как по контрольным областям, так и по США в целом. К тому же, в США гораздо больше ядерных установок, чем в Великобритании. Данные по регистрации раковых заболеваний были доступны службе переписи и обследования населения, однако вследствие возможной несопоставимости данных по регистрации заболеваний в различных районах, авторы исследования предпочли основывать свои заключения и выводы только на данных о смертности. При оценке случаев раковых заболеваний, приведенных в обследовании, проведенном в США, мы сосредоточили свое внимание на рассмотрении ограниченного количества установок и округов, где имелись полноценные данные о регистрации заболеваний.

Общего увеличения смертности от рака среди лиц, живущих в округах США, на территории которых расположены АЭС или которые находятся вблизи АЭС, обнаружено не было. В отличие от некоторых исследований, проведенных в Великобритании⁴⁻⁸, не было обнаружено повышенного количества заболеваний лейкемией у детей, живущих вблизи заводов по переработке ядерного топлива или по производству ядерного оружия.

Данные по заболеваниям и смертности от рака, приведенные здесь, были получены в результате *обследования*, а не экспериментального исследования. Не было в наличии никакой информации о радиоактивном облучении отдельных лиц. Хотя округа сравнивались с другими округами на основе имеющейся информации о расовом составе, соотношении сельского и городского населения, дохода населения и других факторах, невозможно выбрать контрольную группу округов, которые можно было бы точно сопоставить с изученными. Округа отличаются друг от друга разными отраслями промышленности, занятием населения, уровнем образования и обычаями. К тому же сравнение проводилось на основе данных за 1979 и 1980 гг. Поскольку характеристики округов за 50-е и 60-е годы несомненно отличаются от характеристик 1979 г., сравнение изучаемых округов с контрольными в более раннем периоде в некоторых случаях может быть неадекватным. Число фактических смертных случаев от рака в каждом округе сравнивалось также с соответствующим коэффициентом смертности, рассчитанным по всем Соединенным Штатам. И, возможно, число заболеваний сравнивалось с числом заболеваний, ожидаемых на основе выведенных коэффициентов заболеваемости на государственном уровне. Однако процент заболеваемости, рассчитанный на национальном уровне или уровне штатов, не всегда является достаточной основой для сравнения с конкретными округами, которые имеют свои собственные индивидуальные характеристики относительно курения и других факторов риска заболевания раком.

При анализе каждая группа районов, состоящая из изучаемого округа (или округов) и соответствующих контрольных округов, рассматривается как единая формация, в которой все отклонения от соответствующих общих показателей по США одинаковые. Однако на практике это не может быть абсолютно верным и поэтому эти данные подвержены изменениям вследствие влияния посторонних факторов. Технический термин *статистически значимый* относится только к вероятности того, что различие возникло вследствие простой случайности и не имеет ничего общего с биологической значимостью в отличие от математической значимости. Хотя многие RR значительно отличаются от 1,00, такие значения как 0,98 или 1,03 имеют малое значение или биологическую релевантность. При оценке понятия RR, которые достигают статистической значимости, следует принять во внимание тот факт, что тысячи RR были введены в компьютеры и проверены на значимость.

Обследование имеет другие ограничения, включая следующие:

- В наличии имелись данные только по округам. В некоторых округах с ядерными установками и предприятиями находятся также большие города, расположенные на большом расстоянии от этих установок или предприятий. Местные эффекты, связанные с установками, невозможно обнаружить с использованием коэффициентов смертности по округу ввиду "ослабления" этого эффекта от включения в анализ населения городов. Однако аналогичные проблемы имеются в экологических районах в Великобритании, которые изучали Роман и др.²⁵ в своих исследованиях в Хэруэлле, Олдермастоне и Бургфилде, а Кук-Моцаффари и др. провели впоследствии обследование уровня смертности от рака населения, проживающего вокруг всех ядерных установок (в т.ч. потенциальных установок) в Англии и Уэльсе.

- Это исследование базировалось главным образом на данных о смертности от рака. Данные о заболеваемости раком имелись только в округах, связанных с четырьмя установками. Однако данные о смертности от рака не являются оптимальными для выявления таких раковых заболеваний, как рак щитовидной железы или рак молочной железы у женщин или детская лейкемия. По этим видам заболеваний улучшенная терапия значительно снизила смертность больных в течение последних лет, но не снизила количество случаев заболеваний. С другой стороны, обследование, проведенное британским ученым, которое стимулировало настоящее исследование, не обнаружило значимое повышение смертности детей от лейкемии.

