

УДК 616-001.17-612.1

DOI: 10.54503/0514-7484-2026-66.1-126

## Изменения показателей периферической крови у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС

А.Г. Карапетян<sup>1</sup>, В.С. Григорян<sup>1,2</sup>, Т.Р. Улусян<sup>1</sup>, С.С. Петросян<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт физиологии им. акад. Л.А. Орбели НАН РА  
0028, Ереван, ул. Бр. Орбели,*

<sup>2</sup> *Университет традиционной медицины Армении  
0022, Ереван, ул. Бабаджаняна, 38*

*Ключевые слова:* ионизирующее излучение, эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, лимфоциты, сегментоядерные

Известно, что кроветворная система, как активно пролиферирующая ткань, чувствительна к действию ионизирующих излучений (ИИ). Поэтому проблема влияния патогенных факторов Чернобыльской катастрофы на систему крови и гемостаз представляет большой интерес [10, 11, 14, 15]. Анализ литературных данных последних лет по облучению населения в малых дозах свидетельствует о том, что отклонения, выявленные в первые годы после воздействия ИИ, носят в основном восстановительный и адаптационный характер [6].

Согласно данным Любченко П.Н. и соавт. [8], при индивидуальных дозах от 0,02 до 0,37 Гр большая часть гематологических показателей у обследованных ликвидаторов последствий аварии (ЛПА) на ЧАЭС через 2–3 года нормализовалась, характеризуя тем самым предел физиологических колебаний. Выявляются случаи увеличения количества полиморфноядерных нейтрофилов, уменьшения количества лимфоцитов и базофилов, увеличение размеров мононуклеаров. Признаки функциональной дезорганизации в системе гемостаза при дозах облучения 0,005–0,3 Гр выявлены у ЛПА на ЧАЭС через четыре года постоянной работы в зоне радиоактивного загрязнения. Наиболее отчетливо перечисленные эффекты обнаруживаются с помощью метода функциональных нагрузок.

### Материал и методы

С целью динамического наблюдения за армянскими ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС проведено исследование некоторых показателей крови [1, 7, 13, 17].

Анализ материала (наряду с разработанными нами программами) проводился с помощью ряда известных компьютерных программ, предна-

значенных для статистической обработки массивов цифровых данных. Были использованы электронная таблица Microsoft Excel и специализированные статистические пакеты StatSoft, SPSS и StatGraphics Plus [2, 3, 5, 12].

### Результаты и обсуждение

Настоящее исследование проведено с целью динамического наблюдения за армянскими ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС. Ниже приведены результаты наблюдения за изменениями каждого отдельно изученного показателя в ранние (1987–1988 гг.) и отдаленные периоды (2019–2020 гг.).

Представленные данные свидетельствуют о том, что сравнительно малые дозы ИИ (0,1–0,3 Гр за год) оказывают повреждающее действие на плюропотентные клетки, которые являются предшественниками гемопоэза, что отражается в неустойчивой картине периферической крови и структурно-функциональных отклонениях в клеточных элементах.

Установлено, что у ЛПА красный росток кроветворения не претерпел особых изменений в первые 4–5 лет после аварии. Содержание гемоглобина и эритроцитов, по сравнению с контрольной группой (доноры), до 1991 г. держалось в пределах физиологической нормы.

Достоверное падение количества эритроцитов с 1991 г. до 1997 г., естественно, должно было отразиться и на содержании гемоглобина, что и выявилось в уменьшении их содержания, это подтверждается коэффициентом корреляции между этими показателями = 0,93. В последующие годы наблюдений до 2001 г. достоверному уменьшению количества эритроцитов соответствовало уменьшение количества гемоглобина. С 2001г. и по сей день содержание эритроцитов и гемоглобина приближается к границам физиологической нормы, однако с некоторым отставанием.

Таблица

Динамика изменения морфологических показателей крови

год	Гемоглобин, г/л	Эритроцит, 10 <sup>12</sup> /л	Цветной Показатель	Лейкоцит, 10 <sup>9</sup> /л	Палочк., 10 <sup>9</sup> /л	Сегмент., 10 <sup>9</sup> /л	Эозин оф., 10 <sup>9</sup> /л	Базофилы, 10 <sup>9</sup> /л	Лимфоцит, 10 <sup>9</sup> /л	Моноцит, 10 <sup>9</sup> /л	СОЭ, мм/ч
1987	162,68±0,9	4,96±0,06	0,96±0,02	7,8±0,08	1,26±0,17	59,23±0,75	2,4±0,07	0,23±0,06	33,45±0,71	3,28±0,08	7,26±0,48
2000	142,14±0,61	4,55±0,01	0,92±0,004	6,97±0,13	2,79±0,2	59,53±0,23	2,31±0,15	0,52±0,05	29,7±0,22	4,53±0,23	5,99±0,39
2020	156,0±1,52	4,9±0,05	1,1±0,12	6,1±0,26	2,0±0,18	63,2±1,29	2,7±0,3	1,00±0,01	26,5±1,25	6,2±0,34	11,9±1,14

