

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

И.П. ШЕСТОПАЛОВ, канд. физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
Геофизический Центр РАН
Москва, Российская Федерация

E-mail: shest@wdcb.ru

Б.М. КУЖЕВСКИЙ

Е.П. ХАРИН

КОРРЕЛЯЦИЯ ПОТОКОВ НЕЙТРИНО С СЕЙСМИЧНО- СТЬЮ ЗЕМЛИ. ГИПОТЕЗА О ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НЕЙТРИНО В ПЕРИОД СИЛЬНЫХ ГЛУБИННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Исследовалась взаимосвязь между солнечной активностью, сейсмической активностью Земли и потоками нейтрино, зарегистрированными в хлор-аргоновом эксперименте за период 1970–1994 гг. Наблюдается отрицательная корреляция солнечной активности с сейсмичностью Земли и положительная корреляция между сейсмической активностью Земли и вариациями потока нейтрино. Делается вывод, что нейтрино, зарегистрированные в хлор-аргоновом эксперименте имеют не только солнечное, но и земное происхождение. Предлагается качественный механизм образования нейтрино в период сильных глубинных землетрясений.

Ключевые слова: солнечная активность, сейсмичность Земли, нейтрино в хлор-аргоновом эксперименте, корреляция.

I.P. SHESTOPALOV, Cand. of Phys.-Math. Sci-
ences, Leading Researcher
Geophysical Center of the RAS
Moscow, Russian Federation

E-mail: shest@wdcb.ru

B.M. KUZHEVSKY

E.P. KHARIN

CORRELATION FLOWS NEUTRINOS WITH SEISMICITY OF THE EARTH. THE HYPOTHESIS ON EDUCATION NEUTRINOS IN A PERIOD OF DEEP STRONG EARTHQUAKES

The correlation has been studied of solar activity, the seismic activity of the Earth and neutrino flux registered in Chlorine-Argon experiment during the time period of 1970–1994. An inverse correlation is noted between solar activity and the Earth's seismicity and direct correlation is revealed between the seismic activity of the Earth and neutrino flux variation. A conclusion has been made that the neutrinos registered in Chlorine-Argon experiment are not only of Solar but of terrestrial origin as well. A qualitative mechanism has been proposed of neutrino formation in deep strong earthquakes.

Key words: solar activity, the seismic activity of the Earth, neutrino flux registered in Chlorine-Argon experiment, correlation.

Введение

В наших исследованиях изучалась взаимосвязь сейсмической активности Земли с солнечной активностью [1...5]. В основе исследований лежит представление о сейсмичности как о части еди-

ного физического процесса в системе «Солнце–Земля». Предполагается, что Солнце, межпланетная среда, магнитосфера, ионосфера, атмосфера Земли и сама Земля с проходящими в ней процессами, приводящими к землетрясениям, представляют собой единую физическую систему.

Процессы в системе «Солнце–Земля» взаимосвязаны и от состояния каждого из составляющих этой системы зависят физические процессы на Земле. Было показано, что сейсмические явления определяются процессами как солнечного, так и земного происхождения. Земля обладает собственной активностью, проявлением которой являются тектонические, сейсмические и другие процессы [6...9]. Показано, что на Земле существуют 11-летние циклы сейсмической активности, которые имеют отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности (с циклами солнечных пятен). В этих работах также показано, что на протяжении 11-летнего солнечного цикла сейсмическая активность возрастает не только в периоды минимальной солнечной активности, но и после крупных солнечных вспышек, которые вызывают увеличение потоков протонов в межпланетном пространстве и на поверхности Земли. Обнаружена корреляция между энерговыделением в землетрясениях и величиной потока частиц, зарегистрированных нейтронными мониторами во время форбуш-понижений, связанных с крупными вспышками. Было высказано предположение, что нейтронные мониторы на Земле регистрируют частицы не только космического, солнечного, но и земного происхождения [1, 10].

В экспериментах, проводимых в 2009–2012 гг. одновременно в Москве в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) и на пункте комплексных наблюдений Камчатского филиала Геофизической службы РАН вблизи г. Петропавловск-Камчатский были зарегистрированы потоки нейтронов, связанные с землетрясением с магнитудой $M = 8,8$ в Чили 27 февраля 2010 г., вулканическим извержением в Исландии марте-апреле 2010 г., землетрясением магнитудой $M = 9$ в Японии 11 марта 2011 г., землетрясением магнитудой $M = 8,6$ в Индонезии 11 апреля 2012 г. На нашем приборном комплексе для регистрации нейтронов используются газоразрядные счетчики, наполненные газом гелий-3. Эти приборы регистрируют тепловые нейтроны, энергия которых составляет 0,025 эВ и быстрые нейтроны с энергией больше 2 МэВ. В данных событиях возрастания потоков частиц начинали наблюдаться за несколько месяцев до указанных событий. При этом происходило как непрерывно-монотонное увеличение потоков частиц, так и отдельные кратковременные возрастания с амплитудой по минутным данным в несколько тысяч, десятки и сотни тысяч процентов. Длительность этих всплесков составляла от нескольких минут до нескольких часов [5].

В настоящей работе показано, что вариации потока нейтрино, зарегистрированных в хлор-

аргоновом эксперименте коррелируют с энерговыделениями при глубинных землетрясениях. Предлагается и анализируется механизм, позволяющий дать качественное объяснение такой связи.

Анализ экспериментальных данных

Для изучения связи между солнечной активностью и сейсмичностью Земли проанализированы данные о сейсмической энергии, выделившейся из очагов землетрясений на всем земном шаре за период с 1968 по 1997 гг., которые сопоставлены с циклами солнечной активности.

