

## THE RADIATION-ECOLOGICAL AND MEDICAL-GENETIC CONSEQUENCES OF CHERNOBYL DISASTER AFTER TWENTY YEARS AND THE PROGNOSIS FOR THE FUTURE

A.I. Glouchchenko<sup>1</sup>, I.I. Suskov<sup>1</sup>, L.S. Baleva<sup>2</sup>, A.E. Sipiagina<sup>2</sup>, K.P. Checherov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences,  
117809, Russia, Moscow, Gubkin str.3

E-mail: suskov@vigg.ru, a-glushchenko@mail.ru, fax:7-095-135-12-89, phone:7-095-132-89-62. Site in  
Internet: www.rtg-risk.narod.ru).

<sup>2</sup> Federal Center of the Radiation Defence of Children, Moscow, Taldomskaya st, 4.

<sup>3</sup> RSC «Kurchatov Institute», Kurchatov square,1.

## РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕДИКО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ ЧЕРЕЗ 20 ЛЕТ И ПРОГНОЗ НА БУДУЩЕЕ

А.И. Глущенко<sup>1</sup>, И.И. Сусков<sup>1</sup>, Л.С. Балева<sup>2</sup>, А.Е. Сипягина<sup>2</sup>, К.П. Чечеров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской Академии наук,  
117809, Россия, Москва, ул. Губкина, 3

Тел.:7-495-132-89-62, факс:7-495-135-12-89, e-mail: suskov@vigg.ru, a-glushchenko@mail.ru, www.rtg-risk.narod.ru

<sup>2</sup> Федеральный Детский Центр Противорадиационной Защиты Детей  
Москва, Талдомская ул., 4 (E-mail: lbaleva@pedklin.ru).

<sup>3</sup> РНЦ «Курчатовский институт», Москва, пл. Курчатова,1.

### Abstract

The complex analysis of the radiation-ecological and medical-genetic consequences of the Chernobyl Disaster, happened 26 April 1986 year, has shown unprecedented consequences which had affected on many countries and their population even after twenty year. There is an opinion which have a solid base which says that real accidental Chernobyl release essentially exceed the officially accepted estimation 50 million curies (or 3.5 % from content of fuel in reactor RBMK-1000). As the authors point out, the nuclear explosion of Chernobyl has effluented at least 85% of the fuel from the pit of the reactor. This corresponds to effluent approximately one billion three hundred millions Cu. The pit of the reactor is empty. During twenty years the effluented transuranium elements, especially Pu-239, have been transforming into the daughter radionuclides (Am-241), which have the relative biological efficiency (RBE) ~10-20 and accumulated in environment. This process shoes that the negative consequences will be to increase. Thus, it's necessary to perform the complex radiation-ecological and medical-genetic monitoring in the zones of the higher risk. Germany has the large experience in the field of the radiation-ecological monitoring. The long-term medical-genetic monitoring registers the increasing somatic diseases together with the increased level of the chromosome mutagens and the phenomenon of the «induced genome instability». The state of health and genefund could be estimated on complex of analysis of functional indexes of organism and genetic-immunological data. The work, mentioned above, allows to give a complex risk's estimation of health for the examined local human population, as it have revealed latent pre-morbid functional disorders of principal systems and organs, degree of defeat of organism. Also, it has determined the state of stability of the genome of somatic cells, immune deficiency, absorbed doze on the frequency of chromosome aberrations. The genetic prognosis of health of inspected persons and their children may be performed on the base of this data. In general, the received results form the basis for population diagnostic of functional and geno-immunotoxic effects in modern generations depending on quantities of accumulated doses and levels of radioactivity. It is important for scientifically-grounded outcomes of prophylactic-rehabilitation measures and securing of genetic-ecological safety of population, living on contaminated territories. The abovementioned confirms the necessity of founding a European network for ecological-genetic monitoring with «Internet» translation of information on radionuclide composition and chromosome/genome aberration levels in people, inhabiting polluted areas, with delivery of prognosis on national television for the «public control». Taking into attention that the main part of the territory of Western Europe is contaminated by the radionuclides of the cesium-137 (T 1/2 ~ 30 years), the actuality of problem of the creation of the all-European network of the ecological-genetic monitoring is increasing every year. Besides, possibility of radiation terrorism should be taken into the consideration as well.

