



УДК 550.34:519.246



**Г.А.САБИРОВА**  
КГУСТА ИМ.Н.ИСАНОВА,  
Г. БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
E-MAIL: [GULZAT\\_SABIROVA@MAIL.RU](mailto:GULZAT_SABIROVA@MAIL.RU)

**G.A.SABIROVA**  
KSUCTA N.A. N. ISANOV,  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC  
E-MAIL: [GULZAT\\_SABIROVA@MAIL.RU](mailto:GULZAT_SABIROVA@MAIL.RU)

**А.М.МУРАЛИЕВ**  
КГУСТА ИМ.Н.ИСАНОВА,  
Г. БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА  
E-MAIL: [ABMURALIEV@MAIL.RU](mailto:ABMURALIEV@MAIL.RU)

**A.M.MURALIEV**  
KSUCTA N.A. N. ISANOV,  
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC  
E-MAIL: [ABMURALIEV@MAIL.RU](mailto:ABMURALIEV@MAIL.RU)  
*E.mail. ksucta@elcat.kg*

## ПОСТРОЕНИЕ ЧИСЛОВОЙ МОДЕЛИ КАРТЫ ПЛОТНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ДЛЯ БИШКЕКСКОГО ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

### BUILDING OF A NUMERICAL MODEL OF THE DENSITY MAP OF SEISMIC EVENTS FOR THE BISHKEK PROGNOSTIC POLYGON

*Макалада Бишкектин байкоочу полигонунун Түндүк Тянь-Шань үчүн жер титирөө эпицентринин тыгыздыгынын сандык модели көрсөтүлгөн. Көрсөтүлгөн модель полигондун сейсмикалык активдүүлүгүнүн өзгөчөлүктөрүн алууга мүмкүнчүлүк берет, аны сейсмикалык коркунучтуу жана сейсмикалык тобокелди байкоодо колдонууга болот. Полигондун айланасында ар кандай класстагы жер титирөөнүн эпицентринин жогорку даражадагы концентрациясын мүнөздөөчү жерлер белгиленген. Алсыз түрткүлөрдүн саны узак мөөнөттөгү орточо маанисинен өзгөрүүсүн байкоочу мааниге ээ болот.*

**Чечүүчү сөздөр:** сандык модель, тыгыздык, сейсмикалык окуя, сейсмикалык фон, полигон, жер титирөө.

*В статье представлена числовая модель карты плотности эпицентров землетрясений для территории Бишкекского прогностического полигона Северного Тянь-Шаня. Предложенная модель позволяет получить общие представления об особенностях сейсмической активности полигона, её можно использовать при решении задач прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска. На территории полигона выявлены участки, которые характеризуются наибольшей степенью концентрации эпицентров землетрясений разных классов. Вариация количества слабых толчков от долговременного среднего значения имеет прогностическое значение.*

**Ключевые слова:** числовая модель, плотность, сейсмические события, сейсмический фон, полигон, землетрясения.

*The article presents a numerical model of density maps of epicenters of earthquakes for the territory of Bishkek prediction range of the Northern Tien Shan. The proposed model allows, get a general idea about the peculiarities of the seismic activity of the ground, it can be used*



when solving problems of prediction of seismic hazard and seismic risk. At the landfill ... identified areas that are characterized by the highest degree of concentration of the epicenters of the different energy class. Variation in the number of weak shocks from the long-term average value has a prognostic significance.

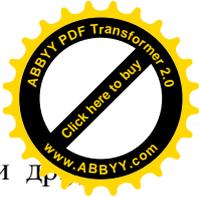
**Key words:** numerical model, density, seismic events, seismic background, polygon, earthquakes.

