

УДК 550.34.09

**ВАРИАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ И ДЖУНГАРИИ: СВЯЗЬ С 22 ЛЕТНИМ ЦИКЛОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ СОЛНЦА**<sup>1)</sup> Полешко Н. Н., <sup>2)</sup> Досайбекова С., <sup>3)</sup> Хачикян Г. Я.<sup>1)</sup> *Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*<sup>2)</sup> *Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция, Алматы, Казахстан*<sup>3)</sup> *Институт ионосферы. Национальный центр космических исследований, Алматы, Казахстан*

По данным о механизмах очагов землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии за 1969–2015 гг. изучены временные вариации отношения количества землетрясений со «взбросовым» типом механизма к количеству всех событий ( $N_b/N_o$ ). Показано, что в целом в регионе преобладает взбросовый тип механизмов, что свидетельствует о преобладании режима горизонтального сжатия земной коры. Исключением явились 1975, 1994 и 2015 гг., когда в регионе преобладали землетрясения со сбросовым типом механизма – свидетельство преобладания режима горизонтального растяжения земной коры. Установлено, что именно в эти «аномальные» годы напряженность общего магнитного поля Солнца была экстремальной, причем, поле имело положительную полярность в северном солнечном полушарии и отрицательную – в южном, чередующуюся с периодом ~22 года (цикл Хейла).

**ВВЕДЕНИЕ**

В цикле работ [1–5], выполненных по представительному ряду данных о механизмах очагов землетрясений, была установлена связь между 11 летними вариациями характеристик солнечной активности и сейсмотектонической деформацией земной коры на локальной территории Северного Тянь-Шаня, расположенной в высокогорной части хребтов Заилийский и Кунгей Алатау (между Алматинской впадины на севере и Иссыкульской – на юге, Аксайским и Тургенским разломами – на западе и востоке). В этом районе земная кора подстилается мощным слоем активной мантии (апикальная часть мантийного плюма), объем горячей мантии прослеживается вглубь примерно до 280 км и подходит сюда с глубины более 300 км [5]. Обнаружено также [4], что в этом районе на вариации солнечной активности реагирует и добротность среды, изменение которой во времени связывают с миграцией в земной коре флюидов за счет изменения поля действующих напряжений [6]. Высказано предположение [1, 5], что вариации солнечной активности первоначально влияют на активность мантийных плюмовых каналов, что затем отражается на вариациях деформационного и флюидного режимов территории. В данной статье проанализированы вариации среднегодовых значений параметра  $N_b/N_o$  – отношения количества взбросовых типов механизмов очагов ( $N_b$ ) к общему числу механизмов ( $N_o$ ), за период 1969–2015 гг. Показано, что в целом на территории Северного Тянь-Шаня преобладают взбросовые типы механизмов, что свидетельствует о преобладании здесь горизонтального сжатия земной коры, характерного для всего региона Средней Азии. Вместе с тем, обнаружено три временных интервала, центрированных относительно 1974–1976 гг., 1994 г. и 2013–2015 гг., когда на территории хребтов Северного Тянь-Шаня, а также Джунгарии, преобладал сбросовый тип механиз-

мов очагов, что говорит о преобладании в эти годы условий горизонтального растяжения земной коры. Показано, что отмеченным трем временным интервалам сопутствовали однотипные условия в общем магнитном поле Солнца. А именно, в эти периоды напряженность магнитного поля Солнца была максимально повышена, причем в его северном полушарии полярность поля была положительной, а в южном – отрицательной, что чередуется с квазипериодом порядка 22-ух лет [7]. Этот результат дополняет и расширяет результаты предыдущих работ [1–5], показывая, что сейсмотектонические условия на территории Северного Тянь-Шаня реагируют не только на 11 летний цикл солнечных пятен (цикл Шваббе), но и на 22-ух летний магнитный цикл Солнца (цикл Хейла).

**ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Исследования проведены для территории, ограниченной координатами  $41^{\circ}30'–46^{\circ}00'$  с.ш.,  $73^{\circ}00'–82^{\circ}00'$  в.д., в том числе, отдельно для трех сейсмоактивных областей: 1) хребет Терской Алатау  $41^{\circ}30'–42^{\circ}30'$  с.ш.,  $75^{\circ}00'–79^{\circ}00'$  в.д.; 2) хребты Заилийский-Кунгей Алатау  $42^{\circ}30'–43^{\circ}30'$  с.ш.,  $75^{\circ}00'–79^{\circ}00'$  в.д.; 3) хребты Жонгарского Алатау  $43^{\circ}30'–46^{\circ}00'$  с.ш.,  $77^{\circ}00'–82^{\circ}00'$  в.д. Эта территория в целом находится в условиях горизонтального сжатия, характерного для всей Центральной Азии. Пространственная структура сейсмичности на данной территории связана с главной системой разрывов субширотного простирания [8, 9]. Исследования проведены по данным о механизмах очагов землетрясений за 1969–2015 гг. (>10000 событий). Механизмы очагов определялись в рамках модели двойного диполя по первым вступлениям продольных и поперечных волн с использованием программы Ма-саки Накамуры [10]. Сведения о первых вступлении-

**ВАРИАЦИИ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СЕВЕРНОМ ТЯНЬ-ШАНЕ И ДЖУНГАРИИ:  
СВЯЗЬ С 22 ЛЕТНИМ ЦИКЛОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ СОЛНЦА**

ях волн получены по записям землетрясений на станциях сейсмических сетей Казахстана и Кыргызстана. Пространственное расположение сейсмических станций обеспечивает надежное определение механизмов очагов для 70% землетрясений 7–8 энергетического класса и 100% для землетрясений с  $K \geq 9$ . Для примера, на рисунке 1 показано пространственное расположение эпицентров землетрясений с разными типами механизмов очагов (взброс, сброс, сдвиг).

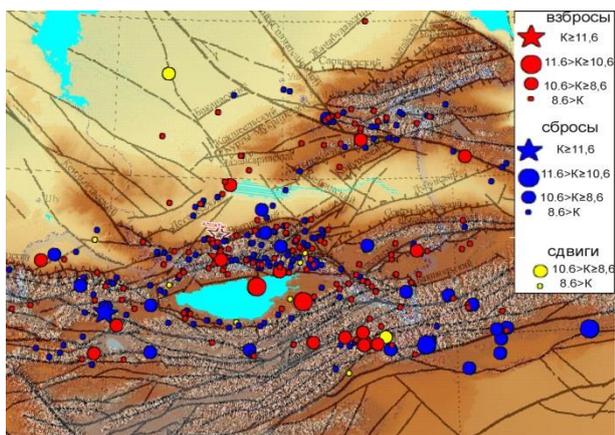


Рисунок 1. Схема сейсмоактивных разломов на территории северного Тянь-Шаня и Джунгарии и эпицентры землетрясений с разным энергетическим классом и разным типом механизма очага за 2015 г.

Для исследования временных вариаций механизмов очагов проанализированы изменения в 1969–2015 гг. среднегодовых значения параметра  $N_b/N_o$

для всего региона и отдельно для трех, вышеназванных сейсмоактивных зон (рисунок 2).

При значениях  $N_b/N_o$  выше 50% на территории преобладают очаги землетрясений со взбросовой подвижкой, а ниже 50% – со сбросовой подвижкой. Из рисунка 2 видно, что для большего периода времени среднегодовые значения  $N_b/N_o$  превышали 50%, как для всего региона, так и для отдельных сейсмоактивных зон, что свидетельствует о преобладании в регионе, в целом, условий горизонтального сжатия земной коры. Однако, довольно четко выделяются три временных интервала (вблизи 1974–1976 гг., 1994 г. и 2013–2015 гг.), когда среднегодовые значения  $N_b/N_o$  были ниже 50%, а в отдельных зонах понижались до 25%, 45% и 27%, соответственно. Этот результат позволяет заключить, что в 1974–1976 гг., 1994 г. и 2013–2015 гг. в хребтах Северного Тянь-Шаня и Джунгарии преобладали условия горизонтального растяжения земной коры.

