

факт, что уже через 10 дней после окончания изоляции имевшие место отклонения показателей липидного обмена имели явные тенденции к нормализации.

### **Заключение**

Таким образом, выявленные в исследовании факты, кроме отражения общих закономерностей адаптационно-приспособительных реакций человека при длительном воздействии измененных условий внешней среды, свидетельствовали о безопасности воздействия на организм повышенных концентраций аргона в ИГС.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Новицкий, А. А. Синдром хронического эколого-профессионального перенапряжения и проблема сохранения здоровья личного состава в процессе военно-профессиональной деятельности / А. А. Новицкий // Особенности изменений внутренних органов у раненых и больных в экстремальных условиях Афганистана: Труды ВМедА. СПб.: ВМедА, 1994. Т. 235. С. 8–18.
2. Сохранение и повышение военно-профессиональной работоспособности специалистов флота в процессе учебно-боевой деятельности и в экстремальных ситуациях: метод. рекомендации / под ред. Ю. М. Боброва, В. И. Кулешова, А. А. Мясникова. М., 2014. 104 с.
3. Профессиональная и медицинская реабилитация спасателей / под ред. С. Ф. Гончарова. М.: Паритет Граф, 1999. 320 с.
4. Чиж, И. М. Военная медицина и медицина катастроф / И. М. Чиж // Медицина катастроф. 2010. № 2 (70). С. 56–63.
5. Обоснование использования циклических инфракрасных воздействий для оптимизации профессиональной работоспособности / В. Ю. Скокова [и др.] // Военно-медицинский журнал. 2007. Т. СССХХVIII, № 3. С. 74–75.
6. Коррекция отклонений психофизиологического статуса лиц опасных профессий путем использования гипоксических газовоздушных сред / Д. В. Шатов [и др.] // Экология человека. 2014. № 9. С. 3–7.
7. Горанчук, В. В. Гипокситерапия / В. В. Горанчук, Н. И. Сапова, А. О. Иванов. СПб.: ООО «ОЛБИ-СПБ», 2003. 536 с.
8. Основы барофизиологии, водолазной медицины, баротерапии и лечения инертными газами / Б. Н. Павлов; под ред. акад. А. И. Григорьева. М.: ГранПолиграф, 2008. 496 с.
9. Благинин, А. А. Гипоксическая тренировка как метод коррекции пограничных функциональных состояний организма операторов сложных эргатических систем / А. А. Благинин, И. И. Жильцова, Г. Ф. Михеева. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2015. 106 с.
10. Изменения кардиореспираторных показателей человека при дыхании газовоздушными смесями с повышенным содержанием аргона / А. О. Иванов [и др.] // Сборник науч. статей VII Междунар. интернет-конф. «Военная и экстремальная медицина: перспективы развития и проблемы преподавания». Гомель, 2019. С. 19–22.
11. Аргоногипокситерапия в медико-психологической реабилитации лиц с синдромом «хронической усталости» / Н. В. Кочубейник [и др.] // Обмен веществ при адаптации и повреждении. Дни молекулярной медицины на Дону: матер. XVII науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ростов н/Д., 2018. С. 28–29.
12. Сравнительная оценка эффективности аргоногипоксических и азотногипоксических тренировок в повышении резистентности человека к транзитной аноксии / В. Н. Скляров [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52, № 7. С. 219–223.
13. Биохимия / под ред. Е. С. Северина. М.: Медицина, 2003. 782 с.
14. Липидный и углеводный метаболизм и профиль экспрессии микроРНК у человека в условиях 17-суточного изоляционного эксперимента по имитации космического полета «Sirius-17» / А. Р. Ниязов [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52, № 7 (спецвыпуск). С. 175.
15. Особенности липидного обмена у испытуемых в динамике 17-суточной изоляции в гермообъеме / Е. А. Маркина [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52, № 7 (спецвыпуск). С. 146–148.
16. Особенности изменений метаболизма человека при длительной герметизации в аргоносодержажщей гипоксической газовоздушной среде / А. О. Иванов [и др.] // Морская медицина. 2018. № 2. С. 7–12.

