

BELARUSSIAN POPULATION RADIATION EXPOSURE AFTER CHERNOBYL ACCIDENT AND CONGENITAL MALFORMATIONS DYNAMICS

ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ДИНАМИКА ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ

G.I. Lazjuk, D.L. Nikolayev, I.V. Novikova, A.D. Polityko, R.D. Khmel

Institute for Hereditary and Congenital Diseases of Belarus Republic Ministry of Public Health
66 Orlovskaya Street., Minsk, 220053, Republic of Belarus

Г.И. Лазюк, Д.Л. Николаев, И.В. Новикова, А.Д. Политыко, Р.Д. Хмель

НИИ наследственных и врожденных заболеваний МЗ Республики Беларусь
220053, Республика Беларусь, Минск, ул. Орловская, 66

Abstract

Prenatal development disorders dynamics was studied in legal medical abortuses, congenital malformations (CM) — in newborns. Both with cytogenetic effects in pregnant females, newborns and schoolchildren, resident within contaminated territories. The study was designed for possible genetic consequences of additional exposure to radiation from Chernobyl NPP fallout in the Belarussian population registration. Development disorders incidence in legal medical abortuses and CM — in newborns correlation with territories soil contamination density (^{137}Cs — $15 \text{ Ci} \cdot \text{km}^{-2}$) was defined. No linear dependence of children suffering CM birth frequency on personal or collective exposure doses was revealed. The linear dependence of ring and dicentric chromosomes registration frequency on ^{137}Cs soil contamination density and residence duration in contaminated areas was revealed among pregnant women and newborns.

Keywords: congenital malformations, congenital malformations monitoring, Chernobyl disaster.

INTRODUCTION

More than 12 years have passed since the Chernobyl disaster, but the related problems are still topical. Among them — a significant increase in the number of births of children suffering congenital malformations (CM) in Belarus. Such an increase is connected to consequences of the Chernobyl nuclear power plant (ChNPP) accident (Lazjuk G.I. et al., 1994). The main radionuclides (^{137}Cs and ^{90}Sr) released from the reactor can damage hereditary structures (mutagen effect) and disturb the normal forming of organs (teratogen effect). The number of persons of fertile age and children exposed to biologically significant radiation doses constitutes at least 120,000 (Lazjuk G.I. et al., 1995). These are persons resident earlier or now within territories with soil contamination density exceeding $15 \text{ Ci} \cdot \text{km}^{-2}$ ($555 \text{ kBq} \cdot \text{km}^{-2}$), accident consequences cleaning-up participants and population inhabiting less severely contaminated areas but with high probability of long-living radionuclide migration from soil to plants. In zones with soil contamination density under $15 \text{ Ci} \cdot \text{km}^{-2}$ the population protection arrangements were less strong in the first years after the accident. And the mentioned zones borders were not defined.

The literature data on genetic consequences of low radiation doses among population are not in agreement with each other. UNSCEAR after re-

ВВЕДЕНИЕ

После Чернобыльской катастрофы прошло более 12 лет, однако проблемы, связанные с ней, по-прежнему актуальны. Одна из них — значительное увеличение в Беларуси рождаемости детей с врожденными пороками развития (ВПР). Такое увеличение связывают с последствиями аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) (Лазюк Г.И. и соавт., 1994) на основании того, что выброшенные из реактора основные радионуклиды (^{137}Cs и ^{90}Sr) обладают способностью повреждать наследственные структуры (мутагенный эффект) и нарушать нормальное формирование органов (тератогенный эффект), а количество лиц репродуктивного возраста и детей, получивших биологически значимые дозы облучения, составляют в Беларуси по меньшей мере 120 тыс. (Lazjuk G. et al., 1995). Это и лица, проживавшие и проживающие на территориях с плотностью загрязнения свыше $15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^{-2}$ ($555 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$), участники ликвидации последствий аварии и население, которое живет в зонах менее загрязненных, но с высоким коэффициентом переноса долгоживущих радионуклидов из почвы в растения. На территориях с плотностью загрязнения менее $15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^{-2}$ в первые годы после аварии меры защиты населения были менее жесткими, а границы таких территорий не были определены.

Данные литературы о генетических последствиях воздействия малых доз ионизирующих излучений на население не однозначны. НКДАР ООН после неоднок-

peated examination of the problem (UNSCEAR, 1977; 1982; 1986; 1988) based on doubling the dose value of 1 Sv per generation defines the additional birth number of children suffering diseases caused by gene and chromosomal mutations (as a leading role in CM) as 1,700 cases per 1 million newborns in the first generation. Proceeding from the mentioned estimation and taking into account that hereditary pathology natural incidence constitutes 3.6–4.6 per 100 children born alive (BEIR-V, 1990) and that exposure doses in described population cohorts are rather less than 1 Sv, many researchers consider that direct medical registration methods are unhelpful in the determination of hereditary pathology increase related to additional exposure after the Chernobyl disaster (Bochkov N.P. et al., 1992).

