

Current status of seismotectonic deformation of crust at Northern Tien Shan

¹Abakanov T., ²Sadykov A. a, ³Khachikyan G.

¹Institut of Seismology, Almaty, Kazakhstan. *E-mail:* seismolog@topmail.kz

²Institut of Seismology, Almaty, Kazakhstan. *E-mail:* aluadin@mail.ru

³Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan. *E-mail:* galina.khachikyan@gmail.com

Key words: solar cycles, seismic activity, seismotectonic deformation, the quality factor of the geological medium.

Abstract: It is shown that the strongest earthquakes in the Northern Tien Shan (Belovodsk, 1885, Verny, 1887, Chilic, 1889, and Kemin, 1911) occurred during the period of a long-term Gleissberg solar minimum, which lasted roughly from 1875 to 1930 years. The results are presented which confirm the response of characteristics of the Earth's crust in the northern Tien Shan (seismotectonic regime, the quality factor of the medium) to variations in solar activity. It is discussed the need to take into account account the variations in solar activity during the forecast of strong earthquakes in the Northern Tien Shan, especially in view of the fact that the current 24th solar cycle is a low-amplitude and is projected to be the beginning of a new long-term solar minimum, the same as the Gleissberg minimum.

УДК 550.348

Современное сейсмотектоническое состояние земной коры на Северном Тянь-Шане

Т.Д. Абаканов¹, А.Б. Садыкова², Г.Я. Хачикян³

¹директор, д.т.н., академик КазНАЕН, ТОО «Институт сейсмологии», Алматы

²заведующая лабораторией, д.ф.-м.н., ТОО «Институт сейсмологии», Алматы

³главный научный сотрудник, д.ф.-м.н., ДТОО «Институт ионосферы», Алматы

Ключевые слова: солнечные циклы, сейсмическая активность, сейсмотектоническая деформация, добротность геологической среды.

Аннотация: Показано, что сильнейшие землетрясения на Северном Тянь-Шане: Беловодское, 1885 г., Верненское, 1887 г., Чиликское 1889 г. и Кеминское, 1911 г. произошли в период долговременного солнечного минимума Гляйсберга, продолжавшегося примерно с 1880 по 1930 г. Приведены результаты, подтверждающие отклик характеристик земной коры на Северном Тянь-Шане (сейсмотектонический режим, добротность среды) на вариации солнечной активности. Обсуждается вопрос о необходимости учета вариаций солнечной активности при прогнозе сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня, особенно в связи с тем обстоятельством, что текущий 24-й солнечный цикл является низкоамплитудным и по прогнозам может быть началом нового длительного солнечного минимума, аналогичного минимуму Гляйсберга.

1. О периодичности в сейсмической активизации всей Земли и территории Северного Тянь-Шаня

В работе [1] отмечалось, что активизация сейсмичности Земли происходит неравномерно, а с чередованием более и менее активных периодов. Отмечено, что один из таких активных периодов наблюдался примерно с 1885 по 1925 гг., когда катастрофические землетрясения произошли в Италии, 1886 г.; Иране, 1895 г.; Мексике, 1891 г.; Китае, 1902 г.; Индии, 1905 г.; Чили, 1906 г.; Аляске, 1906 г.; Японии, 1923 г. В тот же период произошли сильнейшие землетрясения и на территории Северного Тянь-Шаня: Беловодское, 1885 г., $M=6.9$; Верненское, 1887 г., $M=7.3$; Чиликское, 1889 г., $M=8.3$; Кеминское, 1911 г., $M=8.2$. В [1] также замечено, что после 2000 года земной шар вновь вступил в фазу глобальной сейсмической активизации. Это подтверждает рисунок 1, где по данным глобального сейсмологического каталога, издаваемого Национальным Центром информации о землетрясениях (NEIC) Национальной геологической службы США [2] представлены даты и магнитуды 35 сильнейших землетрясений (с магнитудой по шкале Рихтера 8.0 и более), произошедших на Земле в 1973-2014 гг. Видно, что после 2000 года возросло как количество сильнейших землетрясений, так и их магнитуда. Наиболее сильными в этот период были землетрясения вблизи о. Суматра (26 декабря 2004 г., $M=9.1$), в Индонезии (27 февраля 2010 г., $M=8.8$) и Японии (11 марта 2011 г., $M=9.0$).

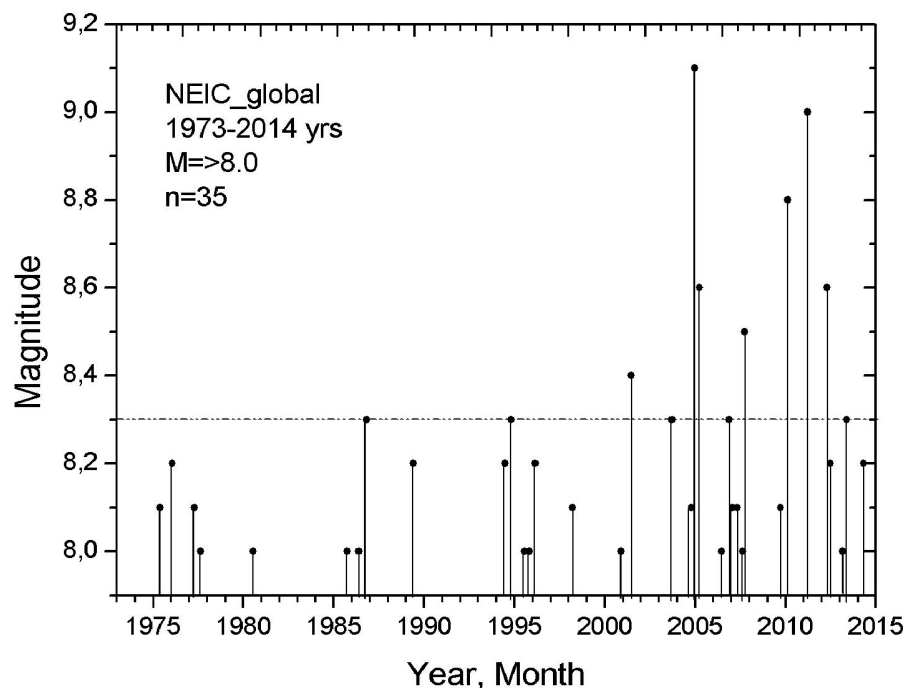


Рисунок 1 - Даты землетрясений с магнитудами $M \geq 8.0$, произошедших на Земле в период с 1973 по 2014 гг. по данным глобального каталога NEIC [2]

Количество жертв и экономический ущерб колоссальные, так только от одного землетрясения вблизи о. Суматра погибли сотни тысяч человек, а экономический ущерб только от одного землетрясения в Японии составил сотни миллиардов долларов США.