**УДК 621.039:614.876]-044.367(477+521.16)**

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИЧИН И ИСХОДОВ КАТАСТРОФ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И НА АЭС ФУКУСИМА-1**

**Кульчик Е. Э.**

**Научный руководитель: А. Г. Герасимчик**

**Учреждение образования**

**«Гомельский государственный медицинский университет»**

**г. Гомель, Республика Беларусь**

### **Введение**

Авария на атомной электростанции (АЭС) «Фукусима Дайити» стала одной из крупнейших экологических катастроф за последние годы. В общественном

восприятия, усиленном сообщениями средств массовой информации, часто проводятся параллели между ядерными авариями на Фукусиме (Япония, 2011 г.) и Чернобылем (Украина, 1986 г.). Обе аварии были оценены по Международной шкале ядерных и радиологических событий Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) (INES) как «Крупная авария» по шкале INES 7. Однако настолько ли сопоставимы несчастные случаи, как предполагает этот рейтинг? Ядерные аварии в Чернобыле и Фукусиме демонстрируют некоторые интересные сходства и различия, которые заслуживают сравнения.

### **Цель**

Определить, сходны ли причины и последствия аварий на Чернобыльской АЭС и на АЭС Фукусима-1.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Авария на Чернобыльской АЭС произошла 26 апреля 1986 г. в ходе технического испытания на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС. Неправильная работа реактора на низком уровне мощности привела к «отравлению ксеноном» реактора, что не было должным образом распознано персоналом реактора и вызвало неправильную работу управляющих стержней реактора [1]. Эта ошибка в эксплуатации привела к термическому разрушению реактора РБМК-1000 из-за внезапного скачка мощности, что в конечном итоге вызвало по меньшей мере один (паровой) взрыв и воспламенение графитовых модераторов [2]. Радионуклиды, высвобожденные в результате взрыва, включали очень короткоживущие продукты деления, что привело к очень высокой мощности дозы в прилегающих районах. После первоначального пикового выброса в течение 10 дней произошли дальнейшие выбросы радионуклидов из-за продолжающегося горения графита.

11 марта 2011 г. землетрясение магнитудой 9,0 в Восточной Японии (также известное как землетрясение в Тохоку) произошло в 14:46 (по местному времени) с эпицентром в Тихом океане в 130 км к востоку от Сендая (Япония) и в 163 км к северо-востоку от АЭС «Фукусима» [3]. То землетрясение вызвало разрушительное цунами, которое достигло высоты до 40,5 м и вызвало массовые разрушения вдоль береговой линии. Цунами прокатилось на целых 10 км вглубь страны, в результате чего 15 854 человека погибли и 3089 пропали без вести (по состоянию на 28 марта 2012 г.) [3].

АЭС «Фукусима Дайити» эксплуатировалась компанией «Токио Электрик». Энергетическая компания (TEPCO) и состояла из шести реакторов с кипящей водой общей мощностью 5480 МВт. Реакторы были введены в эксплуатацию в период с 1971 по 1979 гг. и были защищены 10-метровой морской стеной [4]. Цунами, однако, достигло высоты 14 м на территории завода. Три из шести реакторов (блоки 1, 2 и 3) находились в эксплуатации во время землетрясения, но первые сейсмические сигналы землетрясения вызвали автоматическое отключение реакторов. Цунами достигло площадки АЭС в 15:38. Оно затопило, повредило и заблокировало здания водозабора АЭС и разрушило дизель-генераторы, оставив основные системы охлаждения неработоспособными из-за полного отключения станции.

Это также включало системы охлаждения бассейнов с отработавшим топливом реакторных блоков 4, 5 и 6 [3]. В этих условиях насосы для изоляции активной зоны реактора с батарейным приводом оставались единственным методом охлаждения сосудов реактора, работающих под давлением. Насос для изоляции активной зоны реактора приводится в действие паром из сосуда высокого давления, и пар сбрасывается в конденсационную камеру реактора, одновременно перекачивая воду из конденсационной камеры в сосуд. Однако отвод тепла из здания через конденсационную камеру отсутствовал, и насос изоляции активной зоны реактора в конечном итоге перестал функционировать. После потери заряда батареи или отказа насоса (Блок 1: 11 марта; Блок 2: 14 марта; Блок 3: 13 марта) реакторы оставались неохлажденными. В то время тепло рас-

пада продуктов деления все еще находились в диапазоне 20 МВт, что привело к повреждению и частичному расплавлению топливных элементов [5]. Во время операций по вентиляции, для сброса избыточного давления, как радионуклиды, так и газообразный водород были выброшены на уровень технического этажа зданий реактора, смешиваясь с воздухом. Последовали три мощных взрыва кислородно-водородного газа и повреждение зданий блоков 1, 3 и 4. Блок 2 был поврежден из-за взрыва водорода в конденсационной камере.