Special research was carried out in Western Europe (Hungary, Germany, Norway, Finland etc.) for CM epidemiology study in connection with the Chernobyl disaster. According to EUROCAT data (Dolk H., Lechart M.F., 1993) no increase of birth incidence was revealed in children suffering CM. At the same time some researchers observed certain growth of Down's syndrome and neural tube defects incidence during the post-Chernobyl period. But no data concerning relation to the ChNPP accident was found (Bard D. et al., 1997).

For a study of possible genetic consequences of the Chernobyl disaster multipurpose research work was conducted at the Institute for Hereditary and Congenital diseases of Belarus Republic Ministry of Public Health. Research program included chromosome mutations types and levels definition in somatic cells, embryos and foetuses development disorders both with children suffering CM birth incidence dynamics study.

CYTOGENETIC EFFECTS

The cytogenetic effects were studied in critical population groups — in pregnant women, newborns and schoolchildren, resident in the most intensively contaminated regions of Gomel, Mogilev and Brest provinces. Peripheral blood lymphocyte cultivation and registration of chromosome aberrations were conducted according to generally accepted methods. The summarised data are shown in table 1. The evacuated pregnant women (1st group) and their newborns together with persons living for a long time in contaminated territories (2nd and 3rd groups) received biologically effective radiation doses that became apparent with dicentric and ring chromosomes number increase. Mutagenic effect in evacuated females was found to be less expressed than in those resident within the zone of strict radiological control (ZSRC) for 2 or more years (3rd group). According to data of cytogenetic studies among schoolchildren from Lunenetsky and Stolynsky regions of Brest province with soil contamination density 1–5 Ci•km⁻²

ратного (UNSCEAR 1977; 1982; 1986; 1988) рассмотрения этой проблемы, основываясь на удваивающей дозе, равной 1 Зв на поколение, определяет возможность прироста рождений детей с заболеваниями, обусловленными генными и хромосомными мутациями (большинство из которых и есть ВПР), в 1700 случаях на 1 млн. новорожденных в первом поколении. Исходя из этой оценки и учитывая то, что естественная частота наследственной патологии составляет 3,6–4,6 на 100 рожденных живыми (BEIR-V, 1990), а дозы, полученные вышеперечисленными контингентами населения Беларуси значительно ниже 1 Зв, многие исследователи считают, что прямыми методами медицинского учета невозможно установить наличие прироста наследственной патологии, связанной с дополнительным облучением, вследствие Чернобыльской катастрофы (Бочков Н.П. и соавт., 1992).

В странах Западной Европы (Венгрии, Германии, Норвегии, Финляндии и др.) были проведены специальные исследования по изучению эпидемиологии ВПР в связи с Чернобыльской катастрофой; как отмечено в обобщенных данных EUROCAT (Dolk H., Lechart M.F., 1993) увеличения частоты рождения детей с ВПР не обнаружено. Вместе с тем, ряд исследователей наблюдали некоторое учащение случаев синдрома Дауна и дефектов нервной трубки в послечернобыльский период, однако данных о взаимосвязи этого с аварией на ЧАЭС установить не удалось (Bard D. et al., 1997).

В целях изучения возможных генетических последствий Чернобыльской катастрофы в НИИ наследственных и врожденных заболеваний МЗ Республики Беларусь проведено многоплановое исследование, включающее определение видов и уровня мутации хромосом в соматических клетках, изучение динамики нарушений развития у эмбрионов и плодов и рождения детей с врожденными пороками развития.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Цитогенетические эффекты изучали в критических группах населения — у беременных, новорожденных и школьников, проживающих в наиболее загрязненных радионуклидами районах Гомельской, Могилевской и Брестской областей. Культивирование лимфоцитов периферической крови и учет aberrаций хромосом проводили по общепринятым методикам. Обобщенные данные приведены в таблице 1. По этим данным эвакуированные беременные женщины (1-я группа) и их новорожденные дети, а также лица, проживающие в течение длительного времени на загрязненных территориях (2-я и 3-я группы) получили биологически эффективные дозы ионизирующих излучений, что проявилось увеличением числа дицентрических и кольцевых хромосом. Мутагенный эффект у эвакуированных женщин оказался меньше, чем у женщин, проживавших в зоне жесткого радиологического контроля (ЗЖРК) в течение 2 лет и более (3-я группа). По данным цитогенетических исследований у школьников Луненецкого и Столинского районов Брестской области с плотностью загрязнения 1–5 Ки•км⁻²

DICENTRIC AND RING CHROMOSOMES REGISTRATION INCIDENCE AMONG DIFFERENT GROUPS OF BELARUSSIAN POPULATION

TABLE 1

ТАБЛИЦА 1

ЧАСТОТА ВЫЯВЛЕНИЯ ДИЦЕНТРИЧЕСКИХ И КОЛЬЦЕВЫХ ХРОМОСОМ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ ПОПУЛЯЦИИ БЕЛАРУСИ

