

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ (FISH-АНАЛИЗ ТРАНСЛОКАЦИЙ) У ЛИЦ, РАНЕЕ ПРОЖИВАВШИХ В РЕГИОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России  
(Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2)

Жители населенных пунктов, подвергшихся радиационному воздействию вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне, имеют право на материальное возмещение вреда. В соответствии с законом Российской Федерации материальные выплаты зависят от суммарной (накопленной) эффективной дозы облучения, в связи с чем пострадавшие нуждаются в данной информации. Ретроспективная биологическая оценка дозы облучения была проведена у 82 человек из числа ранее проживавших в регионе Семипалатинских испытаний. Для дозиметрии был использован анализ стабильных хромосомных aberrаций, выполненный с помощью флуоресцентной *in situ* гибридизации (FISH). FISH-анализ транслокаций позволил выявить повышенную, по сравнению с контрольными значениями, частоту стабильных aberrаций у 21 (26%) пациента и провести для них оценку дозы облучения. Установленные биологические дозы облучения находились в пределах от 16 до 62 cGy.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, ядерное испытание, Семипалатинский полигон, радиоактивно загрязненная территория, доза облучения, ретроспективная дозиметрия, FISH-анализ транслокаций.

### Введение

Оценка дозы облучения вследствие аварийных или профессиональных контактов с ионизирующими излучениями имеет в России большое социальное значение, так как лица, пострадавшие от радиационного фактора, обладают правом на материальное возмещение вреда, полученного в результате воздействия радиации. Одна из таких категорий – пострадавшие вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне. Часть из них – участники испытаний ядерного оружия (военнослужащие, исследователи), однако большинство составляют жители различных населенных пунктов Алтайского региона России и Казахстана, расположенных в зоне влияния Семипалатинского полигона.

С 1949 по 1989 г. на Семипалатинском полигоне было произведено 456 ядерных воздушных и наземных испытаний, вследствие чего ряд прилегающих районов Казахстана и России, участники этих событий и местное население подверглись воздействию ионизирующих излучений. Считается, что основная доза облучения была получена населением в результате надземных испытаний, проведенных в 1949, 1951, 1953, 1956 г. Начиная с 1964 г., на Семипалатинском полигоне проводились только подземные ядерные испытания, которые продолжались вплоть до 1989 г. При этом около 50% подземных ядерных взрывов сопровождалось выбросами в атмосферу радиоактивных продуктов в виде аэрозолей и газа.

Считается, что жители Семипалатинского региона были облучены непосредственно во время проведения взрывов и в период проживания на территориях, загрязненных радиоактивными материалами, т.е. подверглись внешнему и внутреннему облучению [12, 13]. Например, только население г. Семипалатинска в 1989 г. составляло 335 тыс. человек. В соответствии с законодательством жители Семипалатинского региона имеют право на материальное возмещение ущерба. Сумма выплат зависит от полученной радиоактивной дозы, однако, как показывает практика, многие из пострадавших не имеют соответствующих документов, свидетельствующих о дозовой нагрузке и, следовательно, нуждаются в установлении доз облучения.

Существуют несколько методических подходов по оценке дозы ионизирующих излучений: физические, расчетные, биологические, использование которых зависит от конкретной ситуации. В настоящем исследовании оценку доз облучения проводили у лиц, которые во время проведения испытаний проживали в Семипалатинском регионе, однако позже переехали в различные регионы нашей страны. Учитывая значительный период времени, прошедший после радиационного воздействия, для оценки доз облучения был использован биологический метод ретроспективной дозиметрии – FISH-анализ хромосомных стабильных aberrаций (транслокаций), позволяющий проводить дозиметрию

Неронова Елизавета Геннадьевна – канд. биол. наук, зав. лаб., Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А. М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4); e-mail: neliner@yandex.ru.

ионизирующих излучений при дозах свыше 0,1 Гр даже спустя десятилетия после радиационного воздействия [2, 5].

### Материал и методы

Цитогенетический анализ был проведен у 82 человек, мужчин было 42, женщин – 40 (табл. 1). Обследованные имели документы, подтверждающие факт проживания в зоне влияния Семипалатинского полигона ядерных испытаний, в том числе и в поселениях с дозами, установленными в пределах от 5 до 35 сЗв. В настоящее время большинство обследованных лиц проживают в Северо-Западном регионе России. Пациенты заполняли анкету, содержащую вопросы о контактах с ионизирующими излучениями и другими мутагенными факторами, образе жизни, курении, приеме алкогольных напитков, вопросы медицинского характера. Все обследованные отрицали наличие онкологических заболеваний, применение радиотерапии или выполнение диагностических и/или лечебных процедур с применением ионизирующих излучений, за исключением плановых рентгенологических исследований, флюорографии.

