

УДК 550.34

Слежение за динамикой сейсмичности в пределах Кемино–Чиликской зоны, генерирующей землетрясения с $M \geq 8$

© 2020 г. Ж.З. Мураталиева, А.М. Омуралиева

ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Аннотация. Приводится динамика сейсмических процессов на сочленении области горообразования Тянь-Шаня и Казахского щита. На основании сейсмотомографических и сеймотектонических данных отмечено, что литосфера Тянь-Шаня надвигается на литосферу Казахского щита, а литосфера Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня. На сочленении этих литосфер выделяется низкоскоростная неоднородность, под которой в мантии предполагается поток низкоскоростной аномалии. Здесь формируются краевая (активные структуры Илийской впадины, Заилийского поднятия), срединная (активные структуры Кеминской, Чиликской впадин, Кунгейского поднятия) подзоны, которые имеют характерные сейсмичность и сейсмические режимы. Выделяются (с севера на юг) сейсмогенерирующие зоны: Предзаилийская, Кемино-Чиликская, Предкунгейская. В Кемино-Чиликской сейсмогенерирующей зоне (протяжённость около 250 км, ширина до 25 км) проявляются крупные землетрясения с $M > 8$, а в Предзаилийской и Предкунгейской сейсмогенерирующих зонах – землетрясения с $M = 7–8$. В данной зоне сочленения динамика последовательности проявления землетрясений предопределена динамикой иерархии разломов и блоков. Последовательность землетрясений выражена иерархией сейсмических циклов. В каждом цикле выделяются период активизации, пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации и период сейсмического затишья. Крупные землетрясения появляются в цикле первого порядка с длинным периодом, значительные и малые землетрясения – в циклах с соответствующими короткими периодами. Уровень сейсмичности рассматриваемой территории определяется траекторией ассоциации сейсмических циклов. В пространственно-временном распределении землетрясений на сочленении литосферы Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются динамическая сегментация и динамическая секторизация, векторы сейсмической активизации, направленные с востока и запада к сильно сжатой центральной части области.

Ключевые слова: поддвигание и надвигание литосферы, низкоскоростная неоднородность, землетрясение, динамика сейсмичности, уровень сейсмичности, иерархия сейсмических циклов, вектор сейсмической активизации, динамическая сегментация, динамическая секторизация.

Для цитирования: Мураталиева Ж.З., Омуралиева А.М. Слежение за динамикой сейсмичности в пределах Кемино-Чиликской зоны, генерирующей землетрясения с $M \geq 8$ // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 51–62. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.05>

Введение

В зоне сочленения Тянь-Шаньского орогена (на юге) и Казахского щита (на севере) формируются активные структуры субширотного простирания (с севера на юг): Илийская впадина, Заилийское поднятие, Кеминская и Чиликская впадины, Кунгейское поднятие, Иссык-Кульская впадина с общей шириной около 100 км. Заилийское и Кунгейское поднятия имеют дивергентное строение. Заилийское поднятие надвигается на север на Илийскую впадину и на юг на Кеминскую и Чиликскую впадины. Кунгей-

ское поднятие надвигается на север на Кеминскую и Чиликскую впадины и на юг на Иссык-Кульскую впадину. Кеминская (на западе) и Чиликская (на востоке) впадины имеют конвергентное строение и ограничены субширотными активными разломами, которые составляют Кемино-Чиликскую сейсмогенерирующую зону протяжённостью около 250 км и шириной до 25 км (рис. 1). В данной сейсмогенерирующей зоне известны такие крупные землетрясения как Чиликское (1889 г., $M=8.3$, $\varphi=43.20^\circ$, $\lambda=78.40^\circ$), Кеминское (1911 г., $M=8.2$, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Ширина плейстосейстовых зон достигает 90 км

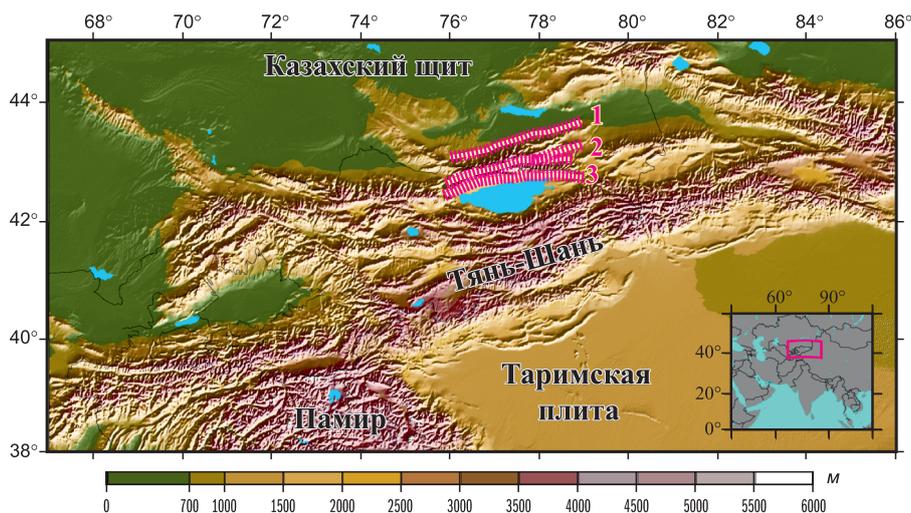


Рис. 1. Схема расположения сейсмогенерирующих зон на сочленении Казахского щита и Тянь-Шаньского орогена: 1 – Предзаилийская, 2 – Кемино-Чиликская, 3 – Предкунгейская.

Вкладка в нижнем правом углу показывает географическое положение Тянь-Шаня, который оконтурен красной рамкой

[Аристов, Зеньков, 1889; Мушкетов, 1891; 1899; Богданович, 1911]. В то время в Предзаилийской сейсмогенерирующей зоне на сопряжении Заилийского поднятия и Илийской впадины и Предкунгейской сейсмогенерирующей зоне на сопряжении Кунгейского поднятия и Иссык-Кульской впадины известно такое сильное землетрясение как Верненское (1887 г., $M=7.3$, $\varphi=43.10^\circ$, $\lambda=76.80^\circ$) [Мушкетов, 1890].

На основе изучения Кыргызского Тянь-Шаня методом детальной сейсмической томографии [Lei, Zhao, 2007; Omuralieva et al., 2009] отмечено, что литосферная плита Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня на севере, а на юге литосферная плита Тарима поддвигается под литосферу Тянь-Шаня (рис. 2). Под этими зонами имеются два потока низкоскоростных аномалий в мантии (Low-V), которые внедряются в литосферу Тянь-Шаня. В этих геодинамических условиях рассматриваемого региона проявляются землетрясения.