Province	Year of Study	Persons from Contaminated Regions		Dicentric and Ring Chromosomes Registration Incidence, %
		Number	Contingent	
Gomel	1986	18	1 st group of females*	0.37±0.09
Gomel	1986	18	Newborns	0.38±0.10
Gomel	1987	25	2 nd group of females**	0.21±0.05
Mogilev	1988	8	3 rd group of females***	0.57±0.16
Mogilev	1988	22	Newborns	0.42±0.07
Brest	1992	15	Schoolchildren	0.36±0.08
Persons from zone of control				
Novopolotsk city	1986	16	Females	0.04±0.03
Grodno city	1987	21	Newborns	0.15±0.05
Grodno city	1989	21	Newborns	0.13±0.05
Minsk city	1990–1991	30	Females	0.12±0.04
Minsk city	1990–1991	30	Newborns	0.04±0.02
Minsk city	1993	20	Schoolchildren	0.16±0.06

Note. * Pregnant women evacuated from the most heavily contaminated zones of Gomel province in May 1986; ** Pregnant women resident for one year within ^{137}Cs contaminated territories with soil contamination density $15 \text{ Ci}\cdot\text{km}^{-2}$ and over; *** Pregnant women resident for 2 years and more within ^{137}Cs contaminated territories with soil contamination density $15 \text{ Ci}\cdot\text{km}^{-2}$ and over.

Примечание. * Беременные, эвакуированные из наиболее загрязненных зон Гомельской области в мае 1986 г.; ** беременные, прожившие в течение года на загрязненных ^{137}Cs территориях с плотностью загрязнения $15 \text{ Ки}\cdot\text{км}^{-2}$ и более; *** беременные, прожившие 2 года и более на загрязненных ^{137}Cs территориях с плотностью загрязнения $15 \text{ Ки}\cdot\text{км}^{-2}$ и более.

(with ^{137}Cs) the dicentric and ring chromosomes frequency ($0.36\pm 0.08\%$) was virtually equal to indices in pregnant females evacuated from Gomel province in May 1986 and higher than in those resident in the contaminated territory for nearly one year. Similar results were received by other researchers too (Smith D.W., 1982; Yeliseyeva I.M., 1991; Pilinskaya M.A., Dybinsky S.S., 1992; Burlakova E., 1995).

DEVELOPMENT DISORDERS STUDY IN LEGAL MEDICAL ABORTUSES

The Institute for Hereditary and Congenital Disease experience in embryo malformations registration was used for Chernobyl disaster teratogen and mutagen effects estimation. Morphological data for more than 10,000 legal medical abortuses (conception product received as a result of pregnancy termination in a medical institution by female request) were available there. Gestation age was 5–12 weeks, all received in Minsk. Between 1986–1995 the 2,701 abortuses from the most severely contaminated regions of Gomel and Mogilev provinces were studied. Within studies conducted in Minsk together with those in named provinces the majority of embryos were found to have been damaged during curettage so not all the viscera could be examined in every case. Hence malformation incidence was calculated not per total number of embryos examined with binocular stereomicroscope, but per those in whom a given organ was studied and gestation age exceeded physiologic persistence terms of embryo structures for every specific malformation.

As a result of the study of more than 31,000 cases, the malformations incidence increase was not

по ^{137}Cs частота дигцентрических и кольцевых хромосом ($0,36\pm 0,08\%$) была практически на уровне показателей у беременных женщин, эвакуированных из Гомельской области в мае 1986 г., и более высокой, чем у беременных Гомельской области, проживших на загрязненной радионуклидами территории около одного года. Сходные результаты получены и другими исследователями (Smith D.W., 1982; Елисеєва И.М., 1991; Пилинская М.А., Дыбинский С.С., 1992; Burlakova E., 1995).

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ РАЗВИТИЯ У ЛЕГАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ АБОРТУСОВ

Для оценки тератогенного и мутагенного эффектов Чернобыльской катастрофы использован опыт НИИ наследственных и врожденных заболеваний по учету пороков развития у эмбрионов. Институт располагал к моменту аварии морфологическими данными более чем о 10 000 легальных медицинских абортусов (продукт зачатия, полученный в результате прерывания беременности в медицинском учреждении по желанию женщины) овуляторного возраста 5–12 нед, полученных в Минске. В течение 1986–1995 гг. был исследован 2701 абортус из наиболее загрязненных районов Гомельской и Могилевской областей. В исследованиях как в Минске, так и в указанных областях большинство зародышей оказались поврежденными при кюретаже, вследствие чего не все органы в каждом случае были доступны изучению. Поэтому частоту пороков рассчитывали не на общее количество изученных с помощью бинокулярного стереомикроскопа зародышей, а лишь на тех, у которых данный орган был исследован и возраст которых превышал сроки физиологического персистирования эмбриональных структур для каждого конкретного порока.

В результате исследования более 31 000 абортусов установлено (таблица 2), что в Минске частота наруше-

present among abortuses in Minsk (table 2). In contaminated regions of Gomel and Mogilev provinces the malformation incidence reached a value of 7.21% that reliably exceeded indices in Minsk.

ний развития у медицинских абортусов не возросла. В загрязненных районах Гомельской и Могилевской областей частота пороков достигла 7,21%, что достоверно превышало показатели по Минску.

