

УДК 550.34

Муралиев А.М., Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С.

*Институт сейсмологии НАН  
Кыргызской Республики, г. Бишкек*

## РАЗВИТИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ БИШКЕКСКОГО ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

**Аннотация.** В статье отмечено, что телеметрическая сеть сейсмических станций KNET[3], работающая на территории Бишкекского прогностического полигона, позволяет получить качественную цифровую сейсмическую информацию. Проведено изучение сейсмичности, определена долговременная средняя характеристика сейсмического режима, выявлены области наибольшей концентрации слабых сейсмических толчков и периодичности проявления сильных землетрясений. Пространственно-временные особенности динамики сейсмического процесса использованы для определения области подготовки и периода ожидаемой сейсмической активности полигона.

**Ключевые слова:** землетрясение, эпицентр, энергетический класс, сейсмичность, сейсмическая активность, прогноз землетрясений, полигон.

## СЕЙСМИКАЛЫК МОНИТОРИНГДИН ӨНҮГҮҮСҮ ЖАНА БИШКЕК БОЖОМОЛДОО ПОЛИГОНУНУН АЙМАГЫНДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮ БӨЛҮШТҮРҮҮНҮН МЕЙКИНДИК-УБАКЫТТЫК ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

**Кыскача мазмуну.** Макалада Бишкек божомолдоо полигонунун аймагында иш алып баруучу KNET[3] сейсмикалык станциялар радиотелеметрикалык түйүнү сапаттуу санариптик сейсмикалык маалыматтарды алууга мүмкүндүк бере тургандыгы белгиленет. Сейсмикалуулукту жана сейсмикалык активдүүлүктү изилдөө жүргүзүлгөн, сейсмикалык режимдин узак мөөнөттүү орточо мүнөздөмөсү аныкталган, алсыз сейсмикалык силкинүүлөрдүн эң чоң топтошуусунун тармактары жана күчтүү жер титирөөлөрдүн пайда болуусунун мезгилдүүлүгү аныкталган. Сейсмикалык процесстин динамикасынын мейкиндик-убакыттык өзгөчөлүктөрүн даярдоо тармагын жана полигондун күтүлүүчү сейсмикалык активдүүлүгүнүн мезгилин аныктоо үчүн пайдаланылышкан.

**Негизги сөздөр:** жер титирөө, эпиборбор, энергетикалык класс, сейсмикалуулук, сейсмикалык активдүүлүк, жер титирөөлөрдүн божомолдонуусу, полигон.

## DEVELOPMENT OF SEISMIC MONITORING AND SPATIAL-TEMPORAL FEATURES OF EARTHQUAKE DISTRIBUTIONS IN THE AREA OF BISHKEK PROGNOSTIC TEST SITE

**Abstract.** In the paper it is noted that the telemetry network of seismic stations KNET [3], operating on the territory of the Bishkek Prognostic Test Site, provides high-quality digital seismic information. A study of seismicity has been carried out, a long-term average characteristic of the seismic regime has been determined, areas of the greatest concentration of weak seismic events and the frequency of strong earthquake occurrences have been identified. The spatial-temporal features of the dynamics of the seismic process are used to determine the area of preparation and the period of the expected seismic activity of the test site.

**Keywords:** earthquake, epicenter, energy class, seismicity, seismic activity, earthquake prediction, test site.

**Введение.** В связи с Постановлением Совета Министров СССР от 20 мая 1970 г. за № 346 «Об упорядоченности строительства в сейсмически активных районах страны» и Совета Министров Киргизской ССР от 31 июня 1970 г. за № 290 о реализации указанного постановления в текущей пятилетке в районе г. Фрунзе (ныне г. Бишкек) предполагалась организация опытного полигона для решения задач прогноза землетрясений. В соответствии с указанными постановлениями Академией наук Киргизской ССР были разработаны и представлены Совету Министров Республики «Предложения по организации Фрунзенского опытного геофизического полигона», который в последствии был переименован в «Бишкекский», т.е. Бишкекский прогностический полигон официально был создан в 1970 г. и определено его место и размеры – Чуйская впадина и её горное обрамление. В 1990 году совместно с сотрудниками Опытно-методической сейсмологической экспедиции (ОМСЭ, которая в 2008 г. передана в состав Института сейсмологии НАН КР) и Института сейсмологии НАН КР была разработана новая концепция развития сейсмических наблюдений в Кыргызстане [1,2]. В 1991 г. для реализации предложенной концепции на Бишкекском прогностическом полигоне было установлено оборудование 10 цифровых телеметрических станций.

