

УДК 550.34

НОВЫЕ ДЕТАЛИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ И СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЖУНГАРИИ

Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Полешко Н.Н., Аристова И.Л.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Представлены новые данные о сейсмической истории Джунгарии. Дополненные каталоги сильных землетрясений создали основу для геодинамических построений и тектонических интерпретаций в Джунгарии. Выявленные очаги сильнейших землетрясений должны быть учтены при расчетах карт сейсмического зонирования нового поколения.

На территории Казахстана район Джунгарского Алатау является одним из наиболее сейсмически активных. На карте сейсмогенерирующих зон Казахстана [1] в этом районе выделены зоны с максимальной возможной магнитудой более 8, а ожидаемая сейсмическая интенсивность сотрясений может достигать 9 баллов

Известно, что оценки сейсмической опасности базируются на знании исторической сейсмичности региона, а также на детальной информации по тектонике. В статье рассматриваются новые данные по исторической сейсмичности, которые должны быть учтены на этапе уточнения оценок сейсмической опасности, а также современные данные по инструментальным наблюдениям в большом районе Джунгарии, которые помогают следить за тенденциями развития сейсмического процесса и делать заключения о среднесрочном и долгосрочном прогнозе сильных землетрясений.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ДЖУНГАРИИ

Для улучшения имеющихся исторических каталогов землетрясений в целях повышения достоверно-

сти оценки сейсмической опасности территории Джунгарии, а также обеспечения возможности лучше понять природу некоторых наблюдаемых геодинамических проявлений в этом регионе, использованы новые данные, полученные в последние годы различными исследователями, включая авторов статьи, о палеоземлетрясениях и результатах релокализации гипоцентров известных землетрясений.

Во-первых, использованы данные о неизвестных ранее Лепсинских землетрясениях на территории Казахстана (рисунки 2, 3). Очаги Лепсинских палеоземлетрясений выявлены и изучены комплексной международной экспедицией в рамках проекта «Землетрясения без границ» под руководством профессора Университета Оксфорд Р. Уолкера и профессора Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызстана К.Е. Абдрахматова. В полевых работах участвовал научный сотрудник Института геофизических исследований А. Мукамбаев. Наблюдения, анализ спутниковых снимков и полевые работы экспедиции [2, 3] показали, что в восточном Прибалхашье на Лепсинском разломе, простирающемся в направлении В-З на ~120 км от Джунгарского Алатау

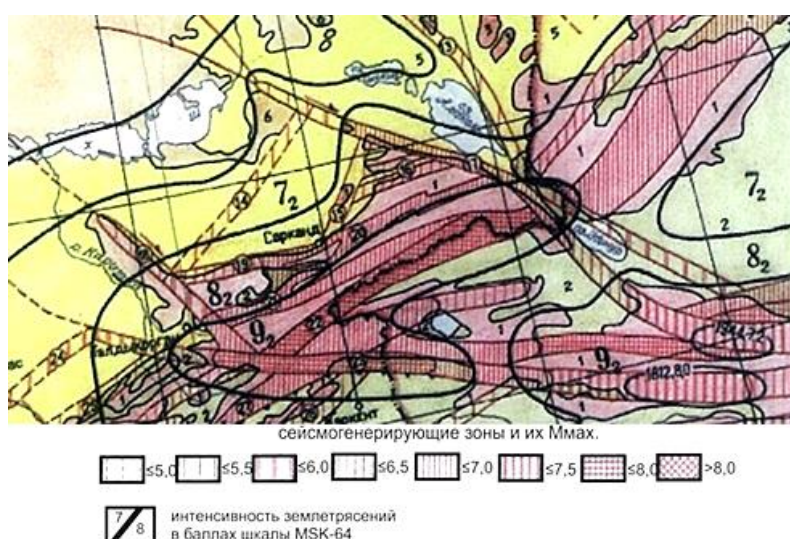


Рисунок 1. Фрагмент карты Общего сейсмического районирования Казахстана для территории Джунгарии [1]

