

О суточной периодичности потока слабых землетрясений на территории Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона

¹*СИЫЛКАНОВА Акгенже Оришановна, докторант, научный сотрудник, akkenje-os@mail.ru,

¹УЗБЕКОВ Нурсарсен Болатович, к.ф.-м.н., заместитель директора, n.uzbekov@seismology.kz,

²РАТОВ Боранбай Товбасарович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, ratov69@mail.ru,

¹СТЕПАНЕНКО Надежда Павловна, к.т.н., заведующий лабораторией, nstep56@mail.ru,

¹ТОО «Институт сейсмологии» МЧС РК, Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 75а,

²НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Проведен анализ геолого-геофизических и сейсмических параметров на территориях Северо-Тянь-Шаньской и Халыктауской зон в связи с отличием в этих зонах характера суточной периодичности слабых землетрясений. Для анализа использованы данные профиля Восточный (79-80°E) и карта сейсмической активности Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона. Показано, что территории указанных зон характеризуются аномально повышенной мощностью сиалического (гранито-гнейсового) слоя консолидированной коры, что является одним из наиболее характерных структурно-геофизических признаков, указывающих на возможность одинаково высокой сейсмичности в обеих зонах. Однако данные показывают, что сейсмическая активность на территории Халыктауской зоны более чем на порядок выше, чем на территории Северо-Тянь-Шаньской зоны, что отражается на амплитуде суточной периодичности в количестве землетрясений в этих зонах. Сделано заключение, что отсутствие суточной периодичности в количестве землетрясений с энергетическим классом $K = 7$ на территории Северо-Тянь-Шаньской зоны обусловлено недостаточностью информации о таких событиях, в связи с более пониженной здесь сейсмической активностью.

Ключевые слова: Северный Тянь-Шань, профиль Восточный, сейсмическая активность, суточная периодичность, сейсмический режим, Р-скоростная модель, энергетический класс.

Введение

В работе [1] было проведено исследование суточной периодичности в потоке слабых землетрясений и микротолчков, начиная с энергетического класса $K \geq 5.5$ на территории Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона по данным регионального сейсмологического каталога за 1951-2010 гг. Установлено, что для территорий Северо-Тянь-Шаньской (1), Жонгарской (2) и Кетменьской (4) зон, суточная периодичность выделяется четко только для очень слабых сейсмических событий ($K = 5.5$), а для Халыктауской зоны – (3), суточная периодичность выделяется и для более сильных событий ($K = 7$). Возникает вопрос о природе наблюдаемой суточной периодичности в потоке сейсмических событий. Нужно заметить, что, несмотря на многочисленные исследования, посвященные суточной периодичности в вариациях сейсмичности [2-6], единого мнения о её природе не существует. Некоторые авторы полагают, что

суточная периодичность слабых землетрясений связана с помехами при регистрации сигналов сейсмическими станциями. Из-за активной деятельности человека в дневные часы возрастает интенсивность микросейсмического шума, который не позволяет выделить на своем фоне слабые сейсмические сигналы, вследствие чего теряется определенная часть микротолчков, и это приводит к появлению «ложного» эффекта в суточной периодичности сейсмического потока. В пользу этой гипотезы говорит тот факт, что с увеличением энергетического класса рассматриваемых землетрясений, эффект суточной периодичности исчезает [1]. С другой стороны, суточная периодичность в вариациях сейсмической активности ожидаема с теоретической точки зрения. Так, в работе [7] показано, что суточная периодичность в сейсмической активности может возникать в связи с аналогичной суточной периодичностью в вариациях главного геомагнитного поля (су-