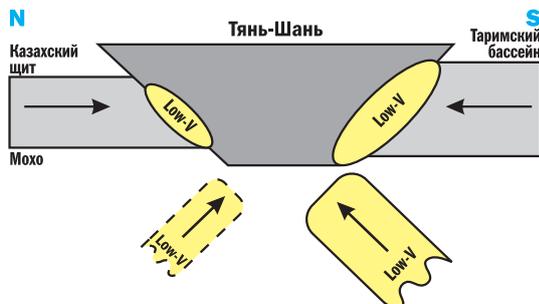


Рис. 2. Модель поддвижения литосферы Казахского щита и Таримской плиты под Тянь-Шаньский ороген

В пределах зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются северная краевая и южная срединная подзоны. В краевой подзоне расположены активные структуры Илийской впадины и Заилийского поднятия, в срединной подзоне – активные структуры Кеминской и Чиликской впадин и Кунгейского поднятия. Соответственно, на сочленении области горообразования Тянь-Шаня с Казахским щитом наблюдается иерархия тектонических блоков. Интересно отметить, что сильные сейсмические события [Джанузаков и др., 2003] произошли в земной коре в пределах Заилийского поднятия (Верненское землетрясение 1887 г., $M=7.3$, $K=16.9$, $H=20$ км) и в нижних частях земной коры между Кунгейским и Заилийским поднятиями (Чиликское землетрясение 1889 г., $M=8.3$, $K=18.5$, $H=40$ км и Кеминское землетрясение 1911 г., $M=8.2$, $K=17.8$, $H=25$ км) [Джанузаков и др., 2003]. Проявились и излияния кайнозойских базальтов на Торуйгырском, Тосорском и Учкудукском участках между Терскейским и Кунгейским поднятиями [Omuraliev, Omuralieva, 2004]. Внедрение базальтов, возможно, выражает низкоскоростные аномалии литосферы и мантии на сочленении Казахского щита и Тянь-Шаня.

На рис. 3 приведена сеть активных разломов, оцифрованных с карты-схемы новейших блоков Северного Тянь-Шаня (составленной К.Е. Абдрахматовым на основе данных А.К. Трофимова), а также распределение в пространстве эпицентров землетрясений с $K \geq 7$ в изучаемом регионе за период 1960–2015 гг. по данным Института сейсмологии Национальной академии

наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР). Из рис. 3 видно, что эпицентры землетрясений приурочены к активным структурам Заилийского и Кунгейского поднятий. В распределении землетрясений проявляются динамическая сегментация вдоль активных структур и динамическая секторизация поперёк активных структур.

Распределение плотности землетрясений с $K \geq 9$ на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за период 1960–2015 гг. по данным ИС НАН КР приведено на рис. 4. При этом плотность определена в ячейках $0.1 \times 0.1^\circ$ (11.0×8.2 км). Величина плотности изменяется в пределах 0.001–0.36 землетрясений на 1 км^2 за 56 лет. Поле плотности землетрясений – крайне неравномерное. Ячейки с относительно большой плотностью группируются в областях концентрации землетрясений. Области концентрации землетрясений проявлены в определённых сегментах вдоль активных структур и секторах между активными разломами.

Им свойственны относительно частая повторяемость землетрясений и большая скорость высвобождения энергии. Краевая подзона (Заилийское поднятие) характеризуется сравнительно малой плотностью, а срединная (Кунгейское поднятие) подзона – относительно большой плотностью землетрясений с $K \geq 9$.

Динамическая секторизация активных структур Кунгейского и Заилийского поднятий и пространственно-временное распределение землетрясений поперёк структур

Основой исследований стал каталог землетрясений ИС НАН КР. Рассмотрено пространственно-временное распределение землетрясений [Шерман, 2014; Омуралиев, Омуралиева, 2012] по поперечным профилям (по полосам шириной $+15$ км и -15 км) вдоль меридианов.

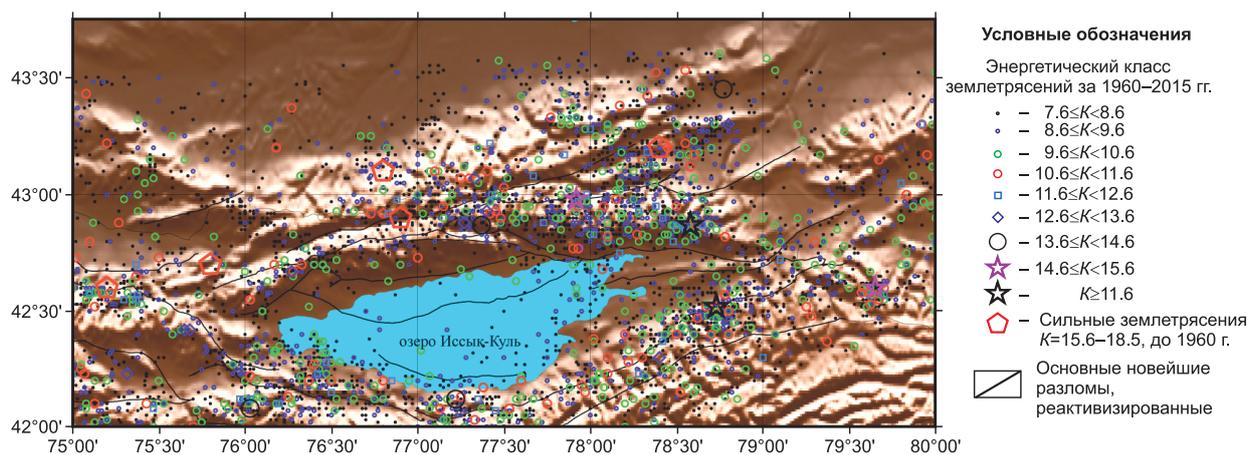


Рис. 3. Эпицентральная карта-схема землетрясений с $K \geq 7$ за период 1960–2015 гг. и сеть активных разломов в изучаемом регионе (по данным К.Е. Абдрахматова) в изучаемом регионе