С этой целью был создан каталог землетрясений с магнитудами $M_s \geq 6$ и $m_b \geq 5,5$. При составлении каталога использовались базы данных Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC, USGS) (<http://www.earthquake.usgs.gov/regional/neic/>); база Национального геофизического центра обработки данных (NGDC) (<http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>). Энергия землетрясений вычислялась по формуле: $\lg E = 11,8 + 1,5M_s$ для землетрясений, гипоцентры которых находятся на глубине меньше 100 км, и по формуле $\lg E = 5,8 + 2,4m_b$ – для глубин больше 100 км. Для характеристики солнечной активности использованы данные о числах Вольфа (<http://sidc.oma.be/sunspot-data/>). На рисунке 1 представлены среднегодовые значения чисел Вольфа (кривая *a*) и сейсмической активности Земли, определяемой по годовому энерговыделению за период с 1968 по 1997 гг. (кривая *b*).

Из рисунка 1 следует, что максимальное энерговыделение наблюдалось во время минимумов солнечной активности, т.е. в 1975, 1976, 1985, 1986 и 1995 гг. На рисунке 1 (кривая *b*) представлена зависимость энерговыделений в землетрясениях от чисел Вольфа. Коэффициент корреляции между ними составляет $r = -0,72$.

Таким образом, во временной зависимости годовых значений энерговыделений при землетрясениях существуют 11-летние циклы, которые имеют отрицательную корреляцию с солнечной активностью. В наземных и космических исследованиях на аппаратах «Пионер-10», «Пионер-11», «Вояджер-1» и «Вояджер-2» установлено, что тепловой поток, испускаемый крупными планетами – Юпитером, Сатурном, Нептуном, Ураном, а также Землей, превышает тепловое излучение, получаемое этими планетами от Солнца [6...9]. Это позволяет сделать вывод, что они обладают внутренними источниками энергии. При этом оказалось, что тепловой поток, наблюдаемый на поверхности Земли, невозможно объяснить только за счет радиоактивного распада элементов [6]. Ав-

торы работы [11] анализировали данные, собранные нейтринным детектором KamLAND на острове Хонсю в Японии. Японские и американские ученые под руководством доктора Итару Шимицу (Itaru Shimizu) из Университета Тохоку в Сендае при помощи нейтринного детектора вычислили количество тепла, которое выделяется из недр Земли в результате распада радиоактивных элементов. Этот процесс дает примерно 50 % от общего количества тепла, которое выделяет наша планета.

На рисунке 2 показана зависимость массасветимость для: а) следующих планет: Земля, Уран, Нептун, Сатурн, Юпитер; б) тех же планет и Солнца.

Функциональная зависимость светимости планет от их масс имеет следующий вид: $L = 0,79m^{1,6}$, для этих же планет и Солнца – $L = 0,08m^{2,4}$. Таким образом, светимость планет и Солнца пропорциональна массе в степени, превышающей единицу, т.е. имеет степенной вид. Вычислялась средняя относительная ошибка отклонения теоретического уровня от фактического: для планет она равна $\approx 30\%$, для планет и Солнца – $\approx 250\%$. Учитывая общее свойство стационарных звезд о функциональной зависимости светимости от

сделано предположение, что источник внутренней энергии планет такой же, как и у Солнца, т.е. термоядерные реакции. Существуют ли условия в ядрах планет, в том числе и Земли, для термоядерных реакций?

Планеты-гиганты содержат более 80 % водорода, так же как и Солнце [13]. Внутри Земли присутствует водород как в свободном, так и в связанном состоянии [14]. Таким образом, одно из условий для термоядерных реакций внутри Земли – наличие легких атомных ядер – возможно, выполняется. Очень высокими температуры в недрах планет быть не могут. Однако существуют теоретические работы, в которых показано, что имеется принципиальная возможность для термоядерных реакций при пониженных температурах [12, 15, 16]. Следовательно, в недрах планет могут возникать условия для термоядерных реакций и для генерации различных частиц, в том числе и нейтрино. Для регистрации солнечных нейтрино Б.М. Понтекорво в 1946 г. предложил хлор-аргоновый метод, осуществленный в 1967 г. в Брукхейвенской национальной лаборатории США под руководством Р. Дэвиса [17...19]. Для регистрации потоков нейтрино использовалась реакция $^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$, пороговая энергия нейтрино в