MALFORMATIONS INCIDENCE IN LEGAL MEDICAL ABORTUSES IN BELARUS

ТАБЛИЦА 2

ЧАСТОТА ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ У ЛЕГАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ АБОРТУСОВ В БЕЛАРУСИ

Parameter	Studied Region		
	Minsk city		ZSRC
	1980–1985 Years Period	1986–1996 Years Period	1996–1995 Years Period
Studied abortuses number	10,168	20,507	2,701
Malformations Incidence / Studied Specimen Number, %	5.60	4.90	7.21*
Central Nervous System Malformations	0.32	0.53	0.54
Polydactylism	0.63	0.53	0.79
Extremities Reduction Malformations	0.07	0.10	0.28

Note. * Substantial differences (p≤0.05).
Примечание. * Достоверные различия (p≤0,05).

The detached forms of nosology analysis results indicated that all malformation incidence increased in contaminated regions. Harelip and cleft palate, kidney and ureter doubling, polydactylism and neural tube defects were leading malformations there. The named malformations are of heterogeneous aetiology. Dominant mutations role is high in polydactylism genesis. Arrhaphias (both facial and neural tube) are malformations with genesis depending mainly upon multiple factors, whereas genetic factors role in kidney and ureter doubling is not defined at all. We observed neither any aneuploidy (mono- and trisomy) increase in medical abortuses, nor direct teratogen effect in the form of organ germ cells focal necrosis as one of the embryo radiobiological reactions. All that did not allow precise estimation of ionizing radiation possible role in malformation incidence increase among medical abortuses received from women resident in contaminated regions.

Анализ динамики отдельных нозологических форм пороков показал, что в загрязненных районах увеличилась частота всех пороков, более всего частота незаращения губы и неба, удвоения почек и мочеточников, полидактилии и дефектов нервной трубки. Упомянутые пороки этиологически гетерогенны. В происхождении полидактилии велико значение доминантных мутаций. Арафии (как лица, так и нервной трубки) — пороки преимущественно мультифакториального генеза, а вклад генетических факторов в возникновение удвоений почек и мочеточников вообще не определен. Мы не наблюдали у медицинских абортусов прироста анеуплоидий (моноили трисомий), не удалось также выявить прямой тератогенный эффект в виде очаговой гибели клеток закладок органов как одну из радиобиологических реакций эмбриона. Все это не позволяет однозначно оценить возможный вклад ионизирующих излучений в увеличение частоты нарушений развития у медицинских абортусов, полученных у жительниц загрязненных радионуклидами районов.

CONGENITAL MALFORMATIONS
INCIDENCE STUDY IN NEWBORNS

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВПР
У НОВОРОЖДЕННЫХ

CM registration in many states is used as the monitoring arrangement for consequences of detrimental environmental factors' impact on human fertility function, in particular — on hereditary structures and the developing foetus. For that, regional, national and international genetic monitoring projects are conducted. Depending on the exact purpose, available resources and amount of population under control, all the CM or only a certain part of them, fixed within the early neonatal period or age up to one year are subject to obligatory registration. More rarely CM fixed in other age groups are registered for monitoring purposes.

Учет ВПР во многих странах мира используют как аппарат слежения за последствиями воздействия вредных факторов окружающей среды на репродуктивную функцию человека, в частности, на наследственные структуры и развивающийся зародыш. Для этого проводятся региональные, национальные и межгосударственные генетические мониторинги. В зависимости от целей, возможностей исследователей и размера контролируемой популяции обязательному учету подлежат все или только определенная часть ВПР, установленных в ранний неонатальный период или в возрасте до 1 года. Реже в целях мониторинга регистрируют ВПР, установленные в других возрастных группах.

The Belarus National Monitoring Program concerning registered CM forms enumeration and registration methodology is comparable to one adopted by the European (EUROCAT) and World (International Clearinghouse) Register Systems. According to the Belarus National Monitoring System those CM are

Национальный мониторинг Беларуси по перечню учитываемых форм ВПР и методике их учета сопоставим с мониторингом, принятым в Европейской (EUROCAT) и Всемирной (International Clearinghouse) системах регистров. По системе Национального мониторинга Беларуси регистрируют те ВПР, которые

registered that were exactly diagnosed with no dependence on physician's skill and medical institution technical equipment levels. Those CM are named as Strict Registration Malformations (SRM). A list of SRM, subject to compulsory registration is shown in table 3. In total the SRM constitute up to 44–50% of all the CM manifest forms registered in maternity hospitals in Belarus. For every case of SRM the physician that made the diagnosis completes a special card then sent by mail or PC to Republican Medic-Genetic Centre (RMGC). The registration completeness assessment and diagnosis specification are held by the Institute for Hereditary and Congenital diseases staff during missions to regions or consulting families in RMGC. The summarised data are defined more precisely every six months.