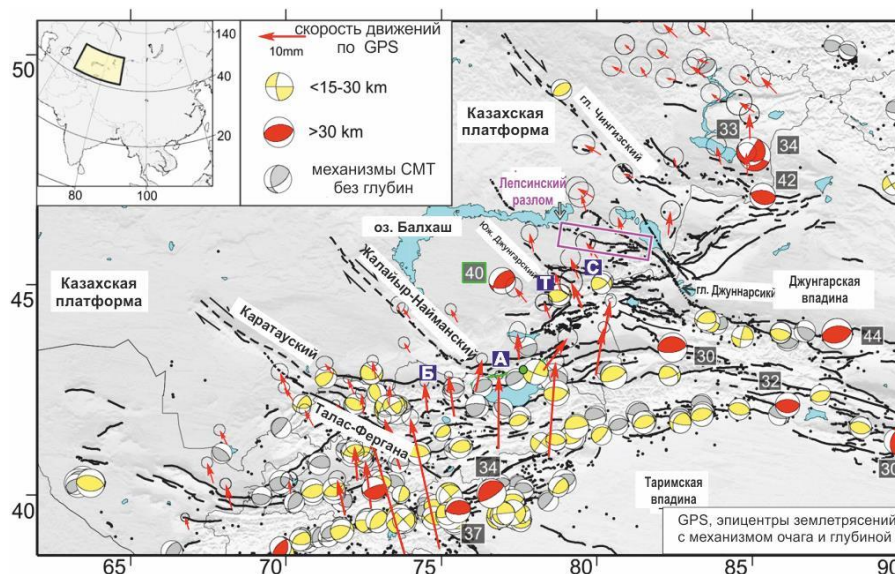


Рисунок 2. Основная карта района работ по [2]. Рисунок иллюстрирует главные разломы, фокальные механизмы землетрясений, глубины и скорость по GPS

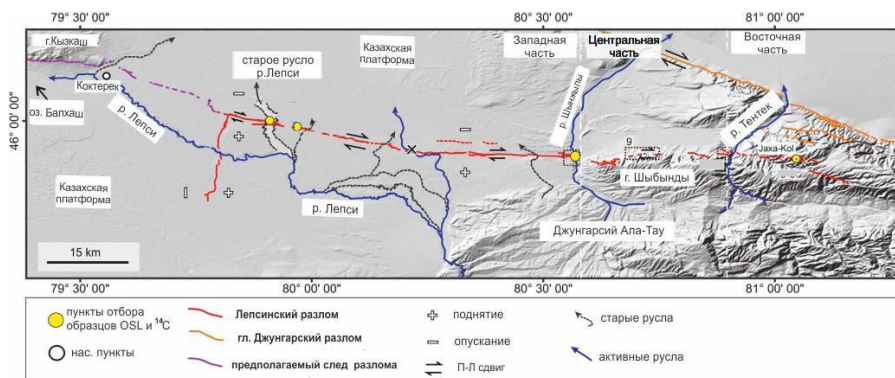


Рисунок 3. Карта рельефа района простираения Лепсинского разлома [3]

до низлежащей Казахской платформы, имели место сильнейшие землетрясения. Определение возраста самых последних поверхностных событий на Лепсинском разломе позволяет предположить, что здесь произошло два сильных землетрясения: первое, как минимум, 5000 лет назад в западной части разлома, и второе, примерно 400 лет назад по всей длине разлома. Расчеты размера землетрясения по различным эмпирическим соотношениям позволил предположить, что последнее событие могло иметь максимальную магнитуду $M_w = 7,5-8,2$.

Авторы [2, 3] склонны считать, что Лепсинское землетрясение, вероятно, и есть то событие, о котором упоминается в каталоге (Мушкетов и Орлов, 1893 г.) как о самом раннем известном в Джунгарии сильном землетрясении 1715 г. Однако есть основания считать, что это два разных события. В каталоге, изданном в Китае [4], существует информация о землетрясении 1716 г. с магнитудой 7,5 (Текесское землетрясение). Его очаговая зона расположена строго на юг от предполагаемого Лепсинского землетрясения примерно в 300 км (рисунок 4).