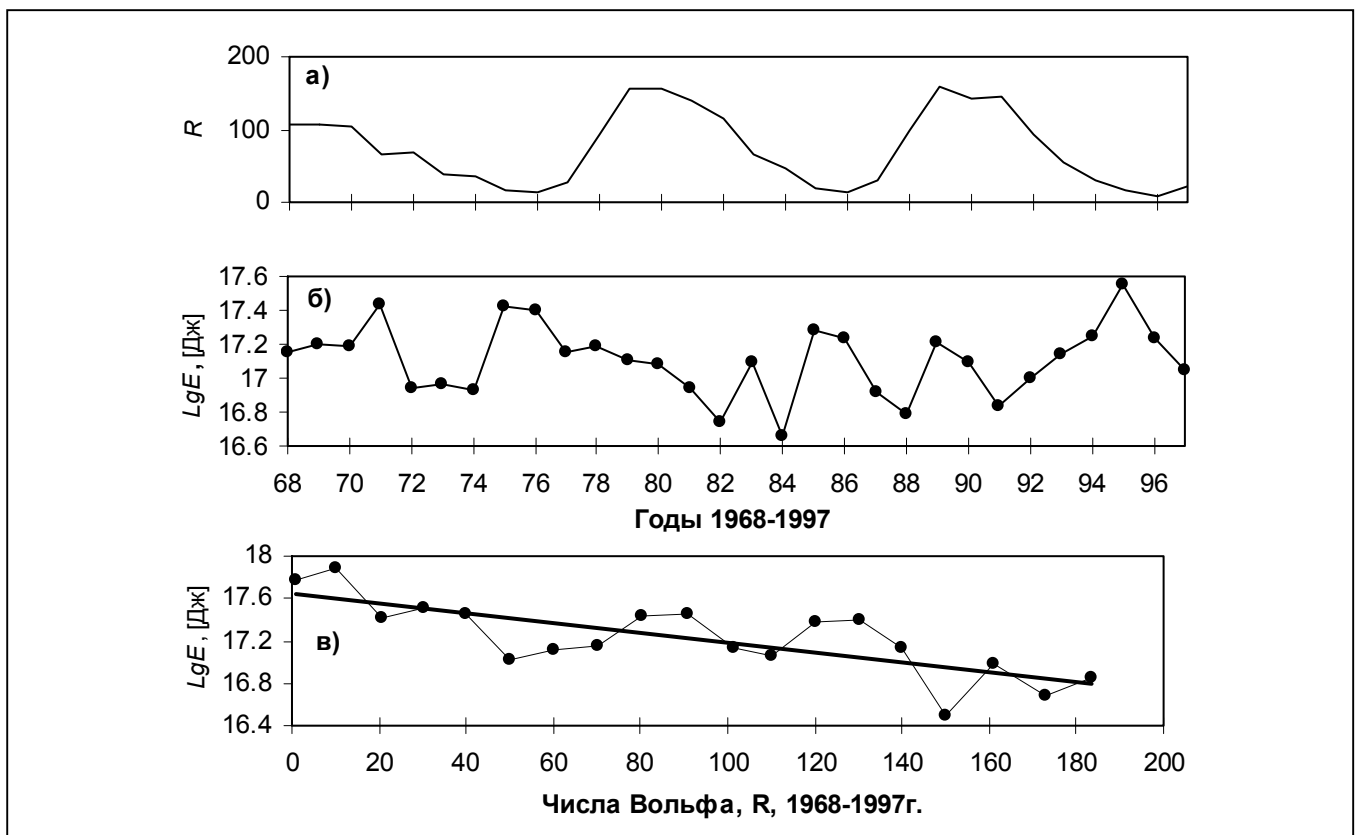


Рис. 1. Кривая а) – изменения среднегодовых значений чисел Вольфа; кривая б) – изменение сейсмической активности Земли, определяемой по годовому энерговыделению за период с 1968 по 1997 г.; кривая в) – зависимость энерговыделений в землетрясениях от чисел Вольфа.

массы (светимость звезд пропорциональна массе в степени, превышающей единицу) в работе [12]

которой – 0,8 МэВ. Для исключения фоновых ре-

акций, вызванных космическими лучами, мишень расположили на глубине 1490 м.

Результаты хлор-аргонового эксперимента были неожиданными для специалистов. Во-первых, измеренный поток нейтрино оказался ниже в несколько раз по сравнению с вычисленным для стандартной солнечной модели [18, 19]. Во-вторых, обнаружилось значительные его временные вариации, что также не соответствует этой модели.

В настоящее время расхождение между вычисленными и измеренными значениями объясняют свойствами нейтрино, в частности, нейтринными осцилляциями. Предполагается, что в потоке нейтрино, пересекающем магнитное поле на Солнце, левосторонние нейтрино могут переходить в правосторонние, которые не регистрируются хлор-аргоновым детектором [18...21]. При проведении различными авторами спектрального анализа были обнаружены квазипериодические изменения потока нейтрино от 4-х месяцев до ~ 11 лет [18...22]. Наибольшую амплитуду потоки нейтрино имеют в квазидвухлетних и ~ 11-летних периодах. Обнаружена также отрицательная корреляция между солнечной активностью (числами Вольфа) и потоками нейтрино [18, 19]. В ряде работ также было установлено, что крупные солнечные вспышки дают всплески нейтрино, которые проявляются в хлор-аргоновом детекторе необычно большими возрастаниями скорости счета [19]. Прежде всего это такие солнечные вспышки, в которых были генерированы протоны высоких энергий, наблюдавшиеся как в межпланетном пространстве, так

и на Земле. Однако не все такие вспышки вызвали большие всплески нейтрино.

Изучение временных вариаций потока нейтрино затруднено из-за больших погрешностей определения числа атомов ^{37}Ar в отдельных сеансах. Соотношение сигнал/шум для отдельных сеансов составляет $\sim 0,5 \pm 0,5$ атомов/сутки. При переходе к среднегодовым значениям соотношение сигнал/шум в среднем составляет $\sim 2,5$, если шум – среднее отклонение отдельного среднегодового значения от среднегодового, и $\sim 6,7$, если шум – среднеквадратическая погрешность определения среднегодового значения в предположении, что отклонения подчиняются гауссовому распределению. Кроме того, сглаживание среднегодовых значений интервалом в три года еще больше повышает достоверность данных хлор-аргонового эксперимента [23, 24]. Проводилось сравнение вариаций потоков нейтрино, полученных на американском хлор-аргоновом детекторе и японском детекторе Камиоканде-II, принципы действия которых различны. Оказалось, что изменения потоков нейтрино, зарегистрированных одновременно на обоих детекторах в 1987–1991 гг., близки. Таким образом, сомнения в реальности среднегодовых значений потока нейтрино данного эксперимента полностью снимаются [23, 24].

Анализ вариаций потока нейтрино указывает, что существует корреляция вариаций потоков нейтрино не только с солнечной активностью, но и сейсмичностью Земли [25]. На рисунке 3 (кривая б) показаны среднегодовые значения потоков нейтрино (скорости захвата нейтрино атомными