Таким образом, на территории Кыргызстана в 1991 г. появилась первая сеть цифровых сейсмических станций, состоящая из 10 пунктов наблюдений [3]. Работа KNET улучшила получение качественных сейсмических записей, их рутинной обработки и составления каталога землетрясений. Основные результаты прогностических исследований полигона приведены в пятилетних научных отчётах Института сейсмологии НАН КР (фонд ИС НАН КР - Архив) и публикациях [4,5] и др.

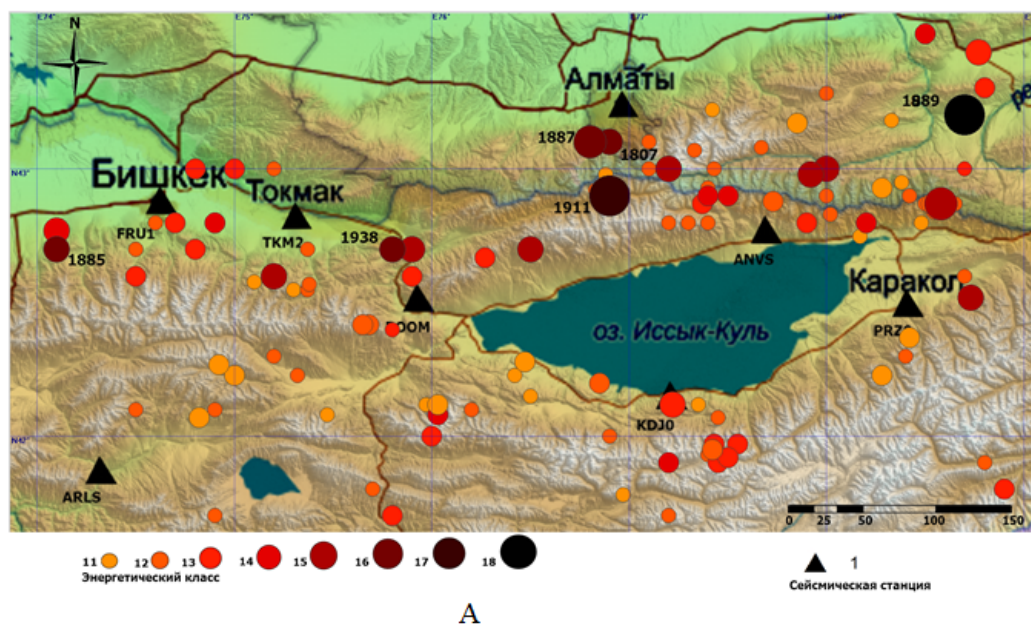
Следует также отметить, что с 2007 г. на территории Бишкекского прогностического полигона кроме станции сети KNET функционируют также цифровые станции сети Института сейсмологии НАН КР, KRNET.

**Цель данной статьи** – провести анализ фактических сейсмологических материалов, собранных в течение всего периода наблюдений для выявления пространственно-временных особенностей распределения землетрясений в районе Бишкекского прогностического полигона. Основными задачами являются установление долговременных средних характеристик сейсмического режима полигона, выявление области наибольшей концентрации слабых сейсмических событий и оценка периодичности проявления сильных землетрясений. В данной работе вся выборка сейсмологических данных произведена как по полигону, так и по Иссык-Кульской впадине и её горного обрамления.

