

# НЕЙТРОННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС\*

**Ю.А. Рогожин, И.П. Шестопалов**

*Центр радиационно-химической безопасности, г. Москва*



Предполагается, что на работу АЭС могут оказать влияние различные факторы внешней среды, в частности, потоки нейтронов, которые генерируются во время землетрясений. Проанализированы данные о сейсмической энергии, выделившейся из очагов землетрясений на всем земном шаре за период с 1680 по 2004 гг., в сопоставлении с циклами солнечной активности. Существуют 11-летние циклы сейсмической активности на Земле. Выделены также циклические изменения сейсмической активности с длительностью в три солнечных цикла и вековые. Корреляция между солнечной и сейсмической активностью преимущественно отрицательная, но под влиянием мощных солнечных протонных событий корреляция между ними может быть положительной. Наиболее сильные землетрясения происходят в начале векового цикла. В девяностых годах прошлого века наступил новый вековой цикл, в начале которого на протяжении нескольких десятков лет будет отмечаться сильная сейсмическая активность. Землетрясения 26.12.2004 с  $M = 9$  и 21.03.2005 с  $M = 8,5$  в районе Индонезии подтверждают этот вывод. Работа АЭС в условиях высокой сейсмической опасности предполагает повышение требований к безопасности.

## ВВЕДЕНИЕ

Среди различных аспектов обеспечения безопасности АЭС не последнее место занимает сейсмическая безопасность, в основном, как требование не допустить неконтролируемой ядерной реакции при самых серьезных землетрясениях, которые можно ожидать в зоне расположения станции. Катастрофы на атомных электростанциях и других объектах с реакторами могут возникнуть не только в результате ошибок операторов, но и в результате воздействия на функционирование реактора и систем его управления различных явлений внешней среды, в частности, нейтронов земного происхождения, которые генерируются во время землетрясений.

В исследованиях авторов [1, 2] было показано, что сейсмические явления на Земле связаны с солнечной активностью; на Земле существуют 11-летние циклы сейсмической активности, которые имеют отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности (с циклами солнечных пятен). Другими словами, наибольшая сейсмическая активность имеет место при минимальной солнечной активности, и наоборот.

© Ю.А. Рогожин, И.П. Шестопалов, 2006

\* Доклад представлен на IX Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров» (г. Обнинск, 24-28 октября 2005 г.)

## ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

В работах авторов были проанализированы данные о сейсмической энергии, выделившейся из очагов землетрясений на всем земном шаре за период с 1680 по 2004 гг., в сопоставлении с циклами солнечной активности и геомагнитными возмущениями.

Солнечная активность оценивается так называемыми числами Вольфа. Авторами использовались среднегодовые значения чисел Вольфа, сглаженные за 11 лет [3].

В качестве источника данных о сейсмической активности были использованы базы данных Национального Центра информации о землетрясениях Геологической службы США, (NEIC, USGS) [4] и Международного сейсмологического центра (ISC) [5].

Сглаженные по 11 значениям среднегодовые числа Вольфа и ежегодные выделения сейсмической энергии в землетрясениях на всем земном шаре за период с 1880 по 2004 гг. представлены на рис. 1а. Анализируя все эти данные за представленный временной интервал, можно отметить, что существует примерно 100-летний цикл солнечной активности и сейсмичности Земли, который не совсем совпадает с календарным столетием. Период с 1890 по 1990 гг. оказался вековым циклом сейсмической активности. По мере развития векового цикла, в котором постепенно увеличивается солнечная активность, корреляция между солнечной и сейсмической активностью проявляется как отрицательная. Под влиянием мощных солнечных протонных событий корреляция между ними может быть положительной.