Возникает вопрос о причине аномального деформационного режима региона в установленные временные периоды. Промежутки времени между годами с низкими значениями параметра  $N_b/N_o$  достаточно устойчивы и составляют порядка 20 лет. Известно, что с таким квазипериодом (20–22 года) изменяется полярность общего магнитного поля Солнца [7], а поскольку ранее была обнаружена связь характеристик сеймотектонической деформации с 11 летним солнечным циклом [1–5], проанализированы вариации среднегодовых значений  $N_b/N_o$  в зависимости от вариаций общего магнитного поля Солнца.

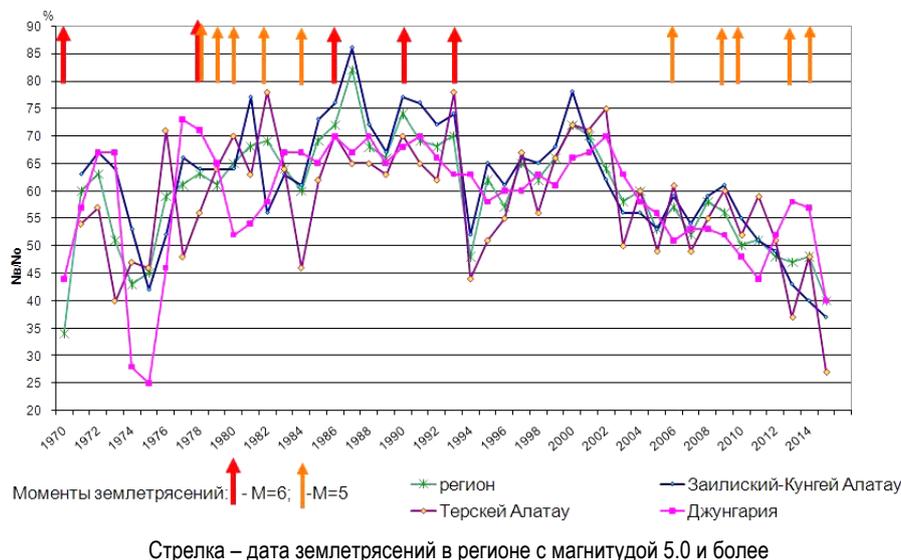


Рисунок 2. Изменение во времени отношения среднегодового числа землетрясений со взбросовой подвижкой к общему числу землетрясений ( $N_b/N_o$ ) для всего региона Центральной Азии и для трех отдельных сейсмоактивных зон

**ВАРИАЦИИ Nв/No в СОПОСТАВЛЕНИИ  
С ВАРИАЦИЯМИ ОБЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
СОЛНЦА**

Солнечная плазма имеет высокую электропроводность, поэтому в ней могут возникать электрические токи и, как следствие, магнитные поля. Согласно современным представлениям, магнитное поле Солнца генерируется в нижней части конвективной зоны с помощью механизма гидромагнитного конвективного динамо, а затем всплывает в фотосферу под воздействием магнитной плавучести. Наблюдаемые в солнечной фотосфере магнитные поля разделяют на два типа в соответствии с их масштабом. Крупномасштабное (*общее* или *глобальное*) магнитное поле имеет размеры, сравнимые с размерами самого Солнца, его средняя напряжённость на уровне фотосферы составляет нескольких гаусс. В минимуме 11-летнего цикла солнечной активности глобальное магнитное поле имеет практически дипольную структуру, при этом напряжённость поля на солнечных полюсах максимальна. По мере приближения к максимуму 11-летнего солнечного цикла напряжённость поля на полюсах постепенно уменьшается и через один-два года становится практически равной нулю. Происходит, так называемая, «переполусовка солнечного магнитного поля». После этого напряжённость общего магнитного поля снова возрастает, но его полярность уже становится противоположной. Полный цикл изменения общего магнитного поля Солнца, с учётом перемены знака, равен удвоенной продолжительности 11-летнего цикла солнечной активности и составляет примерно 20–22 года («цикл Хейла»).