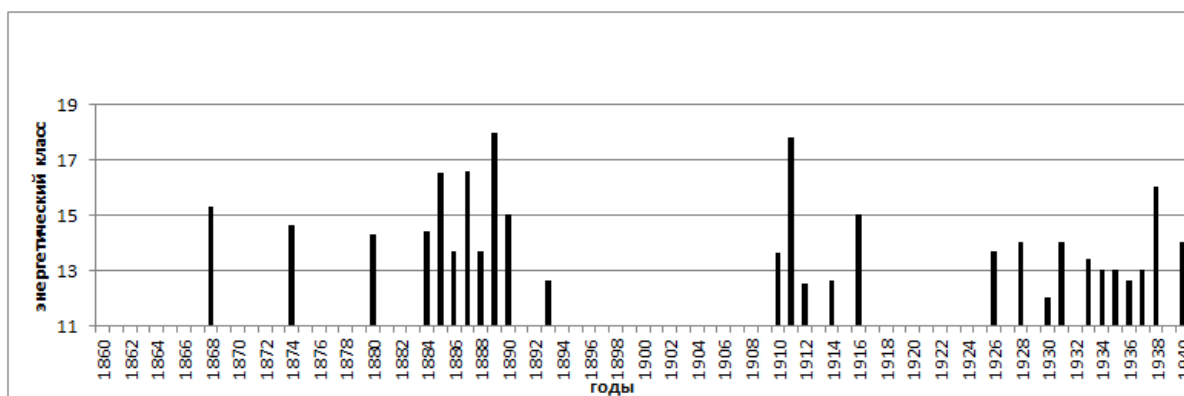
**Исходные данные.** В работе использованы данные из «Нового каталога сильных землетрясений ...» под редакцией Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина [6] с дополнением последних сейсмических событий и Каталог землетрясений Кыргызстана и Центральной Азии, составленный в Институте сейсмологии НАН КР.

**Методика исследования.** В работе использованы методы детального изучения сейсмичности Ю.В. Ризниченко [7], карты эпицентров землетрясений, плотностей сейсмического фона и временные графики, построенные с помощью компьютерных программ GIS-технологии.

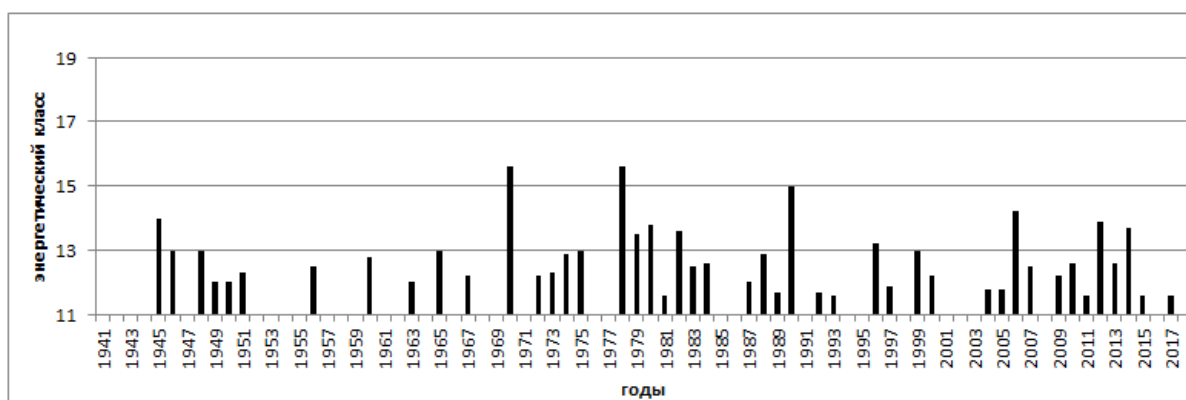
**Сейсмичность полигона.** Территория Бишкекского прогностического полигона и прилегающие к ней районы неоднократно подвергалась и подвергается сильным землетрясениям. Среди них такие, как 10-11 балльное Кеминское 1911 г., 10-балльное Чиликское 1889 г. ( $M=8.3$ ), 9-10 балльное Беловодское 1885 г. ( $M=6.9$ ) и 8-9 балльное Кемино-Чуйское 1938 г. ( $M=6.9$ ) и др. Распределение эпицентров 122 сильных землетрясений ( $K_p \geq 11.0$ ) по территории полигона за исторический период времени (500-2017 гг.) показано на рисунке 1, из которого видно, что эпицентры большинства сильных землетрясений территориально расположены в районах Киргизского хребта, Кунгей Ала-Тоо и Заилийского Ала-Тау.