**Keywords:** Chernobyl Disaster, transuranium elements, radiation-ecological monitoring, genome instability.

One of the most sharp questions today - getting of the objective information about state of the biosphere of Earth and the genetic fund of her population in epoch of global technogenic catastrophes and total radioactive contamination of very large territories, caused by these catastrophes. Typical example of similar situation - the Chernobyl disaster, happened 26 April 1986

Одна из наиболее острых проблем сегодня - получение объективной информации о состоянии биосферы Земли и генетического фонда ее населения в эпоху глобальных техногенных катастроф и тотального радиоактивного загрязнения очень больших территорий, вызванного этими катастрофами. Типичный пример подобной ситуации - Чернобыльская

year, unprecedented consequences of which have affected on many countries and peoples.

The explosion on fourth block of Chernobylskaya nuclear power plant (NPP) 26 April 1986 year happened as a result of reactor acceleration and, on our opinion, was very similar to nuclear explosion. On the evidences of row of scientific publications, in particularly, themselves constructors of the reactor RBMK-1000 (Adamov E.O. et al., 1988), in result of superposition of two one-directional chain reactions - the fission of uranium-235 and the steam explosion in the reactor space - the power of reactor during of some seconds increased in the hundred times, that occurred its acceleration on the instantaneous neutrons with all ensuring consequences.

As pointed in the work of the specialists from Kurchatov Institute of atomic energy, Moscow (Kiselev A.N. et al., 1996), in result of the explosion was threw out the significant part of the nuclear fuel, as the reactor core (active zone) is absent in the shaft of reactor. Not only the destruction, but and the melting of fuel had place in process of the explosion, because the temperature in separate points inside the reactor reached 40 000 degrees on Celsius, the pressure - to 2000 atmosphere.

It's necessary to emphasize for Japanese scientists, that the ground type of the explosion of Chernobyl reactor with the weakly-enriched fuel is principally differ from the high explosion of the atomic bomb with highly-enriched uranium-235 in Hiroshima in August 1945.

The distinctive feature of Chernobyl explosion is the effluent of the large amount of radioactive nuclides (on caesium-137, as believe specialists, in some hundred times more, than in Hiroshima), scattered on large territories. Namely, the physical processes, happened inside of destroyed reactor, determined the raising of the cloud of the radioactive noble gases and the small-dispersal aerosols on the large height with the following transmission practically on all Northern hemisphere of Earth.

The estimations, performed by specialists, showed that not only the main part of «flying» radionuclides (I-131, Cs-137, Te-132), but also the significant part of «not-flying», such as Ru-106, Sb-125, Ce-141 and Ce-144, Np-239 and other, went out into the environment (Devill L. et al., 1986). The round form of «hot particles», on opinion of Swedish specialists, is the evidence of presence of the fuel melting in the core of the reactor RBMK-1000. The experimental researches of the fall-out of Chernobyl radionuclides on the territories of American states

катастрофа, произошедшая 26 апреля 1986 года, беспрецедентные последствия которой подвергли воздействию многие страны и народы.

Взрыв 4-го блока Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года произошел вследствие процесса «разгона реактора на мгновенных нейтронах деления», который, по мнению авторов, идентичен процессу ядерного взрыва. По свидетельствам ряда научных публикаций, в частности, самих конструкторов реактора РБМК-1000 (Adamov E.O. et al., 1988), в результате наложения двух однонаправленных цепных реакций - деления урана-235 и резкого роста паросодержания в реакторном пространстве - мощность реактора в течение нескольких секунд увеличилась в сотни раз, т.е. произошел его разгон на мгновенных нейтронах со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Как указано в работе специалистов РНИЦ «Курчатовский институт» (Kiselev A.N. et al., 1996), в результате взрыва была выброшена значительная часть ядерного топлива, так как активная зона отсутствует в шахте реактора. В процессе взрыва имели место не только разгерметизация, но также полное расплавление и частичное испарение топлива, поскольку температура в отдельных точках внутри реактора достигала 40 000 градусов Цельсия, давление - 2000 атмосфер.

Необходимо подчеркнуть, что наземный тип взрыва Чернобыльского реактора со слабообогаченным топливом принципиально отличается от высотного взрыва атомной бомбы с высокообогаченным ураном-235 в Хиросиме в августе 1945 года.