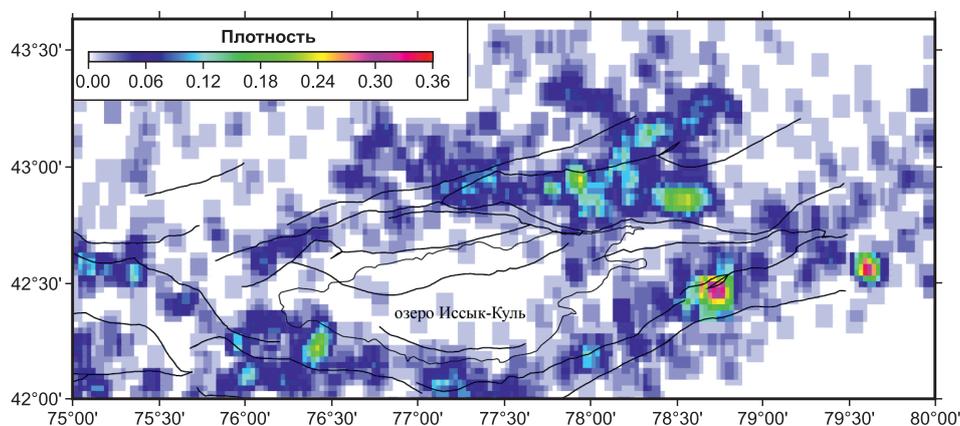


Рис. 4. Распределение плотности землетрясений с $K \geq 9$ на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за период 1960–2015 гг.

Цветная шкала плотности землетрясений показана внизу рисунка. Чёрными линиями обозначены активные разломы, как на рис. 3

Отмечено, что распределение эпицентров землетрясений изменяется во времени в пределах различных смежных разломов, ограничивающих тектонические блоки, где сейсмическая активизация проявляется в различной степени. Соответственно, выделяются во времени цепочки эпицентров (в дальнейшем назовём сейсмические «дорожки»), подобных лунной световой дорожке на водной поверхности. Следовательно, динамика сейсмических «дорожек» выражает динамическую секторизацию сейсмогенерирующей зоны. По меридиану $\lambda=78.0^{\circ}\text{E}$ сейсмические «дорожки» проявились в большей мере между Аксуйским и Чиликским разломами, в меньшей мере – на крыльях Предсарытауского и Предкарачского разломов (рис. 5). Следует отметить, что в 1979–1989 гг. землетрясения распределялись хаотично, т.е. сейсмические «дорожки» разрушались. С 1990 г. после Байсорунского землетрясения ($K=15.3$) снова отмечались сейсмические «дорожки».

По меридиану $\lambda=78.6^{\circ}\text{E}$ сейсмические «дорожки» проявились на крыльях Чиликского и Предсарытауского разломов. На северном крыле Аксуйского разлома сейсмические «дорожки» отмечались после Жаланаш-Тюпского землетрясения (1978 г., $K=15.6$). Расстояние между «дорожками» составляло около 3 и 11 км.

Следовательно, в результате изучения пространственно-временного распределения землетрясений поперёк активных структур Заилийского, Кунгейского поднятий и сопряжённых частей Илийской, Кеминской и Чиликской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита установлены сейсмические «дорожки». Они выражают процессы динамической секторизации дискретной геофизической среды. Отмечено, что перед такими землетрясениями, как Жаланаш-Тюпское (1978 г., $K=15.6$) и Байсорунское (1990 г., $K=15.3$), проявления сейсмических «дорожек» прерывались.

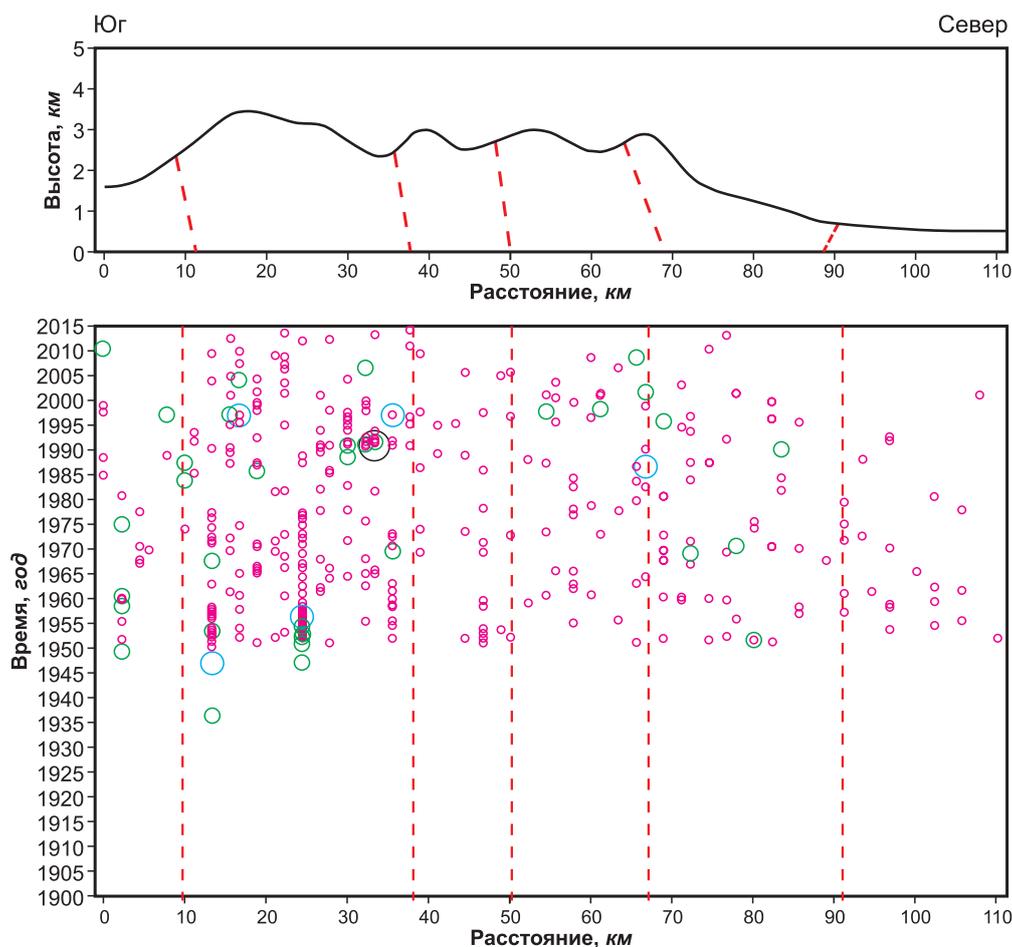


Рис. 5. Пространственно-временное распределение землетрясений по поперечному профилю активных структур Кунгейского и Заилийского поднятий вдоль меридиана $\lambda=78.0^{\circ}\text{E}$ (Байсорунского землетрясения 1990 г.).