**Введение.** Одной из основных задач, которая решается при анализе сейсмологических данных с помощью информационной технологии, является построение числовых моделей карт параметров сейсмического режима по каталогу землетрясений. Для этой цели нами выбран Бишкекский прогностический полигон Северного Тянь-Шаня, который расположен в географических координатах:  $41.8^{\circ} - 43.5^{\circ}$  северной широты и  $73^{\circ} - 79^{\circ}$  восточной долготы. В административном плане полигон находится, в основном, на территории Чуйской впадины и её горного обрамления Кыргызстана. Район изучения имеет прямоугольную форму длина которого составляет 666 км, ширина - 188.7 км, общая площадь равна  $125\,674.2\text{ км}^2$  (рис.1). Выбор полигона обоснован тем, что сеть высокочувствительных сейсмических станций Кыргызстана и Казахстана обеспечивает без пропускную регистрацию землетрясений, начиная с энергетического класса  $K_p \geq 7.0$  ( $M \geq 1.7$ ), а также точность локализации и определения основных характеристик очагов землетрясений высокая по сравнению с другими сейсмоактивными областями Кыргызстана. Выборка сейсмологических данных произведена из каталога землетрясений региона, составленного в Институте сейсмологии НАН Кыргызской Республики [1]. Соотношение между энергетическим классом  $K_p$  и магнитудой  $M$  можно найти по корреляционной формуле Т.Г. Раутиан [2]:  $K_p = 4 + 1.8M$  ( $K_p = \lg E$  Дж). Например, землетрясение с классом энергии,  $K_p = 13.0$  соответствует землетрясению величиной магнитуды  $M = 5.0$  и т.д. Общие сведения о сейсмичности Чуйской впадины и её горного обрамления на основе анализа имеющихся макросейсмических материалов за последние 100 лет, а также данные, полученные по инструментальным наблюдениям региональной сети аналоговых сейсмических станций и специальных детальнейших сейсмических наблюдений (1967-1971гг.), приведены в работах [3, 4, 5 и др.]. В данной статье показано продолжение исследования сейсмической активности Бишкекского прогностического полигона на основе анализа цифровых сейсмических наблюдений за период 1992-2016гг. Основной целью настоящей работы является построение числовой модели карты плотности сейсмического фона полигона по расчетным данным. Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие работы: 1) уточнить границы и масштаб района исследования; 2) произвести выборку землетрясений из регионального каталога; 3) вычислить степень концентрации (плотности) эпицентров землетрясений в узлах произвольной сетки наблюдения на основе анализа больших массивов числовых данных; 4) полученные результаты представить в виде карты, на которой отразить изолиниями плотность эпицентров землетрясений полигона на различных участках; 5) полученные результаты обосновать и рекомендовать для дальнейшего использования при характеристике сейсмичности и прогнозе сейсмической опасности.

Методика и исходные данные. В качестве исходных данных использован каталог землетрясений региона, на основе которого построена исходная карта эпицентров землетрясений для Бишкекского полигона (рис. 1). В каталоге каждое землетрясение представлено в хронологическом порядке в следующем виде:

$$(t, \varphi, \lambda, h, k)_i, \quad (1)$$

где  $t$  – время возникновения,  $\varphi, \lambda$  - географические координаты,  $h$  - глубина гипоцентра,  $k$  - энергетический класс  $i$ - го землетрясения;  $i = 1, 2, \dots, N$ , т.е. каждое сейсмическое событие, в основном, состоит из указанных пяти параметров. К этим параметрам можно



добавить ещё величины магнитуд ( $M$ ) разной модификации ( $M_L$ ,  $M_S$ ,  $M_W$ ,  $m_b$  и др.), сейсмического момента ( $M_0$ ), сброшенного напряжения ( $\Delta\sigma$ ) и др., а также параметры механизма очага:  $stk$ -простираение плоскости разрыва,  $dip$ - падение её,  $slip$ - подвижка и ориентации осей главных напряжений сжатия ( $P$ ) и растяжения ( $T$ ) в очаге и др. Если произошло сильное (ощутимое) землетрясение, то включена величина интенсивности  $I$  (в баллах) сейсмических сотрясений. Таким образом, землетрясение представляет собой функцию со многими параметрами (кинематическими и динамическими) его очага:

$$F_i = F_i(t, \varphi, \lambda, h, k, M, M_0, \Delta\sigma, stk, dip, slip, P, T, \dots), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Для построения числовой модели карты плотности сейсмического фона из выражения (2), мы использовали пространственное положение точки, которое совпадает с положением реального эпицентра сейсмического события. Если обозначить  $i$ -ое сейсмическое событие через  $f_i$ , то в можно записать

$$f_i = f_i(\varphi, \lambda, h, t), \quad (3)$$

где  $\varphi, \lambda$  - географические координаты точки эпицентрального поля,  $h$  - глубина точки поля;  $t$  - время, определенное в массовой обработке инструментальных наблюдений.