точная S_q – вариация). Результаты [8] указывают на возможность появления суточных вариаций в частоте возникновения землетрясений в связи с суточными вариациями вертикальной компоненты геомагнитного поля в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (GSM), в которой наилучшим образом отображается процесс взаимодействия магнитного поля солнечного ветра (межпланетного магнитного поля) с магнитным полем Земли. Отмеченные гипотетические источники суточных вариаций сейсмического потока расположены на высотах ионосферы и магнитосферы и являются внешними по отношению к литосфере. Поскольку же землетрясение является внутриземным (тектоническим) явлением, не исключена возможность, что результат влияния внешних источников может быть разным в регионах с разными геофизическими параметрами литосферы. В этой связи, были рассмотрены геофизические параметры литосферы в двух зонах: Северо-Тянь-Шаньской, где суточная периодичность сейсмического потока выявлена только для событий с энергетическим классом $K \leq 5.5$ и $K = 6$, и Халыктауской, где суточная периодичность выявлена и для более сильных событий ($K = 7$). Помимо этого, не исключена возможность, что различие результатов [1] для Северо-Тянь-Шаньской и Халыктауской зон обусловлено разной в этих зонах статистикой для землетрясений с $K = 7$. Для ответа на этот вопрос были проанализированы результаты [1] в связи с геолого-геофизическим строением и режимом сейсмической активности (параметр A_{10}) на изучаемых территориях. Результаты проведенного анализа представлены в настоящей статье.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 показаны внутрисуточные вариации количества землетрясений с энергетическим классом от $K \leq 5.5$ до $K = 7$ на территории Северо-Тянь-Шаньской зоны (1а) и от $K \leq 5.5$ до $K = 8$ на территории Халыктауской зоны (1б) по материалам работы [1].

Из рисунка 1 видно, что на территории Халыктауской зоны (1б) суточная периодичность в количестве землетрясений не прослеживается для событий, начиная с $K = 8$, а для Северо-Тянь-Шаньской зоны (1а) она не прослеживается начиная уже с $K = 7$. Чтобы понять причину наблюдаемого расхождения, были проанализированы геолого-геофизические параметры и сейсмический режим территории. Для этого на рисунке 2 показана Карта сейсмической активности (параметр A_{10}) для Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона. Пунктирными прямоугольниками выделены две изучаемые локальные территории: Северо-Тянь-Шаньская (1), ограниченная координатами ($42^\circ-44^\circ$ в.д. и $75^\circ-80^\circ$ с.ш.), и Халыктауская (3), ограниченная координатами ($41^\circ50'-44^\circ30'$ в.д. и $80^\circ40'-81^\circ30'$ с.ш.). Черная линия на рисунке 2 маркирует положение профиля Восточный (дол-

гота $79-80^\circ$ Е), который, как видим, проходит по восточному краю территории (1) и близко при-мыкает к территории (3) в ее западной части.

Геолого-геофизические параметры территории по данным профиля Восточный. На рисунке 3а (верхняя панель) представлена двумерная Р-скоростная модель по профилю Восточный [9] протяженностью более 1000 км, который охватывает с юга на север зону сочленения западной периферии Тарима с Тянь-Шанем и далее следует вдоль восточной окраины Казахского щита, поочередно пересекая Джаркентскую, Алакольскую и Зайсанскую впадины, разделенные западными отрогами хребтов Джунгарского Алатау и Тарбагатай. Экспериментальной основой Р-скоростного моделирования здесь является сводная система годографов, составленная по материалам ГСЗ-МОВЗ [10] севернее широты 46° N и профильной томографии [11] южнее этой широты.

На рисунке 3б (нижняя панель) приведена территория, ограниченная координатами $42^\circ-44^\circ$ в.д. и $78^\circ-80^\circ$ с.ш., по профилю Восточный, где расположены хребты Терской Алатау и Кетмень.

В таблице приведены данные о структурно-вещественных комплексах стратифицированных и геофизических слоев земной коры и верхней мантии для изучаемого региона из работы [9]. Из рисунка 3а, с учетом данных таблицы можно заключить, что подошва платформенного чехла на скоростной модели контролируется схематично сглаженной изолинией 5.2 км/с, в соответствии с применяемыми системами наблюдений, только в случаях его относительно повышенной мощности (первые километры и более): в зоне сочленения Тарима с хребтом Кокшаалтоо, в Алакольской и Зайсанской впадинах. По особенностям внутренней Р-скоростной структуры консолидированной коры разрез наиболее отчетливо разделяется Жонгарским Алатау на два типа: орогенный с юга, характеризующийся соотношением мощностей верхнего сиалического и нижнего базитового обобщенных слоев со средним значением 3:1, и платформенный с севера с обратным отношением 1:3. Общая мощность коры орогенного типа на юге повышена, варьируя в пределах 45-56 км. Аномально повышенная мощность сиалического слоя консолидированной коры на юге является одним из наиболее характерных структурно-геофизических признаков ее высокой сейсмичности. Верхняя мантия в пределах охваченных моделированием глубин (до 70 км) на преобладающей части профиля (200-1200 км) по значениям $V_p < 8.2$ км/с относится к активной, оказывающей решающее влияние на формирование сейсмичности [12, 13]. По значениям мощности активной мантии, к наиболее высокосейсмичным можно отнести южную периферию хребта Кокшаалтоо и протяженную зону между хребтами Кетмень и Тарбагатай, к умеренно сейсмичным – зону между Кокшаалтоо и Кетмень, к слабосейсмичным – северное окончание профиля в пределах Зайсанской впадины