Пунктирными красными линиями обозначены активные разломы. Эпицентры землетрясений обозначены кружками разных цветов: с $K=8-9$ – красного, $K=10-11$ – зелёного, $K=12-13$ – синего, $K\geq 14$ – чёрного

Сравнительный анализ повторяемости землетрясений активных структур Заилийского, Кунгейского поднятий – краевой, срединной подзон

На основе имеющихся достоверных фактических данных (каталогов землетрясений ИС НАН КР за 1960–2015 гг.) определена повторяемость землетрясений по закону Гутенберга-Рихтера [Gutenberg, Richter, 1954] (рис. 6) отдельно: а – в пределах краевой подзоны (Илийской впадины и Заилийского поднятия, где энергетический класс событий $K=8-14$) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита; б – в пределах срединной подзоны (Кунгейского поднятия, где энергетический класс событий $K=8-16$) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита.

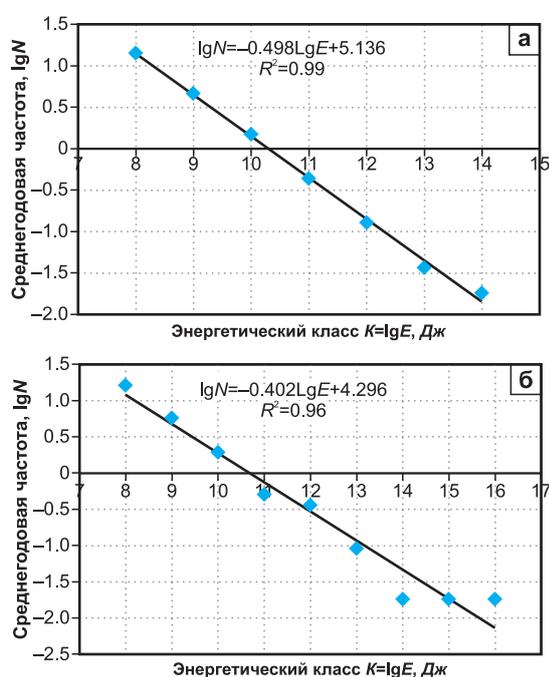


Рис. 6. Графики повторяемости землетрясений на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960–2015 гг.: а – с $K=8-14$ в пределах краевой подзоны (Илийской впадины и Заилийского поднятия); б – с $K=8-16$ в пределах срединной подзоны (Кунгейского поднятия)

В табл. 1 приведены эмпирические формулы повторяемости землетрясений в пределах активных структур Заилийского и Кунгейского поднятий и Илийской, Кеминской и Чиликской впадин, сформированных в краевой и срединной подзонах на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита.

Из эмпирических формул повторяемости землетрясений в табл. 1. видно, что коэффициент графика повторяемости в пределах краевой подзоны (Илийской впадины, Заилийского поднятия) относительно большой (0.498), а в пределах срединной подзоны (Кеминской и Чиликской впадин, Кунгейского поднятия) – сравнительно низкий (0.401). Соответственно, по значениям этих коэффициентов можно отметить, что повторяемость землетрясений в вышеотмеченных подзонах имеет фрактальную размерность.

Последовательность проявления землетрясений в зоне сопряжения Тянь-Шаня и Казахского щита

Последовательность проявления землетрясений [Касахара, 1985] с $K \geq 8$ в зоне сопряжения Тянь-Шаня и Казахского щита приведена на рис. 7а. После землетрясения с $K=12.8$ в 1960 г. наступил период сейсмической активизации. В 1970 и 1978 гг. произошли Сарыкамьшское и Жаланаш-Тюпское землетрясения с $K=15.6$. В дальнейшем отмечался спад активизации, а в 1990 и 1996 гг. произошли землетрясения с $K=15$ (Байсорунское) и $K=13.2$. В дальнейшем наступил период затишья. С 2006 г. снова наступил период сейсмической активизации, произошло Кочкорское землетрясение с $K=14.2$, а в 2013 г. проявилось Каркыра-Сарыджазское землетрясение с $K=15$.

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8$ в пределах активных структур Илийской впадины и Заилийского поднятия приведена на рис. 7б. В 1967 г. наступил период сейсмической активизации. Проявилось землетрясение с $K=12.2$. Сейсмическая активизация в 1975 г.

Таблица 1. Повторяемость землетрясений в краевой ($K=8-14$) и срединной ($K=8-16$) подзонах зоны сочленения области горообразования Тянь-Шаня и Казахского щита

Название подзоны	Эмпирические формулы повторяемости землетрясений	Достоверность аппроксимации, R^2
Краевая подзона – Илийская впадина, Заилийское поднятие	$\lg N = -0.498 \cdot \lg E + 5.136$	$R^2 = 0.99$
Срединная подзона – Кеминская и Чиликская впадины, Кунгейское поднятие	$\lg N = -0.401 \cdot \lg E + 4.296$	$R^2 = 0.96$

Примечание: N – средняя годовая частота землетрясений, E – сейсмическая энергия, R^2 – достоверность аппроксимации.

достигла своего максимума, произошло землетрясение с $K=13$. После отмечался спад активизации, и в 1986 г. проявилось землетрясение с $K=12.6$. В дальнейшем наступил период затишья. В 2012 г. снова наступил период активизации и произошло землетрясение с $K=13.9$.

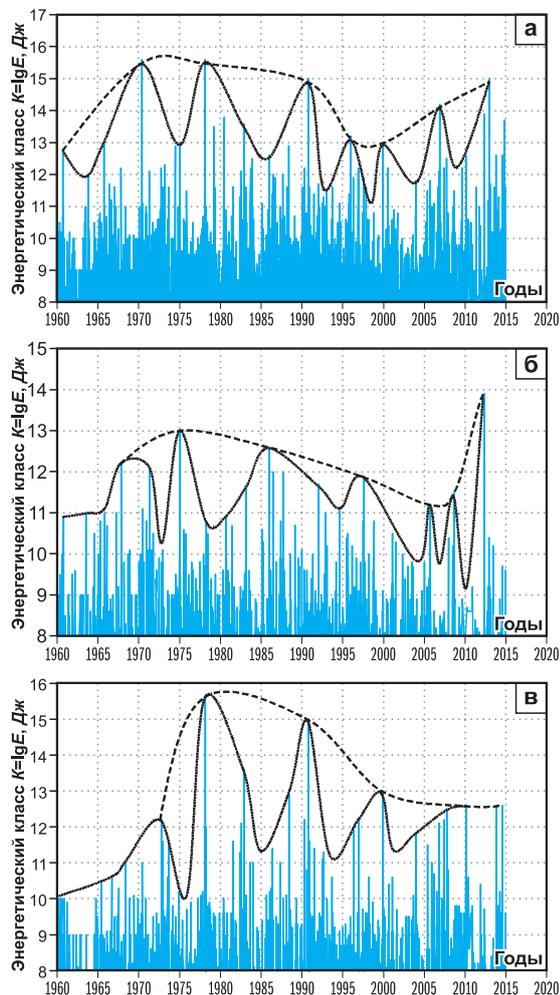


Рис. 7. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8$ за 1960–2015 гг.:

а – в зоне сопряжения Тянь-Шаня и Казахского щита; б – в пределах активных структур Илийской впадины и Заилийского поднятия на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита; в – в пределах активных структур Кеминской и Чиликской впадин и Кунгейского поднятия на сопряжении Тянь-Шаня и Казахского щита.