Средне- и мелкомасштабные (*локальные*) поля Солнца имеют значительно большие напряжённости (до нескольких тысяч гаусс), но они менее регулярны. Самые мощные магнитные поля наблюдаются в группах солнечных пятен в максимуме 11-летнего солнечного цикла. Полярность магнитного поля в западной (передней) части группы пятен, в том числе полярность самого крупного пятна «лидера группы», совпадает с полярностью общего магнитного

поля на полюсе соответствующего полушария, а полярность пятен в восточной («хвостовой») части группы – противоположна ему. Солнечные пятна, активно возникающие в максимуме 11-летнего солнечного цикла по обе стороны от солнечного экватора на гелиографических широтах  $\pm 25\text{--}30^\circ$ , с ходом цикла постепенно мигрируют к солнечному экватору, и в конце цикла достигают гелиографических широт  $\pm 5\text{--}10^\circ$ . Эту особенность впервые обнаружена в 1859 г. английским астроном-любителем Ричардом Керрингтоном, а несколько позже гораздо убедительнее подтверждена Г. Шпёером, в честь которого и названа эта закономерность (закон Шпёера).

Диаграмма движения солнечных магнитных пятен впервые построена в 1922 г. английским астрономом Эдвардом Маундером. Диаграмма имеет характерную форму в виде бабочки, и с тех пор график широтно-временного распределения солнечных пятен называют «бабочками Маундера» или диаграммой магнитных бабочек. На рисунке 3 приведена карта магнитного поля Солнца, построенная по данным солнечной обсерватории Wilcox Стенфордского Университета США [<http://wso.stanford.edu>].

На рисунке 3 желтым цветом помечены области положительной полярности солнечного магнитного поля, а синим – отрицательной. Диаграмма для 1975–2015 гг. показывает, что на этом временном интервале первая смена полярности общего магнитного поля (районы солнечных магнитных полюсов) произошла в 1980–1981 гг., когда положительная полярность на северном полюсе (желтый цвет) сменилась на отрицательную (синий цвет). В то же время на южном полюсе произошли противоположные изменения. Вторая смена полярности произошла в 1990–1991 гг., когда картина поменялась на противоположную, затем в 2000–2001 гг.. Последняя смена полюсов произошла ~ в 2013 г. Указанные годы являлись годами максимумов в 11-летних солнечных циклах. Из рисунка 3 также видно, как пятна разной магнитной полярности дрейфуют от широт  $\pm 25\text{--}30^\circ$  к экватору, формируя диаграмму «бабочек Маундера».

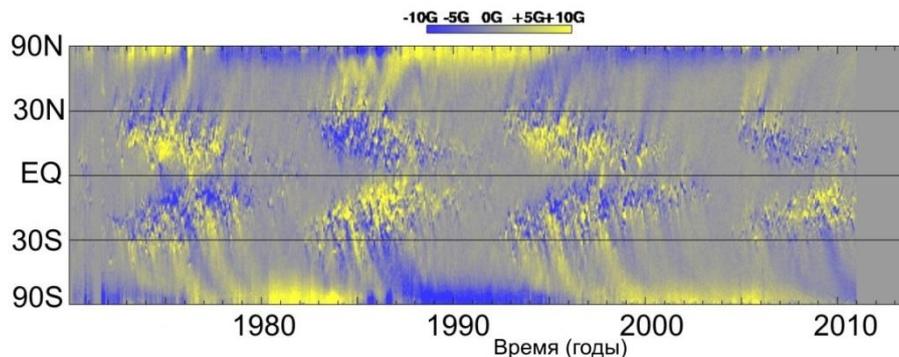


Рисунок 3. Карта магнитного поля Солнца для периода 1975 – 2015 гг.  
[<http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/magbfly.jpg>]

Сопоставляя экспериментальные данные на рисунках 2 и 3, не трудно заметить, что периоды аномального деформационного режима территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии в 1974–1976 гг., 1994 г. и 2013–2015 гг., совпали с периодами максимальной напряженности общего (глобального) магнитного поля Солнца, причем с теми периодами, когда полярность на северном полюсе была положительной (желтый цвет), а на южном полюсе – отрицательной (синий цвет).