А



продолжение



В

Рисунок 1. Распределение эпицентров сильных землетрясений ( $K \geq 11.0$ ) по территории (А) и во времени (В) полигона за исторический период времени (500-2017 гг.).

Другое немаловажное значение имеет изучение миграции очагов сильных землетрясений на территории полигона, что показано на рисунке 2 (расположение эпицентров и направление вектора миграции сильных землетрясений). Оказалось, что векторы миграции очагов сильных землетрясений ориентированы, в основном,

близширотном направлении, т.е. с востока на запад и обратно, что совпадает с направлением простираения хребтов Северного Тянь-Шаня (рисунок 2). Средняя скорость миграции эпицентров сильных землетрясений равна 5-7 км/год.

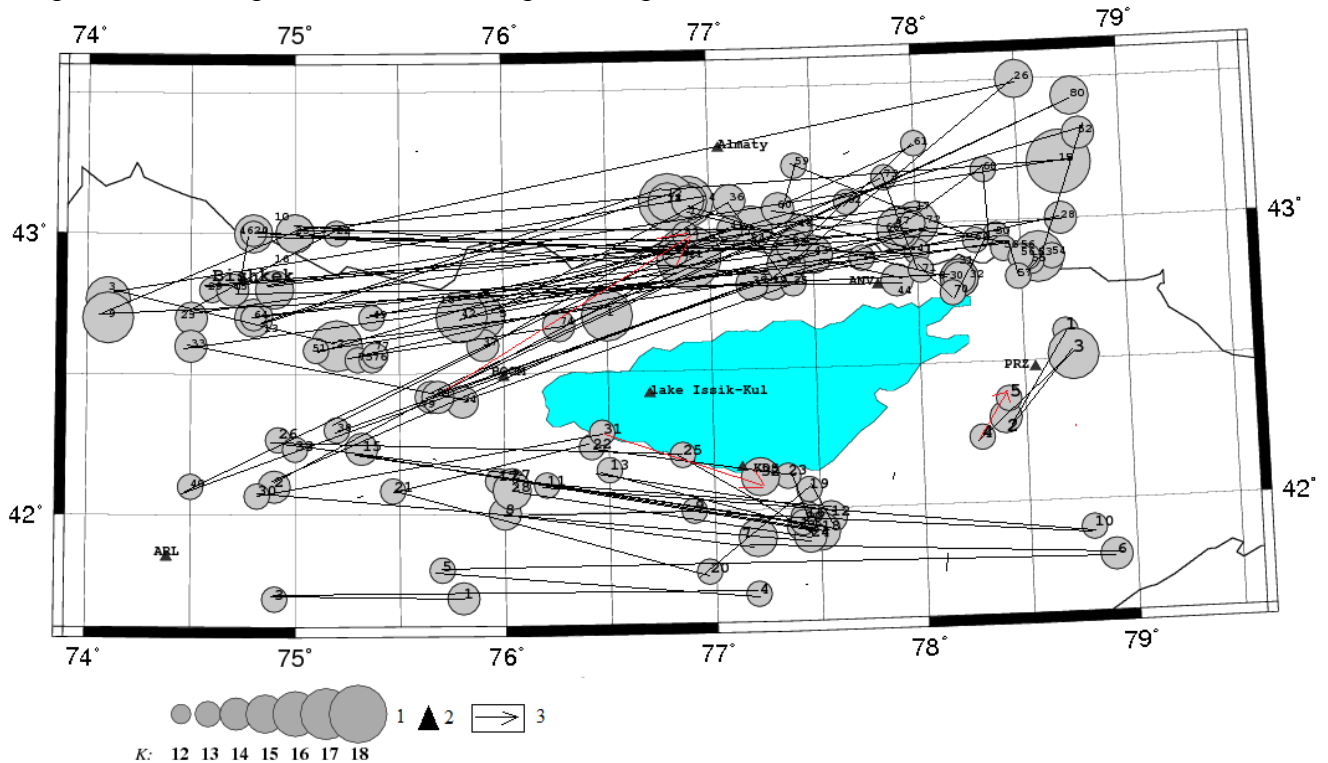


Рисунок 2. Направления векторов миграции эпицентров сильных ( $K \geq 12.0$ ) землетрясений полигона. 1- эпицентр землетрясения, 2- сейсмическая станция, 3- вектор миграции эпицентров