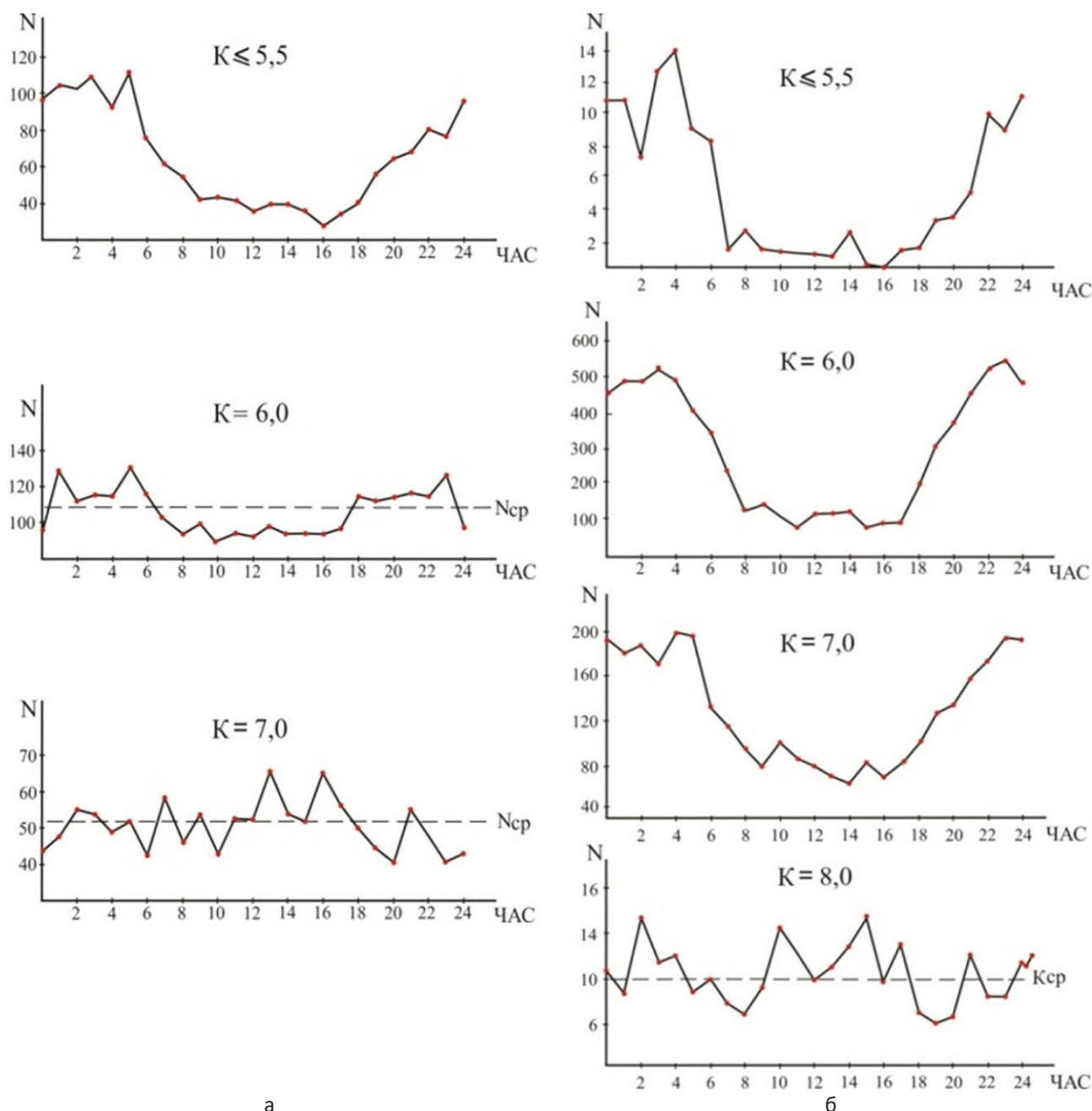


Рисунок 1 – Вариации количества слабых землетрясений в зависимости от местного солнечного времени на территориях Северо-Тянь-Шаньской (а) и Халыктауской (б) зон по данным работы [1]

($V_p \geq 8.2$ км/с).

Параметры сейсмического режима на изучаемой территории. Для анализа пространственного распределения сейсмичности (параметр A_{10}) как одного из параметров сейсмического режима обычно используется карта сейсмической активности [14, 15]. Как видно из рисунка 2, на территории зоны (1) значения параметра A_{10} изменяются в пределах от $A_{10} = 0.001$ до $A_{10} = 0.2$, а среднее значение $A_{10}(cp) = 0.02$. На территории зоны (3), площадь которой гораздо меньше, чем для территории (1), значение параметра сейсмической активности изменяется от $A_{10} = 0.1$ до $A_{10} = 0.2$, а среднее значение $A_{10}(cp) = 0.15$. То есть сейсмическая активность территории (3) более чем на по-

рядок выше, чем для территории (1). Это видно и по данным сейсмологического каталога, в котором количество землетрясений на обширной территории (1) составило 3993 события, а на гораздо меньшей территории (3) составило 10065 событий, то есть более чем в два раза больше.

Выводы

По данным профиля Восточный, который проходит по восточному краю Северо-Тянь-Шаньской зоны и близко примыкает к западной части территории Халыктауской зоны, показано, что территории обеих зон характеризуются аномально повышенной мощностью сиалического (гранито-гнейсового) слоя консолидированной коры,