Если выбрана конкретная область (полигон) ( $\Delta S$ ) и время наблюдений ( $\Delta T$ ), в течение которого собран сейсмологический материал, то из (3) получим:

$$f_i = f_i(\varphi, \lambda)|_{h=h_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Это и есть карта расположения точки (эпицентров) по выбранной площади. Для количественной оценки плотности сейсмического фона и возможности сопоставления его с другими областями удобно пользоваться величиной «повторяемости землетрясений» -  $N$ . Для любой фиксированной сейсмической области, объемной или поверхностной, каждому энергетическому классу будет соответствовать какое-то число землетрясений. Известно, что сильные землетрясения происходят реже, а слабые значительно чаще, т.е. проявление местной сейсмичности подчиняется линейной зависимости  $N=N(E)$  - закону повторяемости землетрясений Гутенберга и Рихтера [5]. Здесь  $E$  - сейсмическая энергия,  $E=10^k$  дж. Если построить указанную зависимость в системе координат  $\lg E, \lg N$ , то оказывается, что распределение повторяемости землетрясений по их энергиям можно представить прямыми линиями с определенным угловым коэффициентом. Подобные графики и будут представлять собой графики повторяемости землетрясений. При этом наибольший интерес при сопоставлении уровней активности отдельных районов представляет нормированная зависимость  $N^* = N^*(E)$ , т.е. повторяемость землетрясений, отнесенная не только к определенному классу энергии, но также к какому-то единичному отрезку времени ( $\Delta T$ ) и фиксированной площади  $\Delta S$  или объему  $\Delta V$ .

Расчеты плотности сейсмического фона производятся по произвольной сетке, за единицу площади будет браться  $\Delta S = 1000 \text{ км}^2$ , за единицу времени ( $\Delta T$ ) - один год. Для каждого выбранного узла произвольной сетки подсчитывается количество событий и расчеты производятся по формуле:

$$\rho_N = \frac{1000 \sum N_i}{\Delta S \cdot \Delta T} \quad (5)$$

где  $N_i$  - количество землетрясений, которые попадают в элементарные площадки. Численное значение плотности сейсмического фона пишется в центр каждого узла произвольной сетки. Изолинии по центрам узлов произвольной сетки проведены по величине расчетных значений.

**Результаты исследований и анализа.** Для построения карты плотности сейсмических событий на территории Бишкекского прогностического полигона были использованы данные 3631 землетрясения с  $K_p = 7 - 14$ , произошедших за период с 1991 по 2016гг. Выборка данных по землетрясениям велась из каталога [1]. На рис. 1 видно, что эпицентры распределены по полигону не равномерно - в одном месте сгущаются, в другом месте их количество резко уменьшается. Наибольшие скопления эпицентров наблюдаются в восточной части территории полигона, начиная от меридиана  $76^0$  в.д. Цепочки эпицентров трассируются, в основном, в субширотном направлении и приурочены к областям хребтов Кюнгей Ала-Тоо и Заилийского Алатау - на севере полигона, и к хребтам Кыргызского Ала Тоо и Терской Ала-Тоо - на юге полигона.