Можно также отметить, что столетний цикл солнечной и сейсмической активности разбивается на 3 периода примерно по 33 года, длительность каждого из которых в свою очередь составляет три 11-летних цикла солнечной активности. На кривой, показывающей изменения сейсмической активности в 1900–2000 гг., видны три волны (интервала), длительность каждой из которых равна трем циклам солнечной активности. Минимальные значения первого периода наблюдались в двадцатых годах,

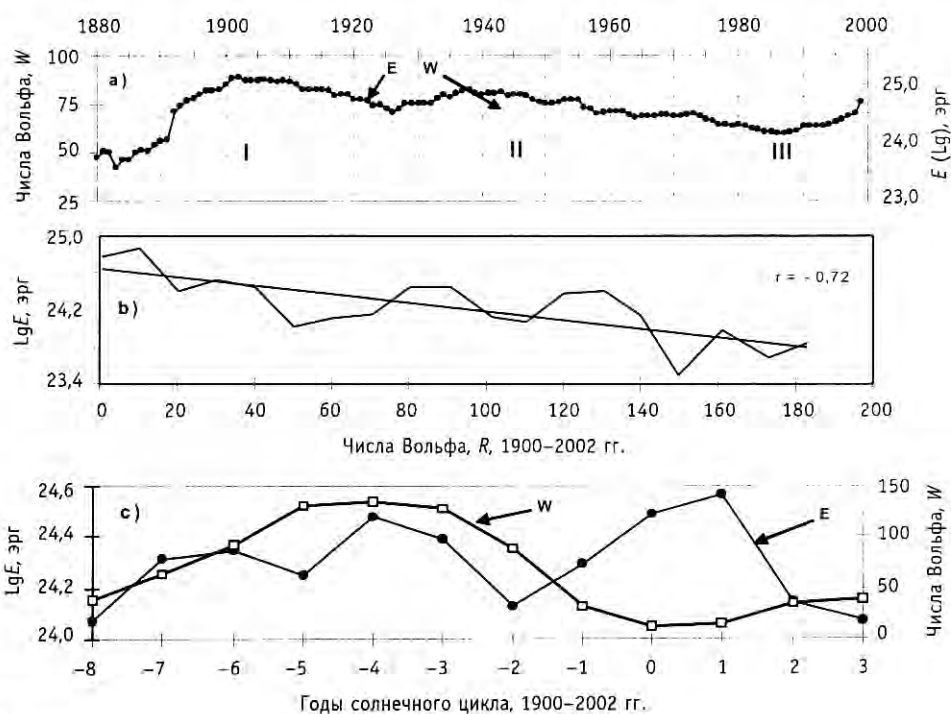


Рис. 1

второго – в конце пятидесятых, третьего – во второй половине восьмидесятых.

Можно также отметить, что в периоды I и III наблюдается отрицательная корреляция между солнечной и сейсмической активностью. Во втором периоде, наоборот, усиление сейсмической активности сопровождалось увеличением солнечной активности.

Зависимость энерговыделений в землетрясениях от чисел Вольфа представлена на рис. 16, из которого видно, что наблюдается отрицательная корреляция между ними ( $r = -0,72$ ). Связь между солнечной активностью и сейсмичностью Земли исследовалась также при помощи метода наложения эпох.

Временные изменения солнечной активности и сейсмичности Земли за 11 лет, полученные методом наложения эпох за весь исследуемый период, приведены на рис. 1в. На оси абсцисс отложены годы 11-летнего цикла, нулевая отметка на шкале совпадает с минимумом солнечной активности и максимумом сейсмической активности Земли, т.е. в течение 11-летнего периода имеется три максимума энерговыделений. Первый, наиболее сильный, приходится на годы минимума солнечной активности, а два других – на фазу роста и спада солнечной активности соответственно – на период, когда происходит наибольшее число крупных солнечных протонных вспышек.

Таким образом, во временной зависимости годовых значений энерговыделений при землетрясениях существуют 11-летние периоды, обусловленные внутренней активностью Земли, и периоды меньшей длительности, вызванные солнечными вспышками.

Рассматривались также широтное и долготное распределение землетрясений на Земле за этот период (рис. 2). Можно заметить, что наибольшее число крупных землетрясений происходит в Тихоокеанском поясе в полосе долгот 120–180°E и широт 30°S–10°N, а также в полосе долгот 30–120°W и широт 20–60°N, охватывающих США, Японию, Индию, Китай, в которых работает достаточное количество АЭС.