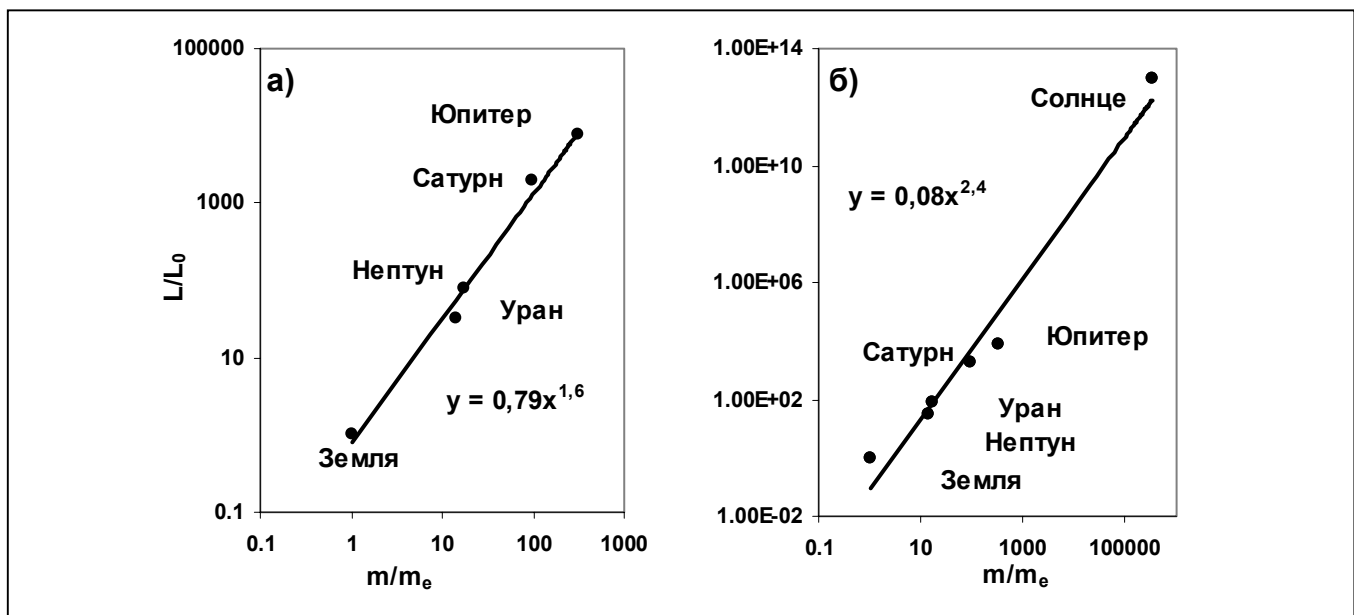


Рис. 2. Зависимость масса-светимость для: а) планет: Земля, Уран, Нептун, Сатурн, Юпитер, б) для планет и Солнца. По осям отложены светимости и массы, выраженные в земных единицах, т.е. M_0 и L_0 – масса и светимость Земли.

ядрами ^{37}Cl) за период с 1970 по 1994 г. [18, 19].

На рисунке 3 (кривая *в*) представлена зависимость потоков нейтрино от чисел Вольфа. Из рисунка видна отрицательная корреляция потоков нейтрино с солнечной активностью. Коэффициент корреляции между ними составляет $r = -0,76$.

Наибольшее число землетрясений происходит на глубине до 100 км. Поэтому кривая сейсмической активности, представленная на рисунке 1б, в основном определяется наиболее сильными землетрясениями, происходящими в земной коре на небольших глубинах. Нами проводилось исследование корреляции между потоками нейтрино и землетрясениями с магнитудами $M > 3$, эпицентры которых находились на различных глубинах. При анализе оказалось, что вариации потока нейтрино достаточно хорошо коррелируют с землетрясениями с $M > 5,5$, эпицентры которых находятся на глубине больше 400 км. На рисунке 4 показаны временные вариации среднегодовых значений потоков нейтрино и вариации числа землетрясений в год с магнитудой $M > 5,5$, эпицентры которых находились на глубине больше 400 км за период с 1970 по 1994 гг.

Между этими данными наблюдается положительная корреляция. Коэффициент корреляции вычисляли между сглаженными значениями потоков нейтрино и сглаженными значениями числа

землетрясений в год за весь период наблюдения и за отдельные циклы: в 1970–1994 гг., он составил $-r = 0,73$ (см. рис. 4в), в 1970–1980 гг., и в 1980–1994 гг. $-r = 0,73$ и $0,79$ соответственно (см. рис. 4з, д), при этом в последних двух случаях данные между нейтрино и землетрясениями сдвигались на один год.

Подход к объяснению механизмов генерации нейтрино

Существует естественный механизм, объясняющий наблюдаемую положительную корреляцию между вариациями потоков высокоэнергичных нейтрино и сейсмической активностью Земли. Бурно развивающиеся в 90-х годах исследования по низкотемпературному ядерному синтезу привели к выводу, что при растрескивании кристаллических сильно наводороженных структур, протекают многие ядерные реакции между легкими элементами с вылетом энергичных частиц: таких как γ -кванты, нейтроны, протоны и образованием ядер трития, изотопов гелия и других легких элементов [16]. Для наших целей важным оказался следующий результат. При наиболее эффективно протекающей реакции синтеза между ядрами изотопа водорода – дейтерия:

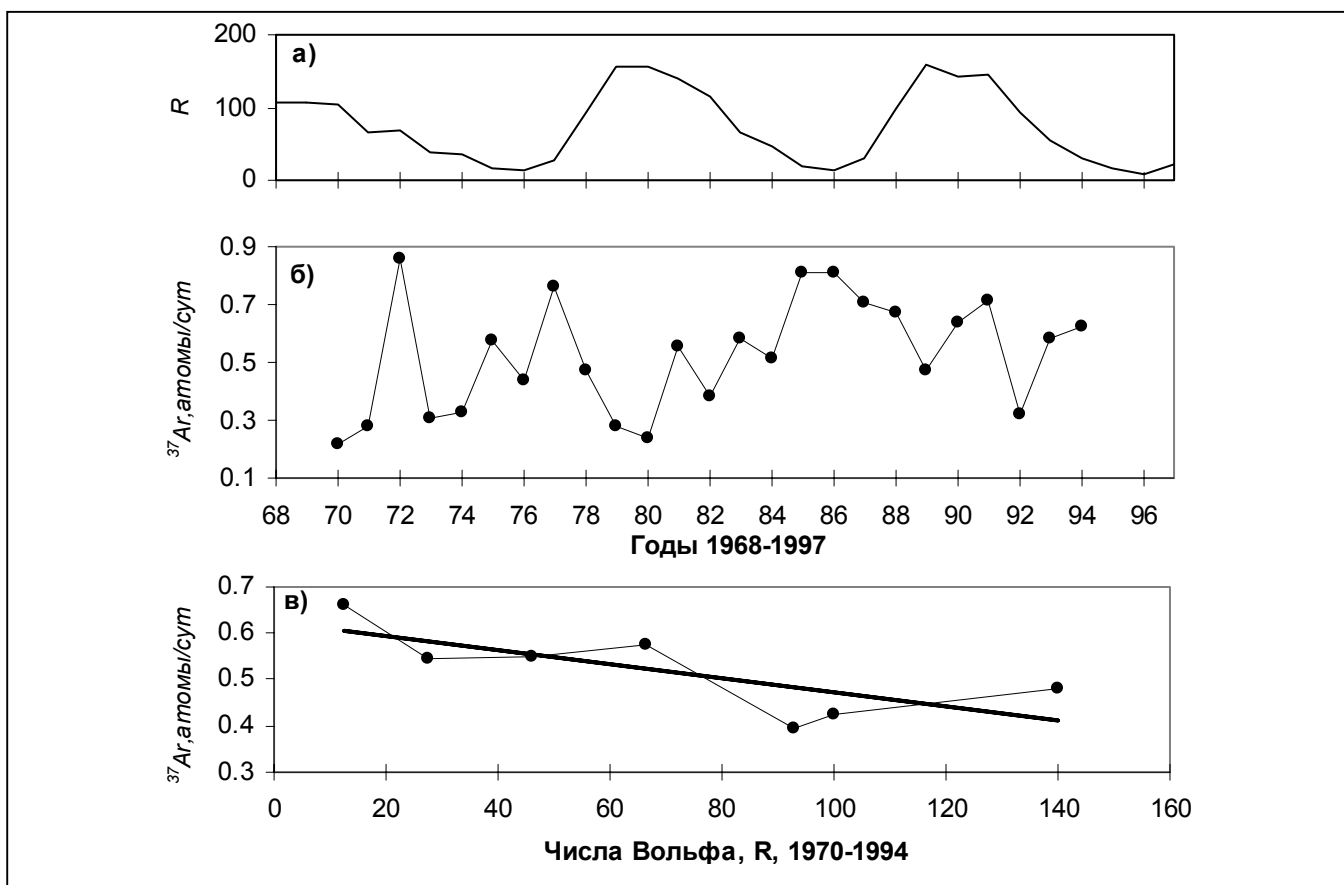


Рис. 3. Кривая а) – изменения среднегодовых значений чисел Вольфа; кривая б) – изменения среднегодовых значений потоков нейтрино (скорости захвата нейтрино атомными ядрами ^{37}Cl) за период с 1970 г. по 1994 г.; кривая в) – зависимость потоков нейтрино от чисел Вольфа.

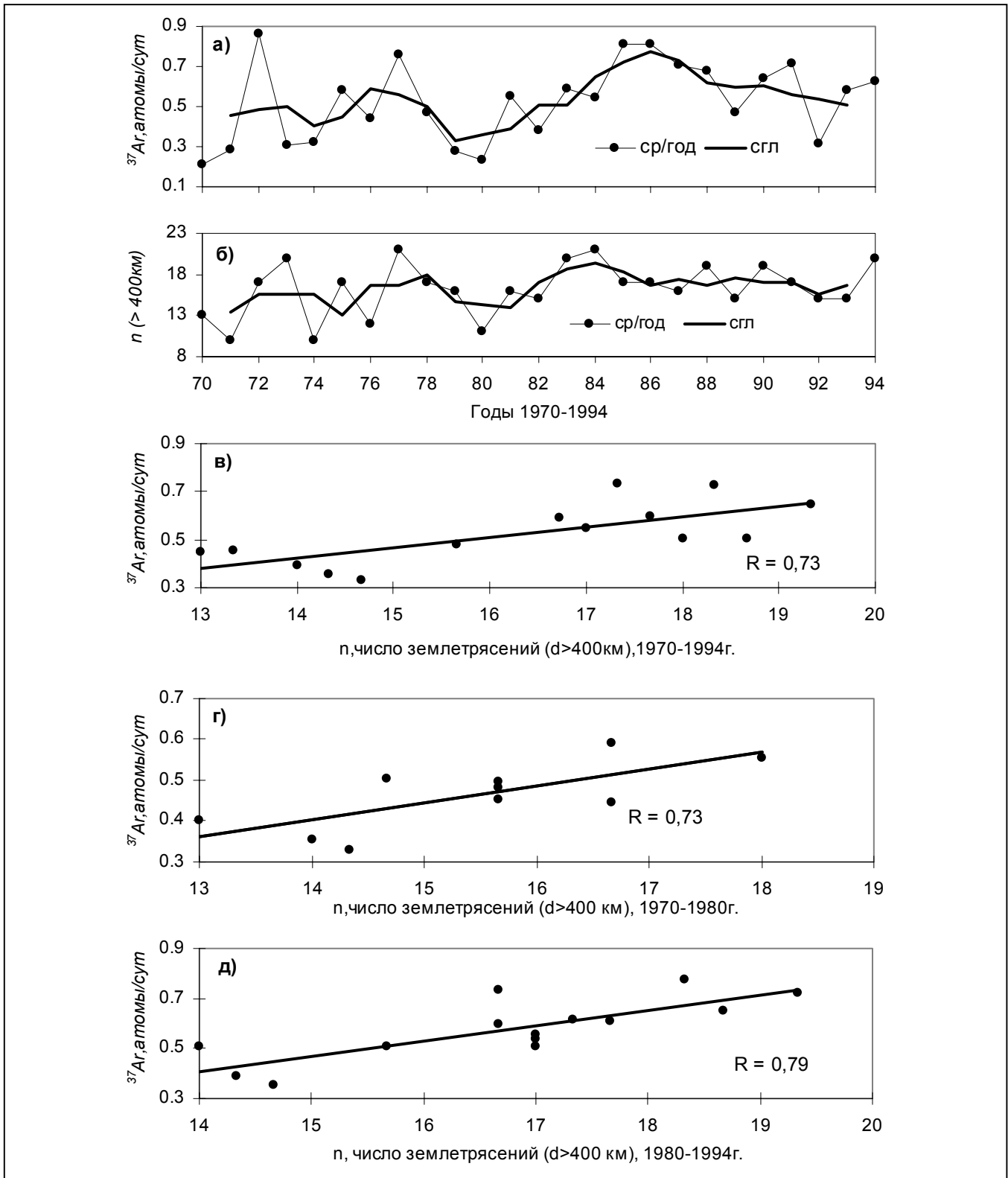
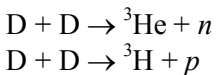