The results of studies carried out are shown in table 3, where the SRM in three zones are compared 4 years before and 10 after the ChNPP accident. The data shown in table 3 indicate that SRM incidence has increased in all three zones but especially significantly in one with ^{137}Cs soil contamination focuses of density values $15 \text{ Ci} \cdot \text{km}^{-2}$ and over.

Besides the CM incidence study in the National Monitoring System framework, the additional analysis of all the manifest forms of CM diagnosed in early neonatal period was held in ZSRC. Those forms' dynamics were of a similar trend, no peculiar forms of embryo development were revealed.

Ministry of Public Health of Belarus official statistics data also show evidence of CM incidence considerable increase (from 12.5‰ in 1985 up to 17.7‰

однозначно диагностируют независимо от уровня подготовки врача и технического оснащения медицинского учреждения. Эти ВПР названы пороками строгого учета (ПСУ). Перечень ПСУ, подлежащих обязательной регистрации, приведен в таблице 3. Суммарно ПСУ составляют до 44–50% от всех манифестных форм ВПР, регистрируемых в родовспомогательных учреждениях Беларуси. На каждый случай ПСУ врач, установивший диагноз, составляет специальную карту, которую отсылают по почте или передают с помощью ЭВМ в Республиканский медико-генетический центр (РМГЦ). Учет полноты регистрации и уточнение диагноза производят сотрудники НИИ наследственных и врожденных заболеваний при выездах в районы или консультировании семей в РМГЦ. Каждое полугодие суммированные данные уточняют.

Результаты проведенных нами исследований представлены в таблице 3, в которой сопоставлена частота ПСУ в 3 зонах за 4 года до аварии на ЧАЭС и за 10 лет после нее. Частота ПСУ возросла во всех 3 зонах, но особенно значимо в зоне, где имеются очаги загрязнения ^{137}Cs в дозах $15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^{-2}$ и более.

Кроме исследований частоты ВПР в рамках Национального мониторинга в ЗЖРК проведен дополнительный анализ всех манифестных форм ВПР, диагностированных в ранний неонатальный период. Динамика их имела аналогичную направленность; необычных форм нарушений эмбрионального развития не обнаружено.

О значительном увеличении (с 12,5‰ в 1985 г. до 17,7‰ в 1995 г.) частоты ВПР свидетельствуют и данные официальной статистики Министерства здраво-

SRM ABSOLUTE NUMBER AND INCIDENCE IN BELARUS FOR 1982–1996 YEARS PERIOD (PER 1,000 BIRTHS)

TABLE 3

АБСОЛЮТНОЕ ЧИСЛО И ЧАСТОТА ПСУ В БЕЛАРУСИ ЗА ПЕРИОД 1982–1996 ГГ. (НА 1000 РОДИВШИХСЯ)

ТАБЛИЦА 3

SRM	^{137}Cs Contamination Zone				Control (30 Regions)	
	>15 Ci·km ⁻² (17 regions)		>1 Ci·km ⁻² (54 Regions)			
	1982–1985 Years Period	1987–1996 Years Period	1982–1985 Years Period	1987–1996 Years Period	1982–1985 Years Period	1987–1996 Years Period
Anencephaly	0.28 11	0.50 32	0.24 48	0.67* 254	0.35 23	0.57* 78
Spina Bifida	0.58 23	0.91 59	0.67 132	0.97* 368	0.64 42	0.96* 132
Harelip and/or Cleft Palate	0.63 25	0.93 60	0.70 137	0.94* 356	0.50 33	0.99* 135
Polydactylism	0.10 4	1.04* 67	0.30 60	0.70* 267	0.26 17	0.60* 82
Extremities Reduction Malformations	0.15 6	0.53* 34	0.18 36	0.36* 136	0.20 13	0.24 33
Gullet Atresia	0.08 3	0.08 5	0.12 23	0.15 56	0.11 7	0.14 19
Skin-covered Anus	0.05 2	0.09 6	0.08 16	0.10 38	0.03 2	0.07 9
Down's Syndrome	0.91 36	0.82 53	0.86 170	1.04 393	0.63 41	0.95* 130
Multiple Congenital Malformations	1.04 41	2.32* 150	1.41 277	2.09* 792	1.18 77	1.69* 231
Total	3.87 151	7.21* 466	4.57 899	7.01* 2660	3.90 255	6.21* 849
CM Incidence Increase Rate, %	86		54		59	

Note. * Significant differences ($p < 0.05$) of CM incidence before (1982–1985 years period) and after (1987–1996 years period) the Chernobyl disaster.

Примечание. * Достоверные различия ($p < 0.05$) частоты ВПР до (1982–1985 гг.) и после (1987–1996 гг.) Чернобыльской катастрофы.

in 1995). The ministry is conducting registration of newborns suffering CM in maternity hospitals of the Republic.

The endeavour to fix the teratogen effect presence via monitoring after additional radiation exposure in pregnant women turned out to be ineffective. We succeeded in receiving data only for 4,986 children from ZSRC and 30-km zone that were born in December 1986 and January–February 1987, i.e. for those with prenatal development critical periods elapsing within the first months following the Chernobyl accident. Various forms of SRM were revealed in 15 of those children, i.e. not quite enough for statistical analysis. The abortuses study is useless for such purposes as the presence of mutagenic effect preceding conception can't be excluded.