Сейсмическая активизация и затишье первого порядка обозначены пунктирной линией, сейсмическая активизация и затишье второго порядка – точечной линией.

Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8$ в пределах активных структур Кеминской и Чиликской впадин и Кунгейского поднятия приведена на рис. 7в. В 1972 г. наступил период сейсмической активизации. Проявилось

землетрясение с $K=12.2$. Сейсмическая активизация достигла своего пика в 1978 г., когда произошло Жаланаш-Тюпское землетрясение с $K=15.6$. После отмечался спад активизации, и в 1990 г. проявилось землетрясение с $K=15$ (Байсорунское), а в 1999 г. – землетрясение с $K=13$. В дальнейшем наступил период затишья.

Следовательно, в последовательности проявления землетрясений на сочленении литосфер Тянь-Шаня и Казахского щита отмечается иерархия сейсмических нелинейных циклов. В каждом цикле наблюдаются период сейсмической активизации, пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации и период сейсмического затишья. Одновременное отслеживание сейсмических циклов разного периода позволяет оценить уровень сейсмичности рассматриваемой области на заданном интервале времени.

Сравнительный анализ изменения кумулятивной сейсмической энергии в пределах активных структур Заилийского и Кунгейского поднятий – краевой и срединной подзон

Графики кумулятивной сейсмической энергии, высвобожденной при землетрясениях с $K \geq 8$ в пределах активных структур Заилийского и Кунгейского поднятий на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960–2015 гг. представлены на рис. 8 (а, б). Эти графики неровные, ступенчатые, что отражает в определенной мере проявление сейсмических циклов. На рис. 8а видно, что землетрясения краевой подзоны до 2012 г. произошли в условиях статического напряжения трения, так как график энергии находился вблизи нижней границы флуктуации, а с 2012 г. – в условиях динамического напряжения трения, поскольку график энергии находился вблизи верхней границы флуктуации [Касаха, 1985]. На рис. 8б видно, что землетрясения срединной подзоны до 1978 г. произошли в условиях статического напряжения трения, а с 1978 г. – в условиях динамического напряжения трения [Касаха, 1985].

Соответственно, можно предположить, что динамическое напряжение трения мигрировало от срединной подзоны к краевой подзоне.

В табл. 2 приведены эмпирические формулы (линейного тренда) высвобождения кумулятивной сейсмической энергии в пределах зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита – активных структур Заилийского и Кунгейского поднятий, сформированных в краевой и срединной подзонах.

Таблица 2. Эмпирические формулы высвобождения кумулятивной сейсмической энергии

Название подзоны	Эмпирические формулы
Краевая подзона – Илийская впадина, Заилийское поднятие	$E_k = (0.162 \cdot t - 319.684) \cdot 10^{13}, \text{ Дж}$
Срединная подзона – Кеминская, Чиликская впадины, Кунгейское поднятие	$E_k = (0.865 \cdot t - 1685.191) \cdot 10^{14}, \text{ Дж}$

Примечание: E_k – кумулятивная сейсмическая энергия, t – время.

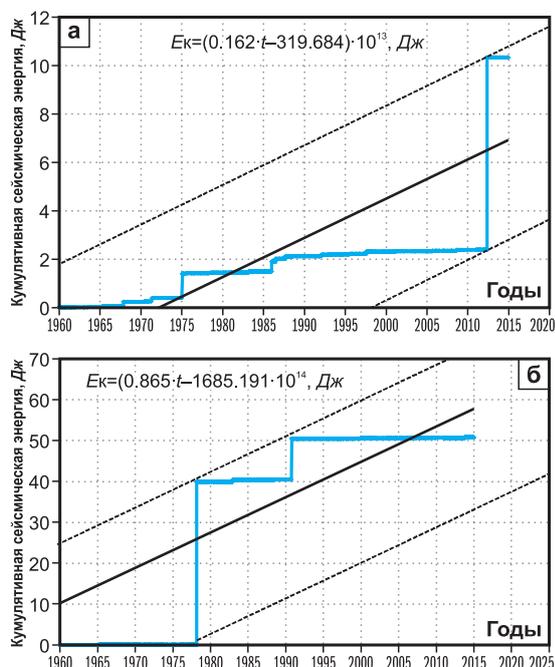


Рис. 8. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с $K \geq 8$ в пределах активных структур на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита за 1960–2015 гг.: а – краевой подзоны Заилийского поднятия; б – срединной подзоны Кунгейского поднятия. Сплошной линией обозначен линейный тренд, пунктирными линиями – верхний и нижний пределы флуктуации

Из табл. 2. видно, что скорость высвобождения сейсмической энергии в пределах срединной подзоны (Кунгейское поднятие) относительно высокая – $0.865 \cdot 10^{14} \text{ Дж/год}$, в пределах краевой подзоны (Заилийское поднятие) сравнительно низкая – $0.162 \cdot 10^{13} \text{ Дж/год}$.

Векторы сейсмической активизации Заилийского и Кунгейского поднятий и сопряжённых частей Илийской, Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита

В распределении землетрясений активных разломов, поднятий, тектонических блоков в пространстве и во времени наблюдаются

процессы сейсмической активизации, миграция этой активизации, направление и скорость миграции, которые составляют вектор сейсмической активизации [Омуралиев, Омуралиева, 2012].

Для оценки вектора сейсмической активизации [Омуралиев, Омуралиева, 2012] рассмотрено распределение землетрясений вдоль и поперёк активных структур (в пределах территории $\varphi = 42.0 - 43.7^\circ \text{N}$, $\lambda = 75.0 - 80.0^\circ \text{E}$) во времени за 1960–2015 гг. по данным ИС НАН КР.

