

## EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF REMOTE CANCEROGENESIS EFFECTS ON POPULATIONS WITH CHRONIC EXPOSURE TO RADIATION IN THE URALS REGION

### ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТДАЛЕННЫХ КАНЦЕРОГЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ УРАЛА

M.M. Kossenko, A.V. Akleyev, N.V. Startsev, M.O. Degteva

Ural Scientific-Practical Centre for Radiation Medicine  
Chelyabinsk, Russian Federation

М.М. Косенко, А.В. Аклеев, Н.В. Старцев, М.О. Дегтева

Уральский научно-практический центр радиационной медицины  
Челябинск, Российская Федерация

#### Abstract

The population of the Southern Ural region resident close enough to the munitions industry complex of Plutonium production (Industrial Association “Mayak”) was exposed to chronic radiation impact. The irradiation of 7.5 thousand people took place following radioactive wastes released into the river Techa between 1950–1956. Internal irradiation from the incorporated long-living radionuclides is still present. The dose reconstruction was carried out in the Biophysics Laboratory of Ural Scientific-Practical Centre for Radiation Medicine (USPCRM). The Register on irradiated persons was founded in 1969 in USPCRM and is still under identification and addition with the irradiated persons’ descendants. The remote stochastic effects’ analysis results led to conclusions concerning leukaemia and some forms of solid cancers increased risk presence among the Techa cohort irradiated persons. The lower risk value in the river Techa cohort compared to atomic bombing survivors is probably the result of chronic exposure in low dose levels. Absolute risk concerning solid cancers for the river Techa cohort members is entirely comparable to analogous values for the atomic bombing survivors. The studies of remote cancerogenesis effects in exposed persons from the river Techa cohorts are continued now on the extended register background with more precise dose estimations. The studies are held within collaborative programs with USA National Institute of Cancer.

**Keywords:** Southern Ural, Industrial Association “Mayak”, radioactive releases, dose reconstruction, leukaemia, solid tumours, radiation risk.

#### INTRODUCTION

Risk values are fundamental in decision-making in radiation safety. The estimations of irradiation consequences are based not upon the dose levels but risk values for remote consequences (ICRP Publication 60). The “Radiation Risk” concept came to life in 1976 when the radiation exposure effects were divided between the deterministic (threshold-dependent) and probability-related (stochastic — non-threshold) ones (ICRP Publication 26). The dose value (threshold) under which the deterministic effect is not expressed was used for radiation protection purposes. For the non-threshold radiation impact value designation the term “risk” was introduced. The “risk” term is used in the majority of publications as the quantitative estimation value of radiation exposure cancer and genetic effects’ ini-

#### ВВЕДЕНИЕ

Основой для принятия решений по радиационной безопасности являются величины риска. Оценки возможных последствий облучения базируются не на уровнях доз, а на величинах риска развития отдаленных последствий (ICRP Publication 60). Понятие “радиационный риск” получило распространение с 1976 г., когда стали различать детерминистские (пороговые) и вероятностные, стохастические (беспороговые) эффекты облучения (ICRP Publication 26). Для задач радиационной защиты стали использовать величину дозы (порог, threshold), ниже которой детерминистский эффект не проявляется. Для обозначения количественной величины “вреда” беспорогового радиационного воздействия был введен термин “риск”. В большинстве публикаций этот термин используют как количественную оценку вероятности проявления канцерогенных и генетических эффектов облучения.

tiation probability. The value of cancer and genetic effects is based itself only on the epidemiological studies data received from the survey of persons exposed to acute radiation impact after A-bombing of Hiroshima and Nagasaki. The experimental studies results give basis to assume that chronic radiation exposure leads to other risk values different from those in acute irradiation. In the ICRP Publication 60 the term of "dose and dose rate effectiveness factor (DDREF) was applied to low radiation exposure levels to designate the parameter for effect value division in case of chronic irradiation compared to the one under acute radiation impact. Given risk values uncertainties are related to the uncertainties (inaccuracy) of dose estimations, approximateness of applied models, inaccuracy of our data concerning the terms of effects becoming apparent and many other issues.