- Вид ракового заболевания, которое послужило причиной смерти, брался из записей врачей в свидетельствах о смерти. Однако при отсутствии вскрытия, может быть, трудно определить, является ли рак легкого или печени первичным или следствием метастазы. Безусловно, что качество медицинского обслуживания различно в разных округах и может повлиять на точность определения причины смерти в сви-

детельствах о смерти и на возможность сопоставления данных по различным округам.

- В то время как установки Министрства энергетики находятся в эксплуатации в течение более 30 лет, большинство коммерческих АЭС введено в действие только в 1970 г. или позднее. Вследствие длительного латентного периода большинства радиогенных видов раковых заболеваний только в течение первых нескольких лет эксплуатации АЭС могло иметь место облучение, способное вызвать рак (другие виды рака, кроме лейкемии), который мог быть обнаружен в период до 1985 г.

- Это было экологическое обследование, при котором не был известен уровень радиоактивного облучения отдельных лиц. Лица, проживавшие в каком-либо округе до дня своей смерти, могли жить в этом округе недолго. Некоторые жители данного округа могли переехать в другое место и умереть в другой части округа. Некоторые жители округов, которые имеют ядерные установки, могут жить далеко от этих установок и не подвергаться никакому риску и их опыт может разбавить опыт лиц, живущих ближе к установкам.

Заключение

Несмотря на ограничения, которые присущи экологическим исследованиям по изучению смертности от рака в округах США с ядерными установками и в округах без ядерных установок, используемые методы эффективно применялись в прошлом для определения канцерогенных веществ в окружающей среде. Например, на основе данных и "карт раковых заболеваний", составленных Национальным институтом рака с использованием статистики по смертности от рака в отдельных округах, было установлено, что в округах, где имеется судостроительная промышленность, наблюдалась повышенная смертность от рака легких, особенно среди мужчин. Последующие исследования в районах повышенного риска связали повышенную смертность от рака легких с работой с асбестом²⁶.

Если принять обычную оценку риска раковых заболеваний от облучения, то тогда принятая в США максимальная доза облучения для одного лица²⁸ менее 3 мБэр в год слишком мала, чтобы говорить о какой-то вредности, которую можно обнаружить. Такой уровень фактически значительно меньше уровня облучения, которому подвергается население в условиях естественного радиационного фона, который составляет около 100 мБэр в год, исключая дозу для легких от радона. Аналогичная ситуация существовала в Великобритании.

Однако в районах вокруг заводов по переработке топлива в Селлафилде и Даунрее и установок по производству оружия в Олдермастоне и Бургфилде было все-таки обнаружено повышенное количество заболеваний лейкемией среди детей^{20, 25}. Однако подтверждений того, что эта повышенная заболеваемость была вызвана радиоактивным облучением, исходящим от этих заводов и установок, не имеется. В результате