Чтобы выявить закономерности распределения сильных землетрясений во времени, нами построены временные графики (рисунок 1в). На рисунке 1в можно видеть чередование сейсмического затишья и сейсмической активизации перед сильными землетрясениями. Например, 12-летнее сейсмическое затишье перед катастрофическим Кеминским землетрясением 1911 г.; 4-х летняя сейсмическая активизация наблюдается перед сильнейшим Чиликским землетрясением 1889 г. Перед Кемино-Чуйском землетрясением 1938 г. ( $M=6.9$ ) сейсмическая активизация продолжалась 8 лет (1930-1937 гг.). Перед другими, сравнительно слабыми землетрясениями, сейсмическое затишье или сейсмическая активизация на этом графике не наблюдались. Так что перед сильнейшими землетрясениями могут наблюдаться и сейсмическое затишье, и сейсмическая активизация. Чтобы подробнее выяснить этот вопрос, мы провели анализ периодичности проявления сильных землетрясений полигона (таблица 1). Периоды сейсмической активности и сейсмического затишья определены по проявлениям исторических сильных землетрясений ( $K_p \geq 13.0$ ) за весь период наблюдения (1868-2018 гг.).

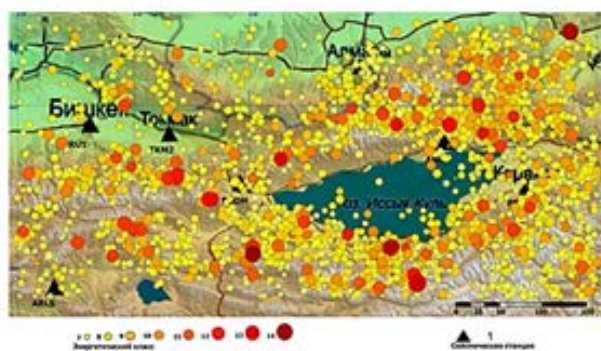
Таким образом, период продолжительности сейсмической активности в среднем составляет 16 лет, сейсмического затишья – 11 лет (таблица 1). С 2015 г. на Бишкекском прогностическом полигоне началось сейсмическое затишье, следующая сейсмическая активность, вероятно, может наступить в 2026 г.

Таблица 1.

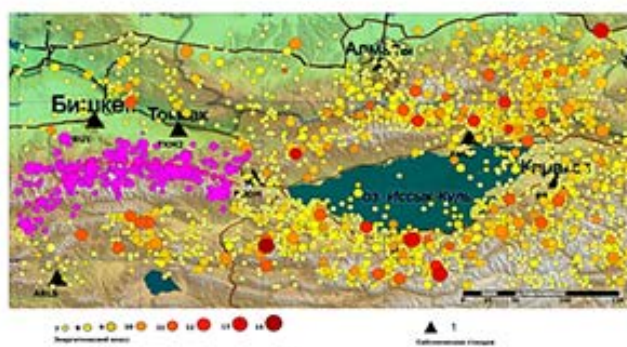
Основные фазы периодичности исторических сильных землетрясений за весь период наблюдения (1868-2018 гг.).