По Текесскому землетрясению в той же работе [4] имеется карта изосейст (рисунок 5), где показана линия разрыва при землетрясении и изосейсты балльности с пунктами на территории Китая и Казахстана, в которых согласно архивным материалам зафиксированы разрушения. Отмечены зоны обрушений, обвалы, оползни при этом землетрясении, а также положение разрыва в очаге [4]. По наблюдаемым палеосейсмодислокациям и данным о сотрясениях с большой долей вероятности оконтурена эпицентральная зона. Хотя по времени Текесское землетрясение произошло в близкий к Лепсинскому землетрясению исторический период (примерно 400 лет назад), пространственно это совершенно разные очаги. Два сильнейших землетрясения имели и близкую энергию: Лепсинское с магнитудой $M_w = 7,5-8,2$ и Текесское с $M_w = 7,5$.

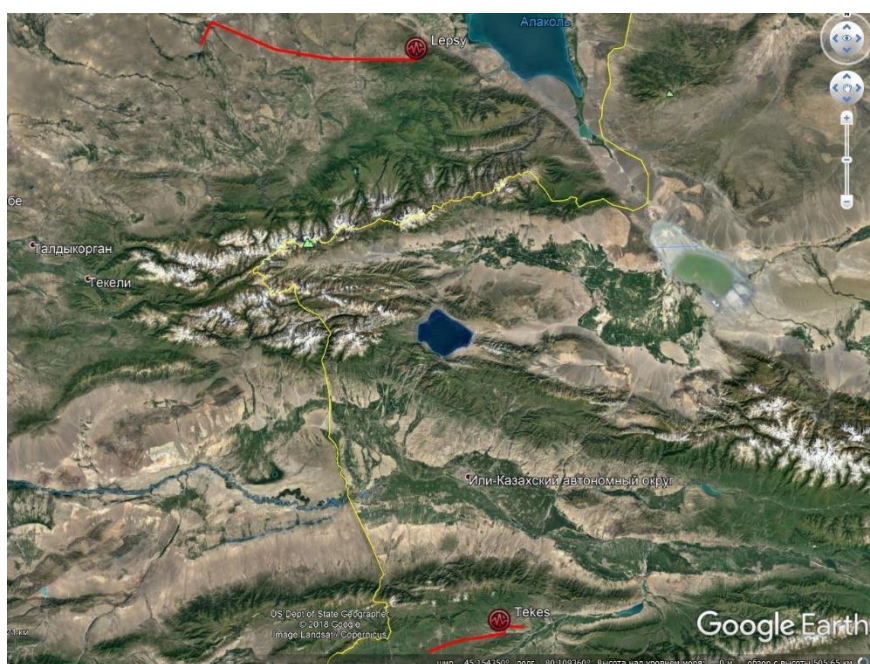
Следует отметить, что особенностью проявления сильных землетрясений на Северном Тянь-Шане является пространственно-временное группирование сильнейших землетрясений в один период активизации, как это было, например, в конце XIX – начале

XX века. За 26 лет в пределах одной сейсмогенерирующей зоны произошли Верненское (1887 г.), Чиликское (1889 г.) и Кеминское (1911 г.) землетрясения, два из которых имели магнитуду, превышающую 8. Аналогичная закономерность присуща и району Джунгарии. На рисунке 6 показано временное распределение сильных землетрясений Джунгарии.

Из рисунка 6 видно чередование периодов активизации с наличием сильных толчков (с магнитудой выше 7,5) и периодов затишья. В настоящее время наблюдается период сейсмического затишья.

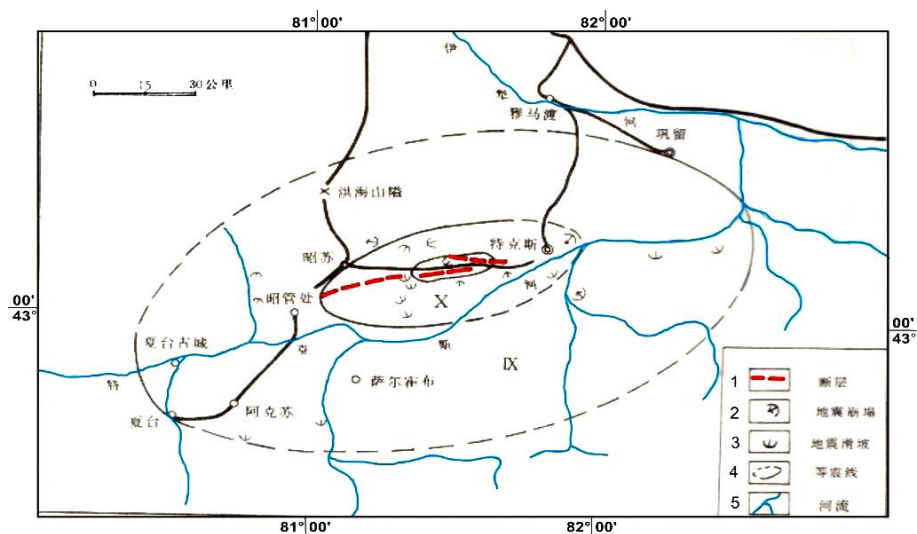
Во-вторых, для уточнения каталога землетрясе-