Рис. 4. а – изменения среднегодовых значений и сглаженных по трем значениям потоков нейтрино, б – изменения числа землетрясений в год с магнитудой $M > 5,5$, эпицентры которых находились на глубине больше 400 км (среднегодовые значения и сглаженные по трем значениям) за период с 1970 г. по 1994 г.; в, г, д – зависимость сглаженных значений потоков нейтрино от сглаженных значений числа землетрясений в 1970–1994, 1970–1980, 1980–1994 гг. соответственно.



(1)
(2)

реакция (2) на много порядков эффективнее реакции (1). Так, отношение выхода трития $\chi({}^3\text{H})$ к выходу нейтронов $\chi(n)$ составляет $\chi({}^3\text{H})/\chi(n) = 10^8$

[17]. При этом протоны, образующиеся в реакции (2) обладают энергией 3,03 МэВ.

В работе [26] посвященной анализу роли реакции:



в генерации высокоэнергичных нейтрино на Солнце во время вспышек, проведен расчет сечения данной реакции для энергии протонов от 50 кэВ до 30 МэВ. Для протонов с энергией порядка 3 МэВ, возникающих в реакции (2), сечение реакции (3), в которой генерируются энергичные нейтрино, равно $\sigma \approx 2 \times 10^{-46} \text{ см}^{-2}$.

Во время землетрясений возможно могут выполняться условия, необходимые для протекания реакций (2) и (3), в том числе и присутствие таких элементов как дейтерий и ${}^3\text{He}$ в области землетрясения [27]. В работах [28, 29], посвященных исследованию изотопного состава гелия в алмазных метаморфических породах Северного Казахстана, возникших вследствие палеоземлетрясений указывается на аномально высокие для алмазов концентрации изотопов гелия ${}^3\text{He}$ по отношению к ${}^4\text{He}$.

Естественно, что изложенный выше механизм образования высокоэнергичных нейтрино в земных условиях, позволяет только качественно объяснить обнаруженную корреляцию между сейсмической активностью Земли и вариациями потока нейтрино в хлор–аргоновом эксперименте.

Таким образом, возможно, что нейтрино в хлор–аргоновом эксперименте имеют не только солнечное, но и земное происхождение.

С учетом всего вышеизложенного предполагаемые нами термоядерные реакции в недрах Земли возможны.

Общие выводы

1. Тепловой поток, наблюдаемый на поверхности Земли, невозможно объяснить только за счет радиоактивного распада элементов. Возможно, что источник внутренней энергии планет Земной группы и Земли – такой же, как и Солнца, т.е. термоядерные реакции.

2. На Земле существуют 11-летние циклы сейсмической активности, которые имеют отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности (с циклами солнечных пятен). На протяжении 11-летнего солнечного цикла сейсмическая активность возрастает в периоды минимальной солнечной активности.

3. Циклы сейсмической активности Земли имеют положительную корреляцию с вариациями потока нейтрино, регистрируемых в хлор–аргоновом эксперименте.

4. Предложен механизм, позволяющий дать качественное объяснение обнаруженной корреляции сейсмической активности с вариациями потока высокоэнергичных нейтрино.

В заключении авторы приносят благодарность Б.М. Владимирскому, А.А. Конрадову, Ю.Р. Ривину, Г.А. Соболеву, О.Б. Хаврошкину, В.В. Цыплакову, В.П. Рудакову за обсуждение материалов и помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е. П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // *Физика Земли*. 1998. № 7. С. 85...89.
2. Шестопалов И.П., Харин Е.П. Изменчивость во времени связей сейсмичности Земли с циклами солнечной активности различной длительности // *Геофизический журнал*. 2006. Т. 28. № 4. С. 59...70.
3. 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.
4. Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П. О взаимосвязях эндогенной активности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // *ДАН*. 2009. Т. 428. № 1. С. 104...108.
5. Шестопалов И.П., Белов С.В., Соловьев А.А., Кузьмин Ю.Д. О генерации нейтронов и геомагнитных возмущениях в связи с Чилийским землетрясением 27 февраля и вулканическим извержением в Исландии в марте-апреле 2010 г. // *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2013. Т. 53. № 1. С. 130...142.
6. Pollack H.N., Hurter S.J., Johnson J.R. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set // *Reviews of Geophysics*. 1993. Vol. 31. № 3. P. 267...280.
7. Hanel R.A., Conrath B.J., Herath L. et al. Albedo, internal heat and energy balance of Jupiter: preliminary results of the Voyager infrared investigation // *J. Geophys. Res.* 1981. Vol. 86. P. 8705...8712.
8. Hanel R.A., Conrath B.J., Kunde V.G. et al. Albedo, internal heat flux, and energy balance of Saturn // *Icarus*. 1983. Vol. 53. P. 262...285.
9. Pollac J.B., Rages K., Baines K.H. et al. Estimates of the bolometric albedos and radiation balance of Uranus and Neptune // *Icarus*. 1986. Vol. 65. P. 442...466.
10. Кужевский Б.М., Петров В.М., Шестопалов И.П. О прогнозировании радиационной обстановки в межпланетном пространстве // *Космические исследования*. 1993. Т. 31. № 6. С. 89...103.
11. Shimizu I. Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements // *Nature Geoscience*. 2011. Vol. 4. P. 647...651.