Всем обследованным лицам провели FISH-анализ транслокаций. Для 26 человек дополнительно осуществили анализ нестабильных хромосомных aberrаций (анализ дицентриков) для оценки возможностей биологической индикации ионизирующих излучений. 68 человек, включенные в контрольную группу для анализа дицентриков, были того же возраста и состояния здоровья, однако не имели контактов с ионизирующими излучениями в анамнезе.

FISH-анализ транслокаций и дицентриков в лимфоцитах периферической крови выполнили с использованием медицинской технологии, одобренной для применения в центрах медицины катастроф (федеральных, региональных, территориальных) в ди-

агностических центрах, в центрах государственного санитарно-эпидемиологического надзора в субъектах Российской Федерации и Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем Минздрава России для оценки дозы облучения человека как в ранние, так и в отдаленные сроки после радиационного воздействия [1]. Для дицентриков исследовали не менее 500 метафаз. Для FISH-диагностики анализировали от 1200 до 4500 клеток. FISH-анализ транслокаций провели с использованием 2-цветной и 3-цветной системы (для хромосом 2, 4 и 1, 2, 4 соответственно). Процедуру гибридизации выполнили по протоколу производителя хромосомных зондов фирмы «MetaSystems» (Германия). Учитывали полные и неполные варианты транслокаций. Геномную частоту транслокаций рассчитывали с применением программного обеспечения «DoseEstimation» [3] и представляли в пересчете на 1000 клеточных эквивалентов. Оценку контрольных значений транслокаций и биологической дозы облучения по частоте транслокаций провели с использованием медицинской технологии [1].

Статистический анализ результатов по тесту Манна–Уитни выполнили с использованием программного обеспечения Statistica. Частота дицентриков представлена как средняя статистическая величина и ошибка средней величины.

### Результаты и их анализ

Население регионов Российской Федерации и Казахстана, которое подверглось воздействию ионизирующих излучений в результате проведения испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне, имеет право на возмещение полученного вреда. В соответствии с законодательством России объем материальных выплат зависит от полученной дозы облучения, вследствие чего лица, претендующие на социальные льготы, нуждаются в установлении полученной дозы облучения. В связи с этим 82 человека из числа ранее проживавших в различных населенных пунктах, расположенных в зоне влияния Семипалатинского полигона, обратились во Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России (Санкт-Петербург) для оценки полученной дозы облучения.

По результатам FISH-анализа транслокаций пациентов разделили на 2 группы. У лиц 1-й группы (табл. 2) геномная частота

Таблица 1

Характеристика обследованных лиц

Показатель	Количество
Количество обследованных лиц, в том числе:	82
мужчины, n (%)	42 (51,2)
женщины, n (%)	40 (48,8)
Возраст на момент цитогенетического обследования, лет	51,8 ± 3,1
Возраст на момент начала облучения, лет	2,0 ± 1,7
Длительность облучения, лет	21,1 ± 4,1
Интервал времени между облучением и цитогенетическим обследованием, лет	26,3 ± 3,9

Таблица 2

Частота транслокаций в зависимости от наличия дозы облучения

Показатель	Группа			p
	общая	1-я	2-я	
Количество лиц, n (%)	82 (100,0)	61 (74,4)	21 (25,6)	
Частота транслокаций на 1000 клеток, M ± SE	8,70 ± 0,87	5,12 ± 0,44	19,09 ± 1,82	1–2 < 0,001

транслокаций соответствовала контрольным значениям (0–10 транслокаций на 1000 точных эквивалентов). В связи с соответствующим контролю уровнем нарушений, у лиц 1-й группы дозу облучения оценить не представлялось возможным. У 2-й группы лиц выявлено повышение частоты транслокаций (до 38 транслокаций на 1000 клеток), что позволило в этом случае определить дозы облучения (см. табл. 2). Диапазон установленных доз облучения составил от 0,16 до 0,64 Гр.

По результатам анализа анкетных данных была произведена оценка факторов, которые могли способствовать накоплению дозы облучения у обследованных – место жительства в Семипалатинском регионе и возраст. При сопоставлении установленной дозы облучения с местом проживания выяснилось, что среди жителей Казахстана доза облучения была установлена у 22% и у 27% лиц, ранее проживавших на территории Алтайского края. Все пострадавшие, у которых установлена доза облучения, жили на загрязненной радионуклидами территории с раннего возраста, многие – с рождения.