В распределении землетрясений во времени вдоль (по долготе) активных структур на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются векторы сейсмической активизации (рис. 9а). Миграция активизации направлена с запада на восток и с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda = 77.3 - 78.7^\circ \text{E}$, представляющей область концентрации значительных землетрясений. Кажущаяся скорость миграции сейсмической активизации, направленная с востока, составляет около $12 - 16 \text{ км/год}$, а скорость миграции сейсмической активизации, направленная с запада, – около 8 км/год .

На рис. 9б показано распределение землетрясений вдоль поднятий (Заилийского, Кунгейского) и сопряжённых частей впадин (Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960–2015 гг. Выделяются векторы сейсмической активизации. Здесь миграция активизации направлена с запада на восток и с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda = 77.2 - 78.7^\circ \text{E}$. Кажущаяся скорость миграции сейсмической активизации, направленная с востока, составляет около 13.5 км/год , а скорость миграции сейсмической активизации, направленная с запада, – около 8.2 км/год .

Распределение землетрясений поперёк поднятий (Заилийского и Кунгейского) и сопряжённых частей впадин (Илийской, Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960–2015 гг. показало, что миграция активизации направлена с севера на юг. Кажущаяся скорость миграции сейсмической активизации составляет около 1.0 км/год .

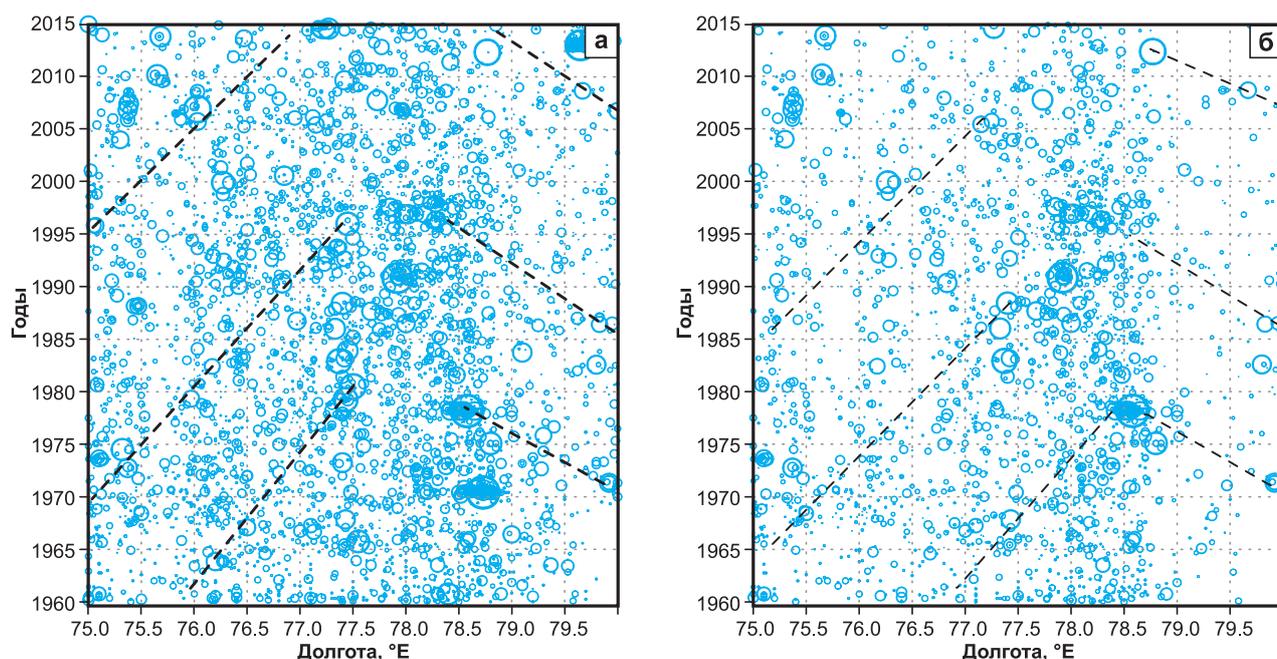


Рис. 9. Распределение землетрясений во времени за 1960–2015 гг.:

- а – вдоль (с запада 75°E на восток 80°E) зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита;
 б – вдоль (с запада 75°E на восток 80°E) поднятий (Заилийского, Кунгейского) и сопряжённых частей впадин (Илийской, Кеминской, Чиликской, Иссык-Кульской) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита

В распределении землетрясений во времени вдоль (по долготе) активных структур Заилийского поднятия в северной (передовой) части сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита отмечаются векторы сейсмической активизации (рис. 10а). Миграция активизации направлена с запада на восток и с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda=77.5\text{--}78.5^\circ\text{E}$. Кажущаяся скорость миграции сейсмической активизации, направленная с востока, составляет около 13 км/год, а скорость миграции сейсмической активизации, направленная с запада – около 11 км/год.

Распределение землетрясений поперёк активных структур Заилийского поднятия и сопряжённых частей впадин (Илийской, Кеминской и Чиликской) на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960–2015 гг. показало, что миграция активизации направлена с севера на юг, и её кажущаяся скорость составляет 1.1 км/год.

На рис. 10б показано распределение землетрясений вдоль активных структур Кунгейского поднятия и сопряжённых частей Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960–2015 гг. Выделяются векторы сейсмической активизации. Миграция активизации направлена с запада на восток и

с востока на запад навстречу друг другу в пределах полосы $\lambda=77.7\text{--}78.3^\circ\text{E}$. Кажущаяся скорость миграции сейсмической активизации, направленной с востока, составляет около 18 км/год, а скорость миграции сейсмической активизации, направленной с запада, – около 8.2 км/год.

Распределение землетрясений поперёк активных структур Кунгейского поднятия и сопряжённых частей Илийской, Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской впадин на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960–2015 гг. показало, что миграция активизации направлена с севера на юг, и её кажущаяся скорость составляет около 0.5 км/год.

Следовательно, во всей изученной зоне сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита и её частях отмечаются векторы сейсмической активизации (табл. 3). Центральная часть зоны в пределах полосы $\lambda=77.2\text{--}78.7^\circ\text{E}$ представляет собой особый сегмент, где встречаются векторы активизации, проявленные вдоль активных структур. Можно отметить, что в зоне, где литосфера Казахского щита поддвигается под область горообразования, а литосфера Тянь-Шаня надвигается на щит, сформировались краевая – Заилийская и срединная – Кунгейская подзоны (секторы). Ширина их на плане составляет 35–40 и 30–35 км соответственно.