Приведены уравнения регрессии, описывающие динамику изменения этих показателей (содержание гемоглобина –  $y_1$  (г/л), эритроцитов –  $y_2$  (10<sup>12</sup>/л), лейкоцитов –  $y_3$  (10<sup>9</sup>/л):

$$y_1 = 166,79 - 3,58 * x + 0,11 * x^2 \text{ (гемогл.)},$$

$$y_2 = 4,84 - 0,062 * x + 0,002 * x^2 \text{ (эритр.)},$$

$$y_3 = 8,07 - 0,06 * x \text{ (лейкоц.)},$$

где  $x$  – количество лет, пройденных после аварии.

Эти формулы можно использовать для прогноза.

Значительное падение в содержании эритроцитов и гемоглобина, соответственно с 1991 г. по 1997 г., на наш взгляд, нельзя полностью считать результатами отдаленных последствий облучения организма малыми дозами, в этот период возможно наложение различных факторов нерадиационной природы, к числу которых могут быть отнесены и социально-экономические, и возрастание числа различных хронических заболеваний, и увеличение возраста армянских ликвидаторов. Подтверждением тому являются результаты дисперсионного факторного анализа эритроцитов и гемоглобина, проведенного в динамике, где наблюдается увеличение долей возрастного фактора у этих показателей с 1991 г. (гемоглобина – с 9,35% в 1987 г. до 22,42% в 1991 г.; эритроцитов – 1,5% в 1987 г. до 54,75% в 1991 г.).

Как показали наши исследования, на изменение показателей крови влияет и фактор, определяющий предрасположенность ликвидатора к той или иной заболеваемости. В связи с чем мы также провели корреляционный и регрессионный анализ соотношения этих показателей в раннем периоде в общей группе ликвидаторов ( $y=47,72+21,76*x$ , где  $y$  – уровень гемоглобина, а  $x$  – эритроцитов;  $r=0,63$ ) и в группе ликвидаторов, у которых спустя 10 лет диагностировалась сердечно-сосудистая патология – ишемическая болезнь сердца ( $y=37,83+23,91*x$ ;  $r=0,89$ ). В этих группах также было обнаружено достоверное отличие лейкоцитарного индекса интоксикации и скорости оседания эритроцитов (СОЭ). Так, в группе с сердечными нарушениями наблюдалось достоверное снижение ЛИИ ( $0,6\pm 0,075$  относительно группы ликвидаторов без сердечной патологии  $0,8\pm 0,07$ ;  $p<0,05$ ) и повышение СОЭ (соответственно  $7,4\pm 0,75$  и  $9,4\pm 0,67$ ;  $p<0,05$ ).

Несмотря на волнообразный характер динамики изменения уровня лейкоцитов, тем не менее, прослеживается тенденция к снижению уровня этого показателя, который описан формулой регрессии  $y=8,07-0,06*x$  (где  $y$  – содержание лейкоцитов,  $x$  – количество лет, пройденных после аварии). Стабильная умеренная лейкоцитопения отмечена нами начиная с 1995 г.

Динамическое исследование показателей лейкоформулы крови ликвидаторов показало достоверное увеличение сегментоядерных форм лейкоцитов начиная с 1991 г. с последующим понижением к 2002 г. Тем не менее, согласно уравнению регрессии  $y=59,65+0,05x$ , где  $x$  – количество лет, пройденных после аварии, ожидается умеренное возрастание уровня сегментоядерных лейкоцитов на протяжении ближайших лет. Отмечена лимфоцитопения на протяжении всего периода исследований. Динамика изменения содержания лимфоцитов описана формулой  $y=33,43-0,22x$ . Согласно этому уравнению ожидается дальнейшее снижение этого показателя. Несмотря на волнообразный характер динамики изменения уровня палочкоядерных, прослеживается повышение уровня этого показателя ( $y=1,47+0,04x$ ).

Исходя из полученных результатов оценки лейкоформулы крови ликвидаторов, нами проведено изучение гранулоцитарно-агранулоцитарного соотношения (ГАС), которое более наглядно демонстрирует эти изменения. Вид-

но, что до 1990 года, т.е. в первые годы после аварии, в лейкоформуле ликвидаторов изменений ГАС по сравнению с донорской группой не наблюдалось. С 1990 г. до 2000 г. отмечалось увеличение ГАС, с последующей тенденцией нормализации к 2005 г. (она намечается и в будущем, согласно полученным уравнениям полиномиальной регрессии).