Поскольку сейсмическая активизация планеты в 1885-1925 гг. не обошла стороной и Северный Тянь-Шань, в результате чего трижды был разрушен г. Алматы (в 1887, 1889 и 1911 гг.), возникает настороженность относительно возможного в настоящее время повышения уровня сейсмичности на Северном Тянь-Шане, в связи с усилением глобальной сейсмичности (рисунок 1). Возникает вопрос: «Не существует ли некий физический фактор, поведение которого в настоящее время было бы идентичным тому, что имело место в 1885-1925 гг., и который можно было бы учесть при оценке современного уровня сейсмической угрозы на Северном Тянь-Шане?». В работе [3] было предложено рассмотреть в качестве такого фактора солнечную активность. Основанием для этого явились результаты статистических исследований, например [4-6], в которых установлена корреляция между вариациями солнечной активности, числом происходящих на планете землетрясений и выделяющейся при этом сейсмической энергии. Показано [4, 5], что связь

наблюдается в противофазе: число землетрясений возрастает примерно на 10-15% в годы низкой солнечной активности и примерно на 5% в годы высокой солнечной активности относительно среднего (умеренного) уровня солнечной активности, а величина выделяющейся на планете сейсмической энергии имеет максимум в годы низкой солнечной активности [5, 6]. Физический механизм солнечно-литосферных связей пока не разработан, однако вопрос этот уже активно обсуждается научной общественностью, что отражено, например, в обзорной статье [7], а также в работах [8-13].

На рисунке 2 черная кривая демонстрирует вариации уровня солнечной активности (среднегодового числа солнечных пятен) за период с 1750 по 2014 гг., а красные звездочки маркируют даты четырех сильнейших землетрясений на Северном Тянь-Шане: Беловодского, Верненского, Чиликского, и Кеминского.

Наиболее яркой особенностью в вариациях солнечной активности являются 11-ти летние солнечные циклы. За период инструментальных наблюдений за Солнцем идентифицировано 24 цикла (цифры в нижней части рисунка 2), к первому из которых относят цикл, начавшийся в 1755 г., а в настоящее время развивается 24-й цикл. Из рисунка 2 видно, что амплитуда солнечных циклов не постоянная и на рассмотренном промежутке времени самым высокоамплитудным был цикл №19 (максимум приходился на 1957- 1958 гг., со среднегодовыми числами солнечных пятен более 180). Одновременно с этим наблюдаются временные интервалы, когда солнечные циклы имеют маленькую амплитуду. Так, в литературе активно обсуждается солнечный минимум Маундера (1645-1715 гг), существование которого установлено по палеоданным, а за инструментальный период наблюдений (с 1750 г.) зафиксировано два продолжительных солнечных минимума – минимум Дальтона, середина которого пришлась примерно на 1813 г. (5-7 солнечных циклы), когда среднегодовое число солнечных пятен в максимумах циклов не превышало 50, и солнечный минимум Гляйсберга, середина которого пришлась примерно на 1910 г., при этом самыми низкоамплитудными были 12-й и 14-й циклы (среднегодовое число солнечных пятен не превышало 70). Красные звездочки на рисунке 2 показывают, что самые сильные землетрясения на Северном Тянь-Шане произошли как раз в период солнечного минимума Гляйсберга, при этом, сильнейшие события: Чиликское, 1889 г., $M=8.3$ и Кеминское, 1911 г., $M=8.2$, случились при абсолютно идентичных солнечных условиях – в период минимумов, завершающих низкоамплитудные 11-летние солнечные циклы с номерами 12 и 14.

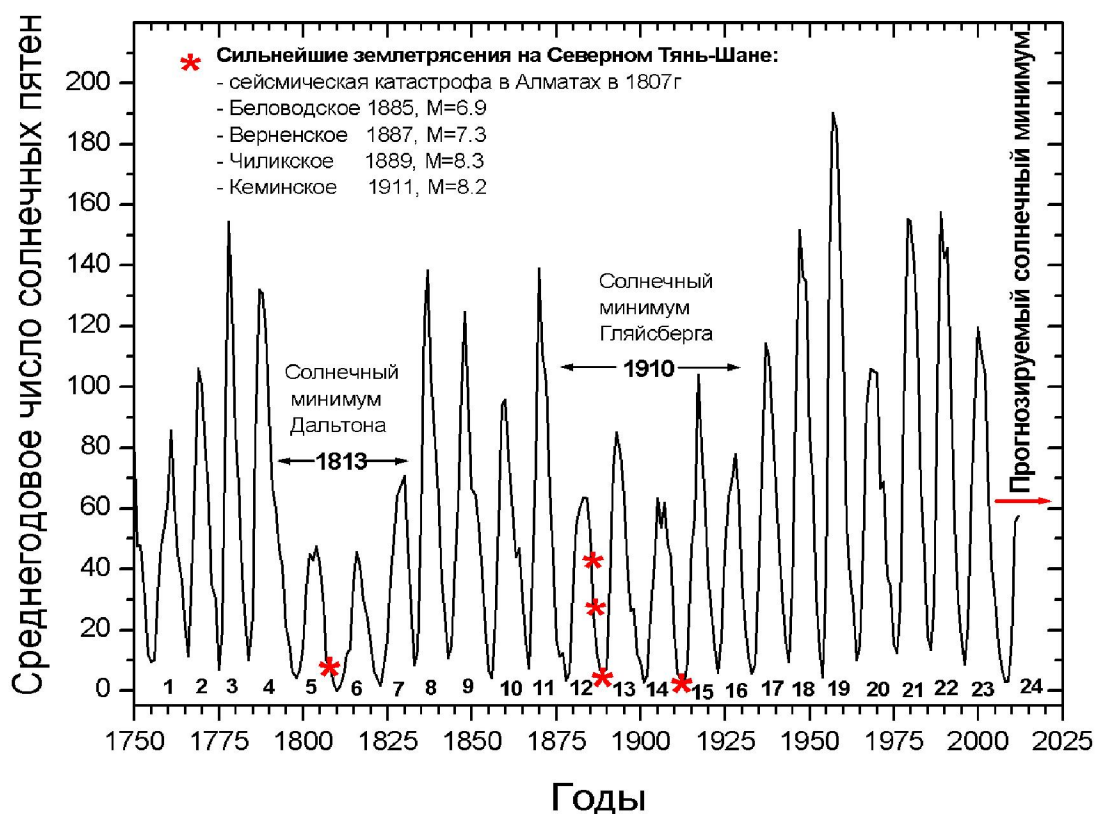


Рисунок 2 - Среднегодовые числа солнечных пятен за период 1750-2014 гг., звездочки маркируют даты четырех катастрофических землетрясений на Северном Тянь-Шане

Естественно, возникает вопрос: «А была ли сейсмичность высокой на Северном Тянь-Шане и в предыдущий солнечный минимум Дальтона, который продолжался примерно с 1790 по 1825 гг. и пик которого пришелся на 5-ый и 6-ой солнечные циклы?». Следует заметить, что подробные систематические сведения о землетрясениях на Тянь-Шане начинаются с описания Беловодской катастрофы 1885, но в исторической памяти людей сохранились сведения, например, (<http://www.ckgrt.ru/page/page59.html>), что в 1807 (примерно в середине минимума Дальтона) в районе г. Алматы произошла страшная сейсмическая катастрофа [14], отзвуки которой докатились до Кыргызстана. Об этом также упоминается в статье, размещенной на портале КазНТУ им. К.И. Сатпаева http://portal.kazntu.kz/files/publicate/2013-11-13-11621_0.pdf, где приведена фраза: «Мы практически ничего не знаем о землетрясении, разрушившем г.Алматы в 1807 г., кроме упоминания в каталоге И.В. Мушкетова и А.П. Орлова, составленном в 1893 г., о том, что "в 1807 году в Алматах произошла страшная катастрофа". Таким образом, не исключена возможность, что в период солнечного минимума Дальтона на территории Северного Тянь-Шаня также произошло катастрофическое землетрясение.