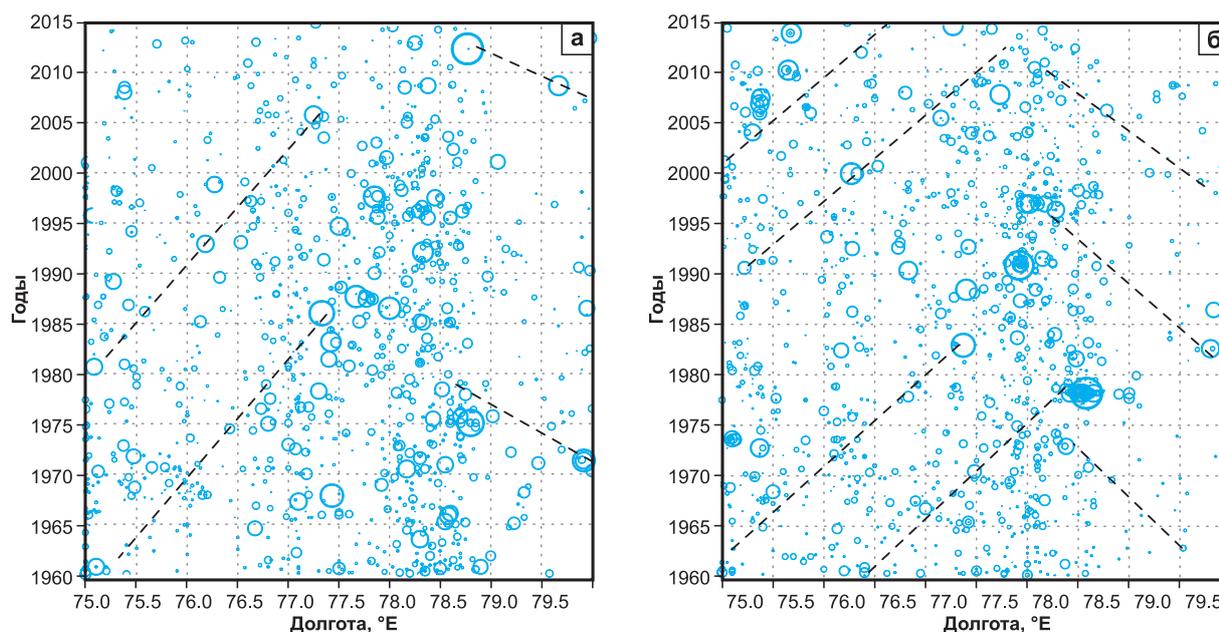


Рис. 10. Распределение землетрясений на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита во времени за 1960–2015 гг. вдоль активных структур:

- а – Заилийского поднятия и сопряжённых частей впадин (Илийской, Кеминской и Чиликской);
- б – Кунгейского поднятия и сопряжённых частей впадин (Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской)

Таблица 3. Направление и скорость сейсмической активизации в районах зоны сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита

№	Районы сочленения Тянь-Шаня и Казахского щита	Скорость миграции сейсмической активизации (км/год), направленных:		
		поперёк активных структур	вдоль активных структур	
			с севера на юг	с запада на восток до центра
1	Заилийское, Кунгейское поднятия и сопряжённые части Илийской, Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской впадин	1.0	8.2	13.5
2	Заилийское поднятие и сопряжённые части Илийской, Кеминской и Чиликской впадин	1.1	11.0	13.0
3	Кунгейское поднятие и сопряжённые части Кеминской, Чиликской и Иссык-Кульской впадин	0.5	8.2	18

Заключение

1. На основании сейсмотомографических и сейсмотектонических данных отмечено, что литосфера Тянь-Шаня надвигается на литосферу Казахского щита, а литосфера Казахского щита поддвигается под литосферу Тянь-Шаня. Развивается зона субдукции, формируются краевая (активные структуры Илийской впадины и Заилийского поднятия) и срединная (активные структуры Кеминской и Чиликской впадин, Кунгейского поднятия) сейсмогенерирующие

подзоны, которые имеют характерные сейсмичность и сейсмический режим.

2. В пространственно-временном распределении землетрясений в Кемино-Чиликской зоне отмечаются динамическая сегментация и динамическая секторизация, векторы сейсмической активизации направлены с востока и запада к сильно сжатой центральной части зоны.

3. Поперёк активных структур установлены сейсмические «дорожки» землетрясений (скрытые разрывы и разломы), отражающие процессы динамической секторизации дискретной

геофизической среды. Отмечено, что перед Жаланаш-Тюпским (1978 г., $K=15.6$) и Байсорунским (1990 г., $K=15.3$) землетрясениями проявления сейсмических «дорожек» прерывались.

4. Краевая и срединная сейсмогенерирующие подзоны зоны субдукции на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита характеризуются свойственными графиками повторяемости землетрясений, изменениями кумулятивной сейсмической энергии, последовательностями проявления землетрясений и периодов сейсмической активизации и затишья. Крупные землетрясения появляются в цикле первого порядка с длинным периодом, значительные и малые землетрясения – в циклах с соответствующими короткими периодами.

Литература

- Аристов И., Зенков П.* Заметка о Чиликском землетрясении // Туркестанские ведомости. – 1889. – № 30. – С. 2.
- Богданович К.И.* Землетрясение 22 декабря 1910 года в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-Кулем // Известия Геологического Комитета. – 1911. – Т. 30, № 4. – С. 329–419.
- Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В.* Сильные землетрясения Тянь-Шаня. – Бишкек: Илим, 2003. – 216 с.
- Касахара К.* Механика землетрясений (перев. с англ.). – М.: Мир, 1985. – 264 с.
- Мушкетов И.В.* Верненское землетрясение 28 мая (9 июня) 1887 г. // Труды Геологического комитета. – 1890. – Т. 10, № 1. – 154 с.
- Мушкетов И.В.* Материалы для изучения землетрясений России // Известия РГО. – 1891. – № 27, вып. 1. – 62 с.
- Мушкетов И.В.* Чиликское землетрясение 30 апреля 1889 года. Материалы для изучения землетрясений России // Известия РГО. – 1899. – Вып. 2. – 106 с.
- Омуралиев М., Омуралиева А.* Сегментация и сейсмическая опасность зоны Таласо-Ферганского разлома Тянь-Шаня // Наука и новые технологии. – 2012. – № 3. – С. 70–83.
- Шерман С.И.* Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. – Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2014. – 359 с.
- Gutenberg B., Richter C.F.* Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd edition. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1954. – 310 p.
- Hasegawa A., Nakajima J., Umino N., Miura S.* Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity // Tectonophysics. – 2005. – 403/1–4. – P. 59–75.
- Lei J., Zhao D.* Teleseismic P-wave tomography and the upper mantle structure of the Central Tien Shan orogenic belt // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2007. – V. 162 – P. 165–185. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2007.04.010>
- Omuraliev M., Omuralieva A.* Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan. – Bishkek: Ilim, 2004. – 166 p.
- Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A.* Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building // Tectonophysics. – 2009. – V. 465. – P. 30–44. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.10.010>