12. Wang Hong-zhang. On the internal energy source of the large planets // *Chines Astron. Astrophys.* 1990. 14/4. P. 361...370.
13. Жарков В.Н. *Внутреннее строение Земли и планеты*. М.: Наука, 1983. 416 с.
14. Ларин В.Н. *Гипотеза изначально гидратной Земли*. М.: Недра, 1980. 210 с.
15. Wang Hong-zhang. An explanation for the solar neutrino problem. A new mechanism of thermonuclear reaction // *Solar Phys.* 1992. Vol. 140, P. 203...206.
16. Царев В.А. Низкотемпературный ядерный синтез // *УФН*. 1990. Т. 160. № 1. С. 1...53.
17. Понтекорво Б.М. Страницы развития нейтринной физики // *УФН*. 1983. Т. 160. С. 675...698.
18. Бакал Дж. *Нейтронная астрофизика*, перевод с англ. М.: Мир, 1993. 624 с.
19. Davis R.Jr. A review of measurement of the solar neutrino flux and their variation // *Nuclear Physics B. Taup 95. (Proc. Suppl.)*. 1996. Vol. 48. P. 284...295.
20. Sakurai K. Quasi-biennial periodicity in the solar neutrino flux and its relation to the solar structure // *Solar phys.* 1981. Vol. 74. P. 35...44.
21. Basu D. Solar neutrino and solar particles // *Solar phys.* 1982. Vol. 81. P. 363...365.
22. Raychaudhuri P. The solar neutrino data and 11-year solar activity cycle // *Solar Phys.* 1994. Vol. 93. P. 397...401.
23. Обридко В.Н., Ривин Ю.Р. Временные изменения потока нейтрино и магнитные поля Солнца // *Изв. РАН. Сер. физ.* 1995. Т. 59. № 9. С. 110...118.
24. Ривин Ю.Р., Обридко В.Н. Циклическое изменение потока высокоэнергичных нейтрино Солнца // *Астрономический журнал*. 1997. Т. 74. № 1. С. 83...92.
25. Shestopalov I.P., Kharin E.P., Kuzhevskii V.M. The relationships of the neutrino flux variations with solar activity and with seismicity of the Earth // *Geophysical Research Abstracts*, V., 2000, 25th General Assembly, ST 5, Nice, France, 25–29 April 2000.
26. Кужевский Б. М., Жусупов М. А., Узиков Ю. И. Реакция $p^3\text{He}$ и генерация нейтрино во время солнечных вспышек // *Материалы ежегодной конференции «Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра»*. Дубна: 1993. С. 3...5.
27. Perez N. M., Nakai S., Wakita H. et al. Helium-3 emission in and around Teide volcano, Tenerife, Canary Islands, Spain // *Geophys. Res. Letters*. 1996. Vol. 23. № 24. P. 3531...3538.
28. Шуколюков Ю.А., Плешаков А.М., Семенова Л.Ф. и др. Изотопный состав гелия в алмазносных метаморфических породах северного Казахстана // *Геохимия*. 1996. № 1. С. 22...35.
29. Блюман Б.А. Солнечный гелий и неон в алмазах, базальтах плюмов и горячих точек: возможное время и происхождение гетерогенности нижней и верхней мантии // *Геохимия*. 2003. № 3. С. 340...344.
- aktivnost' Zemli [Geoeffective solar flares and seismic activity of the Earth]. *Fizika Zemli* [Physics of the Earth]. 1998. № 7. P. 85...89.
2. Shestopalov I. P., Harin E. P. Izmenchivost' vo vremeni svyazej sejsmichnosti Zemli s ciklami solnechnoj aktivnosti razlichnoj dlitel'nosti. [Time Variations in the Relations between Seismicity of the Earth and Solar Activity Cycles of Different Duration]. *Geofizicheskij zhurnal* [Geophysical journal]. 2006. Vol. 28. № 4. P. 59...70.
3. Shestopalov I.P., Rogozhin Ju.A. Korreljacija mezhdu mikrobiologicheskoj i sejsmicheskoj aktivnost'ju s uchetom vzaimosvyazej «Solnce-Zemlja» i generacii nejtronnyh potokov [Correlation between Microbiological and Seismic Activity with Regard to the Solar–Terrestrial Coupling and Neutron Flux Generation]. *Aviakosmicheskaja i jekologicheskaja medicina* [Aerospace and Environmental Medicine]. 2005. Vol. 39. № 3. P. 20...26.
4. Belov S.V., Shestopalov I.P., Harin E.P. O vzaimosvyazjah jendogennoj aktivnosti Zemli s solnechnoj i geomagnitnoj aktivnost'ju [On the Interrelations between the Earth Endogenous Activity and Solar and Geomagnetic Activity]. *DAN* [Academy of Sciences reports]. 2009. Vol. 428. № 1. P. 104...108.
5. Shestopalov I.P., Belov S.V., Solov'ev A.A., Kuz'min Ju.D. O generacii nejtronov i geomagnitnyh vozrushhenijah v svyazi s Chilijskim zemletraseniem 27 fevralja i vulkanicheskim izverzheniem v Islandii v marte-aprele 2010g. [Neutron Generation and Geomagnetic Disturbances in Connection with the Chilean Earthquake of February 27, 2010 and a Volcanic Eruption in Iceland in March–April 2010]. *Geomagnetizm i ajeronomija* [Geomagnetism and Aeronomy]. 2013. Vol. 53. No. 1. P. 130...142.
6. Pollack, H. N., Hurter, S. J., Johnson, J.R. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. *Reviews of Geophysics*. 1993. Vol. 31. № 3. P. 267...280.
7. Hanel R. A., Conrath B. J., Herath L. et al. Albedo, internal heat and energy balance of Jupiter: preliminary results of the Voyager infrared investigation. *J. Geophys. Res.* 1981. Vol. 86. P. 8705...8712.
8. Hanel R. A., Conrath B. J., Kunde V. G. et al. Albedo, internal heat flux, and energy balance of Saturn. *Icarus*. 1983. Vol. 53. P. 262...285.
9. Pollac J. B., Rages K., Baines K. H. et al. Estimates of the bolometric albedos and radiation balance of Uranus and Neptune. *Icarus*. 1986. Vol. 65. P. 442...466.
10. Kuzhevskij V.M., Petrov V.M., Shestopalov I.P. O prognozirovanii radiacionnoj obstanovki v mezplanetnom prostranstve. [On Prediction of Radiation Conditions in the Interplanetary Space]. *Kosmicheskie issledovanija* [Space Activities]. 1993. Vol. 31. № 6. P. 89...103.
11. Shimizu I. Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements. *Nature Geoscience*. 2011. Vol. 4. P. 647...651.