Характерная особенность Чернобыльского взрыва - выброс большого количества радионуклидов (по цезию - 137, как считают специалисты, до тысячи раз больше, чем в Хиросиме), рассеянных на огромных территориях. Именно физические процессы, произошедшие внутри разрушенного реактора, определили возвышение факела радиоактивных благородных газов и мелкодисперсных аэрозолей на большую высоту с последующим переносом практически по всему Северному полушарию Земли.

Оценки, выполненные специалистами, показали, что не только основная часть «летучих» радионуклидов (I-131, Cs-137, Te-132), но также и значительная часть «нелетучих», таких как Ru-106, Sb-125, Ce-141 и 144, Tz-239 и другие, вышла в окружающую среду (Devill L. et al., 1986). Округлая форма «горячих частиц», по мнению шведских специалистов, есть доказательство процесса расплавления топлива в активной зоне реактора РБМК-1000. Экспериментальные исследования выпадений чернобыльских радионуклидов на территориях американских

Nevada and California in May 1986 confirmed this point of view (Faller S.N., Kuroda P.K., 1990).

The influence of low-intensive radiation from dissipated radionuclides on people and ecological health is becoming a world problem.

The chromosome aberrations in blood lymphocytes are most accurately quantifiable from all radiobiological reaction of the human organism (Buckton K.E., Evans H.J., 1973). Performing the immuno-protective functions, blood lymphocytes circulate over the whole body and are practically always exposed to ionizing radiation from radionuclides penetrating inside the organism. Since 99,8% of T-lymphocytes are in the pre-DNA synthetic phase  $G_0$ , the primary chromosome lesions are preserved in the lymphocytes for a long time (months, years) and can be detected as the aberrations under stimulation by PHA-antigen in vitro.

The long-term cytogenetic monitoring of the nuclear plant workers, the local human populations of the radioactive waste areas and the radionuclide polluted territories has revealed that the level and the spectrum of the induced chromosome aberrations in the blood lymphocytes correlate with the type, dose and duration of exposure (Suskov I.I., 1995).

The high level of aberrations in the chromosomal spectrum was observed in the many people after the single (accidental) and the multiple ("cleanups" following Chernobyl explosion) external exposure by the  $\gamma$ - or the  $\gamma$ -n-radiations (Shevchenko V.A. et al., 1990).

The increased levels of aberrations in the chromosomal spectrum and the rare multiaberrant cells were observed after the long-term/chronic mixed external/internal exposure by the low doses of the  $\gamma/\beta/\alpha$ -radiation from the radionuclides at the inhabitants of Chernobyl polluted regions, Altai territories with the radioactive fallouts in the result of the nuclear explosions on Semipalatinsk test-ground and the radioactive waste areas near Chelyabinsk and Tomsk atomic enterprises (Shevchenko V.A. et al., 1995; Ilyinskikh N.N. et al., 1998).

Radiation genetics has strongly established that the ionizing radiation have no minimal threshold doses: the hit of radiation quant into unique genetic structure (DNA, chromosome) can cause a break and as result of it - the chromosome aberrations/gene mutations (N.V. Timofeev-Resovsky). The RBE (relative biological efficiency) of highly density-ionizing  $\alpha$ -particles in 10-20 times higher than that of low density-

штатов Невада и Калифорния в мае 1986 года подтвердили эту точку зрения (Faller S.N., Kuroda P.K., 1990).

Влияние низко-интенсивной радиации от рассеянных радионуклидов на людей и экологическое здоровье становится мировой проблемой.

Хромосомные aberrации в лимфоцитах крови количественно наиболее точны из всех радиобиологических реакций организма человека (Buckton K.E., Evans H.J., 1973). Выполняя иммунно-защитные функции, лимфоциты крови циркулируют по всему телу и практически всегда подвергаются ионизирующему излучению от радионуклидов, проникающих внутрь организма. Поскольку 99,8% Т-лимфоцитов находятся в пре-ДНК синтетической фазе  $G_0$ , то первоначальные хромосомные повреждения сохраняются в лимфоцитах долгое время (месяцы, годы) и могут быть обнаружены как aberrации при стимуляции ПНА- антигенами in vitro.

Долгосрочный цитогенетический мониторинг рабочих ядерных предприятий, локальных человеческих популяций в зонах захоронения радиоактивных отходов и на радиоактивно-загрязненных территориях обнаружил, что уровень и спектр индуцированных хромосомных aberrаций в лимфоцитах крови коррелирует с типом, дозой и продолжительностью облучения (Suskov I.I., 1995).

