

УДК.550.34

Муралиев А.М., Малдыбаева М. Б., Абдыраева Б. С.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

РАСПОЗНАВАНИЕ РАЙОНОВ ОЖИДАЕМЫХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕОРИТОРИЙ ПО СОВОКУПНОСТИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования в области распознавания районов ожидаемых сильных землетрясений на основе анализа параметров сейсмического режима и механизмов очагов землетрясений с учётом геолого-тектонических особенностей Кыргызстана и сопредельных территорий. Детальное изучение пространственно-временного распределения сильных землетрясений ($K_R \geq 13.0$) позволило определить 21 область сейсмических брешей 1-го рода в рамках сейсмогенерирующих зонах. Формирование сейсмических брешей 1-го рода вместе с другими сейсмологическими параметрами указывает потенциальные места ожидаемых сильных землетрясений.

Ключевые слова: землетрясение, энергетический класс, механизм очага, сейсмический режим, распознавание, сейсмическая брешь.

КЫРГЫЗСТАНДА КҮТҮЛҮП ЖАТКАН КҮЧТҮҮ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН РАЙОНДОРУН ЖАНА АГА ЧЕКТЕШ ТЕОРИТОРИЯЛАРДЫ СЕЙСМОЛОГИЯЛЫК ПАРАМЕТРЛЕРДИН ЖЫЙЫНДЫСЫ БОЮНЧА ТААНУУ

Кыскача мазмуну. Макалада Кыргызстандын жана чектеш аймактардын геологиялык-тектоникалык өзгөчөлүктөрүн эске алуу менен сейсмикалык режимдин параметрлерин жана жер титирөөлөрдүн очокторунун механизмдерин талдоонун негизинде күчтүү жер титирөөлөрдүн күтүлүүчү райондорун таануу жүргүзүлгөн. Күчтүү жер титирөөлөрдүн мейкиндик-убактылуу бөлүштүрүлүшүн деталдуу изилдөө ($K_R \geq 13.0$) сейсмогенерациялык зоналардын алкагында 21 1-түрдөгү сейсмикалык ажырымдардын облусун аныктоого мүмкүндүк берди. Башка сейсмологиялык параметрлер менен бирге 1-түрдөгү сейсмикалык боштуктардын пайда болушу күтүлүп жаткан күчтүү жер титирөөлөрдүн потенциалдуу жерлерин көрсөтөт.

Негизги создор: жер титирөө, энергетикалык класс, очок механизми, сейсмикалык режим, таануу, сейсмикалык боштук.

RECOGNITION OF AREAS OF EXPECTED STRONG EARTHQUAKES IN KYRGYZSTAN AND ADJACENT TERRITORIES BASED ON A SET OF SEISMOLOGICAL PARAMETERS

Abstract. The article identifies areas of expected strong earthquakes based on the analysis of the parameters of the seismic regime and the earthquake's focal mechanisms, considering the geological and tectonic features of Kyrgyzstan and adjacent territories. A detailed study of the spatiotemporal distribution of strong earthquakes ($K_R \geq 13.0$) made it possible to identify 21 areas of seismic gaps of the 1st kind within the seismogenerating zones. The formation of seismic gaps of the 1st kind, together with other seismological parameters, indicates the potential locations of expected strong earthquakes.

Keywords: Earthquake, energy class, source mechanism, seismic regime, recognition, seismic breach.