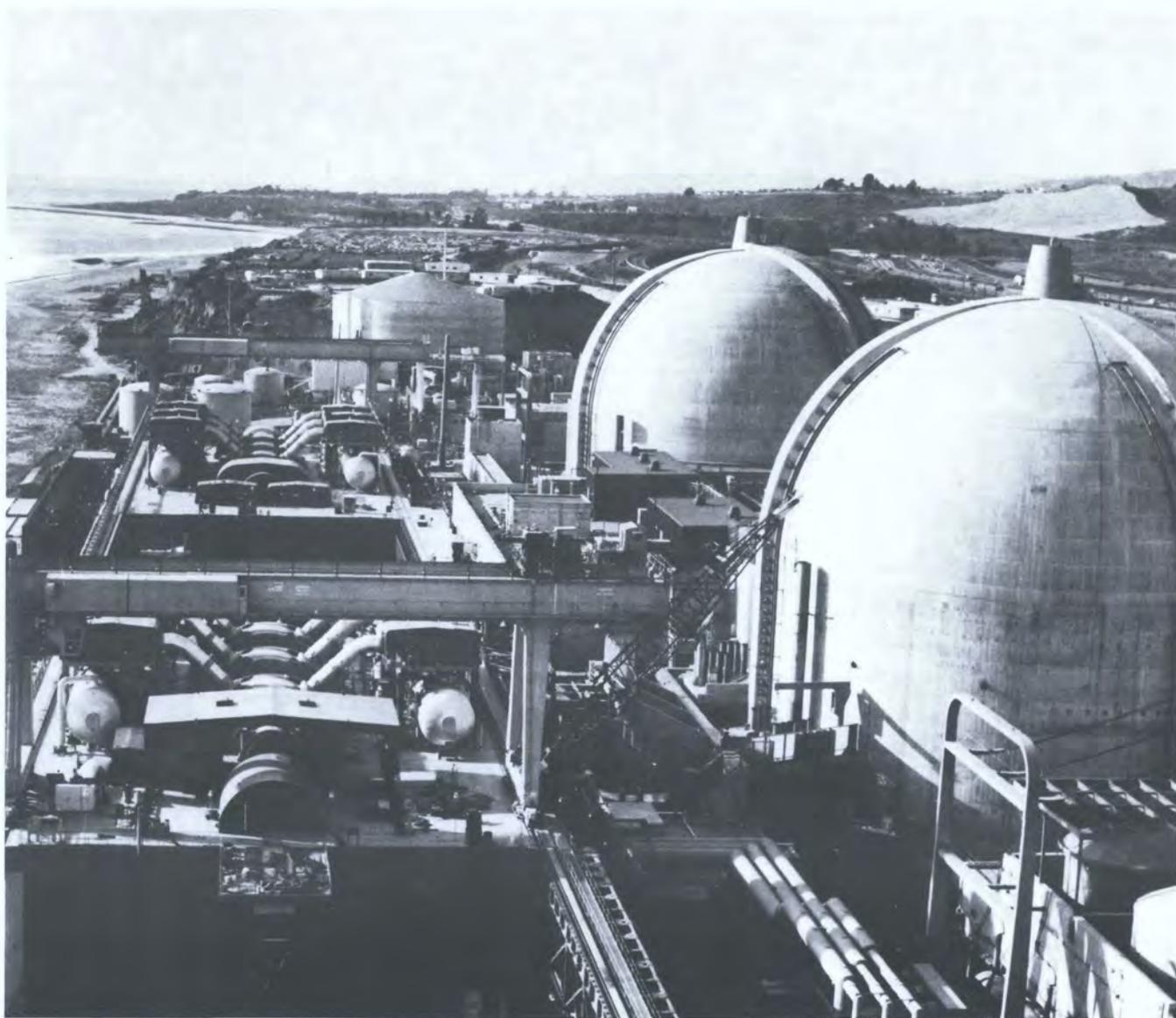
недавно проведенных контрольных исследований по случаям заболевания лейкемией, которые имели место среди населения, проживающего вблизи завода в Селлафилде, был сделан вывод, что возможным причинным фактором могло быть профессиональное облучение родителей до зачатия²⁹. Также была высказана гипотеза о том, что кластер-эффекты, наблюдаемые в Великобритании, имеют инфекционное, возможно, вирусное происхождение³⁰.

АЭС Сан-Онофре в Юж. Калифорнии была одной из 62 ядерных установок, включенных в обследование, проведенное в США. (Предоставлено: "Саузерн Калифорния Эдисон Компани")

Тот факт, что значительные расхождения в данных были обнаружены при нашем обследовании за период до ввода установок в эксплуатацию, показывает необходимость проявлять осторожность, прежде чем объяснять все различия в данных после ввода установок в эксплуатацию как свидетельство вредного воздействия на здоровье, вызываемого работой установок или заводов. Помощь в интерпретации данных может быть получена при использовании знаний по радиационному канцерогенезису, которые были накоплены в течение последних

50 лет и особенно в течение последних 15 лет³¹. Хотя вызываемая радиационным облучением лейкемия может начаться через два года после облучения, другие виды рака, такие как рак груди и легких, развиваются более медленно и вряд ли они могут появиться в данных о смертности через 10 или более лет после облучения. Только по прошествии нескольких лет после первого ввода в эксплуатацию установки можно ожидать, что население близлежащих районов может накопить достаточную дозу радиоактивного облучения или получить какое-либо другое вредное воздействие, которое вызовет обнаруживаемое увеличение смертности вследствие образования злокачественных опухолей.