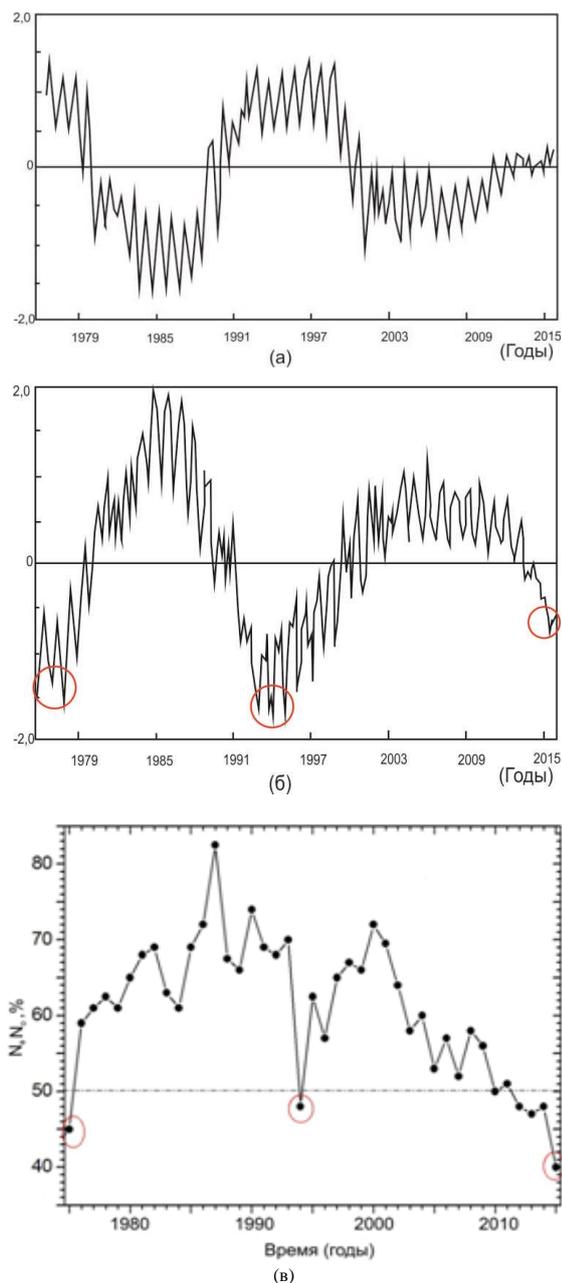


Рисунок 4. К сопоставлению за 1975–2015 гг. вариаций.:  
а – напряженности магнитного поля Солнца в полярной области северного полушария; б – напряженности магнитного поля южного полушария [<http://wso.stanford.edu>];  
в – параметра  $N_v/N_o$ . Территория Северного Тянь-Шаня и Джунгарии с координатами  $41.5^{\circ}$ – $46^{\circ}$ N;  $73^{\circ}$ – $82^{\circ}$ E

Чтобы этот результат показать более наглядно, на рисунке 4 для 1975–2015 гг. представлены вариации напряженности общего магнитного поля Солнца, отдельно для полярных районов северного (рисунок 4-а) и южного (рисунок 4-б) полушарий по данным солнечной обсерватории Wilcox <http://wso.stanford.edu>. Для того же временного интервала на рисунке 4-в приведены среднегодовые значения параметра  $N_v/N_o$  для территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, ограниченной координатами  $41.5^{\circ}$ – $46^{\circ}$ N;  $73^{\circ}$ – $82^{\circ}$ E (зеленая кривая на рисунке 2), начиная с 1975 г. Оконтуренные на рисунке 4-в значения  $N_v/N_o$ , ниже 50%, соответствуют условиям растяжения земной коры и формирования очагов со сбросовым типом подвижки. Эти события приходятся на 1975, 1994, и 2015 гг. На рисунке 4-б отмечены значения напряженности магнитного поля в полярной области южного полушария Солнца в те же годы (1975, 1994 и 2015). Видно, что напряженность магнитного поля в эти времена имела минимальные отрицательные значения. Рисунок 4-а показывает, что в эти же годы напряженность магнитного поля в полярной области северного полушария имела максимальные положительные значения.

#### ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования механизмов очагов землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии (более 10000 событий с энергетическим классом  $K \geq 6$  за 1969–2015 гг.) показали, что в целом на территории преобладает взбросовый тип механизма в очаге, что говорит о преобладании в регионе условий субгоризонтального сжатия земной коры. Ярким исключением из этого правила явились «аномальные» годы: 1975, 1994 и 2015 гг., когда на территории преобладали землетрясения со сбросо-сдвиговым типом подвижки в очаге, что свидетельствует о преобладании в эти годы режима горизонтального растяжения земной коры, как в регионе в целом, так и во всех крупных сейсмоактивных зонах: Терской Алатау, Заилийский-Кунгей Алатау, Жонгарский Алатау. Привлечение к анализу инструментальных данных по вариациям напряженности и полярности общего (глобального) магнитного поля Солнца, позволило установить, что в периоды «аномального» сеймотектонического режима, имели место экстремально высокие значения напряженности общего магнитного поля Солнца, при этом полярность магнитного поля была положительной в северном солнечном полушарии и отрицательной – в южном, чередование которых имеет период ~22 года (цикл Хейла). Что касается причины перераспределения поля сеймотектонического деформирования, то следует обратиться к [4, 11], где показано, что высоким значениям поля поглощения поперечных волн соответствует увеличение сбросовых подвижек в очагах, низким значениям поля поглощения поперечных волн – увеличение взбросовых подвижек в очагах. Эти изменения авторы связывали с ми-

грацией флюидов в земной коре и верхней мантии, приводящей к концентрации напряжений. Вопрос о возможной связи активности флюидов в земной коре и мантии с процессами на Солнце уже обсуждался в [1–5] в связи с результатом, показывающим, что на локальной территории Северного Тянь-Шаня, где земная кора подстилается наиболее мощным слоем активной мантии, обусловленной флюидными потоками из отрогов мантийных плюмовых каналов, режим сейсмотектонической деформации модулирует-

ся 11 летним циклом солнечной активности. Результаты данных исследований расширяют и дополняют результаты приведенные в [1–5], демонстрируя, что сейсмотектонический режим на территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии реагирует, как на 11 летний цикл Швабе, характеризующий активность солнечных пятен, так и на 22 летний солнечный цикл Хейла, характеризующий вариации общего магнитного поля Солнца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абаканов, Т. Солнечная активность, космические лучи, глубинная геодинамика и поле сейсмотектонических деформаций на северном Тянь-Шане / Т. Абаканов, А.Н. Ли, Н.Н. Полешко, А.Б. Садыкова, А. Сыдыков, А.В. Тимуш, Г.Я. Хачикян, В.И. Шапилов // Журнал проблем эволюции открытых систем, 2007. – Вып. IX, Т.1. – С. 78–87.
2. Полешко, Н.Н. Вариации солнечной активности и сейсмотектонические деформации на Северном Тянь-Шане: Часть 1. Коэффициент Лоде-Надаи / Полешко Н.Н. [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2009. – Вып.1. – С. 86–92.
3. Полешко, Н.Н. Вариации солнечной активности и сейсмотектонические деформации на Северном Тянь-Шане: Часть 2. Азимут оси напряжения сжатия / Полешко Н.Н. [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2009. – Вып.1. – С. 93–97.
4. Полешко, Н.Н. Сейсмотектоническая деформация и добротность среды на Северном Тянь-Шане: связь с вариациями солнечной активности / Полешко Н.Н. [и др.] // 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.
5. Тимуш, А.В. Стрoение литосферы как фактор вариаций сейсмотектонических деформаций в связи с солнечной активностью на Северном Тянь-Шане / А.В. Тимуш, А.Б. Садыкова, Н.П. Степаненко, Г.Я. Хачикян / Известия НАН РК. – Серия геологии и технических наук, 2013. – №1. – С. 55–66.
6. Копничев, Ю.Ф. Длиннопериодные временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в литосфере и астеносфере Северного Тянь-Шаня / Ю.Ф. Копничев // Вулканология и сейсмология. – 2001. – № 3. – С. 63–75.
7. Svalgaard, L. The Strength of the Sun's Polar Fields / L. Svalgaard, T.L. Jr. Duvall, P.H. Scherrer // Solar Physics, 1978. – V. 58. – P. 225–239.
8. Нусипов, Е. Сейсмический режим и оценка сейсмической опасности территории Казахстана // Тез. докл. The Sixth International Symposium on Tianshan Earthquakes / Е. Нусипов, А. Сыдыков, А.Б. Садыкова, Н.Н. Полешко // Urumqi-China, 2006. – P. 225–228.
9. Тимуш, А.В. Сыдыков Сейсмогенерирующие зоны Казахстана / А.В. Тимуш [и др.] // Алматы, 2012. – Хай Технолоджи. – 82 с.
10. Nakamura, M. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves / M. Nakamura // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2002. – 130. – P. 17–29.
11. Копничев, Ю.Ф. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань) / Ю.Ф. Копничев, Н.Н. Михайлова // Доклады РАН. – 2000. – Т. 373. – С. 93–97.