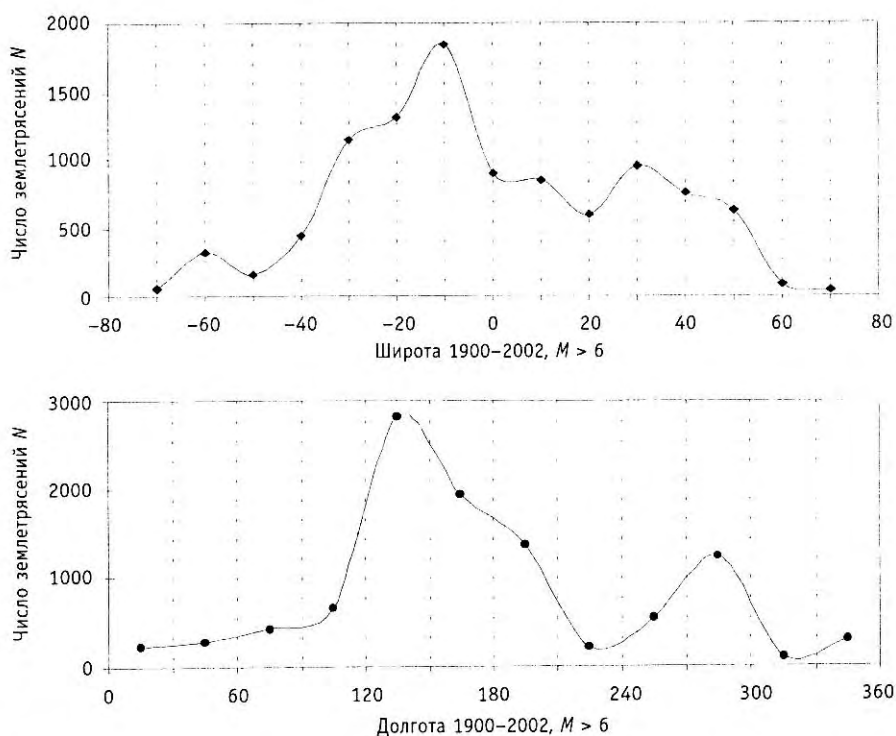


Рис. 2

Анализируя архивные данные с 1690 по 2004 гг., авторы заметили, что в начале XVIII, XIX и XX вв. значения чисел Вольфа были сначала минимальны, но затем наблюдался рост солнечной активности почти на протяжении 100 лет и в конце каждого века происходил ее резкий спад. Из этого следует, что за период с 1690 по 2004 гг. наблюдалось три вековых цикла солнечной активности. Важно отметить, что третий вековой цикл начался в конце XIX и закончился в конце XX века, точнее, в конце восьмидесятых - начале девяностых годов. И затем, в соответствии с нашей теорией, произошло резкое увеличение сейсмической активности, в котором нам предстоит жить в ближайшее время.

## О НЕЙТРОНАХ ЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В данных исследованиях показано, что сейсмическая активность Земли является источником нейтронов, при этом существует высокая корреляция между энергией землетрясений и потоками нейтронов земного происхождения [1, 2]. Это проявляется в заметном увеличении интенсивности потока нейтронов, особенно вблизи тектонических разломов, перед крупными землетрясениями.

Возможный механизм этого явления представляется следующим образом. Землетрясению предшествуют подвижки земной коры, в результате чего раскрываются разломы, из которых выбрасывается газ радон  $^{222}\text{Rn}$ . Последний является высоко альфа-радиоактивным, а последующие ядерные реакции в атмосфере приводят к генерации нейтронов.

Вывод о нейтронах земного происхождения подтверждается в других работах.

Обнаруженная корреляция между сейсмической энергией Земли и потоками нейтронов положена нами в основу разработки нового подхода прогнозирования землетрясений. Авторы разработали способ оперативного прогнозирования землетрясения, в котором в качестве предвестника используется аномальный поток излучения тепловых нейтронов, в качестве прогностических параметров – величины и скорости приращения аномального потока излучений [6–8].

Для иллюстрации рассмотрим временные вариации среднесуточных потоков тепловых нейтронов, зарегистрированных в Центре радиационно-химической безопасности (г. Москва), и сейсмической энергии, выделившейся на всем земном шаре в марте - начале апреля 2005 г. (рис. 3).

Временные вариации сейсмической энергии за тот же период приведены на рис. 4. Известно, что 28 марта 2005 г. произошло очень крупное землетрясение с магнитудой  $M = 8,7$  в Индонезии. Из рис. 4 видно, что рост потока нейтронов наблюдался не менее чем за 10 сут до 28 марта, когда произошло землетрясение.