Статистически значимого увеличения смертности среди детей от лейкемии обнаружено не было. Только в данных по заболеваниям в районе АЭС Миллстоун в шт. Коннектикут уровень заболеваемости детей лейкемией, как представляется, значительно повысился. Однако это увеличение про-



изошло до ввода АЭС Миллстоун в эксплуатацию. В 1972 г. Центры по контролю за заболеваемостью исследовали кластер-эффект детской лейкемии и заболевания лимфатических желез у детей в Ватерфорде, где расположена АЭС Миллстоун. В шести из 11 случаев, однако, начало болезни относилось к периоду до октября 1970 г., когда реактор Миллстоун-1 впервые был введен в эксплуатацию. В этом обследовании было установлено, что SRR по детской лейкемии повышался в период с 1961 по 1984 гг. до и после ввода АЭС Миллстоун в эксплуатацию. Поэтому возможность существования какой-либо связи между заболеванием лейкемией и эксплуатацией АЭС Миллстоун представляется отдаленной.

Это обследование не показало, что эксплуатация какого-либо из указанных 62 ядерных объектов вызвала повышение заболеваемости лейкемией среди детей, проживающих вблизи этих объектов. Кук-Мозаффари и др.²⁶ установили в Англии и Уэльсе повышенный уровень заболеваемости лейкемией у детей и заболевание болезнью Ходжкина в районах, где предполагалось строительство ядерных объектов, которые там так и не были построены или были построены позднее. Это указывает на то, что такие районы иногда характеризуются другими неуставленными факторами риска, которые напрямую не связаны с самими ядерными установками. Несмотря на высказанное общественностью беспокойство в отношении ядерных объектов в Фернальде, Роки-Флэтс, Ханфорде, Три Майл Айленде и других местах, это обследование

не обнаружило повышенной смертности от лейкемии и других видов раковых заболеваний, которые могли бы быть вызваны радиоактивным излучением какой-либо установки Министерства энергетики или коммерческой атомной электростанции.

На основе совокупных данных по всем установкам было установлено, что RR по детской смертности от лейкемии составлял 1,03 после ввода объектов в эксплуатацию, а до ввода их в эксплуатацию он был больше — 1,08. По смертности от лейкемии населения всех возрастов RR равнялся 0,98 после ввода в эксплуатацию объектов, а до ввода их в эксплуатацию 1,02. Таким образом, данное обследование не обнаружило какой-либо общей связи между проживанием в округе, где находится какая-либо ядерная установка, и смертностью от лейкемии или какой-либо другой формы рака. Однако, как говорилось выше, наличие в некоторых округах большого количества населения, живущего на значительном расстоянии от ядерного объекта, может ослабить любые последствия или эффекты, которые могут иметь место в небольших районах вокруг ядерных объектов.

Мы не можем утверждать, что ядерные установки вообще не являются причиной смерти от рака лиц, живущих вблизи них. Однако можно сделать вывод, что если ядерные установки представляют собой риск для населения, живущего поблизости от них, то этот риск слишком мал для того, чтобы его можно было обнаружить в обследовании такого типа.