REFERENCES

1. Sobolev G.A., Shestopalov I.P., Harin E.P. Geoeffektivnye solnechnye vspyshki i sejsmicheskaja

12. Wang Hong-zhang. On the internal energy source of the large planets. *Chines Astron. Astrophys.* 1990. Vol. 14. № 4. P. 361...370.
13. Zharkov V.N. Vnutrennee stroenie Zemli i planet [The inner structure of the Earth and planets]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1983. 416 p.
14. Larin V.N. *Gipoteza iznachal'no gidratnoj Zemli.* [The hypothesis of initially hydrate Earth]. M.: Nedra [Moscow: Publishing House «Subsoil»], 1980. 210 p.
15. Wang Hong- zhang. An explanation for the solar neutrino problem. A new mechanism of thermonuclear reaction. *Solar Phys.* 1992. Vol. 140, P. 203...206.
16. Carev V.A. Nizkotemperaturnyj jadernyj sintez [Low-temperature nuclear synthesis]. *UFN* [Physics-Uspekhi]. 1990. Vol. 160. № 1. P. 1...53.
17. Pontekorvo B.M. Stranicy razvitiya nejtrinnoj fiziki [Pages of neutrino physics development]. *UFN* [Physics-Uspekhi]. 1983. Vol. 191. P. 675...698.
18. Bakal Dzh. *Nejtrinnaja astrofizika* [Neutrino astrophysics]. Transl. from English. M.: Mir [Moscow: Publishing House «Peace»], 1993. 624 p.
19. Davis R.Jr. A review of measurement of the solar neutrino flux and their variation. *Nuclear Physics B. Taup 95.* (Proc. Suppl.). 1996. Vol. 48. P. 284...295.
20. Sakurai.K. Quasi-biennial periodicity in the solar neutrino flux and its relation to the solar structure. *Solar phys.* 1981. Vol. 74. P. 35...44.
21. Basu D. Solar neutrino and solar particles. *Solar phys.* 1982. Vol. 81. P. 363...365.
22. Raychaudhuri P. The solar neutrino data and 11-year solar activity cycle. *Solar Phys.* 1994. Vol. 93. P. 397...401.
23. Obridko V.N., Rivin Ju.R. Vremennye izmeneniya potoka nejtrino i magnitnye polja Solnca [Time variations of neutrino flux and magnetic fields of the Sun]. *Izv. RAN. Ser. fiz.* [Izv. RAS. Series Physics] 1995. Vol. 59. № 9. P. 110...118.
24. Rivin Ju.R., Obridko V.N. Ciklichesкое izmenenie potoka vysokojenergichnyh nejtrino Solnca [Cyclic variations of high-energy neutrinos flux of the Sun] *Astronomicheskij zhurnal* [Astronomical journal]. 1997. Vol. 74. № 1. P. 83...92.
25. Shestopalov I.P., Kharin E.P., Kuzhevskii B.M. The relationships of the neutrino flux variations with solar activity and with seismicity of the Earth. *Geophysical Research Abstracts*, 2000. Vol. 2. 25th General Assembly, ST 5, Nice, France, 25-29 April 2000.
26. Kuzhevskij B.M., Zhusupov M. A., Uzikov Ju. I. Reakcija r3Ne i generacija nejtrino vo vremja solnechnyh vspyshek [Reaction p³He and generation of neutrino in solar flares]. *Materialy ezhegodnoj konferencii «Jadernaja spektroskopija i struktura atomnogo jadra»* [Materials of annual conference «Nuclear spectroscopy and nucleus structure»]. Dubna, 1993. P. 3...5.
27. Perez N. M., Nakai S., Wakita H. et al. Helium-3 emission in and around Teide volcano, Tenerife, Canary Islands, Spain. *Geophys. Res. Letters.* 1996. Vol. 23. № 24. P. 3531...3538.
28. Shukoljukov Ju.A., Pleshakov A.M., Semenova L.F., et al. Izotopnyj sostav gelija v almazonosnyh metamorficheskikh porodah severnogo Kazahstana [Isotopic Composition of Helium in Diamond Bearing Metamorphic Rocks in Northern Kazakhstan]. *Geohimija* [Geochemistry]. 1996. № 1. P. 22...35.
29. Bljuman B.A. Solnechnyj gelij i neon v almazah, bazaltah pljumov i gorjachih tochek: vozmozhnoe vremja i proishozhdenie geterogenosti nizhnej i verhnej mantii [Solar Helium and Neon in Diamonds, Plume Basalts, and Hot Spots: The Possible Time and Origin of the Lower and Upper Mantle Heterogeneity]. *Geohimija* [Geochemistry]. 2003. № 3. P. 340...344.

Сведения об авторе

Шестопалов Игорь Павлович, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: shest@wdbc.ru

Геофизический центр РАН

119296, Москва, Российская Федерация, ул. Молодежная, 3

Information about author

Shestopalov Igor P., Cand. of Phys.-Math. Sciences, Leading Researcher

E-mail: shest@wdbc.ru

Geophysical Center of the RAS

119296, Moscow, Russian Federation, Molodezhnaya str., 3