ний Джунгарии была использована информация из [5] по уточнению параметров трех землетрясений Джунгарии: Манасского 22 декабря 1906 г. с магнитудой $M_w=7,3\pm0,3$ и двух Сияньских землетрясений, произошедших в один день 6 марта 1944 г. с магнитудами $M_w=6,7\pm0,3$ и $7,3\pm0,3$. Их эпицентры были перелокализованы по данным о временах вступлений, снятых с архивных сейсмограмм мира. Переопределены магнитуды, а также получены решения по механизмам очагов. На рисунке 7 представлена карта с переопределенными местами и механизмами этих землетрясений.



● – эпицентр землетрясения, — – простираение разлома

Рисунок 4. Расположение эпицентров Лепсинского и Текесского землетрясений



1 – разрывное нарушение; 2 – обвал; 3 – оползень; 4 – изосейста; 5 – река

Рисунок 5. Карта изосейст Текесского землетрясения ($M_w=7,5$) 1716 г. [4]

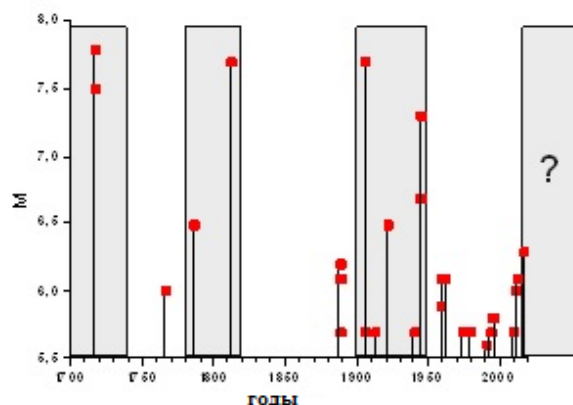


Рисунок 6. Распределение сильных землетрясений Джунгарии с магнитудой более 5,5 во времени