Хорошо известно, что дицентрические хромосомы являются чувствительными маркерами радиационного воздействия и позволяют определить дозу облучения в ближайший период времени после воздействия ионизирующих излучений [5]. Более этого, дицентрики с частотой, превышающей контрольные значения, рассматриваются как индикатор радиационного воздействия в отдаленном периоде времени. Это явление было продемонстрировано на различных группах лиц облученных как в диапазоне низких, так и высоких доз [8–11]. В настоящем исследовании анализ дицентриков был выполнен у случайно отобранных 13 человек из подгруппы лиц с установленной дозой и 13 человек из подгруппы лиц, для которых дозы не были выявлены. Дицентрики обнаружили у 7 (54%) пациентов с установленной дозой и у 6 (46%) пациентов без установленной дозы. Частота дицентриков в подгруппах не различалась – (0,33 ± 0,14) и (0,32 ± 0,12)% соответственно (p > 0,05) и оказалась достоверно выше контрольных значений – (0,04 ± 0,02)% (p < 0,01).

Приведенные результаты о частоте радиационных маркеров согласуются с данными других исследователей. Например, К. Такака и соавт. [10] выявили 1,74, 1,17 и 1,2 дицентриков на 1000 клеток соответственно у жителей 3 деревень Долон, Саржал, Кайнар, расположенных рядом с Семипалатинском полигоном, которые считаются наиболее пострадавшими в результате испытаний. А. Testa и соавт. [11] сообщают о 2,55 дицентриков на 1000 клеток у жителей деревни Долон. Необходимо подчеркнуть, что обследованные люди в упомянутых публикациях во время проведения цитогенетического обследования проживали на этих территориях постоянно как во время проведения испытаний, так и после. Пациенты, обследованные в настоящем исследовании, проживали в Семипалатинском регионе во время проведения испытаний, но переехали из этого региона, так что цитогенетическое исследование было выполнено более чем 20 лет спустя после контакта с ионизирующими излучениями. Однако, несмотря на это, было возможно выявить сходный уровень радиационных маркеров по сравнению с теми, кто проживал в поселениях, наиболее пострадавших в результате испытаний.

### Заключение

Полученные данные свидетельствуют о том, что спустя более чем 20 лет после облучения у бывших жителей Семипалатинского региона выявляется повышенный уровень транслокаций, что позволило определить дозу облучения у 26% обследованных лиц. При этом установлено, что в лимфоцитах в периферической крови у жителей Семипалатинского региона сохраняется повышенная частота радиационных маркеров – дицентриков, даже у тех лиц, для которых биологическую дозу с помощью анализа стабильных аберраций установить не удалось. Вероятно, в тех случаях, когда дозы не были определены, но уровень радиационных маркеров был повышен, можно сделать вывод о том, что полученные дозы могли находиться ниже уровня чувствительности FISH-анализа транслокаций. Таким образом, анализ нестабильных хромосомных аберраций и FISH-анализ стабильных

аббераций дают возможность проводить ретроспективную биодозиметрию и биоиндикации ионизирующих излучений.