To fix the possible connection between the CM incidence increase and mutations' elevated level, separate nosologic forms dynamics were studied among malformations, having in genesis a significant role in mutation component. As shown in table 3, polydactylism, multiple CM and extremities reduction malformations are increased most of all. Just in these three groups of the SRM genesis the *de novo* dominant mutations make the highest contribution. At the same time no increase took place in ZSRC concerning the number of cases of trisomy 21 — the most frequent chromosome disease related to the *de novo* mutation.

Thus, no convincing data about the SRM incidence increase in the ZSRC relation to mutations were received. But the statistically significant increase in easily diagnosed polydactylism cases both in abortuses and newborns, and evident growth of the CM multiple forms, that are related to gamete injuries consequences, can be considered as an indicator of the additional mutagen factor impact on parental gametes.

The SRM incidence in Gomel and Mogilev provinces rural regions (as those most severely contaminated with ChNPP fallout) comparison to cumulative average-group (table 4) and collective dose values, received by the named regions' population, was conducted to reveal the CM incidence increase's possible relation to Belarus population's additional radiation exposure. All data concerning radiation dose values were obtained by the Belorussian Institute for Radiation Medicine and Endocrinology. Similar parameters were investigated as study control in Vitebsk province not contaminated with ChNPP radionuclides.

The radiation doses received by population were formed from external and internal irradiation.

External irradiation was caused by γ -radiation from radionuclides ($^{132}\text{Te}/\text{I}$, ^{131}I , $^{140}\text{Ba}/\text{La}$, $^{95}\text{Zr}/\text{Nb}$, $^{103,106}\text{Ru}$, $^{141,144}\text{Ce}$, $^{134,137}\text{Cs}$) deposited in human residence territory. The fallout radionuclide content and exposition dose rate measurement results, both with radi-

охранения Беларуси, ведущего учет новорожденных с ВПР в родовспомогательных учреждениях республики.

Попытка с помощью мониторинга определить наличие тератогенного эффекта вследствие дополнительного облучения беременных женщин оказалась безуспешной. Нам удалось получить сведения лишь о 4986 детях из ЗЖРК и 30-километровой зоны, рожденных в декабре 1986 г. и январе–феврале 1987 г., т.е. о тех, критический период внутриутробного развития которых проходил в первые месяцы после аварии. У 15 из этих детей обнаружены различные формы ПСУ, что недостаточно для статистического анализа. Исследование абортусов для таких целей непригодно, поскольку нельзя исключить мутагенный эффект, предшествующий зачатию.

Для того, чтобы установить возможную связь между увеличением частоты ВПР и возросшим уровнем мутаций, была изучена динамика отдельных нозологических форм пороков, в происхождении которых достаточное значение имеет мутационная компонента. Как следует из данных таблицы 3, более всего увеличилось количество полидактилий, множественных ВПР и редукционных пороков конечностей. Именно в развитие этих трех групп ПСУ наибольший вклад вносят *de novo* доминантные мутации. Вместе с тем увеличения числа случаев трисомии 21 — наиболее частой хромосомной болезни, связанной с мутацией *de novo*, — в ЗЖРК не произошло.

Таким образом, убедительных данных о том, что увеличение частоты ПСУ в ЗЖРК связано с мутациями, мы не получили. Однако статистически значимое увеличение количества случаев легко диагностируемой полидактилии как у абортусов, так и у новорожденных, и заметный прирост множественных форм ВПР, которые в значительной степени относятся к последствиям гаметических повреждений, могут быть оценены как индикаторы воздействия на гаметы родителей дополнительного мутагенного фактора.

Для установления возможной связи увеличения частоты ВПР с дополнительным облучением населения Беларуси было проведено сопоставление частоты ПСУ в сельских районах Гомельской и Могилевской областей (как в наиболее загрязненных выбросами ЧАЭС) с кумулятивными среднегрупповыми (таблица 4) и коллективными дозами, полученными населением этих районов (все данные, касающиеся доз облучения, получены в Белорусском НИИ радиационной медицины и эндокринологии). В качестве контроля были исследованы аналогичные показатели в сельских регионах Витебской области, не загрязненной радионуклидами ЧАЭС.

Дозы, полученные населением, формировались за счет внешнего и внутреннего облучения.