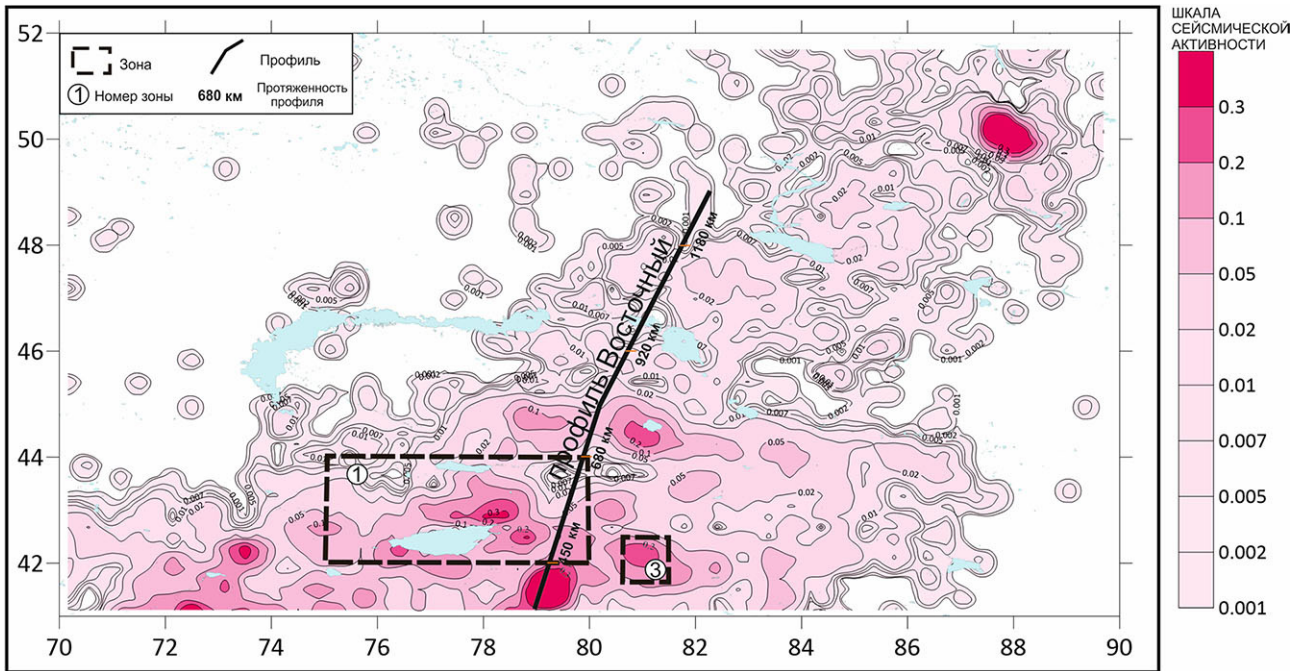


Рисунок 2 – Карта сейсмической активности A_{10} для Жонгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона, прямоугольниками выделены изучаемые зоны 1 – Северо-Тянь-Шаньская и 3 – Халыктауская