The uniqueness of situation around the Industrial Association (IA) "Mayak" is characterised by irradiation of the relatively wide population groups in doses considered low and intermediate level. The named population study could give new data on risk values under the chronic impact of ionising radiation. Moreover the real estimation of radiation effects in the exposed population based on results of the 40 year-long survey can be useful for remote consequences' prognostication in Chernobyl nuclear power plant (ChNPP) accident survivors.

### IRRADIATION LEVELS AND DOSE VALUES

The release of radioactive materials from the IA "Mayak" was the source of population radiation exposure in Southern Ural. The IA "Mayak" is the first and most important munitions radiochemistry complex in Russia located 100 km from Chelyabinsk. The first nuclear reactor was put into operation there in June and the radiochemistry factory for Plutonium separation — in December 1948 (Akleyev A.V., Lyubchansky E.R., 1994; Cochran T.B. et al., 1994). During the first years after the nuclear plant launch liquid radioactive wastes were released directly into the river Tëcha. From mid 1949 till 1956 nearly 76 mln m<sup>3</sup> of radioactive water with total activity of 10<sup>17</sup> Bq (2.75 MCi) were released (Degteva M.O. et al., 1994). Approximately 95% of total activity entered the river Tëcha between March 1950 and November 1951. Radioisotope content of the released water was the following: <sup>89</sup>Sr — 8.8%, <sup>90</sup>Sr — 11.6%, <sup>137</sup>Cs — 12.2%, rare-earth metals — 26.8%, <sup>95</sup>Zr and <sup>95</sup>Nb — 13.6%, ruthenium isotopes — 25.9%. No evidence for plutonium and iodine presence in releases was revealed.

The 26 thousand residents from 39 villages located along the river Tëcha banks received the highest exposure levels. The river water was used for drinking, cooking and other household needs. During the

Сама величина канцерогенных и генетических эффектов основана на данных лишь одного эпидемиологического исследования, а именно, наблюдения за лицами, подвергшимися острому облучению вследствие атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Результаты экспериментальных исследований дают основание предполагать, что при хроническом и остром облучении величины риска не одинаковы. В ICRP Publication 60 использован термин "коэффициент влияния мощности дозы" (dose and dose rate effectiveness factor, DDREF) в отношении низких уровней облучения для обозначения величины, на которую может быть уменьшен эффект при хроническом облучении по сравнению с эффектом острого облучения. Неопределенность приводимых величин риска связана с неопределенностью (неточностью) оценок доз, приблизительностью используемых моделей для дозовых зависимостей, неточностью наших знаний о сроках проявления эффектов и др.

Уникальность ситуации, сложившейся вблизи Производственного объединения (ПО) "Маяк", в том, что были облучены сравнительно большие группы населения в дозах, отнесенных к малым и средним уровням. Изучение последствий такого воздействия способствовало бы расширению знаний о величинах риска при хроническом облучении. Кроме того, реальная оценка радиационных эффектов на основании 40-летних наблюдений за облученным населением может быть полезной для прогнозирования отдаленных последствий у пострадавших вследствие Чернобыльской аварии.

### УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ И УРОВНИ ДОЗ

Источником облучения населения Южного Урала явились выбросы радиоактивных материалов ПО "Маяк" — первого и наиболее важного военного радиохимического комплекса в России. Он расположен в 100 км от Челябинска. Первый атомный реактор пущен на нем в строй в июле, а радиохимический завод по разделению плутония — в декабре 1948 г. (Akleyev A.V., Lyubchansky E.R., 1994; Cochran T.B. et al., 1994). В первые годы радиоактивные воды сбрасывали непосредственно в р. Теча — с середины 1949 до 1956 г. — около 76 млн м<sup>3</sup> радиоактивных вод общей активностью 10<sup>17</sup> Бк (2,75 МКи) (Degteva M.O. et al., 1994). Около 95% общей активности попало в р. Течу с марта 1950 до ноября 1951 г. Радионуклидный состав сбрасываемых вод был следующим: <sup>89</sup>Sr — 8,8%; <sup>90</sup>Sr — 11,6%; <sup>137</sup>Cs — 12,2%, изотопы редкоземельных элементов — 26,8%, <sup>95</sup>Zr и <sup>95</sup>Nb — 13,6%, изотопы рутения — 25,9%. Указаний о наличии в составе сбросов плутония и йода не обнаружили.