Внешнее облучение было обусловлено γ -излучением радионуклидов ($^{132}\text{Te}/\text{I}$, ^{131}I , $^{140}\text{Ba}/\text{La}$, $^{95}\text{Zr}/\text{Nb}$, $^{103,106}\text{Ru}$, $^{141,144}\text{Ce}$, $^{134,137}\text{Cs}$), выпавших на территорию проживания людей. Для расчета доз внешнего облучения использованы результаты измерений радионуклидного

TABLE 4

SRM INCIDENCE RATIO TO ADDITIONAL CUMULATIVE INTEGRAL DOSES OF RADIATION IN BELARUS
RURAL POPULATION (AGE GROUP 18 YEARS AND OVER)

ТАБЛИЦА 4

СООТНОШЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПСУ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ КУМУЛЯТИВНЫМИ СУММАРНЫМИ ДОЗАМИ ОБЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ БЕЛАРУСИ (ВОЗРАСТНАЯ ГРУППА 18 ЛЕТ И СТАРШЕ)

Province	SRM Absolute Number and Incidence per 1,000 newborns		Cumulative Average-group Dose (mSv)	Collective Irradiation Dose (Person•Sv)
	1982–1985 Years Period	1987–1995 Years Period	1986–1994 Years Period	1986–1994 Years Period
Gomel	4.06±0.39	7.45±0.24 Increase 87%	13.4 (55,8 n)	6276 (66.1 m)
Mogilev	3.50±0.53	6.41±0.31 Increase 83%	8.82 (36,7 n)	2909 (30.6 m)
Vitebsk	3.60±0.63	4.75±0.28 Increase 47%	0.24 (n)	95 (m)

onucleides migration regimes estimation were used in external irradiation doses calculations.

Internal irradiation was caused by $^{134,137}\text{Cs}$ and ^{90}Sr radionuclides incorporated with food products. Radioactive caesium incorporation by Belarus population was estimated according to results of a population-wide mass checkup with body counter during the post-accident period.

Collective dose was calculated taking into account the exposed population age increase and age groups structure changes in the post-accident period.

In all the three provinces studied the significant increase in the number of births of children suffering SRM was marked (table 4) that correlated with soil contamination density level. In the most severely contaminated Gomel province the SRM increase for 10 years constituted 87%, in less contaminated Mogilev one — 83%.

At the same time in the “clean” from additional contamination rural regions of Vitebsk province the number of children born suffering SRM increased too. The increase here was 47% and naturally was not related to ionizing radiation impact. As all the other possible teratogen and mutagen factors in the three studied regions are comparable, then the SRM increase in the Gomel and Mogilev provinces of 40% and 36% respectively (87%–47% and 83%–47%) can be in some way considered as an additional irradiation consequence. But the additional radiation exposure in both contaminated regions is to be equal. According to our data (table 4), there are 3% of SRM increase in the Gomel province and 4.2% — in the Mogilev province per 1 mSv of average-group dose received by rural population aged 18 years and over.

The reason for these differences are not revealed. Not excepting that the received facts can be indirect confirmation of experimental data concerning hypersensitivity span existence to very low radiation doses (<0.5 Gy) within low dose range both with some resistance presence in population to higher exposure doses (Burlakova E., 1995). Such a hypothesis requires very concrete proof.

CONCLUSIONS

The Population of the ZSRC together with that of the contaminated Lunenetsky and Stolinsky regions received biologically significant doses of ionizing radiation

и оценки режимов поведения радионуклидов.

Внутреннее облучение обусловлено поступлением в организм радионуклидов $^{134,137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr с пищевыми продуктами. Поступление радиоактивного цезия в организм жителей Беларуси оценивали по результатам массовых измерений населения с помощью СИЧ в послеаварийный период.

Коллективную дозу рассчитывали с учетом увеличения возраста облученной популяции и изменения структуры возрастных групп в послеаварийный период.

Во всех трех обследованных областях отмечен значительный прирост числа случаев рождения детей с ПСУ (см. таблицу 4), который коррелировал с плотностью загрязнения. В наиболее загрязненной радионуклидами Гомельской области прирост ПСУ за 10 лет составил 87%, в менее загрязненной Могилевской — 83%.

Вместе с тем, в “чистых” от дополнительного загрязнения радионуклидами сельских районах Витебской области также наблюдалось увеличение количества рождений детей с ПСУ. Прирост здесь составил 47% и не был связан с воздействием ионизирующих излучений. Поскольку все другие возможные тератогенные и мутагенные факторы в трех исследуемых регионах сопоставимы, то для Гомельской и Могилевской областей прирост ПСУ 40% и 36% соответственно (87%–47% и 83%–47%) в какой-то мере можно считать следствием дополнительного облучения. Однако влияние дополнительного облучения в обеих загрязненных областях должна быть одинаковой. В нашем же материале (см. таблицу 4) на 1 мЗв среднegrupповой дозы, полученной сельским населением в возрасте 18 лет и старше в Гомельской области, приходится 3% прироста ПСУ, в Могилевской — 4,2%.

Причины таких различий не установлены. Не исключено, что полученные факты могут служить косвенным подтверждением экспериментальных данных о том, что в диапазоне малых доз существуют зона гиперчувствительности к очень малым дозам (<0,5 Гр) и некая резистентность популяции к более высоким дозам (Burlakova E., 1995). Такая гипотеза требует очень серьезных доказательств.

ВЫВОДЫ

Население ЗЖРК, а также загрязненных радионуклидами Луненецкого и Столинского районов получили биологически значимые дозы ионизирующих излучений, что про-

that became apparent with significant increase of dicentric and ring chromosomes registration cases number.