Высокий уровень aberrаций спектра хромосом был обнаружен у многих людей после однократного (аварийного) и многократного (ликвидаторы Чернобыльской аварии) внешнего облучения  $\gamma$ - или  $\gamma$ -n-радиацией (Shevchenko V.A. et al., 1990).

Повышенный уровень aberrаций в хромосомном спектре и редкие мультиабerrантные клетки были обнаружены после продолжительного /хронического смешанного внешнего/ и внутреннего облучения низкими дозами  $\gamma/\beta/\alpha$  от радионуклидов у жителей загрязненных Чернобылем регионов, жителей территории Алтайского края с радиоактивными выпадениями в результате ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне и зон радиоактивных отходов вблизи Челябинского и Томского атомных предприятий (Shevchenko V.A. et al., 1995; Ilyinskikh N.N. et al., 1998).

Радиационная генетика твердо установила, что ионизирующее излучение не имеет минимальных пороговых доз: попадание радиационного кванта в уникальную генетическую структуру (ДНК, хромосома) может вызвать ее разрыв и, как следствие этого, - хромосомные aberrации/генные мутации (Н.В. Тимофеев-Ресовский). ОБЭ (относительная биологическая эффективность) высокоионизирующих  $\alpha$ -частиц в 10-20 раз выше

ionizing  $\gamma$ -rays (IAEA, 1986).

There is very strong evidence that the yield of chromosome aberrations (Y) is related with the dose (D) by the equation:

$$Y = A_0 + aD + bD^2,$$

where  $A_0$  is spontaneous aberrations,  $a$  is the linear coefficient and  $b$  is the squared coefficient of doses (Lea D.A., 1963). However taking into account that the dose rate of external and incorporated irradiation from the rare radionuclides is not high, the quadratic component may be ignored.

Then the radiation/radionuclide risk  $R(D)$  will correspond to:

- 1) absorbed dose  $D$ ,
- 2) its aberrational/mutational consequences:  $R(D) = Y/A_0$ ,

where  $R(D)$  is the coefficient of approximation of the radionuclide radiation dose absorbed by the organism to a dose doubling the frequency of spontaneous aberrations/mutations.

The "doubling dose" is a basic criterion of the hazard to the human somatic/genomic health and to the population gene pool.

The quite satisfactory estimates have been obtained by the above described method for the absorbed doses both in the liquidators of the Chernobyl accident (Semov A.B. et al., 1994), and in the inhabitants of territories contaminated by radionuclides as a result of accidents at the Chernobyl NPP (Suskov I.I. et al., 1991) and at the Siberian Chemical Plant in Tomsk (Ilyinskikh N.N. et al., 1997) and as a result of the nuclear explosions on the Semipalatinsk test-ground (Shevchenko V.A. et al., 1995).

The result of the prolonged influence of the low-intensive radiation on the human body is the accumulation cells with chromosome/genome aberrations, that very often precede the development of the several syndromes: chronic fatigue, secondary immunodeficiency, early aging, oncology, reproductive dysfunction and etc. (Baleva L.S. et al., 1997; Suskova V.S. et al., 1997). The study of the influence for one of most wide-spread in environment radionuclides - cesium-137 - on human organism has shown at multitude of the mutual-connected changes in the various organs. The small (on the level of energetic potential) quantities of the radiocesium become as very dangerous after the penetration in human organism and the internal organs, producing to death or to increasing of the existing illness. It's necessary also to take into attention the organ-acceptance to this radionuclide in the process of its incorporation. The incorporation of the myocardium by this radionuclide originates

чем ОБЭ низкоионизирующих  $\gamma$ -лучей (IAEA, 1986).

Существует твердое доказательство того, что выход хромосомных aberrаций (Y) связан с дозой (D) уравнением:

где  $A_0$  - уровень спонтанных aberrаций,  $a$  - линейный коэффициент,  $b$  - квадратичный дозовый коэффициент (Lea D.A., 1963). Однако, принимая во внимание, что мощность дозы внешнего и внутреннего облучения от редких радионуклидов невелика, квадратичная компонента может быть опущена. Тогда радиационный/радионуклидный риск  $R(D)$  будет соответствовать:

- 1) поглощенной дозе  $D$ ,
  - 2) ее aberrационным (мутационным) последствиям:  $R(D) = Y/A_0$ ,
- где  $R(D)$  - коэффициент аппроксимации радионуклидной радиационной дозы, поглощенной организмом, к дозе, удваивающей частоту спонтанных aberrаций/мутаций.