Наблюдается омоложение гранулоцитов, за счет уменьшения агранулоцитарного ряда клеток крови. Получены уравнения полиномиальной регрессии  $y_1=56,92+3,08x-0,15x^2$  и  $y_2=43,917-3,2388x+0,1593x^2$ , где  $y_1$  – уровень гранулоцитов,  $y_2$  – агранулоцитов, а  $x$  – количество лет, пройденных со дня аварии.

Пик изменения ГАС в сторону возрастания приходится на 1994–1995 гг. Механизм этих перераспределений, возможно, связан как с пулом кроветворения, который изменяется достаточно медленно после облучения организма малыми дозами и проявляется в виде отдаленных последствий, так и с влиянием на организм ликвидаторов различных факторов нерадиационной природы, к их числу могут быть отнесены приобретенные заболевания, социально-экономические факторы среды, увеличение возраста ликвидаторов и др., которые могут резко влиять на состав крови и различные его показатели. Форменные элементы крови реагируют на воздействие факторов аварии на ЧАЭС даже в поздние сроки наблюдений. Аналогичные изменения были выявлены и другими исследователями [4, 9, 16], что свидетельствует об идентичности выявленных нами изменений в кроветворной системе армянских ликвидаторов.

Таким образом, оценивая результаты проведенных исследований периферической крови ликвидаторов и основываясь на полученном фактическом материале, можно заключить, что форменные элементы крови реагируют на воздействие факторов аварии на ЧАЭС даже в поздние сроки наблюдений.

*Поступила 24.12.25*

## **Չեռնոբիլի ատոմակայանի վթարի լիկվիդատորների պերիֆերիկ արյան ցուցանիշների փոփոխությունները**

**Ա.Գ. Կարապետյան, Վ.Ս. Գրիգորյան, Տ.Ռ. Ուլուսյան,  
Ս.Ս. Պետրոսյան**

Մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում Չեռնոբիլի աղետի հետևանքով առաջացած պաթոգեն գործոնների ազդեցությունն արյան համակարգի և հեմոստազի վրա: Իննացնող ճառագայթման ազդեցությունից հետո՝ առաջին տարիներին, հայտնաբերված շեղումները հիմնականում վերականգնողական և հարմարվողական բնույթի են: Այս հոդվածում ներկայացված են վաղ (1987–1988 թթ.) և ուշ (2019–2020 թթ.) ժամանակահատվածներում առանձին

ուսումնասիրված յուրաքանչյուր ցուցանիշի փոփոխությունների մոնիթորինգի արդյունքները: Մտացվել են ռեգրեսիոն հավասարումներ, որոնք նկարագրում են արյան որոշակի պարամետրերի փոփոխությունների դինամիկան՝ հնարավորություն տալով կանխատեսելու փոփոխությունները վթարից հետո՝ երկար տարիների ընթացքում: Հեմոգլոբինի և էրիթրոցիտների պարունակությունը, համեմատած վերահսկիչ խմբի (դոնորների) հետ, մնացել է ֆիզիոլոգիական չափաքանակի սահմաններում մինչև 1991 թվականը: 1991-ից 1997 թվականներին էրիթրոցիտների թվի զգալի նվազումը բնականաբար պետք է արտացոլվեր հեմոգլոբինի պարունակության մեջ, ինչը դրսևորվեց դրանց պարունակության նվազմամբ: Հետագա դիտարկումների տարիներին՝ մինչև 2001 թվականը, էրիթրոցիտների թվի զգալի նվազումը համապատասխանում էր հեմոգլոբինի պարունակության նվազմանը: 2001 թվականից մինչև այսօր էրիթրոցիտների և հեմոգլոբինի պարունակությունը մոտենում է ֆիզիոլոգիական չափաքանակի սահմաններին, թեև որոշ ուշացումով: Արյան հաշվարկի փոփոխությունների վրա ազդում են նաև գործոններ, որոնք որոշում են լիկվիդատորի որոշակի հիվանդությունների նկատմամբ զգայունությունը: Չնայած լեյկոցիտների քանակի փոփոխությունների տատանողական բնույթին, այնուամենայնիվ, առկա է նվազման միտում: 1995 թվականից ի վեր նկատվում է կայուն չափավոր լեյկոպենիա: Նկատվում է գրանուլոցիտների երիտասարդացում՝ արյան բջիջների ագրանուլոցիտների շարքի նվազման պատճառով: Այսպիսով, կարելի է եզրակացնել, որ արյան բջիջներն արձագանքում են Չեռնոբիլի վթարի ազդեցությանը նույնիսկ ուշ դիտարկման ժամանակ:

### **Changes in Peripheral Blood Parameters in Chernobyl Nuclear Power Plant Accident Liquidators**

**A.G. Karapetyan, V.S. Grigoryan, T.R. Ulusyan, S.S. Petrosyan**

The impact of the pathogenic factors that emerged as a result of the Chernobyl disaster on blood coagulation and hemostasis is of great interest. In the first years after exposure to ionizing radiation, detected deviations are primarily restorative and adaptive in nature. This article presents the results of monitoring changes in each separately studied indicator in the early (1987–1988) and late periods (2019–2020). The obtained regression equations describe the dynamics of changes in certain blood parameters, which make it possible to predict changes over many years after the accident. The hemoglobin and erythrocyte content, compared with the control group (donors), remained within the physiological norm until 1991. A significant decrease in the number of erythrocytes from 1991 to 1997, naturally, should have been reflected in the hemoglobin content, which was manifested by a decrease in their content. In the subsequent years of observations until 2001, a significant decrease in the number of erythrocytes corresponded to a decrease in the hemoglobin content. From 2001 to the

present day, the content of erythrocytes and hemoglobin is approaching the boundaries of the physiological norm, albeit with some lag. Changes in blood indices are also influenced by factors that determine a liquidator's susceptibility to certain illnesses. Despite the fluctuating nature of changes in leukocytes, there is still a tendency to decrease. Stable moderate leukopenia has been observed since 1995. Rejuvenation of granulocytes is observed due to a decrease in the agranulocyte series of blood cells. Thus, it can be concluded that blood cells respond to the consequences of the Chernobyl accident even at late stages of observation.

### Литература

1. *Балуда В.П., Баркаган З.С., Гольдберг Е.Д. и др.* Лабораторные методы исследования системы гемостаза. Томск, 1980.
2. *Беребин М.А.* Применение пакета статистических программ STATGRAPHICS в психологических исследованиях. Учебное пособие, Челябинск, 2002.
3. *Боровиков В.П.* Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA, М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
4. *Бурлакова Е.Б. с соавт.* Влияние облучения в малых дозах на биохимические свойства ферментов гликолида. Материалы IV съезда по радиационным исследованиям. М., 20–24 ноября 2001, т. 1.
5. *Гавриленко А.К.* Планирование и обработка эксперимента в пакете STATGRAPHICS, Екатеринбург, 2012.
6. *Гуськова А.К., Осечинский И.В.* Круглый стол «Актуальные вопросы радиационной медицины». Медицинская радиология, 1996, 6, с. 72–76.
7. *Зигг И.Е.* Методические указания по исследованию свертывающей системы крови., 1986.
8. *Любченко П.Н., Нилова Т.В. с соавт.* Состояние гемокоагуляции у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС. Третий съезд по радиац.исследованиям. (Тез.докл.) Пушкино. 1994, т. 1.
9. *Никифоров А.М.* Патология отдаленного периода у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. СПб., БИНОМ, 2002.
10. *Окладникова Н.Д., Хохряков В.В., Шевкунов В.А., Пестерникова В.С., Шадиллов А.Е.* Клинико-цитогенетическое описание случая высокой инкорпорации радионуклида. Радиобиол.Радиоэкол. 2004, т. 44, 4, с. 115–118.
11. *Орадовская И.В., Лейко И.А. с соавт.* Анализ состояния здоровья и иммунного статуса лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Итоги 15-летних наблюдений. Intern.Journal of Radiation Medicine. 2001, т. 3, 1–2.
12. Официальное практическое руководство STATISTICA., Statsoft, 2007, в 3 томах.
13. *Рутберг Р.А.* Лабораторные исследования системы гемостаза, Томск, 1980.
14. *Тлепузов И.В., Балуда М.В., Цыб А.Ф.* Изменения гемостатического гемостаза у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Гематол. и трансфуз., 1998, т. 43, 1, с. 39–41.
15. *Туков А.Р., Двагоева Л.Г.* Болезни крови и кроветворных органов у лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Медицинская радиология, 1994, 3, с. 371–373.

16. *Цыб А.Ф., Хайт С.Е., Матвеевко Е.Г. и др.* Динамическое исследование показателей крови населения загрязненных радионуклидами территориях Калужской области и ликвидаторов. Медицинская радиология и радиационная безопасность, 1996, 4, с. 3–7.
17. *Bogerhof H., Roka L.* Gerinnungs physiologische Untersuchongen bel hamarhagischen Diathesen. "Zeitschr Vitamin - Hormon u. Fermentforsch.", 1984, Bd6, Hf1, p. 25–39.