Текущий солнечный цикл (24-й) является самым слабым среди последних циклов, начиная с 15-го. Максимум 24-го цикла приходится на 2012, 2013 и 2014 годы, а среднегодовые числа солнечных пятен составляют: 57.7, 64.9 и 79.0, соответственно, что практически в два раза меньше, чем в максимуме предыдущего 23-го солнечного цикла. Международное сообщество ученых в области физики Солнца в настоящее время прогнозирует [15] начало очередного долговременного понижения солнечной активности, как это имело место в минимуме Гляйсберга. Это должно насторожить службы сейсмического прогноза для территории Северного Тянь-Шаня, поскольку катастрофические землетрясения, произошедшие здесь ранее, были приурочены именно к долговременным солнечным минимумам (Дальтона, Гляйсберга, рисунок 2). Вместе с тем, поскольку землетрясения являются сугубо внутриземными (тектоническими) явлениями, при их прогнозировании учитывают, прежде всего, состояние геологических, гидрогеофизических и электромагнитных параметров земной коры и верхней мантии, где формируются очаги землетрясений. В

этой связи, при использовании данных о солнечной активности для прогноза землетрясений желательно иметь информацию о том, как реагируют непосредственно характеристики земной коры на вариации солнечной активности. Для территории Северного Тянь-Шаня такая информация в некоторой мере уже получена, что представлено в следующем разделе.

2. О связи между вариациями характеристик солнечной активности и земной коры на Северном Тянь-Шане

В цикле работ [8-13] установлена связь между вариациями характеристик солнечной активности и земной коры на локальной территории Северного Тянь-Шаня (оконтурена красной линией на рисунке 3), расположенной в высокогорной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау, между Алматинской впадиной на севере и Иссыкульской – на юге, Аксайским и Тургенским разломами – на западе и востоке.

В этих работах [8-13] проанализированы данные о *механизмах очагов землетрясений*, которые можно рассматривать в качестве физико-математической модели, характеризующей сейсмическое событие в очаге. При построении механизма очага землетрясения используется картина полярности первых вступлений объемных сейсмических волн, записанных станциями региональных сетей. Механизм очага землетрясения отражает пространственную ориентацию осей главных напряжений: растяжения и сжатия, плоскостей разрывов и подвижек геологической среды. В зависимости от ориентации осей напряжений выделяется несколько режимов напряженного состояния среды. При горизонтальном растяжении и вертикальном сжатии (в механическом смысле) создаются условия растяжения, а доминирующим типом смещения геологической среды являются *сбросы*. При горизонтальном положении обеих осей доминирующим типом смещения являются *сдвиги*. При вертикальном растяжении и горизонтальном сжатии наблюдается режим сжатия, при котором доминирующим типом смещения являются *взбросы (надвиги)*.

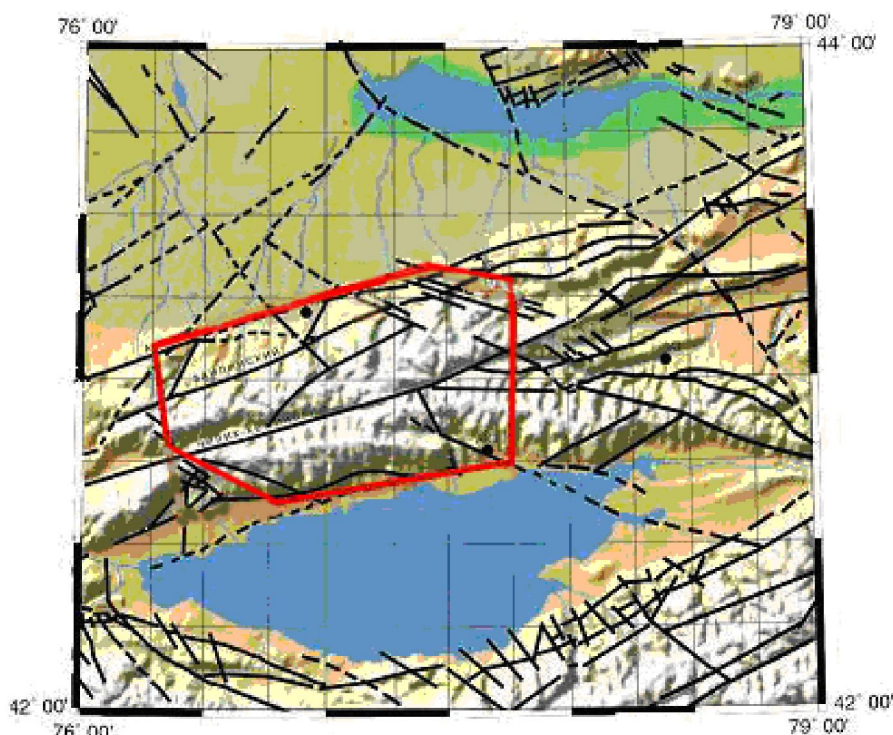


Рисунок 3 - Локальная территория на Северном Тянь-Шане (оконтурена красной линией), где выявлен отклик сейсмотектонической деформации земной коры на 11-летние вариации солнечной активности [9-13]

В 60-е годы XX века начал развиваться статистический подход, позволяющий перейти от смещений непосредственно в очаге (по месту разрыва сплошности) к деформации некоторого объема геологической среды [16]. Это положило начало надежно установившемуся в настоящее время мнению,

что совокупность очаговых подвижек обуславливает результирующую усредненную деформацию среды в регионе, названную *сейсмотектонической деформацией* – СТД. Расчет усредненного тензора деформаций проводится путем суммирования вклада каждого землетрясения, с учетом его сейсмического момента, в общую деформацию элементарного объема осреднения по выражению:

$$\bar{\varepsilon}_{ik} = \frac{1}{2mV} \sum_{n=1}^N M_0^n \varepsilon_{ik}^n,$$

где m – модуль сдвига; V – объем элементарной ячейки; M_0^n – значения сейсмического момента n -го землетрясения; ε_{ik}^n – компоненты единичного вектора фокального механизма; N – число землетрясений в элементарном объеме. В сейсмологическую практику введен коэффициент Лодде-Надаи, который определяет вид сейсмотектонической деформации и выражается через главные значения тензора деформации $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, следующим образом: $\mu = 2(\varepsilon_2 - \varepsilon_3) / (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) - 1$. В настоящее время принято, что коэффициент Лодде-Надаи, значения которого находятся в пределах от -1 до $+1$, выступает в качестве статистической характеристики и позволяет количественно выразить связь вида деформации с характером положения осей напряжений, а именно: $-0,3 < \mu < +0,3$ – соответствует деформированному состоянию сдвигового типа (в механическом смысле); $\mu \geq 0,3$ – соответствует одноосному сжатию; $\mu \leq -0,3$ – соответствует одноосному растяжению.