«Удваивающая доза» есть основной критерий опасности для соматического геномного здоровья человека и для популяционного геномного пула.

Вполне удовлетворительные оценки поглощенных доз получены вышеописанным методом как для ликвидаторов Чернобыльской катастрофы (Semov A.B. et al., 1994), так и для жителей территорий, загрязненных в результате аварий на ЧАЭС (Suskov I.I. et al., 1991), на Сибирском химкомбинате в Томске (Ilyinskikh N.N. et al., 1997) и в результате ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне (Shevchenko V.A. et al., 1995).

Результатом пролонгированного воздействия низкоинтенсивного излучения на человека является накопление клеток с хромосомными/геномными aberrациями, что очень часто предшествует развитию некоторых синдромов: хронической усталости, вторичного иммунодефицита, преждевременного старения, онкологических заболеваний, репродуктивной дисфункции и т.д. (Baleva L.S. et al., 1997; Suskova V.S. et al., 1997). Изучение воздействия одного из наиболее широко распространенных в окружающей среде радионуклидов - цезия -137 - на организм человека показало многообразие взаимосвязанных изменений в различных органах. Небольшие (по уровню энергетического потенциала) количества радиоцезия становятся очень опасными после проникновения в организм человека и внутренние органы, приводя к гибели или отягощая существующие заболевания. При этом надо учитывать органотропность к этому радионуклиду в процессе его инкорпорации.

earlier than in other organs. It causes the serious structural-metabolic changes (Bandajevski Yu., 2000).

As it has shown by H.-S. Weinberg et al. (1997; 2001), the exposure to low-dose radiation could cause heritable changes in germ cells and lead to increased load of de novo mutations in the progeny of the liquidators and other persons, which have suffered to this exposure.

In the work by I.I. Suskov и N.S. Kuzmina (2001) are examined the phenomenological aspects of the genomic instability induced in the descendants of the multi-divided cells having been exposed to the radiation. It is demonstrated that the regularity of the chromosome instability induction do not corresponds to the classical conception of the radiation genetics (hit principle and target theory). The medico-biological significance of this new genetic phenomenon in the child organism under conditions of low-intensive effect of small-dose radiation and its connection with the state of health are shown.

The spontaneous levels of aberrations of the chromatid, chromosome and especially genome spectra in the organisms of healthy people are extremely low:  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-5}$  per cell, respectively. Therefore, the induced chromosome aberrations in the blood lymphocytes may serve as the measure of ionizing radiation absorbed by the organism and as the objective bioindicators in assessment of the radiation/radionuclide risk for the people and ecological health (Stavicki' R. 1999; Recommendations of European Committee on Radiation Risk, 2003).

Thus, the monitoring of chromosome and genome aberrations must be by the subject of the strategically importance in the system of governmental service for the minimization of radionuclide hazard to the human heredity and health, the necessity of organization of which has already matured.

The abovementioned confirms the necessity of founding a European network for ecological-genetic monitoring with "Internet" translation of information on radionuclide composition and chromosome/genome aberration levels in people, inhabiting polluted areas, with delivery of prognosis on national television (Suskov I.I. et al., 1998). Taking into attention that the main part of the territory of Western Europe is contaminated by the radionuclides of cesium-137, ( $T_{1/2} \sim 30$  years), the actuality of problem of the creation of the all-European network of the ecological-genetic monitoring increases with the

Инкорпорация этого радионуклида в миокард происходит раньше чем в другие органы. Это вызывает серьезные структурно-метаболические изменения (Bandajevski Yu., 2000).

Как показано H.-S. Weinberg и соавторами (1997, 2001), облучение низкодозовой радиацией может вызвать наследственные изменения в зародышевых клетках и привести к возрастающему грузу новых мутаций (de novo) в потомстве ликвидаторов и других персон, которые подверглись этому облучению.