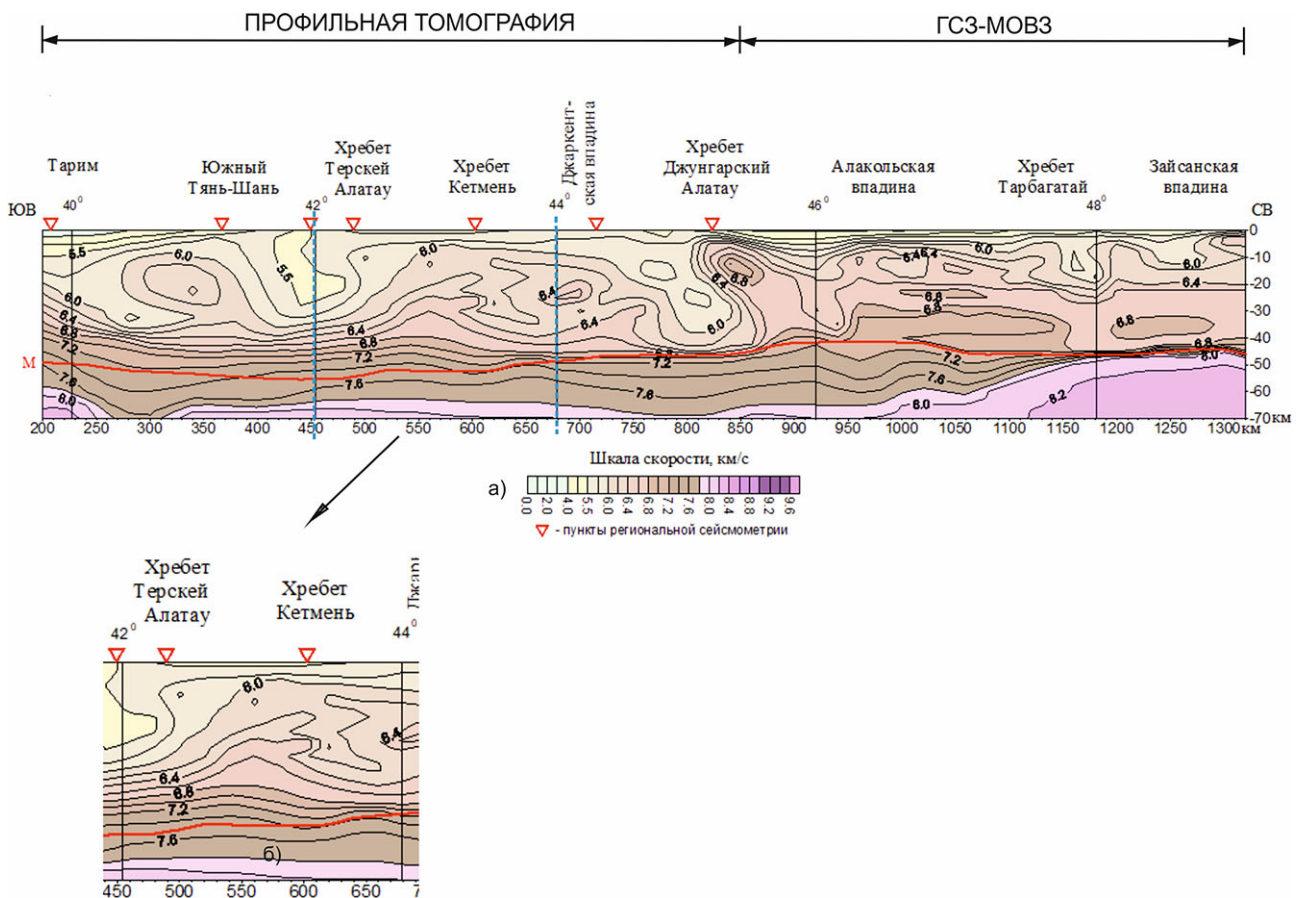


Рисунок 3 – Двумерная Р-скоростная модель по профилю Восточный

что является одним из наиболее характерных структурно-геофизических признаков возможно высокой сейсмичности в обеих зонах. Карта сейс-

мической активности (параметр A_{10}) на территориях Северо-Тянь-Шаньской и Халыктауской зон показала, что сейсмическая активность на терри-

тории Халықтауской зоны более чем на порядок выше, чем на территории Северо-Тянь-Шаньской зоны. Полученные результаты позволяют заключить, что отсутствие суточной периодичности в количестве землетрясений с $K = 7$ на территории Северо-Тянь-Шаньской зоны обусловлено недо-

статочностью информации о таких событиях, в связи с более пониженной здесь сейсмической активностью по сравнению с территорией Халықтауской зоны. Данная ситуация может измениться в будущем в связи с получением более длинных рядов сейсмологического мониторинга.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Программно-целевое финансирование ПЦФ – Ф.0980).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sydykov A., Sadykova A., Siylkanova A.O. Diurnal Periodicity of Weak Earthquakes in the Zhongar North Tian Shan Region (article) Surveys in Geophysics (2021) 42:21-41 <https://doi.org/10.1007/s10712-020-09622-4>, Vol. 42, ISSUE 1, pp. 21-41, ISSN 15730956.
2. Conrad V.: Die zeitliche Verteilung der in den osterreichischen Alpen- und Karstlanderengefuehlten Erdbeben in den Jahren 1897 bis 1907, Mitteilungen der Erdbeben-Kommission, Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Neue Folge, No. XXXVI, 1-23, 1909.
3. Conrad V.: Die zeitliche Folge der Erdbeben und bebenauslose Ursachen, Handbuch der Geophysik, Band IV, Berlin, Verlag Borntraeger, 1007-1185, 1932.
4. Shimshoni M.: Evidence for Higher Seismic Activity During the Night, Geophys. J.R. Astr. Soc., 24, 97-99, 1971.