В отличие от Чернобыля, реакторы на Фукусиме были оборудованы бетонным защитным сооружением. Взрывы на Фукусиме носили исключительно химический характер (взрывы водорода) и затронули здания реакторов, но, исходя из наилучшей имеющейся информации, не корпуса реакторов под давлением или сами реакторы. Характеристики выброса отличались от аварии на Чернобыльской АЭС. Выбросы радионуклидов только в газовой фазе произошли в ходе операций по выпуску воздуха для сброса избыточного давления внутри сосуда примерно с задержкой в один день. В отличие от неконтролируемых непрерывных выбросов в Чернобыле с пиковыми выбросами в самом начале, операции по выпуску на АЭС «Фукусима» происходили импульсно в течение более недели и часто проводились при благоприятных погодных условиях, которые переносили примерно 80 % радионуклидов в море [6].

При помощи электронного моделирования, общая активность радионуклидов, выброшенных в Чернобыле, оценивается как  $5,3 \times 10^{18}$  Бк [7]. Общая активность радионуклидов, выброшенных в результате аварии на Фукусиме, составила от 10 до 15 % от чернобыльского значения ( $5,2 \times 10^{17}$  Бк) [7]. Зона загрязнения вокруг Чернобыля составляла 29400 км<sup>2</sup>, а вокруг Фукусимы — 1700 км<sup>2</sup> [7]. Во время аварии на Фукусиме более 75 % загрязненных территорий были покрыты лесами, 10 % — рисовыми полями, 10 % — другими сельскохозяйственными угодьями и 5 % — городскими территориями. Загрязненными территориями в Беларуси были 43% сельскохозяйственных угодий, 39 % лесных массивов и 2 % рек и озер [7].

Таблица 1 — Сравнительная характеристика степени загрязнения обеих катастроф в зависимости от расстояния ( $\times 10^{17}$  Бк)

| Чернобыль                       |                        |       |        |       |              | Фукусима                         |                        |         |         |       |              |
|---------------------------------|------------------------|-------|--------|-------|--------------|----------------------------------|------------------------|---------|---------|-------|--------------|
| локация                         | расстояние до АЭС (км) | 131 I | 137 Cs | 90 Sr | 2239+ 240 Pu | локация                          | расстояние до АЭС (км) | 131 I   | 137 Cs  | 90 Sr | 2239+ 240 Pu |
| Чернобыль, Украина              | 1                      | 58000 | 120000 | —     | —            | Фукусима                         | 10                     | 2100    | —       | —     | —            |
| Березенский заповедник          | 400                    | 200   | 9.9    | —     | —            | Футоба                           | 25                     | 530     | 6.6     | —     | —            |
| Вильнюс, Литва                  | 500                    | 45.2  | 27.9   | —     | —            | Цукуба                           | 190                    | 32      | 0.016   | —     | —            |
| Миколайки, Польша               | 650                    | 8     | 1.88   | —     | —            | Кашива, Япония                   | 200                    | 6072    | 752     | —     | —            |
| Северная Австрия                | 1100                   | —     | —      | 320   | —            | Токио, Япония                    | 250                    | 284     | 236     | —     | —            |
| Прага, Чехия                    | 1100                   | —     | 10     | —     | 0.000028     | Бусан, Южная Корея               | 1100                   | 0.00132 | 0.00125 | —     | —            |
| Швеция                          | 1150                   | 12    | 5      | —     | —            | Сеул, Южная Корея                | 1200                   | 0.00112 | 0.00027 | —     | —            |
| Австрия                         | 1200                   | —     | 10     | 0.17  | 0.000032     | Ею, Южная Корея                  | 1240                   | 2.91    | 2.02    | —     | —            |
| Готтербург, Германия            | 1300                   | 3000  | 950    | —     | —            | Ляонин, Китай                    | 1600                   | 0,00147 | 0.00017 | —     | —            |
| Северная Англия, Великобритания | 2200                   | 200   | 80     | —     | —            | Красноярск, Российская Федерация | 4000                   | 0.62    | 0.075   | —     | —            |
| Иерусалим, Израиль              | 2200                   | 19    | —      | —     | —            | Сан-Франциско, США               | 8100                   | 16      | 0.5     | —     | —            |
| Тайвань                         | 7600                   | 1.4   | —      | —     | —            |                                  |                        |         |         |       |              |

Выбранные максимальные концентрации радионуклидов в воздухе после аварий на Чернобыльской АЭС и Фукусиме, упорядоченные по расстоянию от АЭС (активность в Бк·м<sup>-3</sup> на момент отбора проб). Пробы отобраны 26.04.1986, 29.04.1986, 30.04.1986, 09.05.1986, май 1986 (таблица 1).