На рисунке 4 на верхней панели приведены среднегодовые числа солнечных пятен (W), а на нижней панели: цветные тонкие кривые – среднегодовые значения коэффициента Лодде-Надаи в каждой из 8 ячеек размером $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ на территории, выделенной на рисунке 3. Черная жирная кривая – значения коэффициента Лодде-Надаи, усредненные для 8 ячеек. Вверху и внизу показаны вектора главных напряжений для трех периодов низкой солнечной активности (вверху) и двух периодов высокой солнечной активности (внизу), красные – для напряжения сжатия (Р), синие – для напряжения растяжения (Т).

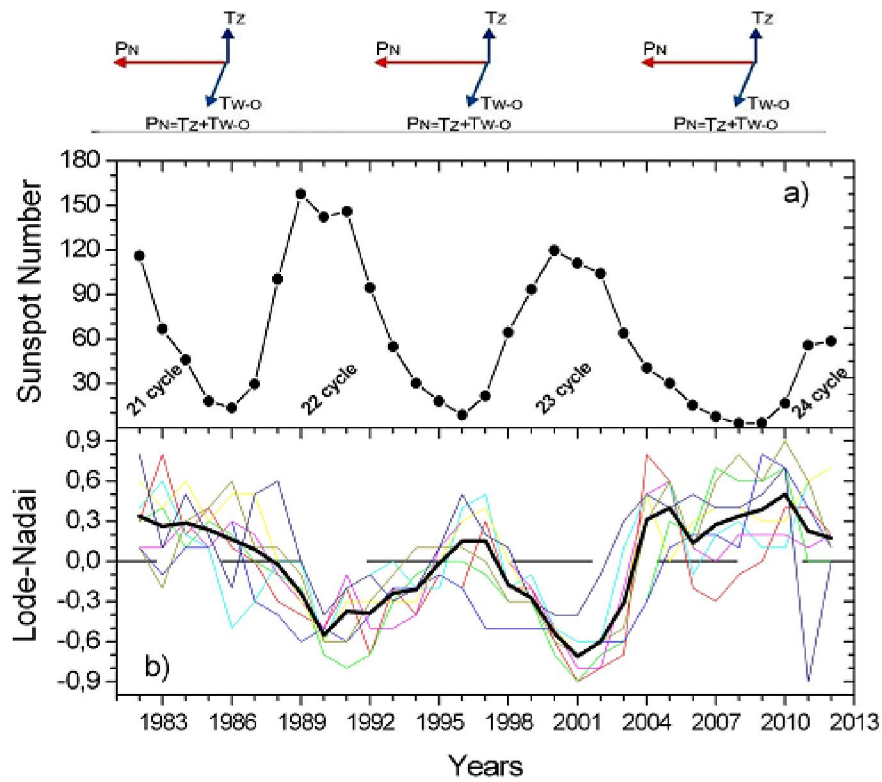


Рисунок 4 - Временное распределение среднегодовых чисел солнечных пятен (W) и значений коэффициента Лодэ-Надаи (μ)

Рисунок 5 демонстрирует более наглядно характер связи между среднегодовыми числами солнечных пятен и значениями азимута оси напряжения сжатия Az_p на исследуемой территории Северного Тянь-Шаня. Этот результат получен в работе [10] по данным только двух высокоамплитудных солнечных циклов (с 1982 по 2007 гг.). Видно, что в годы минимума солнечной активности значения Az_p концентрируются вокруг $0-360^0$ (ось сжатия ориентирована на север), а в годы максимума солнечной активности значения Az_p концентрируются вокруг 180^0 (ось сжатия ориентирована на юг).

В работе [12] было показано, что на вариации солнечной активности реагирует также добротность среды, изменение которой во времени связывают с миграцией в земной коре флюидов за счет изменения поля действующих напряжений [17]. Согласно [18], появление в геологической среде мягких включений (флюидов) может вызвать ее горизонтальное растяжение. На рисунке 6 сопоставлены вариации трех параметров: солнечной активности, коэффициента Лодэ-Надаи и добротности среды, рассчитанных по данным сейсмической станции Талгар, расположенной в пределах анализируемой территории.

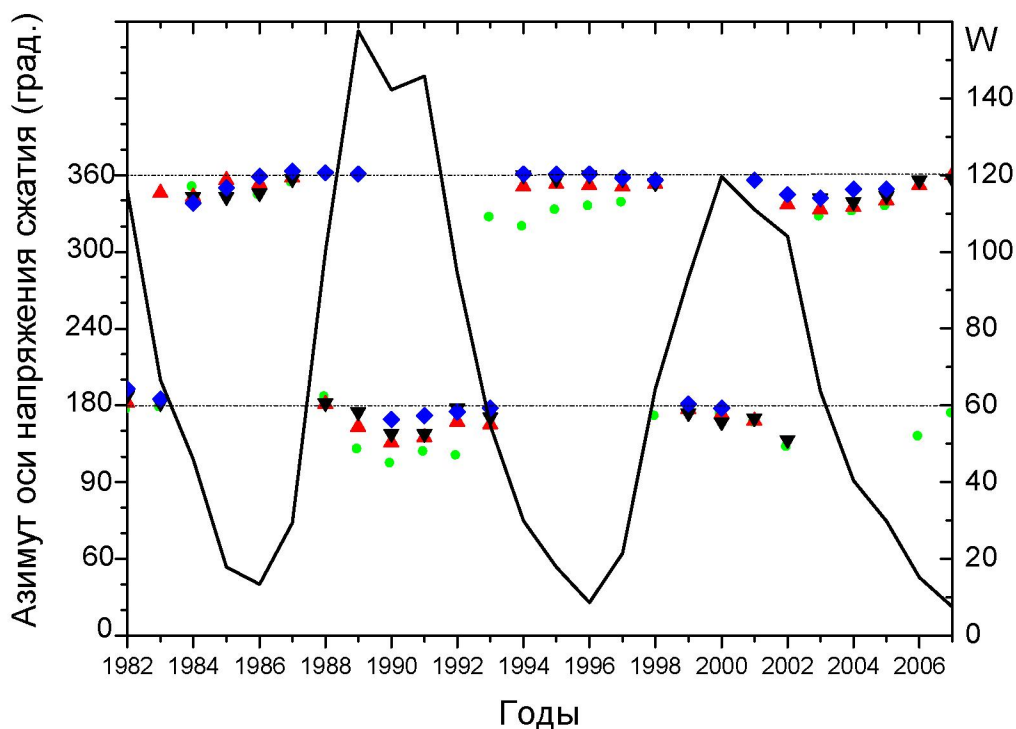


Рисунок 5 - Среднегодовые значения азимута оси напряжения сжатия в элементарных ячейках (цветные символы) в сопоставлении со среднегодовыми числами солнечных пятен (черная кривая) из работы [10]