Рис. 3

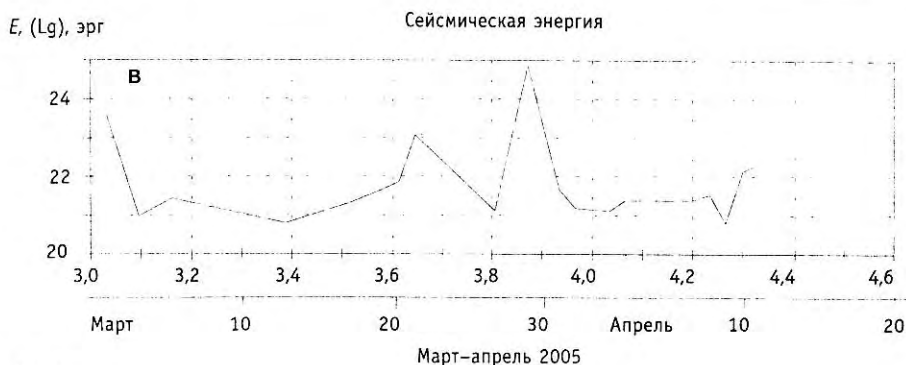


Рис. 4

Возвращаясь к проблеме сейсмической безопасности атомных станций, следует отметить, что все российские АЭС как бы специально привязаны к разломам земной коры. Эта удивительная на первый взгляд особенность имеет простое объяснение. Дело в том, что древние тектонические разломы прикрыты толстыми осадочными породами и не бросаются в глаза. Однако непосредственно над разломами образовались углубления земной поверхности, в которых текут реки и расположены озера. К этим-то водным источникам и привязывали проектировщики строящиеся АЭС, чем и объясняется их соседство с невидимыми тектоническими разломами. Тот факт, что в настоящее время эти тектонические разломы неактивны, не может быть основанием для убеждения в сейсмической безопасности объектов, расположенных вблизи. На протяжении длительной геологической истории были неоднократные случаи подвижек земной коры с активизацией ее разломов. Нет гарантий от повторения подобных случаев с тяжелыми последствиями, в частности, для АЭС.

Поэтому желательно организовать сейсмический мониторинг вблизи станционных промплощадок. Для этих целей могли бы подойти устройства для регистрации нейтронного излучения в качестве предвестника землетрясений. Предлагается вначале опробовать это устройство на одной из наиболее сейсмоопасных АЭС, с тем, чтобы после доработки решить вопрос об их широком применении в качестве сейсмического мониторинга на всех АЭС.

## ВЫВОДЫ

1. Существуют вековые циклы солнечной активности и сейсмичности Земли.

Корреляция между солнечной и сейсмической активностью преимущественно отрицательная, под влиянием мощных солнечных протонных событий корреляция между ними может быть положительной.

Наиболее сильные землетрясения происходят в начале векового цикла.

2. В девяностых годах прошлого века наступил новый вековой цикл, в начале которого на протяжении нескольких десятков лет будет отмечаться сильная сейсмическая активность. Землетрясения 26.12.2004 с  $M = 9$  и 21.03.2005 с  $M = 8,7$  в районе Индонезии подтверждают этот вывод.

3. Сейсмическая активность Земли является источником нейтронов, при этом существует высокая корреляция между энергией землетрясений и потоками нейтронов земного происхождения.

4. Обнаруженная корреляция между сейсмической энергией Земли и потоками нейтронов положена нами в основу разработки нового подхода к прогнозированию землетрясений. Для его апробации целесообразно выполнить наземный эксперимент с организацией нейтронного мониторинга вблизи сейсмически активных зон.



5. Учитывая, что все АЭС расположены вблизи тектонических разломов, представляется разумным организовать нейтронный мониторинг вокруг АЭС с целью повышения их сейсмической безопасности.