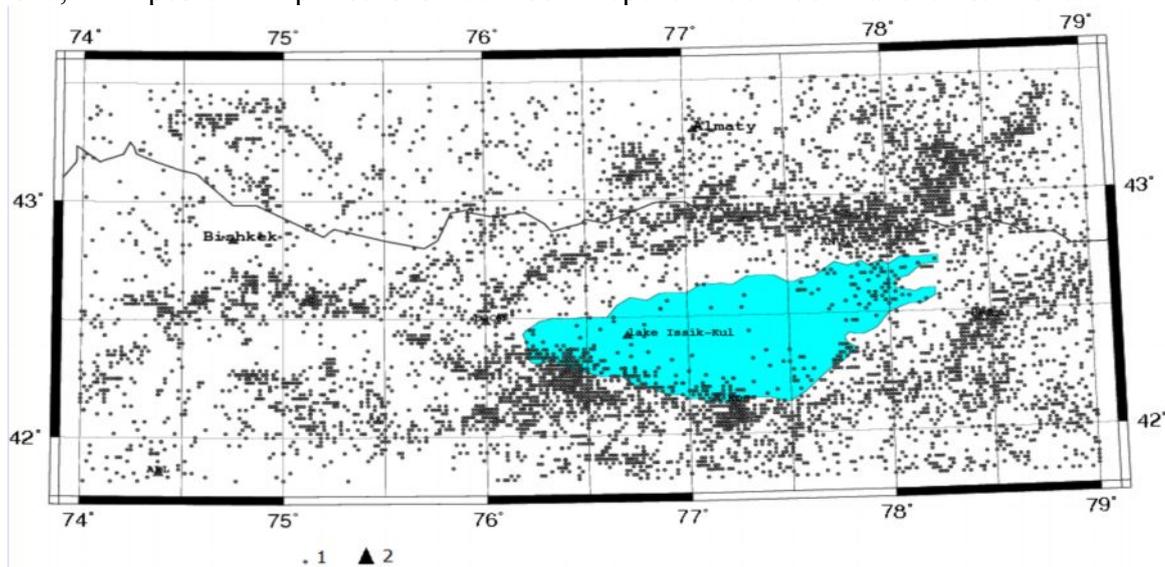


Рис. 1. Карта-схема распределения эпицентров землетрясений ( $K_p \geq 7.0$ ) на территории Бишкекского прогностического полигона за период с 1991г. по 2016г. 1-эпицентр землетрясения, 2- сейсмическая станция.

Переход от качественного к количественному изучению плотности сейсмического фона полигона осуществлен на основании вышеизложенного подхода, расчеты произведены по формуле (5) для каждого узла произвольной сетки. В результате построена карта изолиний плотности сейсмического фона для Бишкекского полигона (рис 2.). С помощью GIS-технологии на карте показана разными цветами степень плотности эпицентров землетрясений. Так, густой красный цвет показывает наибольшую концентрацию эпицентров, жёлтый цвет – меньшую, а синий цвет – наименьшую или отсутствие эпицентров. На рис. 2 видно, что высокий уровень концентраций – 100-150 эпицентров сейсмических событий на 1 квадратный километр, сосредоточен в районе Боомского ущелья, юго-западном побережье оз. Иссык-Куль и на участке к северо-востоку от сейсмической станции Ананьево (ANVS) – территория Казахстана. Участки, где сосредоточено 60-80 эпицентров сейсмических событий на  $1\text{км}^2$ , расположены к югу от сейсмической станции Каракол (PRZ0) и к юго-востоку от сейсмостанции Бишкек (FRU1). Большая часть территории полигона покрашена желтым цветом изолиний разной конфигурации. Это означает, что на этой площади полигона происходило 40-60 сейсмических событий на  $1\text{км}^2$ . В центральной части самого озера Иссык-Куль практически отсутствуют эпицентры землетрясений. Периферийные части полигона характеризуется малым количеством событий (1-6 событий на  $1\text{км}^2$ ).

Таким образом, можно предположить, что тектонические напряжения концентрируются в областях, выделенных красным цветом изолиний плотности сейсмического фона. Вероятно, эти области, можно считать потенциальными местами очагов ожидаемых сильных землетрясений. Для уточнения этого предположения в дальнейшем необходимо привлечь к анализу другие сейсмологические и геофизические данные.

Сопоставление карты распределения эпицентров землетрясений и плотности сейсмического фона полигона (рис. 1 и 2) с другими аналогичными картами (например, [3] и др.), построенными на основе аналоговой системы наблюдений за предыдущие годы показало, что предлагаемые нами карты, построенные на основе цифровой системы наблюдений, позволяют получить более точные результаты. Такой подход также позволяет расширить использование метода для других параметров сейсмического режима (сейсмической активности  $A_{10}$ , параметра  $\gamma$  и сейсмической энергии  $\sum E$  и др.).