#### СОЛТҮСТІК ТЯНЬ-ШАНЬ МЕН ЖОҢҒАРТАУДАҒЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ОШАҚ МЕХАНИЗМДЕРІНІҢ ВАРИАЦИЯЛАРЫ: КҮННІҢ МАГНИТТІК ӨРІСІНДЕГІ 22 ЖЫЛДЫҚ ЦИКЛІМЕН БАЙЛАНЫСЫ

<sup>1)</sup> Полешко Н. Н., <sup>2)</sup> Досайбекова С., <sup>3)</sup> Хачикян Г. Я.

<sup>1)</sup> *Геофизикалық зерттеулер институты, Қурчатов, Қазақстан*

<sup>2)</sup> *Сейсмологиялық тәжірибелік-әдістемелік экспедиция, Алматы, Қазақстан*

<sup>3)</sup> *Ұлттық ғарыштық зерттеу және технологиялар орталығының Ионосфера институты, Алматы, Қазақстан*

1969-2015 ж.ж. үшін Солтүстік Тянь-Шань мен Жоңғартау аумағындағы жерсілкінулердің ошақ механизмдері туралы деректері бойынша механизмнің «каусырма» түрімен жерсілкінулердің санын барлық оқиғалардың санымен салыстырудың (Nv/No) уақыттық вариациялары зерделенген. Аймақта, тұтасында механизмдердің каусырма түрі басым болуы көрсетілген, бұл, жер қыртысының горизонталь сығылуы басым болатыны туралы куәландырады. Ерекшелік ретінде 1975. 1994. 2015 ж.ж. болған, ол кезде аймақта механизмнің лықсыма түріндегі жерсілкінулер көбі болған – бұл, жер қыртысының горизонталь созылу режимі басым болуын куәландырады. Бұл «аномаль» жылдарда Күннің жалпы магниттік өрісінің кернеуі экстремальды болғаны анықталған, сонымен бірге өрісте Күннің солтүстік жарты шарында оң және оңтүстік жарты шарында теріс үйектігі болған, ол 22 жыл кезеңімен (Хейл циклі) ауысып тұрады.

**VARIATIONS OF EARTHQUAKE FOCAL MECHANISM TYPES IN NORTHERN TIEN SHAN  
AND DZUNGARIA: RELATIONSHIP WITH 22 YEAR CYCLE IN SUN'S MAGNETIC FIELD**

<sup>1)</sup> N. N. Poleshko, <sup>2)</sup> S. Dosaybekova, <sup>3)</sup> G. Ya. Khachikyan

<sup>1)</sup> *Institute of Geophysical Researches, Kurchatov, Kazakhstan*

<sup>2)</sup> *Seismological Experimental-Methodical Expedition, Almaty, Kazakhstan*

<sup>3)</sup> *Ionosphere Institute, National Centre of Space Researches, Almaty, Kazakhstan*

According to the data on the mechanisms of earthquake sources in Northern Tien Shan and Dzungaria for 1969–2015, temporal variations of the ratio of number of earthquakes with an “reverse” mechanism to the number of all determined mechanisms is investigated. It is shown that in the whole the reverse mechanisms dominate in the region, which indicates the predominance in the region of the horizontal compression of the crust. The exceptions occurred in 1975, 1994 and 2015, when the region was dominated by the earthquakes of normal fault mechanisms, indicating on the regime of horizontal stretching of the crust prevailing in these years. It was determined that in “abnormal” years the intensity of the total magnetic field of the Sun was extreme, and the magnetic field had a positive polarity in the northern solar hemisphere and negative one in the southern solar hemisphere, which alternates with a period of ~22 years (Hale cycle).