5. Duma G.: Zyklen der Starkbebenaktivitat und deren Relevanz fuer Fragen der Erdbebensicherheit, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Dokumentation D0145, SIA Zurich, 1997.
6. Duma G. and Vilardo G.: Seismicity cycles in the Mt. Vesuvius area and their relation to solar flux and the variations of the Earth's magnetic field, Phys. Chem. Earth, 23, 9-10, 927-931, 1998.
7. Duma, G. and Ruzhin, Y.: Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 3, 171-177, <https://doi.org/10.5194/nhess-3-171-2003>, 2003.
8. Khachikyan G., Inchin A., Lozbin A. Spatial distribution of seismicity: relationships with geomagnetic Z-component in geocentric solar magnetospheric coordinate system. International Journal of Geosciences. 2012. Vol. 3. No. 5. Pp. 1084-1088. doi:10.4236/ijg.2012.35109. https://file.scirp.org/Html/8-2800328_24955.htm
9. Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана. Алматы, 2007. 411 с.
10. Шацлов В.И., Горбунов П.Н., Степаненко Н.П. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. Алматы: Евразия, 1993. 105 с.
11. Шацлов В.И., Сайипбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // Доклады НАН РК. – 1994. № 6. – С. 47-52.
12. Горбунов П.Н., Шацлов В.И., Степаненко Н.П., Белоусова Н.П. Геофизическое моделирование литосферы сейсмоактивных и асейсмичных территорий Казахстана // Inland Earthquake. 1995. Vol. 9. #2. Pp. 171-183.
13. Нусипов Е.Н., Кайдаш Т.М., Степаненко Н.Н., Шацлов В.И. Объемное Р-скоростное моделирование литосферы Каспийского региона // Геология и охрана недр. – 2000, № 1. – С. 52-59.
14. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. Алматы: Ғылым. 2004. 26 с.
15. Жунусова А.Ж., Садыкова А.Б., Сыдыков А. Количественная оценка сейсмичности / В кн. «Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана». Алматы, 2007. С. 237-250.