Из рисунка 6 видно, что в год максимума солнечной активности (1990 г.) наблюдалось максимальное значение добротности среды (6в) и в это же время (6б) имела место деформация земной коры одноосным растяжением в вертикальном направлении, когда флюиды, в соответствии с [17], должны мигрировать из блока. При минимальных значениях добротности в 1983-1987 гг. и 1995 г., значения коэффициента Лоде-Надаи положительные, что говорит о деформации одноосного сжатия и сдвига при максимальном растяжении в горизонтальном направлении, при котором, в соответствии с [17], флюиды должны мигрировать внутрь рассматриваемого блока.

Детальный анализ строения литосферы на исследуемой территории в связи с ее реакцией на вариации солнечной активности был проведен в работах [8-13]. Показано, что здесь земная кора подстилается мощным слоем активной мантии (апикальной частью мантийного плюма). Объем горячей мантии прослеживается вглубь примерно до 280 км и подходит сюда с глубины более 300 км. В этой связи в работах [8-13] высказано предположение, что вариации солнечной активности могут первоначально влиять на активность мантийных плюмовых каналов, что затем отражается на вариациях деформационного и флюидного режимов территории.

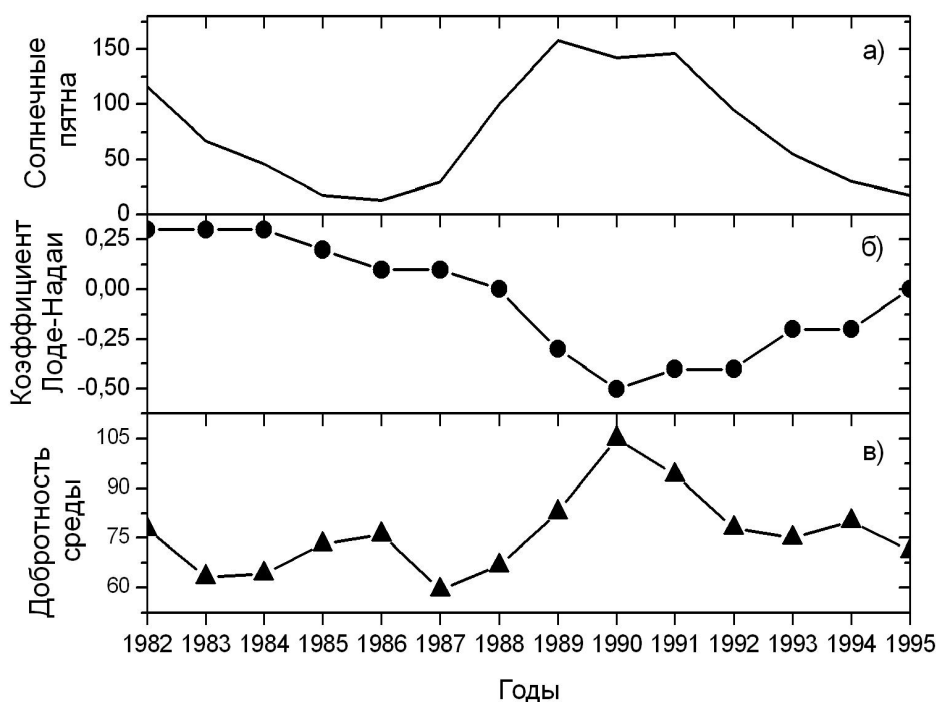


Рисунок 6 – Изменение в период с 1982 по 1995 гг. среднегодового числа солнечных пятен (а), коэффициента Лодэ-Надаи (б) и добротности среды (в) на исследуемой территории [12]

На рисунке 7 показано пространственное (площадное) распределение коэффициента Лодэ-Надаи (μ) на исследуемой территории для трех минимумов солнечной активности (1986, 1996 и 2007 гг.), когда среднегодовое число солнечных пятен составляло, соответственно, 13,4; 8,6; 2,9 и трех максимумов солнечной активности (1990, 2001 и 2013 гг.), когда среднегодовое число солнечных пятен составило 142,6, 119,6 и 64,9, соответственно.

Красным цветом указаны зоны деформации одноосного сжатия ($\mu \geq 0,3$), синим – деформации одноосного растяжения ($\mu \leq -0,3$), а желтым – зоны сдвиговых деформаций ($-0,3 < \mu < +0,3$). Из рисунка 7 видно, что в годы минимума солнечной активности (1986, 1996, 2007 гг.) вся исследуемая территория находилась в условиях одноосного сжатия, либо сдвига. В годы максимума солнечной активности (1990, 2001) тип деформирования изменился от одноосного сдвига до одноосного растяжения. Однако в период максимума низкоамплитудного 24-го солнечного цикла (2013 г.), когда среднегодовое число солнечных пятен не превысило 70, эта закономерность нарушилась, и исследуемая территория продолжает оставаться в режиме одноосного сжатия и сдвига, как это было характерно для лет минимумов солнечной активности (1986, 1996 и 2007 гг.).