Наибольшие дозы облучения получили 26 тыс. жителей 39 деревень, расположенных по берегам р. Теча. Речную воду они использовали для питья, приготовления пищи и других хозяйственных нужд. В период

period 1953–1960 residents of 20 villages (7.5 thousand persons) were resettled.

The tasks of irradiation doses reconstruction are being solved by the staff members of the Biophysics laboratory of Ural Scientific-Practical Centre for Radiation Medicine (USPCRM) (Head Laboratory M.O. Degteva). The external irradiation doses in residents from different villages located along the river Tеча banks are based upon the background  $\gamma$ -level measurement in a) water-level; b) separate points in villages territory; c) inside buildings. The average doses of external irradiation were reconstructed on that measurement basis (Degteva T.B. et al., 1994). The main quota in internal dose formation was radioactive  $^{90}\text{Sr}$  accumulated in bone. Besides the  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{89}\text{Sr}$  radionuclides with affinity to the bone tissue, the evenly distributed  $^{137}\text{Cs}$  had an important role in dose formation. Internal irradiation dose reconstruction is based upon live measurement of  $^{90}\text{Sr}$  content in tooth tissue and the whole body by means of human irradiation counter (HIC) (Kozheurov V.P., 1994). On the basis of these measurements among the 14 thousand irradiated persons with a worked-out age-dependent model of strontium metabolism the average doses of internal irradiation were calculated for separate age groups in separate villages. The highest dose rates were registered within the first years after the initiation of radiation exposure and 80–90% of all the internal absorbed dose was accumulated during the first 10 years. The highest dose values were distributed among bones surfaces and the red bone marrow. The maximal value of individual absorbed doses constituted 3–4 Gy.

## EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ORGANISATION

Information preparation within four main directions was necessary for the exposed persons' long-term survey and epidemiological studies organisation:

- creation of register of the irradiated persons and maintainance for many years;
- choice of control;
- gaining information concerning radiation exposure consequences (about cancer cases and oncology diagnosis verification in particular);
- choice of statistical analysis method.

### Register of irradiated population

Neither the population of the villages along the river banks, nor local authority and public health protection bodies were informed about radioactive waste release in the river Tеча. The radiation situation examination in river Tеча was held for the first time in 1951 i.e. nearly two years after the

1953–1960 гг. жители 20 деревень (7,5 тыс. человек) были отселены.

Задачи по реконструкции доз облучения решают сотрудники биофизической лаборатории Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦРМ) (руководитель лаборатории М.О. Дегтева). Оценка доз внешнего облучения жителей различных деревень вдоль р. Теча базируется на измерении уровня  $\gamma$ -фона: а) в месте уреза воды; б) в отдельных участках на территории деревень; в) внутри домов. На основании этих измерений были реконструированы средние дозы внешнего облучения (Degteva T.B. et al., 1994). Основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения внес радиоактивный  $^{90}\text{Sr}$ , депонированный в костях. Кроме остеотропных радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{89}\text{Sr}$ , существенное значение в формировании дозы имел равномерно распределяющийся  $^{137}\text{Cs}$ . Реконструкция доз внутреннего облучения базируется на прижизненном измерении содержания  $^{90}\text{Sr}$  в зубах и во всем теле с помощью счетчика излучений человека (СИЧ) (Kozheurov V.P., 1994). На основании результатов этих измерений и с применением разработанной возрастной модели метаболизма стронция у 14 тыс. облученных рассчитаны средние дозы внутреннего облучения жителей отдельных возрастных групп в отдельных деревнях. Наибольшие мощности дозы были в первые годы после начала облучения, а 80–90% поглощенной дозы от внутреннего облучения было аккумулировано в течение первых 10 лет. Самые большие дозы были сформированы на костной поверхности и клетках красного костного мозга. Максимальный уровень индивидуальных поглощенных доз составил 3–4 Гр.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения долгосрочного наблюдения за облученными лицами и организации эпидемиологических исследований необходима подготовка информации по четырем основным направлениям:

- создание и постоянное дополнение регистра облученных лиц;
- выбор контроля;
- сбор информации о последствиях облучения (в частности, о развитии рака и верификации онкологических диагнозов);
- выбор метода статистического анализа.