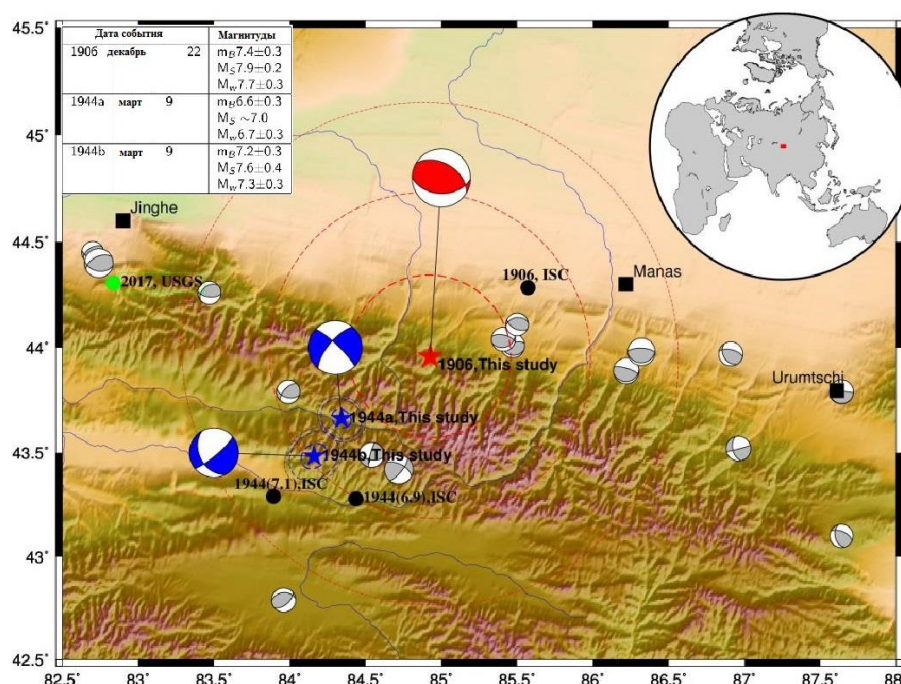


Рисунок 7. Фокальные механизмы и результаты перелокализации Манасского (1906 г., красный цвет) и Синьянских землетрясений (1944 г., синий цвет) [5]

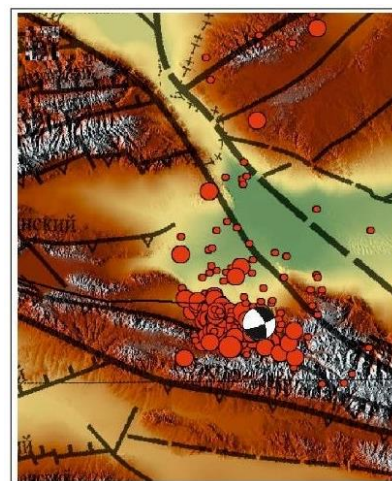
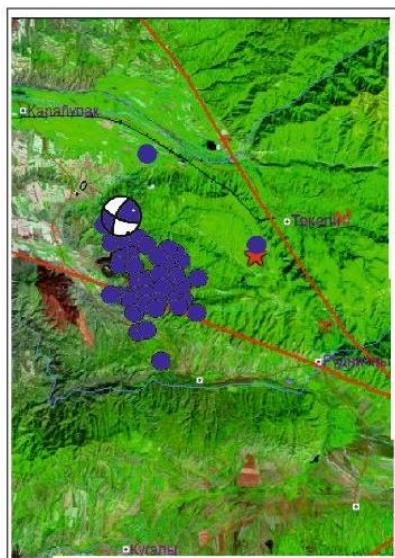
Полученные измененные данные внесены в каталог землетрясений Центральной Азии [6], созданный ранее по проекту МНТЦ EMCA (The Earthquake Model of Central Asia). В настоящее время работа над каталогом Центральной Азии продолжается в новом проекте МНТЦ CASHA-BU (Central Asia Seismic Hazard Assessment and Bulletin Unification).

В-третьих, использованы данные для понимания природы считавшегося «странным» Баканасского землетрясения 1979 г. с магнитудой $M_W=5,7$ на территории Казахстана. При совместном рассмотрении сейсмичности всего большого района Джунгарии на территории Казахстана и Китая обращает на себя внимание цепочка глубоких землетрясений, протянувшаяся вдоль хребтов юго-восточно – северо-западного простирания (рисунок 2). Глубина всех этих

землетрясений составляет более 30 км. На севере завершает эту цепочку Баканасское землетрясение с глубиной очага 40 км [6]. Это землетрясение, произошедшее в 1979 г., долгое время считалось уникальным по ряду причин, среди которых: 1) пространственное расположение его очага на платформе в практически асейсмичном районе; 2) экстремально большая глубина очага для Северного Тянь-Шаня, 3) полное отсутствие афтершоков. Вызывала сомнение глубина очага этого землетрясения – 40 км, нехарактерная для землетрясений Северного Тянь-Шаня. Этот вопрос снимается при сопоставлении позиции землетрясения в тектоническом плане на карте большого района Джунгарии со всей цепочкой глубоких очагов с выходом на платформу. Лепсинское землетрясение, имеющее также большую глубину (30 км)

Таблица. Основные параметры последних сильных землетрясений Джунгарии

№	Дата	Время	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	Магнитуда, mb	Название	Примечание
1	30.12.1993	14:24:02	44,74	78,8	21	5,7	Текели 1	рисунок 8-а
2	13.06.2009	17:17:37	44,73	78,83	19,2	5,7	Текели 2	рисунок 8-б
3	08.08.2017	23:27:53	44,37	82,83	20	6,3	Борохоро	рисунок 8-в



а) Текелийское землетрясение, 1993 г. б) Текелийское землетрясение, 2009 г. в) Борохорское землетрясение, 2017 г.