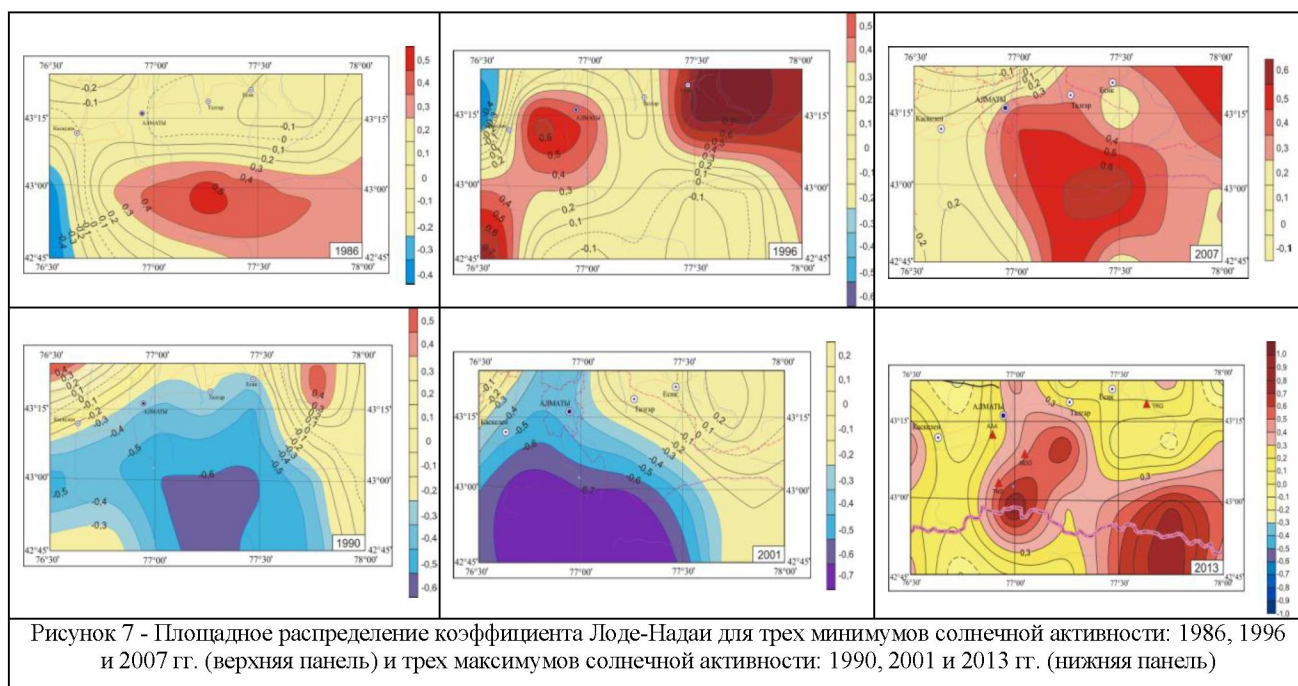


Рисунок 7 - Площадное распределение коэффициента Лодэ-Надаи для трех минимумов солнечной активности: 1986, 1996 и 2007 гг. (верхняя панель) и трех максимумов солнечной активности: 1990, 2001 и 2013 гг. (нижняя панель)

В настоящее время 24-й солнечный цикл достиг своего максимума и начинается фаза его спада и движение к минимуму, который можно ожидать в 2017-2018 гг. Поскольку для трех предыдущих 11-летних солнечных минимумов (1986, 1996 и 2007 гг. – верхняя панель на рисунке 7) на территории преобладал режим сжатия, такой же режим, очевидно, будет преобладать и в годы предстоящего солнечного минимума. В результате долговременного сжатия напряжение в данном регионе может достичь критического, с большой вероятностью его последующего мгновенного сброса (землетрясение). Возможность такого сценария не исключена, поскольку аналогичные события уже произошли в недалеком прошлом в годы минимумов солнечной активности, завершающих низкоамплитудные 11-летние солнечные циклы 12-й и 14-й (1807 г., Чиликское, Кеминское землетрясения).

Заключение

Анализ значений магнитуд сильнейших землетрясений, произошедших на территории Северного Тянь-Шаня в недалеком прошлом, а также режима сейсмотектонической деформации и добротности земной коры на данной территории в связи с вариациями солнечной активности в период 1982-2014 гг. показал:

- сильнейшие землетрясения региона – Чиликское, 1889 г. ($M=8.3$) и Кеминское 1911 г. ($M=8.2$) – произошли на фазе минимумов солнечной активности, причем, тех минимумов, которые завершали низкоамплитудные 11-летние солнечные циклы в долговременном солнечном минимуме Гляйсберга, продолжавшегося примерно с 1880 г. по 1930 г.;

- сейсмотектоническая деформация земной коры в центральной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау имеет тенденцию находиться в состоянии одноосного сжатия на фазе минимума 11-летнего солнечного цикла (ось сжатия ориентирована на север), но – одноосного растяжения на фазе максимума солнечного цикла (ось сжатия ориентирована на юг), а добротность среды увеличивается в годы максимума солнечной активности, когда преобладает режим сейсмотектонического растяжения, и уменьшается в годы низкой солнечной активности, когда преобладает режим сейсмотектонического сжатия. Однако, для текущего 24-го солнечного цикла, который является самым низкоамплитудным на протяжении последних более 80 лет, отмеченная закономерность нарушились и в годы максимума данного цикла (2012-2014 гг.) территория продолжает оставаться в режиме одноосного сжатия;

- земная кора исследуемой территории Северного Тянь-Шаня подстилается мощным слоем активной мантии (апикальной частью мантийного плюма), объем горячей мантии прослеживается вглубь примерно до 280 км и подходит сюда с глубины более 300 км, это позволяет предположить, что вариации солнечной активности первоначально влияют на активность мантийных плюмовых каналов, что затем отражается на вариациях деформационного и флюидного режимов территории;

- согласно долгосрочному прогнозу солнечной активности, текущий 24-й солнечный цикл может стать началом долговременного минимума солнечной активности, аналогичного минимуму Гляйсберга, ко времени которого были приурочены катастрофические землетрясения: Беловодское, Верненское, Чиликское и Кеминское, что следует принимать во внимание при прогнозе сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня.