### Регистр облученного населения

Ни население прибрежных сел, ни органы местной власти и здравоохранения не были информированы о сбросе радиоактивных отходов в р. Теча. Исследование радиационной обстановки на р. Теча было впервые проведено спустя почти два года от начала ее загрязнения — в 1951 г. Тогда были начаты и первые ме-

contamination began. The first health studies of the exposed population were started then too. Two specialised health protection institutions (“dispensaries”) were initiated in the same period. They started to create the Register of irradiated population still later — in 1967. There was no passport system for rural population at that time and this is why the following information sources were used for Register formation: economy and taxation papers in village councils, medical documentation in examined irradiated persons, data of population census within homes serial visits. Register completeness was verified with resettled irradiated residents’ personal records that were kept in archives of IA “Mayak” and declassified in 1991.

At present the General Register of USPCRM contains personalised data on 98 thousand of the population. The number irradiated within the territory of the Eastern-Ural radioactive fallout (Kyshtym accident of 1957) is 31 thousand persons. The major portion of Register is the population resident along the river Tëcha banks: 26,000 (32%) — irradiated persons, 3,000 people — exposed to ionising radiation impact within prenatal period, 26,000 — descendants of exposed parents. Persons who arrived in villages along the river Tëcha banks when the radiation situation there had improved substantially are also included in the Register. These 12,000 (12.4%) can be the group of internal control. The population exposed to radiation after radioactive contamination of the river Tëcha was resident in settlements along its banks which belonged to the two administrative rural regions of Chelyabinsk province and two regions of Kurgan province. These persons are of all ages and two ethnic groups: Russians, Tatars and Bashkirs. The Tatar and Bashkir population constitutes 24% of all exposed persons.

The life status survey for decades since the irradiation initiation moment among the persons included in the Register was the most complicated task. The forced migration (resettlement) and then the free one extremely complicated the survey of population. A special working group has been created in USPCRM (headed by N.V. Ststsev) for the Register support. Register replenishment and renovation is the purpose of the Group activity through new data inclusion concerning children newly born in the exposed parents, maiden name changes in married women, new addresses after migration etc. Various information sources are used for Register support: official registration notes of children’s births and cases of death in civilian registrar’s office archives, responses to requests to the Address Bureau concerning the irradiated persons present residence places, rural population registration books, interviewing the persons admitted for examination to the USPCRM about the life status of their exposed relatives. Thus the renewed data after verification are included in the computer Register. The cohort of river Tëcha status for the 1994 period was the following: 9,500 persons are alive and under

медицинские обследования облученного населения. Два медицинских диспансера для оказания специализированной помощи облученным начали функционировать в период 1954–1956 гг. Регистр облученного населения начали создавать еще позже — в 1967 г. Сельское население в те годы не было паспортизировано и поэтому для формирования регистра использовали следующие источники информации: похозяйственные или налоговые книги сельских советов, медицинские документы обследования облученных лиц, данные переписи населения при подворных обходах. Полнота регистра была выверена по персональному списку переселенных облученных жителей, который хранился в архивах ПО “Маяк” и был расскрепчен в 1991 г.

В настоящее время генеральный регистр УНПЦРМ содержит персонализированные данные на 98 тыс. человек. Число облученных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (Кыштымская авария 1957 г.) составило 31 тыс. человек. Наибольшая часть данных регистра касается проживавших по берегам р. Теча: 26 тыс. (32%) — облученные лица; 3 тыс. — подвергшиеся воздействию ионизирующих излучений в период внутриутробного развития, 26 тыс. — потомство облученных. В регистр включены также лица, приехавшие в села по р. Теча в период значительного улучшения радиационной обстановки. Эти 12 тыс. (12,4%) человек могут представлять группу внутреннего контроля. Население, облученное вследствие радиационного загрязнения р. Теча, проживало в населенных пунктах по ее берегам двух административных сельских районах Челябинской и двух районах Курганской области. Это лица всех возрастов и двух этнических групп: русские; татары и башкиры; 24% от числа всех облученных лиц — татары и башкиры.