References

1. "The global impact of the Chernobyl reactor accident", L.R. Anspaugh, R.J. Catlin, and M. Goldman, *Science* 242:1513-1519 (1988).
2. *Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island*, J.G. Kemeny, Chairman, Washington DC (1979).
3. *Phase I of the Hanford Environmental Dose Reconstruction Project*, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, Document PNL-7410HEDR (1990).
4. *Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in West Cumbria: Report of the Independent Advisory Group*, London (1984).
5. *First Report: The Implications of the New Data on the Releases from Sellafield in the 1950s for the Conclusions of the Report on the Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in West Cumbria*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), London (1986).
6. "Childhood leukaemia in northern Scotland", M.A. Heasman, I.W. Kemp, J.D. Urquhart, and R. Black, *Lancet*, 1:266 (1986).
7. *Second Report: Investigation of the Possible Increased Incidence of Leukaemia in Young People Near the Dounreay Nuclear Establishment, Caithness, Scotland*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), London (1988).
8. *Third Report: Report on the Incidence of Childhood Cancer in the West Berkshire and North Hampshire Area, in Which are Situated the Atomic Weapons Research Establishment, Aldermaston and the Royal Ordnance Factory, Burghfield*, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE), London (1989).
9. "Cancer near nuclear installations", D. Forman, P. Cook-Mozaffari, and S. Darby et al., *Nature* 329: 499-505 (1987).
10. *Cancer Incidence and Mortality in the Vicinity of Nuclear Installations in England and Wales, 1959-1980*, P.J. Cook-Mozaffari, F.L. Ashwood, T. Vincent, D. Forman, and M. Alderson, Office of Population Censuses and Surveys, London (1987).
11. "Geographical variation in mortality from leukaemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installations, 1969-78", P.J. Cook-Mozaffari, S.C. Darby, R. Doll et al., *Br J Cancer* 59:476-485 (1989).
12. "Cancer incidence patterns in the Denver metropolitan area in relation to the Rocky Flats plant", K.S. Crump, T-H Ng, and R.G. Cuddihy, *Am J Epidemiol* 126:127-135 (1987).
13. "Cancer mortality around La Hague nuclear facilities", M. Dousset, *Health Physics* 56:875-884 (1989).
14. "Childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant", J.F. Viel and S.T. Richardson, *BMJ* 300: 580-581 (1990).
15. "Overall mortality and cancer mortality around French nuclear sites", C. Hill and A. Laplanche, *Nature* 347:755-757 (1990).
16. "Incidence of leukaemia in young people in the vicinity of Hinkley Point nuclear power station, 1959-86", P.D. Ewings, C. Bowie, M.J. Philipps, and S.A.N. Johnson, *BMJ* 299:289-293 (1989).
17. "Leukaemia near Massachusetts nuclear power plant", R.W. Clapp, S. Cobb, C.K. Chan, and B. Walker Jr., *Lancet* 2:1324-1325 (1987).
18. "Cancer mortality patterns around the San Onofre nuclear power plant, 1960-1978", J.E. Enstrom, *Am J Public Health* 73:83-92 (1983).
19. *Childhood Leukaemia around Canadian Nuclear Facilities: Phase 1, Final Report*, E.A. Clarke, J. McLaughlin, and T.W. Anderson, Atomic Energy Control Board, Ottawa, Ontario (1989).
20. "Fallout, radiation doses near Dounreay, and childhood leukaemia", S.C. Darby and R. Doll, *BMJ* 294:603-607 (1987).
21. *Cancer in Populations Living near Nuclear Facilities*, S. Jablon, Z. Hrubec, J.D. Boice Jr., and B.J. Stone, Public Health Service, US Dept. of Health and Human Services, NIH Publication 90-874, Bethesda, Maryland (1990).
22. *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V), National Research Council, National Academy of Sciences, Washington DC, National Academy Press (1990).
23. *US Cancer Mortality Rates and Trends, 1950-1979*, W.B. Riggan, J. van Bruen, J.F. Acquavella, J. Beaubier, and T.J. Mason, NCI/EPA Interagency Agreement on Environmental Carcinogens, Washington DC (1983).
24. *Statistical Methods in Cancer Research*, N.E. Breslow and N.E. Day, International Agency for Research on Cancer, Lyons, France, IARC Scientific Publication 82 (1987).
25. "Childhood leukaemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishments in the vicinity", E. Roman, V. Beral, L. Carpenter et al., *BMJ* 294:597-602 (1987).
26. "Cancer near potential sites of nuclear installations", P. Cook-Mozaffari, S. Darby, and R. Doll, *Lancet* 2:1145-1147 (1989).
27. "Lung cancer after employment in shipyards during World War II", W.J. Blot, J.M. Harrington, A. Toledo, R. Hoover, C.W. Heath Jr., and J.F. Fraumeni, *N Engl J Med* 299:620-624 (1978).
28. *Public Radiation Exposure From Nuclear Power Generation in the United States*, National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report 92, Bethesda, Maryland (1987).
29. "Results of case control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria", M.J. Gardner, M.P. Snee, A.J. Hall, C.A. Powell, S. Downes, and J.D. Terrell, *BMJ* 300:423-429 (1990).
30. "Evidence for an infective cause of childhood leukaemia: Comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain", L. Kinlen, *Lancet* 2:1323-1327 (1988).