Таким образом, сбор, обработка, анализ и интерпретация комплекса данных, показывающих соответствие между 11-летними вариациями солнечной активности и напряженно-деформированного состояния земной коры на локальной сейсмоопасной территории Северного Тянь-Шаня, представляющей наибольшую угрозу для г. Алматы, а также ретроспективные данные о приуроченности сильнейших землетрясений на этой территории к периоду долговременного минимума солнечной активности (минимума Гляйсберга) показывает, что вероятность возникновения сильного землетрясения на исследуемой территории в настоящее время возрастает и, начиная с 2016 года, будет весьма повышена.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Абаканов Т. Сейсмическая безопасность – составная часть национальной безопасности страны. http://www.seismology.kz/index.php?option=com_content&view=article&id=49%3A2012-07-02-09-14-47&catid=4%3Aright&lang=ru.
- [2] http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html
- [3] Хачикян Г.Я., Садькова А.Б., Полешко Н.Н. Вариации солнечной активности и сеймотектоническая активность Северного Тянь-Шаня. // Научный журнал-приложение международного журнала «Высшая школа Казахстана». Поиск-Izdenis. -2014, -№2(1). -С. 114-119.
- [4] Zhang, Gui-Qing. Relationship between global seismicity and solar activities Acta Seismologica Sinica, -Volume 11. - 1998. Issue 4, -pp.495-500.
- [5] Хачикян Г.Я., Садькова А.Б., Джанабилова С. Связь частоты повторяемости землетрясений и сейсмической энергии Земли с вариациями солнечной активности. // Научный журнал-приложение международного журнала «Высшая школа Казахстана». Поиск-Izdenis. -2014. - № 2. -С. 55-61.
- [6] Рогожин Ю.А., Шестопапов И.П. Вековые циклы сейсмичности Земли и сейсмическая безопасность АЭС. Атомная стратегия. -2007. -№ 29.
- [7] Жантаев Ж.Ш., Курманов Б.К., Хачикян Г.Я., Ким А.С., Жумабаев Б.Т. Литокосмическая погода: современное состояние проблемы // Геодинамика и солнечно-земные связи. Алматы. - 2013. -С. 20-39.
- [8] Абаканов Т., Ли А.Н., Полешко Н.Н., Садькова А.Б., Сыдыков А., Тимуш А.В., Хачикян Г.Я., Шацкилов В.И. Солнечная активность, космические лучи, глубинная геодинамика и поле сеймотектонических деформаций на Северном Тянь-Шане. Журнал проблем эволюции открытых систем. - 2007. -Вып. IX, -Т.1. -С.78-87.
- [9] Полешко Н.Н., Садькова А.Б., Сыдыков А., Тимуш А.В. Хачикян Г.Я., Шацкилов В.И. Вариации солнечной активности и сеймотектонические деформации на Северном Тянь-Шане: Часть 1. Коэффициент Луде-Надаи // Вестник НЯЦ РК. -2009. -Вып.1. -С. 86-92.
- [10] Полешко Н.Н., Садькова А.Б., Сыдыков А., Тимуш А.В. Хачикян Г.Я., Шацкилов В.И. Вариации солнечной активности и сеймотектонические деформации на Северном Тянь-Шане: Часть 2. Азимут оси напряжения сжатия // Вестник НЯЦ РК. -2009. -Вып.1. -С. 93-97.
- [11] Садькова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. Алматы: Хай Текнолоджи. 2012. 268 с.
- [12] Полешко Н.Н., Копничев Ю.Ф., Садькова А.Б., Хачикян Г.Я., Соколова И.Н. Сеймотектоническая деформация и добротность среды на Северном Тянь-Шане: связь с вариациями солнечной активности. Тезисы докладов пятого международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» к 75-летию со дня рождения Ю.А. Трапезникова. -Бишкек. -2011. -Том.1. -С. 272-275.
- [13] Тимуш А.В., Садькова А.Б., Степаненко Н.П., Хачикян Г.Я. Строение литосферы как фактор вариаций сеймотектонических деформаций в связи с солнечной активностью на Северном Тянь-Шане // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. -2013. -№1. -С. 55-66.
- [14] Новый каталог сильных землетрясений СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина. -М.: Наука, 1977. -535 с.
- [15] Feynman J., Ruzmaikin A. The Sun's strange behavior: Maunder minimum or Gleissberg cycle? // Solar physics. - 2011. -DOI 10.1007/s11207-011-9828-0. -P. 351-363.
- [16] Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. -М: Наука, 1985. -406 с.
- [17] Копничев Ю.Ф. Длиннопериодные временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в литосфере и астеносфере Северного Тянь-Шаня // Вулканология и сейсмология. -2001. -№ 3. -С.63-75.

[18] Дядьков П.Г., Назаров Л.А. Сейсмотектоническая активизация Байкальского региона в 1989-1995 годах: результаты экспериментальных наблюдений и численное моделирование изменений напряженно-деформированного состояния // Геология и геофизика. -Новосибирск: СО РАН. -1997. -Т.38. -№12. -С. 2001–2010.

REFERENCES

- [1] Abakanov T. Sejsmicheskaja bezopasnost' - sostavnaja chast' nacional'noj bezopasnosti strany. http://www.seismology.kz/index.php?option=com_content&view=article&id=49%3A2012-07-02-09-14-47&catid=4%3Aright&lang=ru.
- [2] http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html.
- [3] Hachikjan G. Ja., Sadykova A.B., Poleshko N.N. Variacii solnechnoj aktivnosti i sejsmotektonicheskaja aktivnost' Severnogo Tjan'-Shanja. *Nauchnyj zhurnal-prilozhenie mezhdunarodnogo zhurnala «Vysshaja shkola Kazahstana»*. *Poisk-Izdenis*. **2014**, №2(1). 114-119.
- [4] Zhang, Gui-Qing. Relationship between global seismicity and solar activities *Acta Seismologica Sinica*, Volume 11. **1998**. Issue 4, 495-500.
- [5] Hachikjan G.Ja., Sadykova A.B., Dzhanelilova S. Svjaz' chastoty povtorjaemosti zemletrjasenij i sejsmicheskoi jenergii Zemli s variacijami solnechnoj aktivnosti. *Nauchnyj zhurnal-prilozhenie mezhdunarodnogo zhurnala «Vysshaja shkola Kazahstana»*. *Poisk-Izdenis*. **2014**, № 2 . 55-61.
- [6] Rogozhin Ju.A., Shestopalov I.P. Vekovye cikly sejsmichnosti Zemli i sejsmicheskaja bezopasnost' AJeS. *Atomnaja strategija*. **2007**. № 29.
- [7] Zhantaev Zh.Sh., Kurmanov B.K., Hachikjan G.Ja., Kim A.S., Zhumabaev B.T. Litokosmicheskaja pogoda: sovremennoe sostojanie problem. *Geodinamika i solnechno-zemnye svyazi*. Almaty. **2013**. 20-39.
- [8] Abakanov T., Li A.N., Poleshko N.N., Sadykova A.B., Sydykov A., Timush A.V., Hachikjan G.Ja., Shacilov V.I. Solnechnaja aktivnost', kosmicheskie luchy, glubinnaja geodinamika i pole sejsmotektonicheskikh deformacij na Severnom Tjan'-Shane. *Zhurnal problem jevoljucii otkrytyh sistem*. **2007**. Vyp. IX, T.1. 78-87.
- [9] Poleshko N.N., Sadykova A.B., Sydykov A., Timush A.V. Hachikjan G.Ja., Shacilov V.I. Variacii solnechnoj aktivnosti i sejsmotektonicheskie deformacii na Severnom Tjan'-Shane: Chast' 1. Koefficient Lode-Nadai. *Vestnik NJaC RK*. **2009**. Vyp.1. 86-92.
- [10] Poleshko N.N., Sadykova A.B., Sydykov A., Timush A.V. Hachikjan G.Ja., Shacilov V.I. Variacii solnechnoj aktivnosti i sejsmotektonicheskie deformacii na Severnom Tjan'-Shane: Chast' 2. Azimut osi naprjazhenija szhatija. *Vestnik NJaC RK*. **2009**. Vyp.1. 93-97.
- [11] Sadykova A.B. Sejsmicheskaja opasnost' territorii Kazahstana. Almaty: Haj Teknologdži. **2012**. 268 s.
- [12] Poleshko N.N., Kopnichen Ju.F., Sadykova A.B., Hachikjan G.Ja., Sokolova I.N. Sejsmotektonicheskaja deformacija i dobrotnost' sredi na Severnom Tjan'-Shane: svjaz' s variacijami solnechnoj aktivnosti. *Tezisy dokladov pjatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Sovremennye problemy geodinamiki i geojekologii vnutrikontinental'nyh orogenov» k 75-letiju so dnja rozhdenija Ju.A. Trapeznikova*. Bishkek. **2011**. Tom.1. 272-275.
- [13] Timush A.V., Sadykova A.B., Stepanenko N.P., Hachikjan G.Ja. Stroenie litosfery kak faktor variacij sejsmotektonicheskikh deformacij v svyazi s solnechnoj aktivnost'ju na Severnom Tjan'-Shane // *Izvestija NAN RK. Serija geologii i tehniceskikh nauk*. **2013**. №1. 55-66.
- [14] Novyj katalog sil'nyh zemletrjasenij SSSR s drevnejshih vremen do 1975 g. Pod red. N.V. Kondorskoj i N.V. Shebalina. M.: Nauka, **1977**. 535 s.
- [15] Feynman J., Ruzmaikin A. The Sun's strange behavior: Maunder minimum or Gleissberg cycle? *Solar physics*. **2011**. DOI 10.1007/s11207-011-9828-0. 351-363.
- [16] Riznichenko Ju.V. Problemy sejsmologii. Izbrannye trudy. M: Nauka, **1985**. 406 s.
- [17] Kopnichen Ju.F. Dlinnoperiodnye vremennye variacii struktury polja pogloshhenija poperechnyh voln v litosfere i astenosfere Severnogo Tjan'-Shanja. *Vulkanologija i sejsmologija*. **2001**. № 3. 63-75.
- [18] Djad'kov P.G., Nazarov L.A. Sejsmotektonicheskaja aktivizacija Bajkal'skogo regiona v 1989-1995 godah: rezultaty jeksperimental'nyh nabljudenij i chislennoe modelirovanie izmenenij naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija. *Geologija i geofizika*. Novosibirsk: SO RAN. **1997**. T.38. №12. 2001–2010.