Жоңғар-Солтүстік-Тянь-Шань аймағы территориясындағы әлсіз жерсілкіністердің тәуліктік мерзімділігін зерттеу

¹*СИЛКАНОВА Акгенже Оришановна, докторант, ғылыми қызметкер, akkenje-os@mail.ru,

¹УЗБЕКОВ Нурсарсен Болатевич, ф.-м.ғ.к., директор орынбасары, n.uzbekov@seismology.kz,

²РАТОВ Боранбай Товбасарович, т.ғ.д., профессор, кафедра меңгерушісі, ratov69@mail.ru,

¹СТЕПАНЕНКО Надежда Павловна, т.ғ.к., зертхана меңгерушісі, nstep56@mail.ru,

¹«Сейсмология институты» ЖШС ҚР ТЖМ, Қазақстан, Алматы, әл-Фараби даңғылы, 75а,

²«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22а,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Солтүстік-Тянь-Шань және Халықтау аймақтары территорияларында әлсіз жерсілкіністердің тәуліктік мерзімділігінің ерекшеліктерінің сипаттамаларына геологиялық-геофизикалық және сейсмикалық параметрлеріне талдау жасалды. Талдау үшін Восточный (79-80°E) профилі мен Жоңғар-Солтүстік-Тянь-Шань аймағының сейсмикалық активтілік картасының деректері қолданылды. Аталған аймақтардың территориясы біріккен іргетастың сиалдық (гранит-гнейстік) қабатының аномальды үлкен тереңділігімен сипатталатыны көрсетілді, ал ол өз кезегінде екі аймақтың да шамамен бірдей құрылымдық-геофизикалық белгілеріне тән, сілкінгіштігі жоғары болып табылатынын көрсетеді. Алайда мәліметтердің көрсетуі бойынша, Халықтау аймағы территориясының сейсмикалық активтілігі Солтүстік-Тянь-Шань аймағының

территориясына қарағанда бірталай жоғары болатыны анықталды және ол осы аймақтарда болатын жерсілкіністердің санының тәуліктік мерзімінің амплитудасына әсер етеді. Халықтау аймағы территориясымен салыстырғандағы Солтүстік-Тянь-Шань аймағы территориясындағы сейсмикалық активтілігінің төменділігі, ол аймақтағы энергетикалық класы $K = 7$ болатын жерсілкіністерінің тәуліктік мерзімділігінің жоқ болғандығынан деп қорытынды жасалынды.

Кілт сөздер: Солтүстік-Тянь-Шань, Восточный профилі, сейсмикалық активтілік, тәуліктік мерзімділік, сейсмикалық режим, Р-жылдамдық моделі, энергетикалық класс.

On the Diurnal Periodicity of the Flow of Weak Earthquakes in the Territory of the Jungar-North Tien Shan Region

¹***SIYILKANOVA Akgenzhe**, Doctoral Student, Researcher, akkenje-os@mail.ru,

¹**UZBEKOV Nursarsen**, Cand. of Phys. and Math. Sci., Deputy Director, n.uzbekov@seismology.kz,

²**RATOV Boranbay**, Dr. of Tech. Sci., Professor, Head of Department, ratov69@mail.ru,

¹**STEPANENKO Nadezhda**, Cand. of Tech. Sci., Head of Laboratory, nstep56@mail.ru,

¹LLP «Institute of Seismology» MES RK, Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Avenue, 75a,

²NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Kazakhstan, Almaty, Satpayev Street, 22a,

*corresponding author.