Наиболее сложно проследить дальнейшую судьбу лиц, включенных в регистр, на протяжении десятков лет после начала облучения. Вынужденная (переселение), а затем и свободная активная миграция крайне затруднили решение этой задачи. В настоящее время в УНПЦРМ создана специальная группа (под руководством Н.В. Старцева) для поддержания регистра. В ее функции входят пополнение и обновление регистра за счет данных о вновь родившихся у облученных родителей детях, перемене фамилий женщин после замужества, адресов при миграции и др. Для поддержания регистра используют разные источники информации: актовые записи о рождении детей и смерти из архивов ЗАГСов, ответы на запросы в адресные бюро о настоящем месте проживания облученных лиц, книги регистрации сельских жителей, опрос лиц, поступивших на обследование в УНПЦРМ, о судьбе их облученных родственников. Данные после проверки вносятся в компьютерный регистр. По состоянию на 1994 г. из когорты проживавших в районе р. Теча живы и находятся под наблюдением 9,5 тыс. человек;



survey, 11,300 died during the 45-year period since irradiation initiation, 5,100 (20%) have been withdrawn from the Register in various terms between 1951–1994 and their life status is unknown.

### Choice of control

Different control groups were used at various stages of the research. For radiation effects analysis of the 33 year period of survey results the population groups not exposed to radiation but resident in the same administrative regions with the population of villages on the river Tëcha banks were taken up having a similar age structure — the so-called Regional control. Three of such control groups were formed with each one close enough with non-radiation parameters (in particular the ethnic one) to one or another group of survivors. Later the calculation of mortality values and cancer risk was held with the so-called Register control application. It is represented by the group of persons who have arrived in the villages located along the river Tëcha banks during the period of radiation situation substantial improvement and respectively not exposed to radiation. The Register control inclusion to the studied cohort enabled us to increase its amount up to 33,000 persons.

### Gaining information about cancer incidence

Because of the impossibility of revealing the life situation of exposed persons who have migrated within all the territory of the former USSR, the territory part was chosen to carry out the study task. Within that territory for the whole period of survey residence of exposed persons was monitored, all cases of death were fixed as were cases of cancer. That territory was named as the surveyed zone and consisted of the five administrative regions of Chelyabinsk province and two regions — of the Kurgan province. The river Tëcha flows through that territory with the villages where the exposed population was resettled. The total amount of population there is approximately 230,000 persons (nearly 20% irradiated). The certificates of death of persons resident in the surveyed territory for the 1950–1994 period were copied from provincial archives of the civilian registrar's offices. The copies are now kept in the archive of USPCRM. The file on cases of death was formed in the computer base of medical and dosimetry data of USPCRM, which contains 86,000 records on death in total. On the basis of key data (family name, first name, date of birth) the information from certificates of death is cross referenced with the Register of irradiated persons and the documents concerning deaths of persons from river Tëcha cohort are chosen. Then the main cause of death is coded according to the ICD IX. At present the certificates of death are present for 9,183 irradiated persons from the river Tëcha Register, 1,377 of them died from cancer.

An analogous work is being carried out for cancer incidence files formation. Two information sources are mainly used: a) notification of the pri-

11,3 тыс. — умерли на протяжении 45 лет после начала облучения; 5,1 тыс. (20%) — выбыли из-под наблюдения с 1951 по 1994 г., судьба их неизвестна.

### Выбор контрольных групп

На разных этапах исследований использовали различные контрольные группы. При анализе радиационных эффектов за 33 года наблюдения в качестве контрольных рассматривали группы населения, не подвергшегося облучению, но проживающего в тех же административных районах, что и жители прибрежных сел, того же возраста, что и облученные — так называемый региональный контроль. Было сформировано три контрольных группы, сопоставимых по нерадиационным факторам (в частности, по этническим) с той или иной группой облученного населения. Позже уровень смертности и величину онкологического риска определяли методом так называемого регистрового контроля. Использовали данные о группе лиц, которые приехали в села по р. Теча в период значительного улучшения радиационной обстановки, и практически не подверглись облучению. При этом численность изучаемой когорты увеличилась до 33 тыс. человек.