Солтүстік Тянь-Шань жер қыртысының қазіргі кездегі сейсмотектоникалық жағдайы
Абақанов Т. Д., Садықова А.Б., Хачикян Г.Я.

Аңдатпа: Солтүстік Тянь-Шаньда болған жойқын жерсілкіністері (Беловодский, 1885 ж., Верный, 1887 ж., Шелек 1889 ж., және Кемін, 1911 ж.) шамамен 1880 жылдан 1930 жылдар аралығында ұзақ мерзімді Гляйсберг күн минимумы кезеңінде болғаны көрсетілген. Күн белсенділігі вариациясы кезінде Солтүстік Тянь-Шань (сейсмотектоникалық режим, ортаның төзімділігі) жер қыртысында болатын өзгерістерді растайтын нәтижелер келтірілген. Қазіргі 24-ші күн циклі амплитудасының төмен болуы болжам бойынша Гляйсберг минимумына ұқсас жаңа ұзақ мерзімді күн минимумының басы болуы мүмкіндігіне орай Солтүстік Тянь-Шань территориясындағы күшті жер сілкіністерін болжауда күн белсенділігінің вариациясын ескеру жөніндегі мәселе талқылануда.

Кілттік сөздер: күн циклы, сейсмикалық белсенділік, сейсмотектоникалық деформация, геологиялық ортаның төзімділігі.

CURRENT STATUS OF SEISMOTECTONIC DEFORMATION OF CRUST AT NORTHERN TIEN SHAN

Abstract: It is shown that the strongest earthquakes in the Northern Tien Shan (Belovodsk, 1885, Verny, 1887, Chilic, 1889, and Kemin, 1911) occurred during the period of a long-term Gleissberg solar minimum, which lasted roughly from 1875 to 1930 years. The results are presented which confirm the response of characteristics of the Earth's crust in the northern Tien Shan (seismotectonic regime, the quality factor of the medium) to variations in solar activity. It is discussed the need to take into account the variations in solar activity during the forecast of strong earthquakes in the Northern Tien Shan, especially in view of the fact that the current 24th solar cycle is a low-amplitude and is projected to be the beginning of a new long-term solar minimum, the same as the Gleissberg minimum.

Keywords: solar cycles, seismic activity, seismotectonic deformation, the quality factor of the geological medium.

РЕФЕРАТ

Проведен обзор работ, выполненных в Казахстане в течение 2007-2014 гг. и направленных на изучение вариаций сейсмического режима, сейсмотектонической деформации и добротности земной коры на территории Северного Тянь-Шаня в связи с вариациями солнечной активности. Показано, что произошедшие здесь в недалеком прошлом сильнейшие землетрясения (Беловодское, 1885 г., $M=6.9$; Верненское, 1887 г., $M=7.3$; Чиликское, 1889 г., $M=8.3$ и Кеминское, 1911 г., $M=8.2$) были приурочены к периоду долговременного солнечного минимума Гляйсберга, продолжавшегося примерно с 1880 г. по 1930 г. При этом, сильнейшие события, Чиликское и Кеминское, произошли при весьма идентичных солнечных условиях – в годы минимумов солнечной активности, завершающих низкоамплитудные 11-летние циклы 12-й и 14-й, соответственно. Приведены результаты, подтверждающие отклик характеристик сейсмотектонической деформации и добротности земной коры региона на вариации солнечной активности. Показано, что текущий 24-й солнечный цикл также является низкоамплитудным и по прогнозам может стать началом долговременного минимума солнечной активности, аналогичного минимуму Гляйсберга. Обсуждается вопрос о необходимости учета вариаций солнечной активности при прогнозе сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня.

SUMMARY

A review of work performed in Kazakhstan during 2007-2014, which aimed to study the variations of seismic regime, seismotectonic deformation and the quality factor of the Earth's crust in the northern Tien Shan in connection with variations in solar activity is presented. It is shown that the strongest earthquake in Northern Tien-Shan (Belovodsk, 1885. $M=6.9$; Verny, 1887. $M=7.3$; Chilic, 1889. $M=8.3$; and Kemin, 1911. $M=8.2$) have been dated to the period of a long-term Gleissberg solar minimum, which lasted roughly from 1880 to 1930. In this case, the strongest events: Chilic and Kemin occurred under very similar solar conditions – in the final years of solar minimums for low-amplitude 11-year solar cycles of the 12th and 14th, respectively. The results are presented which confirm the response of characteristics of the Earth's crust in the Northern Tien Shan (seismotectonic regime, the quality factor of the medium) to variations in solar activity. It is shown that the current 24th solar cycle is also a low-amplitude and projected could be the beginning of a long-term solar activity minimum, the same as the Gleissberg minimum. The question of the need to take account the variations in solar activity during the forecast of strong earthquakes in the Northern Tien Shan is discussed.

Сведения об авторах:

статья – «**СОВРЕМЕННОЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ**»

Абаканов Танаткан Доскараевич – доктор технических наук, академик НАЕН РК, директор, ТОО «Институт сейсмологии», 050060, Алматы, пр. Аль-Фараби, 75а,

т. 8 (727)269-46-14, факс: 8 (727)269-46-23, *E-mail* seismolog@topmail.kz

Садькова Алта Байсымаковна – доктор физико-математических наук, доцент, заведующая лабораторией региональной сейсмичности, ТОО «Институт сейсмологии», 050060, Алматы, пр. Аль-Фараби, 75а, Казахстан. т. 8 (727)269-45-56, *E-mail* aludain@mail.ru

Хачикян Г.Я. – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ДТОО «Институт Ионосферы» АО НЦКИТ, Алматы, *E-mail* galina.khachikyan@gmail.com

Поступила 11.03.2015 г.