### **Литература**

1. Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли//Физика Земли. – 1998. – № 7. – С. 85-90.
2. Шестопалов И.П., Рогожин Ю.А. Корреляция между микробиологической и сейсмической активностью с учетом взаимосвязей «Солнце-Земля» и генерации нейтронных потоков//Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005. – Т. 39. – № 3. – С. 20-26.
3. Solar-Geophysical Data, 1969-2003. <http://www.ngdc.noaa.gov>
4. <http://neic.usgs.gov>
5. <http://www.isc.uk>
6. Шестопалов И.П., Рогожин Ю.А. Способ оперативного прогнозирования землетрясений (получено решение о выдаче патента на изобретение 2005 г.).
7. Шестопалов И.П., Рогожин Ю.А. Устройство для регистрации нейтронного излучения в качестве предвестника землетрясений: Патент на полезную модель № 44835, 2005.
8. Шестопалов И.П., Рогожин Ю.А. Автоматизированная измерительно-информационная система для прогнозирования землетрясений: Патент на полезную модель № 46589, 2005.

Поступила в редакцию 13.02.2006

### **От редакции**

Доклад, по материалам которого публикуется статья, вызвал интерес на конференции необычностью постановки вопроса. Вообще говоря, материал статьи является дискуссионным. Многие положения слабо обоснованы, а некоторые просто предлагается принять на веру. Однако редколлегия после некоторых обсуждений решила ее опубликовать, исходя из тезиса: «А, вдруг, все правда?!»

The construction of the acoustic devices, computer programs, laboratory and testing unit experiments are described.

#### УДК 621.039.58

*Neutron Frecasting to Provide for Seismic Safety of NPP \ Yu.A. Rogozhin, I.P. Shestopalov; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 6 pages, 4 illustrations. – References, 8 titles.*

As it is known, various natural factors, in particular earthquakes, can render influence on NPP work. The data on seismic energy, allocated from the earthquake sources on all globe for the period with 1680 on 2004 in comparison to cycles of solar activity, are analyzed. The 11-year's cycles of seismic activity on the Earth are revealed. The cyclic changes of seismic activity with duration in three solar cycles and century cycles are marked out also. A correlation between solar and seismic activity mainly negative, but the correlation between them can be positive under influence of powerful solar proton events. The strongest earthquakes occur in the beginning of the century cycle. In the ninetieth years of the last century there has come a new century cycle, in which beginning, during several tens years, the strong seismic activity will be marked. It is shown, that the seismic activity is accompanied by burst of neutrons, that directly can influence on NPP work. A new approach to forecasting of earthquakes develops by means of neutron monitoring, that at the end promises to raise seismic safety of NPP.

#### УДК 623.454.862: 628.4.047

*Multi-Criteria Analysis for Evaluating the Radiological and Ecological Safety Measures in Radioactive Waste Management \ T.G. Sazykina, I.I. Kryshev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 7 pages, 2 illustrations, 3 tables. – References, 6 titles.*

A methodological approach is presented for multi-criteria evaluating the effectiveness of radiological and ecological safety measures in radioactive waste management. The approach is based on multi-criterial analysis with consideration of radiological, ecological, social, economical consequences of various safety measures. The practical application of the multi-criteria approach is demonstrated by the example of decision-making on the most effective actions for rehabilitation a water body contaminated with radionuclides.

#### УДК 621.039.512

*Temperature Effects Influence on Secondary Energy Distributions of Scattered Neutrons in the Resonance Region \ V.V. Kolesov, V.F. Ukraintsev; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 5 illustrations. – References, 5 titles.*

It is customary to neglect the effect of thermal motion (Doppler effect) and resonance behavior of the elastic scattering on the energy distribution of scattered neutrons in the resonance region. As has been shown early, instead of usual step-function for the energy distribution of scattered neutrons in the resonance region it needs to use more exact expression.

At this work we have researched the nuclei thermal motion and resonance behavior of the neutron elastic scattering influence on the energy distribution of scattered neutrons in the resonance region for a number of important nuclei, as  $^{238}\text{U}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{155}\text{Gd}$  and  $^{167}\text{Er}$ .

#### УДК 621.039.516.2

*The Assessment of Voce Coefficient for WWR-c Reactor \ O.Y. Kochnov, N.I. Ribkin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 4 illustrations. – References, titles.*

The air volume influence in WWR-c reactor core on the total reactivity was analyzed in this article. The experimental dates of voce coefficient depending on the air volume position inside reactor core was done.