### Сбор информации о заболеваемости раком

В связи с тем, что выяснить судьбу облученных лиц, мигрировавших по всей территории бывшего СССР, нереально, была выбрана территория, где в течение всего периода наблюдения фиксировали проживание подвергшихся воздействию ионизирующих излучений лиц, все случаи смерти и возникновения рака. Такая территория получила название наблюдаемой зоны и состоит из пяти административных районов Челябинской и двух — Курганской области. По этой территории протекает р. Теча, здесь находятся села, куда компактно переселяли облученное население. Общая численность населения составляет около 230 тыс. человек, из них облученные — около 20%. В областных архивах ЗАГСов выкопированы акты о смерти лиц, проживавших в этом регионе в 1950–1994 гг. Акты на бумажных носителях хранятся в архиве УНПЦРМ. В компьютерной базе медицинских и дозиметрических данных УНПЦРМ сформирован файл о случаях смерти, в целом содержащий 86 тыс. записей. На основании ключевых данных (фамилия, имя, дата рождения) информацию в актах сопоставляют с регистром облученных и выбирают документы о смерти лиц когорты р. Теча. Затем основную причину смерти кодируют согласно Международной классификации болезней и причин смерти 9-го пересмотра. В настоящее время имеются сертификаты о смерти 9183 облученных из регистра р. Теча, из них — 1377 умерли от рака.

Аналогично формируют файлы по онкологической заболеваемости. Используют в основном два источника информации: а) извещения о впервые установлен-

marily diagnosed cancer disease that is registered by statistical staff personnel of oncology dispensaries in Chelyabinsk and Kurgan; b) medical documentation from the USPCRM clinic that functions as the hematological department. The cancer register includes 21,268 records with 1,922 of them diagnosed leukemia and solid cancer cases in people exposed to radiation in the river Techa region.

### Methods of statistical analysis

The cohort method was applied for cancerogenesis effects epidemiological analysis. The data processing was carried out with the EPICURE programme (Preston D.L. et al., 1993) with grouping in the following categories: sex, ethnic group, dose value, age at the exposure initiation, age at death, date of death. Preference was given to this programme because of availability to fix the regularities within Poisson distribution. Moreover just the same program was applied for risk estimation in atomic bombing survivors.

### STUDY RESULTS

The expected and excess number of leukaemia and solid cancer cases for different ranges of exposure doses were calculated using the AMFIT programme from the EPICURE holding (Kossenko M. et al., 1997). Excessive cases of leukaemia were correlated with dose values accumulated in red bone marrow and visceral cancer cases — with doses accumulated in soft tissues (table 1).

ном онкологическом заболевании, которые регистрируют статистические группы онкологических диспансеров в городах Челябинске и Кургане; б) медицинские документы клиники УНПЦРМ, которая функционирует как гематологическое отделение. Регистр онкологических заболеваний включает 21 268 записей, 1922 из них — о диагностированных случаях лейкемии и солидного рака у людей, облученных на р. Теча.

### Методы статистического анализа

Для эпидемиологического анализа канцерогенных эффектов использован когортный метод. Данные обрабатывали с помощью пакета программ EPICURE (Preston D.L. et al., 1993) с группировкой по следующим категориям: пол, этническая группа, доза облучения, возраст к началу облучения и на момент смерти, дата смерти. Эта программа, в отличие от других, позволяет устанавливать закономерности при распределении Пуассона. Кроме того, именно эту программу использовали для оценки риска у переживших атомную бомбардировку.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью программы AMFIT из пакета EPICURE рассчитаны ожидаемое и избыточное количество случаев лейкемии и солидного рака в различных диапазонах воздействующих доз (Kossenko M. et al., 1997). Избыточное число случаев лейкемии соотнесены с дозами, аккумулированными в красном костном мозге, солидного рака — с дозами, накопленными в мягких тканях (таблица 1).