Введение. Проблема прогноза землетрясений остаётся одной из актуальных и

важнейших задач современной сейсмологии и науки о Земле в целом. Задача - очень сложная, её решение требует комплексного подхода. Блестящие успехи в этом направлении были достигнуты китайскими сейсмологами, которые впервые в мире спрогнозировали одно из сильнейших землетрясений 1975 года на Тянь-Шане, что позволило сохранить жизни многочисленного населения Ляонинской провинции КНР [1]. В настоящее время проблемой прогноза землетрясения занимаются практически во всех сейсмоактивных областях мира. Наиболее интересные результаты получены в Японии [2], КНР [1], США [3], странах СНГ [4]. Алгоритм распознавания места возможного возникновения сильного землетрясения разработан в Международном Институте теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук под руководством известного сейсмолога, академика В.И. Кейлиса-Борока [5]. Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений методом распознавания образов для Памиро-Тянь-Шаньского региона было предложено в работе [5] в 1973 году. Авторами этой работы показано, что эпицентры сильных ($M \geq 6.5$) землетрясений лежат, в основном, в крупных дизъюнктивных узлах с активными новейшими движениями. Они делают предположение, что и в дальнейшем землетрясения с $M \geq 6.5$ будут возникать только в этих узлах. Однако, эпицентр сильнейшего Суусамырского землетрясения ($M=7.3$) 1992 года попал вне выделенных дизъюнктивных узлов. Такое обстоятельство вынуждает нас более тщательно подходить к анализу сейсмичности Тянь-Шаня. Так, например, в работе [6] в 2014 г. предложена карта районов ожидаемых землетрясений для территории Восточного Кыргызстана. На ней показаны несколько «эллипсов» этого района. Однако, принципы определения размеров этих эллипсов и какие сильные землетрясения, с какой магнитудой ожидаются в этих «эллипсах» остаётся неясной. Не опровергая приведённые сведения о районах ожидаемых землетрясений, мы предлагаем свой вариант изучения районов ожидаемых сильных землетрясений для Кыргызстана и сопредельных территорий. Наш подход основывается на: 1) распознавании районов ожидаемых сильных землетрясений (РОСЗ) на основе анализа сейсмичности, фокальных механизмов землетрясений и геолого-тектонических особенностей Тянь-Шаня; 2) анализе особенностей распределения сильных землетрясений ($K_R \geq 13.0$), произошедших на исследуемой территории в течение последних 150 лет (1868-2018 гг.); 3) пространственном распределении областей сейсмических брешей 1-го рода; 4) сведениях о фокальных механизмов землетрясений с учётом геолого-тектонических особенностей исследуемой территории. Такой подход выявления РОСЗ на основе совокупности сейсмологических параметров рассматривается в данной статье.

Цель и задачи исследования – выявление потенциальных мест ожидаемых сильных землетрясений Кыргызстана и сопредельных территорий на основе результатов многолетнего изучения параметров сейсмического режима и механизмов очагов землетрясений. Рассматриваются следующие задачи: определение особенностей пространственного распределения сильных ($K_R \geq 13.0$) землетрясений и их временного хода; использование данных о фокальных механизмов землетрясений ($K_R \geq 9.0$) для характеристики напряжённого состояния как очаговой области индивидуального землетрясения, так и сейсмоактивных областей; представление РОСЗ в виде карты-схемы и их описание.

Методика и исходные данные. Известно, что метод распознавания образов основан на известной теореме Байеса из теории вероятностей. Этот метод, применительно к задаче распознавания, может быть сформулирован следующим образом.

Имеется полная группа несовместных событий, роль которых при распознавании выполняют образы (например, сейсмические события):

$$A: A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m. \quad (1)$$

Известны априорные распределения вероятностей этих гипотез, т. е. известно, с какой вероятностью (как часто) появляется данный образ:

$$P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_M), \quad (2)$$

причём, так как группа полная, то

$$\sum_{i=1}^M P(A_i) = 1. \quad (3)$$

В данном случае, вместо образа можно использовать сейсмическое затишье или так называемые сейсмические «бреши». В результате наблюдения появилось событие j . В данном случае таким событием является появление конкретной реализации объекта (сейсмическое затишье). Например, имеются n сейсмических «брешей» разных форм и размеров. Совокупность различных реализаций для всех классов образует множество возможных реализаций:

$$V: b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_T \quad (4)$$

В большинстве практических задачах T – конечно и $T \geq M$. Однако, если значения признака изменяются непрерывно, то значение T будет бесконечным числом. В общем случае считаются заданными условные вероятности:

$$P(b_j/A_i), i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, T.$$

Требуется определить вероятность $P(A_i/b_j)$. По теореме умножения вероятностей:

$$P(b_j/A_i) = P(b_j)P(A_i/b_j) = P(A_i)P(b_j/A_i). \quad (5)$$

Отбрасывая левую часть (5), получаем:

$$P(A_i / b_j) = \frac{P(A_i)P(b_j / A_i)}{P(b_j)} \quad (6)$$

Теперь выразим вероятность $P(b_j)$ с помощью формулы для полной вероятности. Для этого заметим, что области сейсмической бреши (гипотезы) несовместны, т. е. они не могут реализоваться совместно (считается, что может появиться только один раз). С другой стороны, событие-объект b_j может появиться только совместно с одним образом A_i :

$$b_j = A_1 b_j + A_2 b_j + \dots + A_M b_j \quad (7)$$

Так как события A_i несовместны, то события $A_i b_j$ тоже несовместны, поэтому

$$P(b_j) = \sum_{i=1}^M P(A_i)P(b_j / A_i). \quad (8)$$

Эта формула выражает вероятность появления j -го объекта через априорные вероятности появления образов $P(A_i)$ и условные вероятности появления j -го объекта при условии появления i -образа.

Подставляя (8) в (6), получаем:

$$P(A_i / b_j) = \frac{P(A_i)P(b_j / A_i)}{\sum_{i=1}^M P(A_i)P(b_j / A_i)} \quad (9)$$

Эта формула Байеса, которая имеет очень большое применение в теории распознавания образов. Отличие формулы (9) от (6) состоит в том, что в нее входят две группы величин: априорные вероятности $P(A_i)$ и условные вероятности $P(b_j/A_i)$, а в формуле (6) помимо этих двух групп величин еще входит третья величина $P(b_j)$ - безусловная вероятность появления j -го объекта.

В качестве исходных данных использованы каталог сильных землетрясений [7] с дополнением новых данных о землетрясениях и каталог фокальных механизмов землетрясений Кыргызстана и сопредельных территорий [8].

Результаты. Районы ожидаемых сильных землетрясений Кыргызстана и сопредельных территорий представлены на основе анализа фактического сейсмологического материала в виде карты-схемы на рисунке. Карта-схема РОСЗ построена на основе распределения в пространстве эпицентров сильных ($K_R \geq 13.0$) землетрясений, конфигурации сейсмоактивных областей и фокальных механизмов землетрясений с учётом геолого-тектонических особенностей Тянь-Шаня. Эпицентры сильных землетрясений распределены по территории неравномерно, они расположены, в основном, в пределах узких зон, приуроченных к определённой геолого-тектонической структуре. Нами условно выделены пять сейсмоактивных зон: Северо-Тянь-Шаньская (I), Чаткало-Южно-Иссык-Кульская (II), Приферганская (III), Гиссаро-Какшаальская (IV) и группа эпицентров землетрясений с $K_R = 13.0-15.0$ в Центральном Тянь-Шане (V). Общая сейсмологическая и геолого-геофизическая характеристика указанных зон приведена в [9].