Номер фазы	Периоды сейсмической активности	Длительность	Периоды сейсмического затишья	Длительность
I	1868-1893	26	1894-1909	16
II	1910-1916	07	1917-1925	09
III	1926-1948	23	1949-1964	16
IV	1965-1990	26	1991-1995	05
V	1996-1999	04	2000-2005	06
VI	2006-2014	09	2015-	продолжается

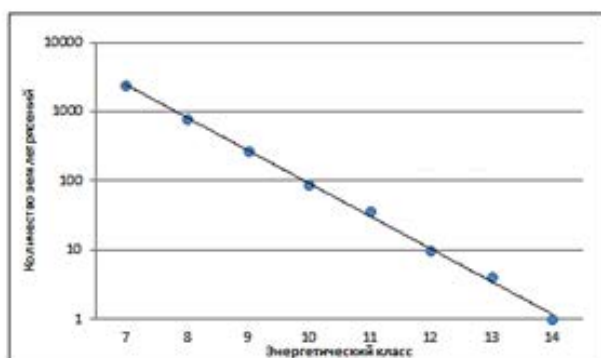
По технологии системы наблюдений на полигоне накопленный сейсмологический материал мы разделили на два этапа: 1) по данным аналоговых сейсмических станций региона (1970-1990 гг.) и 2) по данным цифровых сейсмических станций (1991-2017 гг.). Результаты прогностических исследований полигона по первому этапу можно найти в работах [4,5]. В данной работе рассматривается задача по выявлению пространственно-временных особенностей распределения землетрясений полигона на втором этапе. С этой целью нами была построена карты распределения эпицентров землетрясений полигона (рисунок 3 А, В).



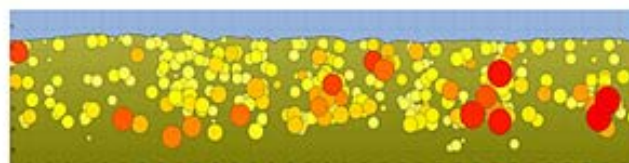
А



В



С



D

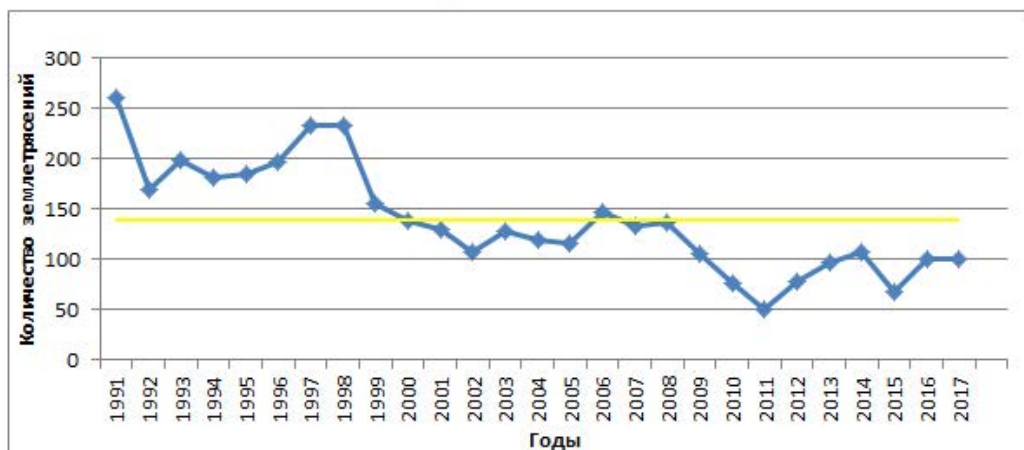
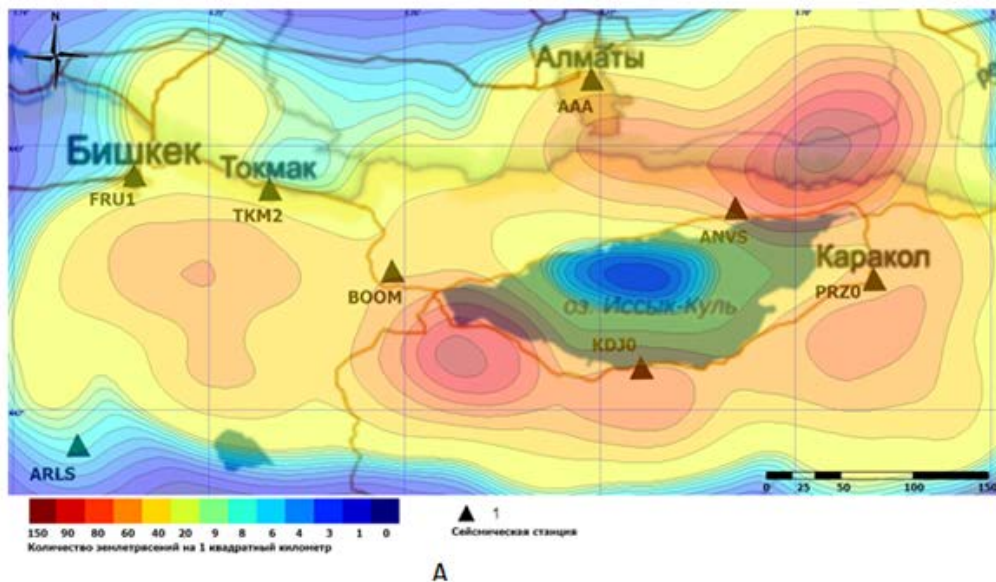
Рисунок 3. Распределение землетрясений ( $K_p \geq 7.0$ ) по территории полигона и прилегающих площадей (А,В), глубине (D- по Бишкекскому полигону, выделенному малиновым цветом) и по энергетическому классу (С) за период 1991-2017 гг.