### Литература

1. Снигирева Г.П., Богомазова А.Н., Новицкая Н.Н. [и др.]. Биологическая индикация радиационного воздействия на организм человека с использованием цитогенетических методов : мед. технология № ФС-2007/015-У / Российский научный центр рентгенорадиологии, Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова. М., 2007. 29 с. URL: <http://www.rncrr.ru/diagnostika/laboratornye-issledovaniya/laboratoriya-molekulyarnoy-biologii-i-tsitogenetiki/>.
2. Снигирева Г.П., Новицкая Н.Н. Возможности использования цитогенетических методов при обследовании населения, подвергшегося облучению в результате ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. 2011. Т. 1, № 11. С. 17.
3. Ainsbury E. A., Lloyd D. C. Dose estimation software for radiation biodosimetry // Health Phys. 2010. Vol. 98, N 2. P. 290–295.
4. Bauchinger M., Schmid E., Braselmann H. [et al.]. Time-effect relationship of chromosome aberrations in peripheral lymphocytes after radiation therapy for seminoma // Mutat. Res. 1989. Vol. 211. P. 265–272.
5. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies / International Atomic Energy Agency. Vienna, 2011. 229 p.
6. Goh T. O. Total-body irradiation and human chromosomes IV. Cytogenetic follow-up studies eight and ten and one half years after total-body irradiation // Radiat. Res. 1975. Vol. 62. P. 364–373.
7. Ishihara T., Kohno S., Minamihisamatsu M. Human cytogenetic studies at the National Institute of Radiological Sciences, Japan, 1963–1988 // Cancer Genet. Cytogenet. 1990. Vol. 45. P. 13–35.
8. Neronova E., Slozina N., Nikiforov A. Chromosome alterations in cleanup workers sampled years after the Chernobyl accident // Radiat. Res. 2003. Vol. 160. P. 46–51.
9. Ramalho A. T., Curado M. P., Natarajan A. T. Life-span of human lymphocytes estimated during a six year cytogenetic follow-up of individuals accidentally exposed in the 1987 radiological accident in Brazil // Mutat. Res. 1995. Vol. 331. P. 47–54.
10. Tanaka K., Iida S., Takeichi N. [et al.]. Unstable-type chromosome aberrations in lymphocytes from individuals living near Semipalatinsk nuclear test site // J. Radiat. Res. 2006. Vol. 47. P. 159–164.
11. Testa A., Stronati L., Ranaldi R. [et al.]. Cytogenetic biomonitoring carried out in a village (Dolon) adjacent to the Semipalatinsk nuclear weapon test site // Radiat. Environ. Biophys. 2001. Vol. 40. P. 125–129.
12. Voigt G., Semiochkina N. The present radioecological situation of the Semipalatinsk test site and internal dose estimations for selected people living on the site // Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site : STUK-A187. Helsinki, 2002. P. 6–17.
13. Yamamoto M., Hoshi M., Takada J. [et al.]. Plutonium fallout in the environment around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site // Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site : STUK-A187. Helsinki, 2002. P. 17–28.

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Поступила 13.04.2016

**Для цитирования.** Неронова Е.Г. Биологическая оценка доз облучения (FISH-анализ транслокаций) у лиц, ранее проживавших в регионе Семипалатинского полигона // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2016. № 2. С. 77–81. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-2-77-81

## FISH biodosimetry in former inhabitants of Semipalatinsk region

Neronova E. G.

Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia  
(Academica Lebedeva Str., 4/2, St. Petersburg, 194044, Russia)

Elizaveta Gennadijevna Neronova – PhD. Biol. Sci.; e-mail: neliner@yandex.ru.

**Abstract.** Residents of the settlements exposed to radiation from nuclear tests at the Semipalatinsk nuclear test site are entitled to financial reimbursement. In accordance with Russian law, payments depend on the total (cumulative) effective dose; therefore, victims should be informed. Biological doses were retrospectively evaluated in 82 people who previously lived in the vicinity of Semipalatinsk weapon testing region. For dosimetry, stable chromosome aberrations were assessed using fluorescence in situ hybridization (FISH). FISH analysis of translocations revealed increased frequency of stable aberrations in 21 (26 %) patients compared with control values and helped to estimate irradiation doses. Established biological irradiation doses ranged from 16 to 62 cGy.

**Keywords:** emergency, nuclear test, the Semipalatinsk test site, radioactively-contaminated area, irradiation dose, retrospective dosimetry, FISH analysis of translocations.