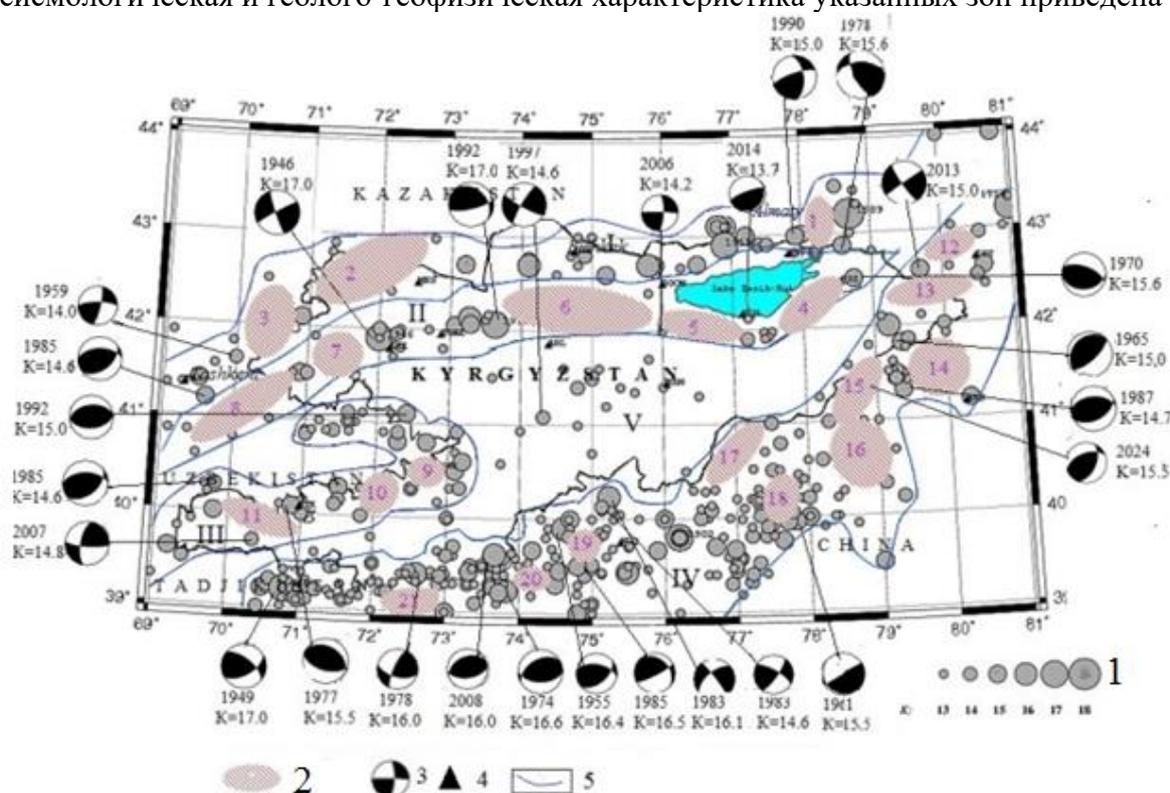


Рисунок 1. Районы ожидаемых сильных землетрясений Кыргызстана и сопредельных территорий. Основные сейсмически активные зоны (I–V) с указанием области сейсмических брешей 1-го рода (1–21) и фокальные механизмы некоторых землетрясений. 1 - эпицентры сильных землетрясений; 2 - область сейсмической брешии 1-го рода; 3 - диаграмма фокального механизма землетрясения; 4 - сейсмическая станция; 5 - линия, показывающая контуры сейсмоактивных зон.

При детальном анализе расположения эпицентров сильных землетрясений друг от друга наблюдаются области так называемой «сейсмической брешии» 1-го рода. То есть в этих областях не возникали эпицентры сильных землетрясений в течение сейсмологического периода наблюдения. Сейсмические брешии 1-го рода на рисунке обозначены заштрихованными эллипсами разного размера внутри каждой сейсмоактивной области (рисунок 1). Нами выявлены 21 область сейсмической брешии 1-го рода. В Северо-

Тянь-Шаньской (I) сейсмоактивной области выявлены три сейсмические бреши, во II области - 5, в III области - 3, в IV области - 10, каждая из которых может быть являться потенциальным местом ожидаемого сильного землетрясения. Центральный Тянь-Шань (V) имеет сравнительно низкий уровень сейсмической активности, здесь произошли землетрясения с $K_R = 13.0-15.0$, сейсмические бреши не наблюдаются.

Кроме этого, на рисунке нанесены диаграммы фокального механизма некоторых землетрясений, которые отражают современные формы тектонических движений в РОСЗ. Например, механизм очага Суусамрских землетрясений 1992 года показывает «взбросовый» тип тектонической деформации в его очаге, ориентации плоскости разрыва в субширотном направлении совпадает с ориентацией разлома [10].