Основные показатели сейсмичности Бишкекского прогностического полигона – распределение землетрясений по территории, глубине и энергетическому классу, показаны на рисунке 3. Как видно на рисунке 3 (А-В), эпицентры рассматриваемых землетрясений ( $K_p \geq 7.0$ ) распределены неравномерно. Наибольшая концентрация эпицентров сосредоточена в горных обрамлениях Чуйской и Иссык-Кульской впадин. Гипоцентры этих землетрясений в большинстве случаев расположены на глубине от 0 до 20 км. Распределение землетрясений полигона по энергетическому классу ( $K_p = 7.0-14.0$ ) за последние 27 лет (1991-2018 гг.) в графическом виде показано на рисунке 3 (С). График подчиняется закону Гутенберга-Рихтера, и можно выразить следующей эмпирической формулой:

$$\text{Lg}N=6.708-0.474K_p, (1)$$

где N- количество землетрясений энергетического класса  $K_p$ , зарегистрированных за период с 1991 г. по 2018 г. на данном полигоне. Наклон графика повторяемости землетрясений ( $K_p \geq 7.0$ ) полигона –  $\gamma=-0.47$ . Представленная корреляционная формула (1) необходимо для дальнейшего исследования сейсмического режима полигона.

Карта плотностей сейсмического фона полигона построена по данным цифровых сейсмических станций KNET и KRNET за период 1991-2017 гг. (рисунок 4).



В

Рисунок 4. Карта плотностей сейсмического фона Бишкекского прогностического полигона и прилегающих площадей; распределение сейсмического фона по территории (А) и изменение количества землетрясений во времени (В).

Высокий уровень плотности эпицентров землетрясений расположен в районах Боомского ущелья, с. Каджи-Сай, на участках: к северо-востоку от сейсмической станции «Ананьево» (ANVS), к югу от сеймостанции «Пржевальск» (PRZ), к югу от сейсмической станции «Фрунзе» (FRU1) (станции сети KRNET). Выделенные на карте красным цветом области, можно считать вероятными потенциальными местами очагов ожидаемых сильных землетрясений. Жёлтый цвет показывает общий сейсмический фон полигона, синий цвет – наиболее низкий сейсмический фон. Отметим, что в центральной части оз. Иссык-Куль практически не бывают землетрясений. Изменение числа землетрясений полигона за период с 1991 г. по 2018 г. (рисунок 4(B)) имеет следующую особенность: на полигоне ежегодно происходят порядка 150 землетрясений с энергетическим классом 7.0 и более. Количество сейсмических событий, начиная с 1991 по 2000 г., находилось выше среднего, т.е. количество сейсмических событий было больше среднего установленного значения. Начиная с 2001 г., число землетрясений было ниже среднего значения (рисунок 4 (B)). Низкое значение количество сейсмических событий к настоящему времени может дать информации о подготовке возможного сильного землетрясения.