В работе I.I. Suskov и N.S. Kuzmina (2001) исследуются феноменологические аспекты геномной нестабильности, индуцируемой в потомстве многократно делящихся клеток, ранее подвергшихся облучению. Показано, что регулярность индукции хромосомной нестабильности не соответствует классическим концепциям радиационной генетики (принципу «попадания» и теории «мишени». Продемонстрирована медико-биологическая значимость этого нового генетического феномена в детском организме при условиях хронического воздействия малых доз радиации и его связь с состоянием здоровья.

Спонтанные уровни aberrаций хроматидного, хромосомного и, особенно, геномного спектра в организме здоровых людей крайне низкие:  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  и  $10^{-5}$  на клетку соответственно. Поэтому индуцированные хромосомные aberrации в лимфоцитах крови могут использоваться для определения ионизирующего излучения, поглощенного организмом, и в качестве биоиндикаторов при оценке радиационного/радионуклидного риска для здоровья людей и экологического здоровья (Ставицкий Р., 1999; Recommendations of European Committee on Radiation Risk, 2003).

Таким образом, мониторинг хромосомных и геномных aberrаций должен быть задачей стратегической важности в системе правительственных решений по минимизации радионуклидной опасности для здоровья и наследственности человека, необходимость организации которой уже перезрела.

Вышеизложенное подтверждает необходимость создания общеевропейской сети эколого-генетического мониторинга с Интернет-трансляцией информации по радионуклидному составу и уровням хромосомных/геномных aberrаций у людей, проживающих на загрязненных территориях, с публикацией прогнозов по национальному телевидению (Suskov I.I. et al., 1998). Принимая во внимание, что основная часть территории Западной Европы загрязнена радионуклидами цезия-137 ( $T_{1/2} \sim 30$  лет), актуальность проблемы создания общеевропейской сети эколого-генетического

each year. On the author's opinion, this problem may be considered as one of the ways of practical realization of integrating precautionary principle (PP) in risk-based decision-making, which are important for the health of the population of Europe. Besides, possibility of radioactive terrorism should be taken into consideration too.

We believe that heredity and environment determine both the health of one person and of the society as whole. It is only sufficient attention to ecological problems, that can ensure the future development of democratic society (Suskov I.I. et al., 1998; Glouchtchenko A.I., 1999, 2006; Baskin K.E., 2006).

мониторинга для оценки опасности индуцированного мутагенеза человека растет с каждым годом. По мнению авторов, проблему можно рассматривать, как один из путей реализации интегрального принципа предупреждения («precautionary principle - PP») при принятии решений, основанных на анализе риска, которые важны для здоровья населения Европы. Кроме того, растущая вероятность радиационного и ядерного терроризма должна быть также принята во внимание.

Мы считаем, что наследственность человека и качество среды его обитания определяют как состояние его здоровья, так и общества в целом. И только достаточное внимание к этим проблемам может обеспечить дальнейшее развитие демократического общества (Глуценко А.И., 1999; Suskov I.I. et al., 1998; Baskin K.E., 2006; Glouchtchenko A.I. et al., 2006).