Воздействие на окружающую среду и дозовое облучение рабочих.

И Чернобыльская, и Фукусимская аварии вызвали сильное радионуклидное загрязнение всего северного полушария. Важные радионуклиды, такие как I-131, Cs-137, Sr-90 и Pu-239+Pu-240, контролировались и собирались данные по двум источникам аварий в течение длительного периода времени. Данные показывают, что максимальные концентрации радионуклидов в воздухе после аварии на Чернобыльской АЭС были намного выше, чем после аварии на Фукусиме (примерно на два порядка выше) [7].

Другой набор данных, который четко показывает разницу между этими двумя авариями, касается воздействия на рабочих на производственных площадках. В первый день Чернобыльской аварии максимальные дозы для работников аварийных подразделений составили 16 Гр. Среднее облучение 18700 рабочих и ликвидаторов при ликвидации последствий аварии составило 170 мЗв [7]. Для аварии на Фукусиме представленные данные об облучении рабочих не рассматривались международными организациями и, следовательно, в будущем могут потребоваться исправления. По опубликованным данным, 146 рабочих получили дозы более 100 мЗв, 6 — более 250 мЗв, 2 — более 600 мЗв, 2 — облучение кожи 2–3 Зв при стоянии в сильно загрязненной воде [7]. Данные показывают, что облучение рабочих при аварии на Фукусиме намного ниже, чем при аварии на Чернобыльской АЭС [8].

### **Вывод**

Таким образом, аварии в Чернобыле и на Фукусиме имели разные причины и последствия. Чернобыльская авария произошла в основном из-за ошибки при эксплуатации оборудования АЭС, а авария на Фукусиме — из-за землетрясения и, последовавшего за ним, цунами. Чернобыльская авария имела более тяжелые последствия, чем Фукусима, потому что во время аварии было выброшено больше радионуклидов и была заражена большая территория, так как был поврежден корпус реактора и произошло возгорание графитовых модераторов. Также дозовое облучение рабочих было значительно выше при аварии на Чернобыльской АЭС, вследствие скачкообразного роста экспозиционной дозы и загрязнения радионуклидами территории четвертого энергоблока.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Grishanin, E. I.* The role of chemical reactions in the Chernobyl accident / E. I. Grishanin // *Phys At Nucl.* 2010. Vol. 73. P. 2296–2300.
2. *Michel, R.* Die Wege der Radionuklide (in German) / R. Michel, G. Voigt // *Phys J.* 2006. № 5. P. 37–42
3. *Thielen, H.* The Fukushima Daiichi Nuclear Accident — an overview / H. Thielen // *Health Phys.* 2012. Vol. 103. P. 169–174.
4. *Lipscy, P. Y.* The Fukushima disaster and Japan's nuclear plant vulnerability in comparative perspective / P. Y. Lipscy, K. E. Kushida, T. Incerti // *Environ Sci Technol.* 2013. Vol. 47. P. 6082–6088.
5. *Schwantes, J. M.* Analysis of a nuclear accident: fission and activation product releases from the Fukushima Daiichi Nuclear Facility as remote indicators of source identification, extent of release, and state of damaged spent nuclear fuel / J. M. Schwantes, C. R. Orton, R. A. Clark // *Environ Sci Technol.* 2012. Vol. 46. P. 8621–8627.
6. *Morino, Y, Ohara T, Nishisawa M.* // *Geophys Res Lett.* 2011. Vol. 38. [L00G11/1-7].
7. *Steinhauser, G.* Comparison of the Chernobyl and Fukushima Nuclear Accidents: A Review of the Environmental Impacts / G. Steinhauser, A. Brandl, T. E. Johnson // *Sci. Total Environ.* 2014. P. 470–471.
8. A Comparison of Chernobyl and Fukushima Nuclear Disasters; Jiechen Wang February 6, 2019; Stanford University, Winter 2018.