TABLE 1  
CASES OF DEATH FROM LEUKAEMIA AND SOLID CANCERS IN IRRADIATED PERSONS FROM THE RIVER TECHA COHORT  
СМЕРТНОСТЬ ОТ ЛЕЙКЕМИИ И СОЛИДНОГО РАКА У ОБЛУЧЕННЫХ ЖИТЕЛЕЙ В РАЙОНЕ р. ТЕЧА

ТАБЛИЦА 1

Dose Gy	Leukaemia			Solid cancers		
	Person-years	Registered number	Excess	Person-years	Registered number	Excess
0.005–0.1	103,031	3	-1	459,576	716	5
0.1–0.2	194,858	13	4	96,297	126	1
0.2–0.5	200,144	16	6	19,582	34	10
0.5–1.0	93,873	9	5	32,204	52	6
1+	49,398	9	7	33,645	41	8
Total	641,304	50	21	641,304	969	30

The table 1 shows the excessive number of leukaemia cases is more than 50% of those registered in dose range over 0.5 Gy on red bone marrow.

The mortality indices from leukaemia and solid cancers estimated per 33 year-long survey period are shown in table 2.

Leukaemia and solid cancers mortality (total excluding osteosarcoma) dependence on dose and radiation cancerogenesis risk values are calculated using a linear and linear-quadratic multiplicative model (Kossenko M.M., 1996) (table 3).

Избыточное число случаев лейкемии составило более 50% от наблюдаемого при дозах на красный костный мозг более 0,5 Гр (таблица 1).

Смертность от лейкемии и солидного рака за 33-летний период наблюдения приведены в таблице 2.

Дозовые зависимости смертности от лейкемии и солидного рака (суммарно, за исключением лейкемии и остеосаркомы) и величины радиационного канцерогенного риска рассчитаны по линейной и линейно-квадратичной мультипликативной модели (Kossenko M.M., 1996) (таблица 3).

MORTALITY VALUES FOR LEUKAEMIA AND SOLID CANCERS

TABLE 2

УРОВЕНЬ СМЕРТНОСТИ ОТ ЛЕЙКЕМИИ И СОЛИДНОГО РАКА

ТАБЛИЦА 2

Group	Absorbed dose Gy		Cases of death		Mortality value (95% confidential interval)	
	in red bone marrow	in soft tissues	leukaemia	solid cancers*	leukaemia	solid cancers
1 <sup>st</sup>	1.64	1.3	2	33	15.3 (1.85–55.23)	252.6 (173.78–354.65)
2 <sup>nd</sup>	0.78	0.43	4	80	7.9 (2.15–20.22)	158.0** (125.31–196.55)
3 <sup>rd</sup>	0.61	0.12	4	75	6.6 (1.76–16.64)	121.3 (95.31–151.99)
4 <sup>th</sup>	0.29	0.05	3	72	8.5 (1.75–24.82)	204.2 (161.32–259.0)
5 <sup>th</sup>	0.18	0.04	9	263	6.9 (3.17–13.11)	202.3 (178.46–227.59)
6 <sup>th</sup>	0.176	0.032	5	217	3.8 (1.23–8.85)	165.3 (143.78–188.4)
I (control to the 2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> groups)			6	412	1.6 (0.59–3.51)	110.7 (100.17–121.77)
II (control to the 1 <sup>st</sup> , 4 <sup>th</sup> and 5 <sup>th</sup> groups)			30	1416	3.6 (2.44–5.15)	171.0 (162.1–180.23)
III (control to the 6 <sup>th</sup> group)			34	1453	3.6 (2.51–5.03)	154.9 (146.85–163.26)

Note. \*— excluding osteosarcoma; \*\*— differences are statistically reliable ( $P < 0.05$ ) compared to the respective control.

Примечание. \*— за исключением остеосаркомы; \*\*— различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ) по сравнению с соответствующим контролем.