## REFERENCES

- Баскин К.Е., Драч Л.П., Глуценко А.И. Еще можно спасти! М.: «Физматлит», 2006; 272 с.  
[Baskin K.E., Drach L.P., Glouchtchenko A.I. Still may be saved! Moscow, Fizmatlit Publ., 2006; 272 p.]  
Глуценко А.И. О прошлом и будущем. К истории Чернобыльской катастрофы. М., «Грааль», 1999; 212 с.  
[Glouchtchenko A.I. About Past and Future. To history of Chernobyl Disaster. Graal Publ., Moscow, 1999; 212 p.]  
Ставицкий Р. (ред.) Кровь - индикатор состояния организма и его систем. МНПИ, Москва, 1999.  
[Stavicki' R. (ed.) Blood - an indicator of the state of the organism and its systems. MNPI, Moscow, 1999.]  
Adamov E.O., Vasilevski V.P., Cherkashov Yu.M. et al. The analysis of the first phase of development of the accident process on fourth block of Chernobylskaya nuclear power plant. Atomic Energy 1988; 64(1):24-28.  
Baleva L.S., Suskov I.I., Sipyagina A.E. et al. Family analysis of clinical-genetic characteristics of irradiated children in consequence of Chernobyl accident. 3-th Congress for Radiation Research. Abstr. Moscow, October, 1997; II: 91-92 (in Russ).  
Bandajevski Yu. The medical-biological effects from the incorporated radiocesium. Nuc. Radiat. Safety 2000; 3-4: 3-9.  
Buckton K.E., Evans H.J. (eds.) Methods for the analysis of human chromosome aberrations. WHO, Geneva, 1973.  
Devill L., Tovedal H., Bergstrom U. et al. Initial observations of fallout at Studsvik from the reactor accident at Chernobyl. Nature 1986; 321:192-193.  
Faller S.N., Kuroda P.K. Unusual Nuclide Concentrations in air after 1986 Chernobyl event. Radiochemica Acta 1990; 50: 219-224.  
Glouchtchenko A.I., Suskov I.I., Baleva L.S. et al. The Radiation-Ecological and Medical-Genetic Consequences of Chernobyl Disaster After Twenty Years and the Prognosis for the Future. Report on the International Chernobyl Congress. Berlin, Germany, 3-5 April 2006.  
IAEA. Biological dosimetry: Chromosomal aberration analysis for dose assessment, Tech Rep Ser No. 260, IAEA, Vienna, 1986.  
Ilyinskikh N.N., Bulatov V.I., Adam A.M. et al. Radiation ecogenetics of Russia. Tomsk, 1998 (in Russ).  
Ilyinskikh N.N., Natarajan A.T., Suskov I.I. et al. Collaboratory research on radiation dose assessment received by the local population with the help of tooth enamel ESR spectroscopy and cytogenetic tests. J Envir Sci Radiobiol 1997; 28: 137.  
Kiselev A.N., Surin A.I., Checherov K.P. The after-accidental inspection of reactor on the fourth block of Chernobylskaya NPP. Atomic Energy 1996; 80(4):240-247.  
Lea D.A. The actions of radiation on living cells. Atompubl., Moscow, 1963 (in Russ).  
Recommendations of European Committee on Radiation Risk. Brussels, 2003, transl. in Russ., Moscow, 2004.  
Semov A.B., Iofa E.L., Akaeva E.A., et al. Dose dependence of chromosome aberration induction in ameliorators of the Chernobyl accident. Rad Biol Radioecol 1994; 34: 865-871 (in Russ).  
Shevchenko V.A., Akaeva E.A., Eliseeva I.M. et al. In: "Problems of safety in extreme situations". Moscow, 1990; 12: 69-90 (in Russ).

Shevchenko V.A., Snigiryova G.P., Suskov I.I. et al. The cytogenetics effects among the Altai region population exposed to ionizing radiation resulting from Semipalatinsk nuclear tests, *Rad Biol Radioecol* 1995; 35: 588-596 (in Russ).

Suskov I.I. Chromosomal aberrations in blood lymphocytes are biomarkers of human exposure to radiation or chemicals, *Intern. Congr. on Hazardous Waste: impact on human and ecology. health. Abstr.*, Atlanta, G., June, 1995.

Suskov I.I. Rates of chromosomal aberrations (CA) and mutations (CM) in man and prospective radiation effects of Chernobyl accident. *Proc. 8-th Intern. Congr. of Human Genetics. Washington, October, 1991.*

Suskov I.I., Glouchchenko A.I., Shevchenko V.A. et al. The Urgency of the Ecological-Genetic Risk Analysis from Submerged Chemical Weapons in Baltic Sea Has Increased after the Chernobyl Disaster. *The Annual Conference-SRA-E "Risk Analysis:Opening the Process". Contrib. papers, Paris, October, 1998*

Suskov I.I., Kuzmina N.S. The problem of induced genomic instability in the child organism cells under conditions of long-term effect of small radiation doses. *Radiat. Biol.Radioecol.* 2001; 41: 606-614 (in Russ).

Suskova V.S., Emets V.I., Ermakova L.P. et al. Familial analysis of late immunological effects of chronical radiation action on the Muslumovo villagers. *3-th Congr. for Radiation Research. Abstr. Moscow, October, 1997; I: 222-223 (in Russ).*

Weinberg H.-S., Nevo E., Korol A. et al. Molecular Changes in the Offspring off Liquidators Who Emigrated to Israel from the Chernobyl Disaster Area, *Environmental Health Perspectives*, 105, Supplement 6, December 1997.

Weinberg H.-Sh., Korol A.B. et al., Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators. *Proc R Soc Lond. B* 2001; 268: 1001-1005.