Рисунок 8. К таблице основных параметров и эпицентры главных толчков и афтершоков трех землетрясений

и находящееся на платформе, вписывается в аналогичную цепочку, только вдоль другого разлома такого же простираия.

В-четвертых, выявлен интересный факт сходного сценария в проявлении главных толчков и их афтершоков у землетрясений в разных областях Джунгарии. По сильнейшим землетрясениям с магнитудой более 7 в настоящее время наблюдается сейсмическое затишье, однако землетрясения меньшей магнитуды (более 5,5) происходят на этой территории как в Казахстане, так и в Китае. В Казахстане к таким относятся Текелийские землетрясения 1993 г. и 2009 г. с $m_b = 5,7$ (максимальная интенсивность сотрясений в городе Текели достигала 7 баллов). Сильнейшим на территории Китая было Борохорское землетрясение 2017 г., с $m_b = 6,3$, которое ощущалось не только в Китае, но на большой территории Казахстана. Во всех трех случаях сценарии развития процессов в очагах были подобными.

Расположение очагов главных толчков и их афтершоков локализуется в тектоническом клине между разломами: Южно- и Западно-Джунгарским у Текелийских землетрясений, Южно- и Восточно-Джунгарским – у Борохорского (таблица, рисунок 8).

Во всех трех случаях отмечены одинаковые особенности при сопоставлении решений механизмов очагов по первым вступлениям объемных волн (МО)

и тензора центроида сейсмического момента (СМТ) по методике инверсии поверхностных волн (рисунок 9).

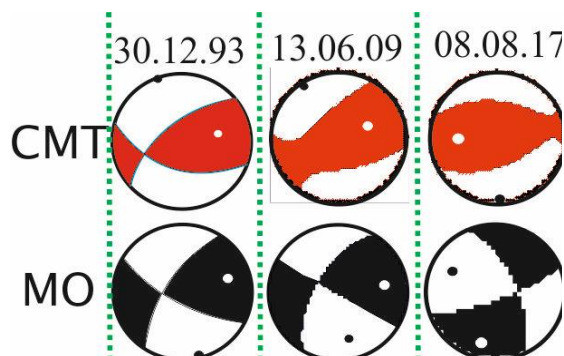


Рисунок 9. Сопоставление решений механизма очага и СМТ для Текелийских землетрясений и Борохорского землетрясения

Следует отметить, что во всех 3-х случаях решения представляют собой комбинацию из крутопадающих плоскостей северо- и юго-восточного простираия, подвижки по которым реализовались в условиях близгоризонтального субмеридионального сжатия [8].

В первом движении превалирует горизонтальная составляющая подвижек по простираию круто падающих плоскостей, а в главной фазе – взброс, причем

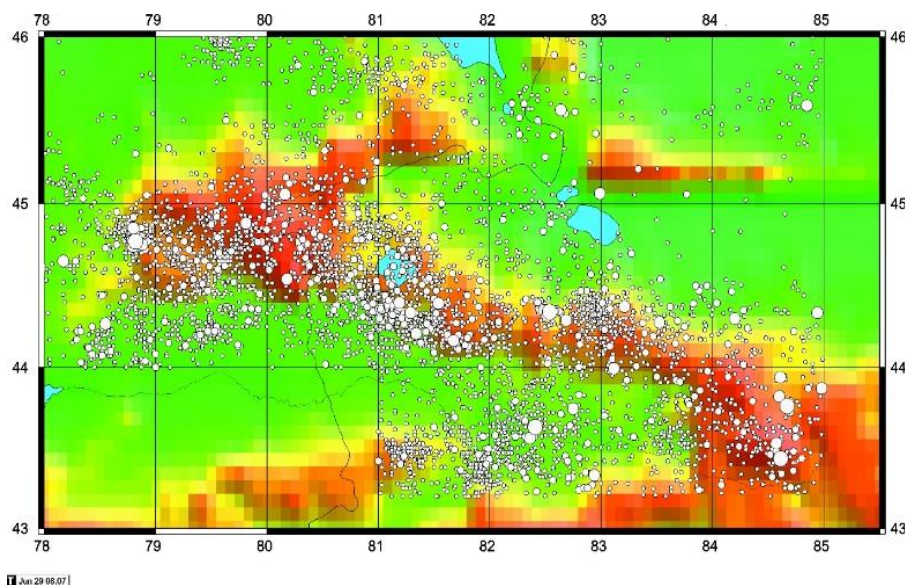


Рисунок 10. Карта эпицентров землетрясений Джунгарии за 1991–2017 гг. с магнитудой $m_b \geq 3$