Сведения об авторах

Мураталиева Жазгул Зайырбековна, аспирант, инженер I кат. Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: zhazgul0404@mail.ru

Омуралиева Айымжан Медербекковна, канд. геол.-мин. наук, зав. лаб. ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: omuraika@mail.ru

Monitoring the dynamics of seismicity within the Kemin-Chilik zone, generating $M \geq 8$ earthquakes

© 2020 J.Z. Muratalieva, A.M. Omuralieva

IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic

Abstract Dynamics of seismic processes at the junction of the Tien Shan mountain building area and the Kazakh shield is presented in the paper. It is noted that the Tien Shan's lithosphere over thrusts the Kazakh Shield's lithosphere, and the Kazakh Shield's lithosphere under thrusts beneath the Tien Shan's lithosphere based on the seismic tomographic and seismotectonic data. Low-velocity heterogeneity is distinguished at the junction of these lithospheres, under where a low-velocity anomaly flow is assumed in the mantle. Marginal (active structures of the Ili basin, Zaili mountain range), and middle (active structures of the Kemin, Chilik basins, Kungei mountain range) subzones with characteristic seismicity and seismic regimes are formed in here. Seismogenic zones are distinguished (from north to south): Predzaili, Kemin-Chilik, Predkungei. Powerful earthquakes with $M > 8$ occur in the Kemin-Chilik seismogenic zone (about 250 km long and up to 25 km wide), and earthquakes with $M = 7-8$ - in the Predzaili and Predkungei seismogenic zones. Dynamics of the earthquakes' sequence is predetermined by the dynamics of the hierarchy of faults and blocks in the junction zone. The sequence of earthquakes is expressed by the hierarchy of seismic cycles. Seismic activation period, a peak of seismic activation, period of seismic activation's decay and seismic calm period are distinguished in every cycle. Strong earthquakes take place in a first-order cycle with long period, significant and small earthquakes - in cycles with corresponding short periods. Seismicity level of the study area is determined by the trajectory of the seismic cycles' association. Dynamic segmentation and dynamic sectorization, vectors of seismic activity directed from the east and west to the highly compressed central part of the region are noted in the spatial and temporal distribution of earthquakes at the junction of the Tien Shan and the Kazakh shield.

Keywords Under thrusting and over thrusting of the lithosphere, low-velocity heterogeneity, earthquake, dynamics of seismicity, seismicity level, hierarchy of seismic cycles, vector of seismic activation, dynamic segmentation, dynamic sectorization.

For citation Muratalieva, J.Z., & Omuralieva, A.M. (2020). [Monitoring the dynamics of seismicity within the Kemin-Chilik zone, generating $M \geq 8$ earthquakes]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(4), 51-62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.05>

References

- Aristov, I., & Zenkov, P. (1889). [A note about the Chilik earthquake]. *Turkestanskije vedomosti* [Turkestan-skije vedomosti], 30, 2. (In Russ).
- Bogdanovich, K.I. (1911). [Earthquake on December 22, 1910 in the northern chains of the Tien Shan between Verny and Issyk-Kul]. *Izvestiia Geologicheskogo Komiteta* [Proceedings of the Geological Committee], 30(4), 329-419. (In Russ).
- Dzhanuzakov, K.D., Omuraliev, M., Omuralieva, A., Il'iasov, B.I., & Grebennikova, V.V. (2003). *Sil'nye zemletriaseniia Tian'-Shania* [Strong earthquakes in the Tien Shan]. Bishkek: Ilim Publ., 216 p. (In Russ).
- Gutenberg, B., & Richter, C.F. (1954). *Seismicity of the Earth and associated phenomena*, 2nd ed. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 310 p.
- Hasegawa, A., Nakajima, J., Umino, N., & Miura, S. (2005). Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity. *Tectonophysics*, 403(1-4), 59-75.
- Kasahara, K. (1981). *Earthquake Mechanics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 272 p.
- Lei, J., & Zhao, D. (2007). Teleseismic P-wave tomography and the upper mantle structure of the Central Tien Shan orogenic belt. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 162, 165-185. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2007.04.010>
- Mushketov, I.V. (1890). [Vernenskoe earthquake on May 28 (June 9) 1887]. *Trudy Geologicheskogo komiteta* [Proceedings of the Geological Committee], 10(1), 154 p. (In Russ).
- Mushketov, I.V. (1891). [Materials for studying earthquakes In Russia]. *Izvestiia Russkogo geograficheskogo*

obshchestva [Proceedings of the Russian Geographical Society], 27(1), 62 p. (In Russ).

Mushketov, I.V. (1899). [Chilik earthquake on April 30, 1889. Materials for studying earthquakes In Russia]. *Izvestiia Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Proceedings of the Russian Geographical Society], 2, 106 p. (In Russ).

Omuraliev, M., & Omuralieva, A. (2004). *Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan*. Bishkek, Kyrgyzstan: Ilim Publ., 166 p.

Omuraliev, M., & Omuralieva, A. (2012). [Segmentation and seismic hazard of the Talas-Fergana fault zone of the Tien Shan]. *Nauka i novye tehnologii* [Science and new technologies], 3, 70-83. (In Russ.).

Omuralieva, A., Nakajima, J., & Hasegawa, A. (2009). Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building. *Tectonophysics*, 465, 30-44. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2008.10.01>

Sherman, S.I. (2014). *Seismicheskij process i prognoz zemletrjasenij: tektonofizicheskaja koncepcija* [Seismic process and earthquake forecast: tectonophysical concept]. Novosibirsk, Russia: Akademicheskoe izdatel'stvo GEO Publ., 359 p. (In Russ.).

Information about the authors

Muratalieva Zhazgul Zaiyrbekovna, Graduate Student, 1st cat. Engineer of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: zhazgul0404@mail.ru

Omuralieva Aiymjan Mederbekovna, PhD, Head of the Laboratory of the IS NAS KR, Bishkek, Kyrgyz Republic. E-mail: omuraika@mail.ru