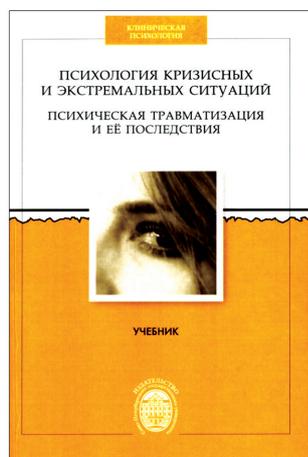
#### References

1. Snigireva G.P., Bogomazova A.N., Novitskaya N.N. [et al.]. Biologicheskaya indikatsiya radiatsionnogo vozdeistviya na organizm cheloveka s ispol'zovaniem tsitogeneticheskikh metodov : meditsinskaya tekhnologiya [Biological indication of radiation exposure in humans using cytogenetic methods: medical technology] N FS-2007/015-U. Moskva. 2007. 29 p. URL <http://www.rncrr.ru/diagnostika/laboratornye-issledovaniya/laboratoriya-molekulyarnoy-biologii-i-tsitogenetiki/>. (in Russ.)
2. Snigireva G.P., Novitskaya N.N. Vozmozhnosti ispol'zovaniya tsitogeneticheskikh metodov pri obsledovanii naseleniya, podvergshegosya oblucheniyu vrezul'tate yadernykh vzryvov na Semipalatinskopoligone [Capabilities of cytogenetic methods when examining people exposed to radiation from nuclear explosions at the Semipalatinsk test site]. *Vestnik Rossiiskogo nauchnogo tsentra rentgenoradiologii Minzdrava Rossii* [Vestnik of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation]. 2011. Vol. 1, N 11. P. 17. (in Russ.)
3. Ainsbury E.A., Lloyd D.C. Dose estimation software for radiation biodosimetry. *Health Phys.* 2010. Vol. 98, N2. Pp. 290–295.
4. Bauchinger M., Schmid E., Braselmann H. [et al.]. Time-effect relationship of chromosome aberrations in peripheral lymphocytes after radiation therapy for seminoma. *Mutat. Res.* 1989. Vol. 211. Pp. 265–272.
5. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. International Atomic Energy Agency. Vienna, 2011. 229 p.
6. Goh T.O. Total-body irradiation and human chromosomes IV. Cytogenetic follow-up studies eight and ten and one half years after total-body irradiation. *Radiat. Res.* 1975. Vol. 62. Pp. 364–373.
7. Ishihara T., Kohno S., Minamihisamatsu M. Human cytogenetic studies at the National Institute of Radiological Sciences, Japan, 1963–1988. *Cancer Genet. Cytogenet.* 1990. Vol. 45. Pp. 13–35.
8. Neronova E., Slozina N., Nikiforov A. Chromosome alterations in cleanup workers sampled years after the Chernobyl accident. *Radiat. Res.* 2003. Vol. 160. Pp. 46–51.
9. Ramalho A. T., Curado M. P., Natarajan A. T. Lifespan of human lymphocytes estimated during a six year cytogenetic follow-up of individuals accidentally exposed in the 1987 radiological accident in Brazil. *Mutat. Res.* 1995. Vol. 331. Pp. 47–54.
10. Tanaka K., Iida S., Takeichi N. [et al.]. Unstable-type chromosome aberrations in lymphocytes from individuals living near Semipalatinsk nuclear test site. *J. Radiat. Res.* 2006. Vol. 47. P. 159–164.
11. Testa A., Stronati L., Ranaldi R. [et al.]. Cytogenetic biomonitoring carried out in a village (Dolon) adjacent to the Semipalatinsk nuclear weapon test site. *Radiat. Environ. Biophys.* 2001. Vol. 40. P. 125–129.
12. Voigt G., Semiochkina N. The present radioecological situation of the Semipalatinsk test site and internal dose estimations for selected people living on the site. *Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site : STUK-A187.* Helsinki. 2002. P. 6–17.
13. Yamamoto M., Hoshi M., Takada J. [et al.]. Plutonium fallout in the environment around the former Soviet Union's Semipalatinsk nuclear test site. *Workshop on dosimetry of the population living in the proximity of the Semipalatinsk atomic weapons test site : STUK-A187.* Helsinki. 2002. Pp. 17–28.

Received 13.04.2016

**For citing.** Neronova E.G. Biologicheskaya otsenka doz oblucheniya (FISH-analiz translokatsii) u lits, ranee prozhivavshikh v regione Semipalatinskopoligona. *Mediko-biologicheskoe i sotsial'no-psikhologicheskoe problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh.* 2016. N 2. Pp. 73–76. (In Russ.)

Neronova E.G. FISH biodosimetry in former inhabitants of Semipalatinsk region. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations.* 2016. N 2. Pp. 73–76.



Психология кризисных и экстремальных ситуаций: психическая травматизация и её последствия : учебник / [Н. С. Хрусталева, В. В. Бочаров, А. Ю. Егоров и др.] ; под ред. Н. С. Хрусталевой ; С.-Петерб. гос. ун-т. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2014. – 372 с. – (Клиническая психология).  
ISBN 978-5-288-05583-6. Тираж 300 экз.

В учебнике представлен материал по психической травме и психической травматизации, связанной с неизлечимыми заболеваниями, боевыми действиями, миграционными процессами и т. д., дается подробный анализ психической травматизации у детей и подростков. Рассмотрены нормальные и патологические формы реакций на сверхсильные травматические воздействия, виды психических расстройств, критерии, методы диагностики и эмпирические исследования посттравматического стрессового расстройства. Как последствия психической травматизации описаны различные виды зависимостей и факторы риска их возникновения. Напечатан по постановлению Редакционно-издательского совета факультета психологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Учебник предназначен для студентов, магистрантов, аспирантов, клинических психологов, специализирующихся в области психологии кризисных и экстремальных ситуаций, а также может представлять интерес для специалистов экстремального профиля, работающих с психической травмой.