падение плоскостей при развитии разрыва становится более пологим. Большее подобие по данным 2-х методов получено для плоскости северо-восточного простирания, круто падающей на юго-восток в Текелийских очагах и на северо-запад – в Борохорском, являющейся более вероятной плоскостью разрыва, тогда как ориентация 2-й плоскости в разных методах существенно отличается [8].

Афтершоковая деятельность развивалась висячем крыле плоскостей разрывов северо-восточного простирания – в Текелийских – в юго-восточном направлении, в Борохорском – в северо-западном. Такое расположение очагов в клине между двумя тектоническими разломами ограничивает силу землетрясения в данном месте размерами клина. Поле афтершоков, линейные размеры клина хорошо соответствуют магнитудам описываемых событий.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕРРИТОРИИ ДЖУНГАРИИ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Сейсмический мониторинг территории Джунгарии продолжается. В нем принимают участие станции СОМЭ МОН РК, ИГИ МЭ РК, а также станции глобальных сетей сейсмического мониторинга. На рисунке 10 представлена карта эпицентров землетрясений за период 1991–2017 гг. с магнитудой более 3.

Во временном ходе сейсмичности было замечено, что в последние десять лет в этом районе наблюдается резко нестабильная ситуация. С 2007 г. произошла активизация слабой сейсмичности. Причем увеличение количества землетрясений затронуло разные энергетические диапазоны событий – с магнитудой 3 и более, 4 и более, 5 и более (рисунок 11). Наблюдаемый тренд в изменении количества событий с магнитудой 5 и более свидетельствует о росте напряженности в этом районе. Мониторинг за этой территорией должен продолжаться.

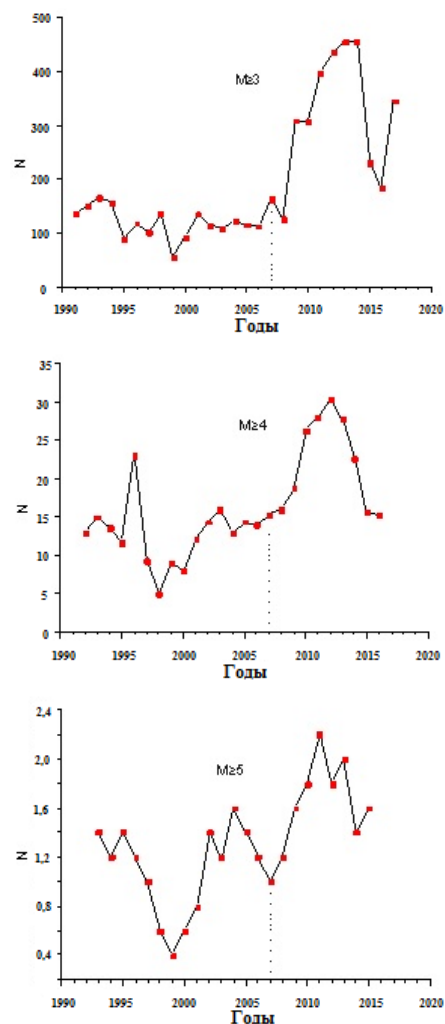


Рисунок 11. Графики годовых вариаций землетрясений в разных магнитудных диапазонах

Выводы

1. За последние годы получены новые данные о сейсмической истории территории Джунгарии, которые с высокой долей вероятности показывают, что в Прибалхашье на Лепсинском разломе в прошлом имели место сильнейшие землетрясения, последнее из которых с магнитудой около 8 произошло примерно 400 лет назад. Из этого факта следует, что при оценке сейсмической опасности и рассмотрении долгосрочных деформаций следует охватывать исследованиями гораздо больший период времени, не ограничиваясь данными только периода инструментальных наблюдений. Пример Лепсинского разлома показывает, что структуры в регионах, которые считаются стабильными, могут быть реально сейсмически опасными.