Prenatal development disorders incidence increased significantly in Belarus during the post-Chernobyl period, proved by the malformation number increase in the legal medical abortuses and SRM in newborns.

SRM incidence increase took place within all the territory of the Republic but most of all — in zones of ^{137}Cs contamination values exceeding $15 \text{ Ci} \cdot \text{km}^{-2}$.

The positive correlation of the CM incidence to the collective and average-group exposure dose values was fixed whereas the “dose—effect” linear dependence was not revealed.

The highest increase was marked among those CM with dominant mutations *de novo* high role in genesis (multiple CM, polydactylism, extremities reduction malformations). Chromosoma diseases (e.g. Down's syndrome) incidence not changed in ZSRC.

The teratogen effect of ionizing radiation after the ChNPP accident was not revealed.

The number of cases increase of foetus prenatal development disorders registered in Belarus can only be the consequence of complex negative impact on fertile function among population. The physical mutagenes (radionuclides), chemical embryo toxins and malnutrition are obviously of main significance here. But such a conclusion requires additional wide-scale research.

REFERENCES

- Бочков Н.П., Романенко А., Разумеева Г.И., Яковлев В.В. Медрадиология, 1992. 37 (3–4): 59–63.
[Bochkov N.P., Romanenko A., Razumeeva G.I., Yakovlev V.V. Med. Radiology, 1992. 37 (3–4): 59–63]
- Гончарова Г.И. Отдаленные последствия Чернобыльской катастрофы: оценка через 11 лет. В кн.: Экологическая антропология. Минск, 1998, с. 215–224.
[Goncharova G.I. Long-term consequences of the Chernobyl disaster: estimation after 11 years. In: Ecological anthropology. Minsk, 1998, pp. 215–224]
- Елисеєва И.М. Цитогенетические эффекты, наблюдаемые у разных контингентов лиц, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 1991, 24 с.
[Eliseeva I.M. Cytogenetical effects in different groups of patients suffer from the accident on the Chernobyl NPP. Moscow, 1991, 24 p.]
- Пилинская М.А., Дыбинский С.С. Частота хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови детей, проживающих в районах с различной радиоэкологической обстановкой. Цитология и генетика, 1992, 26 (2): 11–17.
[Pilinskaya M.A., Dybinskiy S.S. The frequency of chromosomal aberrations in the peripheral blood lymphocytes of the children living in regions with different radioecological conditions. Cytology and genetics, 1992, 26 (2): 11–17]
- явилось значительным увеличением количества случаев выявления дицентрических и кольцевых хромосом.
- В послечернобыльский период в Беларуси значительно возросла частота нарушений внутриутробного развития, о чем свидетельствует увеличение числа пороков развития у легальных медицинских абортусов и ПСУ у новорожденных.
- Увеличение частоты ПСУ произошло на всей территории республики, однако более всего в зонах загрязнения ^{137}Cs выше $15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^{-2}$.
- Установлена положительная корреляция частоты ВПР с коллективной и среднegrupповой дозами облучения и не выявлена линейная зависимость “доза—эффект”.
- Отмечено наибольшее увеличение частоты тех ВПР, в генезе которых велика роль доминантных мутаций *de novo* (множественные ВПР, полидактилии, редукционные пороки конечностей). Частота хромосомных болезней (например, синдром Дауна) в ЗЖРК не изменилась.
- Тератогенный эффект ионизирующих излучений вследствие аварии на ЧАЭС не выявлен.
- Наблюдаемое в Беларуси увеличение числа случаев нарушений внутриутробного развития плода может быть следствием только комплексных негативных воздействий на репродуктивную функцию ее жителей. Основное значение, очевидно, имеют физические мутагены (радионуклиды), химические эмбриотоксины и неполноценное питание. Однако такое заключение требует дополнительных широкомасштабных исследований.
- Bard D., Verger P., Hubert P. Chernobyl, 10 Years After: Health Consequences. Epidemiologic Reviews, 1997, 19(2): 187–204.
- Burlakova E. Low Intensity Radiation: Radiobiological Aspects. Radiation Protection Dosimetry, 1995, 62 (1/2): 13–18.
- Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, National Research Council, Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR-V). National Academy Press, Washington, DC, 1990.
- Dolk H., Lechat M.F. Health surveillance in Europe: lessons from EUROCAT and Chernobyl. Int. J. Epidemiol., 1993, 22(3): 363–368.
- Lazjuk G.I., Kirillova I.A., Nikolaev D.L., Novikova I.V., Fomina Z.N., Ktmel R.D. Frequency Changes of Inherited Anomalies in the Republic of Belarus after the Chernobyl Accident. Radiation Protection Dosimetry, 1995, 62 (1/2): 71–74.
- Smith D.W. Recognizable patterns of human malformations. Genetics, embryology and clinical aspects. 3rd Ed. Saunders, 1982, 654 p.
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UN, New York, 1977.
- UNSCEAR. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects. UN, New York, 1982.
- UNSCEAR. Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation. UN, New York, 1986.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UN, New York, 1988.