Abstract. The analysis of geological, geophysical and seismic parameters in the territories of the North Tien Shan and Halyktau zones was carried out due to the difference in the nature of the daily frequency of weak earthquakes in these zones. Data from the Vostochnyi (79-80°E) profile and a map of the seismic activity of the Zhongar-North Tien Shan region were used for the analysis. It is shown that the territories of these zones are characterized by an abnormally high thickness of the sialic (granite-gneiss) layer of consolidated crust, which is one of the most characteristic structural and geophysical signs indicating the possibility of equally high seismicity in both zones. However, the data show that seismic activity in the territory of the Halyktau zone is more higher than in the territory of the North Tien Shan zone, which affects the amplitude of the daily frequency in the number of earthquakes in these zones. It is concluded that the lack of daily frequency in the number of earthquakes with energy class $K = 7$ in the North Tien Shan zone is due to insufficient information about such events and due to the more reduced seismic activity here.

Keywords: North Tien Shan, Vostochnyi profile, seismic activity, diurnal periodicity, seismic regime, P-velocity model, energy class.

REFERENCES

1. Sydykov A., Sadykova A., Siylkanova A.O. Diurnal Periodicity of Weak Earthquakes in the Zhongar North Tian Shan Region (article) Surveys in Geophysics (2021) 42:21-41 <https://doi.org/10.1007/s10712-020-09622-4>, Vol. 42, ISSUE 1, pp. 21-41, ISSN 15730956.
2. Conrad V.: Die zeitliche Verteilung der in den österreichischen Alpen- und Karstländerngef uhlten Erd bebenin den Jahren 1897 "bis 1907, Mitteilungen der Erdbeben-Kommission, Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Neue Folge, No. XXXVI, 1-23, 1909.
3. Conrad V.: Die zeitliche Folge der Erdbeben und bebenauslose Ursachen, Handbuch der Geophysik, Band IV, Berlin, Verlag Borntraeger, 1007-1185, 1932.
4. Shimshoni M.: Evidence for Higher Seismic Activity During the Night, Geophys. J.R. Astr. Soc., 24, 97-99, 1971.
5. Duma G.: Zyklen der Starkbeben aktivitat und deren Relevanz fur " Fragen der Erdbebensicherheit, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Dokumentation D0145, SIA Zurich, 1997.
6. Duma G. and Vilardo G.: Seismicity cycles in the Mt. Vesuvius area and their relation to solar flux and the variations of the Earth's magnetic field, Phys. Chem. Earth, 23, 9-10, 927-931, 1998.
7. Duma, G. and Ruzhin, Y.: Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 3, 171-177, <https://doi.org/10.5194/nhess-3-171-2003>, 2003.
8. Khachikyan G., Inchin A., Lozbin A. Spatial distribution of seismicity: relationships with geomagnetic Z-component in geocentric solar magnetospheric coordinate system. International Journal of Geosciences. 2012. Vol. 3. No. 5. Pp. 1084-1088. doi:10.4236/ijg.2012.35109. https://file.scirp.org/Html/8-2800328_24955.htm
9. Геодинамика і сейсмічність літосфери Казахстану. Алматы, 2007. 411 p.
10. Shacilov V.I., Gorbunov P.N., Stepanenko N.P., et.al. Skorostnye modeli zemnoj kory Kazakhstanu. Алматы: Evraziya, 1993. 105 p.
11. Shacilov V.I., Sajipbekova A.M. Profil'naya tomografiya litosfery Tyan'-Shanya po materialam regional'noj sejsmologii. Doklady NAN RK. — 1994. No. 6. — Pp. 47-52.
12. Gorbunov P.N., Shacilov V.I., Stepanenko N.P., Belousova N.P. Geofizicheskoe modelirovanie litosfery sejsmoaktivnyh i asejsmichnyh territorij Kazakhstanu. Inland Earthquake.1995. Vol. 9. # 2. Pp. 171-183.
13. Nusipov E.N., Kajdash T.M., Stepanenko N.N., Shacilov V.I. Ob"emnoe R-skorostnoe modelirovanie litosfery Kaspijskogo regiona. Geologiya i ohrana nedr. — 2000, no. 1 — Pp. 52-59.
14. Sydykov A. Sejsmicheskij rezhim territorii Kazakhstanu. Алматы: Gylym. 2004. 26 p.
15. Zhunusova A.Z., Sadykova A.B., Sydykov A. Kolichestvennaya ocenka sejsmichnosti / V kn. «Geodinamika i sejsmichnost' litosfery Kazakhstanu». Алматы, 2007. Pp. 237-250.