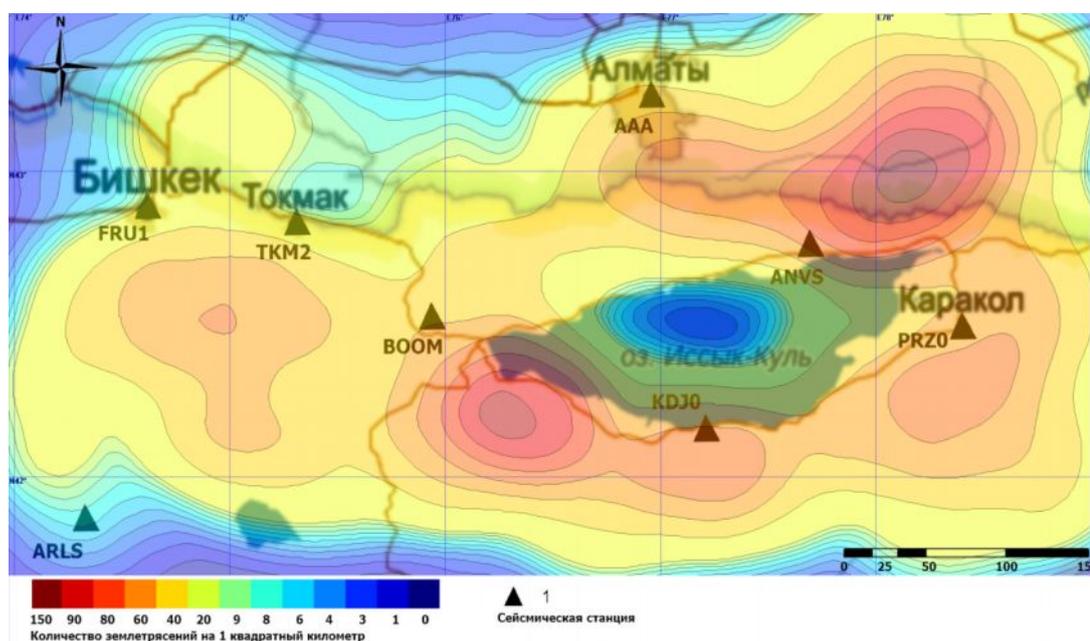


Рис. 2. Карта плотности сейсмического фона территории Бишкекского прогностического полигона по данным инструментальных сейсмических наблюдений ( за 1991-2016гг.)

**Заключение.** На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Развитие количественного изучения параметров сейсмического режима, в частности изучение пространственного распределения плотности сейсмического фона, имеет существенное значение для характеристики сейсмичности, прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска.
2. Построена числовая модель карты плотности сейсмического фона для территории Бишкекского прогностического полигона позволяет получить общие представления об особенностях его сейсмического режима.
3. На предлагаемой карте изолиниями плотности сейсмического фона полигона выделены участки, характеризующиеся высокой концентрацией эпицентров землетрясений – это Боомское ущелье и территория, которая находится к северо-востоку от сейсмической станции Ананьево(ANVS).
4. Выделенные участки показывают области концентрации тектонических напряжений, частично сжимаемых за счет слабых сейсмических толчков; их можно принимать как потенциальные места ожидаемого сильного землетрясения.



## Список литературы

1. Джанузаков К.Д. Центральная Азия [Текст] / К.Д.Джанузаков и др. // Землетрясения Северной Азии. – Обнинск: ГС РАН (1991-2015гг.).
2. Раутиан Т.Г. Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений [Текст] / Т.Г. Раутиан // Тр. ТИССС. – 1960. - №7. - с.41-96.
3. Грин В.П. Общие сведения о сейсмичности Чуйской впадины и её горного обрамления [Текст] / В.П.Грин, К. Д. Джанузаков, Б. Ильясов, Т.А. Лопатина //Опыт комплексного сейсмического районирования на примере Чуйской впадины (Северный Тянь-Шань). – Фрунзе: Илим, 1975. - с.84-93.
4. Грин В.П. Основные результаты сейсмических исследований на Фрунзенском прогностическом полигоне [Текст] / В.П. Грин, Б. Ильясов, З.А. Меджитова и др. // Ж. Изв. АН СССР. - Физика Земли. – 1978. - №11. - с. 42-53.
5. Муралиев А.М., Джанузаков К.Д. Сейсмичность и механизмы очагов землетрясений Кыргызстана [Текст] А.М. Муралиев, К.Д. Джанузаков // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. - Обнинск, 28-31 июля 2008г. - Обнинск: ГС РАН, 2008.- с. 194-199.
6. Гутенберг Б. Сейсмичность Земли [Текст] / Б.Гутенберг, Ч.Рихтер. - М.: Гос. Изд-во иностр. лит., 1948. - 160с.