2. Авторы считают, что в прошлом (примерно 400 лет назад) в Джунгарии имели место два различных сильных землетрясения: с магнитудой 7,5–8,2 и 7,5 – Лепсинское и Текесское, а не одно, как считается в [2]. Этот факт следует учитывать при расчете карт сейсмической опасности Казахстана.

3. Последние 70 лет на территории Джунгарии не было событий с магнитудой более 7, но ход изменения количества событий с магнитудой 5 свидетельствует о нарастании напряженности в этом районе. Мониторинг сейсмической активности в этом районе должен вестись постоянно.

4. Сопоставление различных параметров наиболее сильных землетрясений Джунгарии последнего периода на территории Казахстана и на территории Китая свидетельствует о большом сходстве в их параметрах и сценариях развития процессов в очагах. Показано, что два Текелийских землетрясения в Казахстане и Борохорское землетрясение в Китае подтверждают вывод об единой системе напряжений, действующих в этом районе.

5. Новые сейсмические данные о сильных землетрясениях дают основу для геодинамических построений и тектонических интерпретаций в Джунгарии, выявленные очаги сильнейших землетрясений должны быть учтены при расчетах карт сейсмического зонирования нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курскеев, А.К. Общее сейсмическое районирование территории Казахстана / А.К. Курскеев, А.В. Тимуш, А.С. Сыдыков, В.И. Шапилов // Карта ОСР территории Казахстана. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 2003.
2. Campbell, G.E. Great earthquakes in low strain rate continental interiors: An example from SE Kazakhstan / R.T. Walker, K. Abdrakhmatov, J. Jackson, J.R. Elliott, D. Mackenzie, T. Middleton, J.L. Schwenninger // Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2015. – 120(8). – P. 5507 – 5534, doi:10.1002/2015JB011925.
3. Абдрахматов, К.Е. Лепсинский разлом (восточное Прибалхашье) и оценка сейсмической опасности / К.Е. Абдрахматов, М.С. Ельдеева // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2016. – № 419. – С. 92–98. – I – SSN 2224-5278.
4. Inland Earthquake. – 1997. – Vol. 11. – 179 p.
5. Kulikova, G. Source parameters of 1906 Manas and 1944 Xinyuan earthquakes (Rupture processes in Borohoro Shan region, China) / G. Kulikova // Materials of International workshop: Active tectonic in the Tien-Shan 11–12 october, 2018, Germany. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 // Annals of Geophysics. – 2015. – Vol 58. – No 1.
7. Михайлова, Н.Н. О необязательном Баканаском землетрясении 1979 г. в Казахстане (MW=5,7) / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2, июнь 2013. – С. 154–160.
8. Михайлова, Н.Н. Текелийские землетрясения в Казахстане в 2009 году: очаг и воздействия / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С. 20–33.

ЖОҒАРТАУ АУМАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТАРИХІ МЕН ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫНЫҢ ЖАҢА ЕГЖЕЙ-ТЕГЖЕЙЛЕРІ

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев, Н.Н. Полешко, И.Л. Аристова

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Жоғартаудың сейсмикалық тарихі туралы жаңа деректері көрсетілген. Қатты желсілкінулердің толықтырылған каталогтары Жоғартауда геодинамикалық құрылыстар мен тектоникалық пайымдау үшін негізін қалаған. Өте қатты жерсілкінулердің айқындалған ошақтары жаңа буындағы сейсмикалық зоналау карталарын құрастыруында есепке алуына тиіс.

NEW DETAILS OF SEISMIC HISTORY AND CONTEMPORARY SEISMICITY OF THE JUNGARIYA TERRITORY

N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, N.N. Poleshko, I.L. Aristova

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

New data on seismic history of Jungariya were presented. Additional catalogs of strong earthquakes created the basis for geo-dynamic constructions and tectonic interpretations in Jungariya. The detected epicenters of the strongest earthquakes must be taken into consideration when calculating the maps of seismic zoning of new generation.