Надо отметить, что выделенные пять зон хорошо согласуются с основными геологическими структурами Тянь-Шаня. Чтобы определить время активизации РОЗ необходимо провести дальнейшие исследования в этом направлении.

Заключение

Районы ожидаемых сильных землетрясений Кыргызстана и сопредельных территорий выявлены на основе анализа фактического сейсмологического материала с учетом геолого-тектонической особенностью Тянь-Шаня и представлены в виде карты-схемы на рисунке. Контуры сейсмоактивных зон проведены с учётом расположения эпицентров сильных землетрясений. Потенциальными местами ожидаемых сильных землетрясений мы считаем: 1) Северо Тянь-Шаньская сейсмоактивная зона (I), наиболее вероятно РОСЗ - западная сторона, где наблюдаются сейсмические бреши 1-го рода под номером 2 и 3. 2) Чаткал-Южно-Иссык-Кульская сейсмоактивная зона (II) - здесь выявлены 5 сейсмических брешей 1-го рода. 3) Приферганская сейсмоактивная зона (III) - сейсмические бреши 1-го рода под номером 9, 10, 11 считается РОСЗ. 4) Гиссаро-Какшаальская сейсмоактивная зона (IV) характеризуется высокой сейсмичностью по сравнению с другими указанными зонами. Здесь частота возникновения сильных землетрясений высокая и имеются 10 сейсмических брешей 1-го рода. 5) В Центральном Тянь-Шане (V) не выявлены сейсмические бреши 1-го рода.

Таким образом, в окрестностях области сейсмических брешей 1-го рода внутри каждой сейсмоактивной зоны (I-V) вероятно можно ожидать сильные землетрясения. Чтобы предсказать время и силу ожидаемого землетрясения необходимо комплексное наблюдение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang K., Qi-Fu Chen, Shihong Sun and Andong Wang. «Predicting the 1975 Haicheng Earthquake». Bulletin of the Seismological Society of America, 2006, pp.757-795.
2. Методы прогноза землетрясений. Их применения в Японии/ Асада Т., Исибаси К., Матсуда Т. и др. Под. Ред. Т.Асада. Пер. с англ. -М.: Наука, Недр. 1984. 312с.
3. Сборник Советско-американских работ по прогнозу землетрясений. Изд-во «Дониш» Душанбе — Москва. 1979. Том 2, Книга 2. -168с.
4. Соболев Г. А. Основы прогноза землетрясения. Москва: Наука. 1983. 360с.
5. Гельфанд И. М., Ш.А.Губерман, М. Л. Извекова, В.И.Кейлис-Борок, Е.Я.Ранцман Распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений. I. Памир и Тянь-Шань// Вычислительная сейсмология. Вып. 6. 1973. С.107-133.
6. Мамыров Э., Маханькова В. А., Берёзина А.В., Молдобекова С., Хан В.В. Прогноз вероятного места сильных землетрясений на территории Кыргызстана //Вестник Института сейсмологии НАН КР. №1, 2013. С.59-71.

7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под. ред. Н.В.Кондорской и Н.В.Шебалина. М.: Наука, 1977. - с.198-296.
8. Муралиев А.М., Малдыбаева М. Б., Абдыраева Б. С. Краткое описание технологии создания информационной базы данных о фокальных механизмах землетрясений Кыргызстана // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: XI Международная школа / Отв. Ред. А.К.Рыбин. -Бишкек: НС РАН, 2016.-102–108.
9. Джанзаков К.Д., Ильясов Б. И., Кнауф В.И. и др. Сейсмическое районирование Киргизской ССР. Фрунзе: Илим, 1977. -53 с.
10. Муралиев А.М. Механизм очага Суусамырского землетрясения 19 августа 992 года// Сейсмологические наблюдения в Кыргызстане. Бишкек: Илим, 1993. -с. 64–68.

Рецензент: к. т. н. Камчыбеков М.П.