RADIATION CANCEROGENESIS RISK VALUES CALCULATION FOR EXPOSED PERSONS FROM RIVER TECHA COHORT

TABLE 3

РАСЧЕТ РИСКА РАДИАЦИОННОГО КАНЦЕРОГЕНЕЗА ДЛЯ ОБЛУЧЕННЫХ ЖИТЕЛЕЙ В РАЙОНЕ р. ТЕЧА

ТАБЛИЦА 3

Risk estimation	Leukaemia	All cancers excluding leukaemia
Excessive absolute risk per 10,000 person-years, Gy		
— L-model	0.85 (0.24–1.45)	0.65 (0.27–1.03)
— LQ-model	1.04D–0.24D <sup>2</sup>	1.82D–1.1D <sup>2</sup>
Excessive relative risk per 1 Gy	3.19 (0.43–5.94)	

The linear-quadratic model any preferences' absence to the linear one was revealed in description of real consequences of radiation exposure on the river Techa.

The absolute risk value of leukaemia genesis in exposed persons from the river Techa cohort is lower than in the atomic bombing survivors (2.94 per 10,000 person-years, Gy) that is probably the result of chronic exposure in low dose levels. Absolute risk concerning solid cancers for the river Techa cohort members is entirely comparable to analogous values for the atomic bombing survivors (Shimizu Y. et al., 1989).

At present the studies of remote cancerogenesis effects in exposed persons from the river Techa cohorts are continued on the extended register background together with more precise dose estimations. The studies are held within collaborative programs with USA National Institute of Cancer.

Установлено, что для описания реальных данных последствий облучения на р. Теча использование линейно-квадратичной модели не имеет каких-либо преимуществ перед линейной.

Абсолютный риск развития лейкемии у облученных жителей в районе р. Теча ниже такового у переживших атомную бомбардировку (2,94 на 10 000 человеко-лет, Гр), что, возможно, является следствием хронического облучения в малых дозах. Абсолютный риск развития солидных опухолей — вполне сопоставим с таковым у переживших атомную бомбардировку (Shimizu Y. et al., 1989).

В настоящее время изучение отдаленных канцерогенных эффектов у облученных в районе р. Теча лиц продолжают на базе расширенного регистра и более точной оценки доз. Эти исследования проводят по совместным программам с Национальным институтом рака США.

## REFERENCES

*Akheyev AV, Lyubchansky ER.* Environmental and medical effects of nuclear weapon production in the Southern Urals. *The Science of the Total Environment*, 1994, 142: 1–8.

*Cochran T.B. et al.* Soviet nuclear weapons. *Nuclear Weapons Databook*, 1994, 4: 78–94.

*Degteva M.O., Kozbeurov V.P., Vorobiova M.I.* General approach to dose reconstruction in the population exposed as a result of the release of radioactive wastes into the Techa River. *The Science of the Total Environment*, 1994, 142: 49–61.

*ICRP Publication 26.* Radiation protection 1976: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Pergamon Press, New York, 1977.

*ICRP Publication 60.* Radiation protection 1990: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). Pergamon Press, New York, 1991, 197 p.

*Kossenko M.M.* Cancer mortality among Techa River residents and their offspring. *Health Phys.*, 1996, 71 (1): 77–82.

*Kossenko M., Degteva M., Vyushkova O. et al.* Issues in the comparison of risk estimates for the population in the Techa River region and Atomic bomb survivors. *Radiat. Res.*, 1997, 148: 54–63.

*Kozbeurov V.P.* SICH-9.1 — a unique whole-body counting system for measuring Sr-90 via bremsstrahlung. The main results from a long-term investigation of the Techa River population. *The Science of the Total Environment*, 1994, 142: 37–48.

*Preston D.L., Lubin J.H., Pierce D.A., McConney M.E.* EPICURE. Hirosift International Corporation. Seattle, WA 98112, USA, 1993.

*Shimizu Y., Kato H., Schull W.J. et al.* Studies of the mortality of A-bomb survivors. 9. Mortality. 1950–1985; Part I. Comparison of risk coefficients for site-specific cancer mortality based on the DS86 and T65 DR shielded kerma and organ doses. *Radiat. Res.*, 1989, 118: 502–524.