**Обсуждение результатов.** Бишкекский прогностический полигон – это уникальная природная лаборатория, оснащённая сетями KNET и KRNET с высокочувствительными цифровыми сейсмическими приборами.

- Анализ сейсмичности полигона за период с 1886 г. по 2017 г. показал, что очаги землетрясений расположены в земной коре на глубинах от 5 км до 35 км. Линейное расположение эпицентров на территории полигона совпадает с положением горных хребтов: Киргизского хребта, Кунгей Ала-Тоо и Заилийский Ала-Тау. Этот факт был замечен ещё ранее и описан в работе [8]. Однако анализ этого факта, вместе с временными факторами сейсмического режима, не сделан. По-видимому, основная причина линейного расположения эпицентров связана с близко меридиональным сжатием и в этот момент напряжённая кора испытывает упругую отдачу. Энергия упругой деформации, накопленная в земной коре, высвободится и перейдет в энергию сейсмических волн, излучаемых из зоны разрыва. Именно, в этих ослабленных зонах разрывов происходит сейсмическое течение горных масс [9], интенсивность которого приводит к возникновению очагов сильных землетрясений.

- Эпицентры мигрируют в субштротном направлении со скоростью 5-7 км/год.

- Анализ проявления сильных землетрясений во времени позволил выявить периодичности сейсмических явлений в 6-ти фазах (таблица 1). За период 150-летних сейсмологических наблюдений выявлено, что средний период сейсмической активности составляет 16 лет, сейсмического затишья – 11 лет. Подобные цифры ранее были получены, на пример в работе [10] для всего Тянь-Шаня, т.е. цифры, показывающие периоды сейсмической активности и сейсмического затишья, получились близкими разными подходами. Оценка периода повторяемости сильных землетрясений требует дополнительных исследований.

- Проведены расчёты плотностей сейсмического фона для полигона и результаты представлены в компактной форме в виде карты на рисунке 4. На ней показаны области наибольшей концентрации слабых сейсмических толчков. Согласно моделям подготовки сильного землетрясения, предложенным в работах [11,12]: ЛНТ (лавинно-неустойчивого трещинообразования) или ДД (дилатансионно-диффузионная модель), перед сильным землетрясением происходят слабые толчки, со временем они сливаются в большой магистральный разрыв – сильное землетрясений.

#### **Выводы:**

На основе проведённых сейсмологических исследований в районе Бишкекского прогностического полигона и прилегающих территорий можно сделать следующие выводы:

1. Переход от аналоговой к цифровой системе регистрации сейсмических явлений по региону и установка сети цифровых сейсмических станций (KNET и KRNET) на Бишкекском прогностическом полигоне являются одним из основных показателей развития сейсмического мониторинга в целом.
2. Одной из наиболее интересных особенностей распределения очагов сильных землетрясений является почти линейное расположение их эпицентров. Линия эпицентров, идущая в близко широтном направлении, практически совпадает с простираем Киргизского хребта, Кунгей Ала-Тоо и Заилийского Ала-Тау, а также в районе хребта Терской Ала-Тоо (рисунок 1). Эпицентры сильных землетрясений мигрируют с востока на запад и обратно (рисунок 2) со скоростью 5-7 км/год.
3. Проявление сильных землетрясений полигона во времени имеет периодический характер. Длительность среднего периода сейсмической активности составляет 16 лет, сейсмического затишья - 11 лет. Период очередной сейсмической активности, вероятно, наступит в 2026 году (таблица 1).
4. На карте плотностей сейсмического фона (рисунок 4) выделены изолиниями и красным цветом 4 области, которые можно считать областями накопления тектонических напряжений и потенциальным местом ожидаемых сильных землетрясений.
5. Пространственно-временные особенности распределения землетрясений в районе Бишкекского прогностического полигона отражают характер сейсмогеодинамических процессов, протекающих в земной коре, что позволяет понять природу сейсмичности и прогноза подготовки сильного землетрясения.

#### Литература

1. Муралиев А.М. К вопросу о развитии сейсмологических наблюдений в Кыргызстане//Сейсмологические наблюдения в Кыргызстане. Бишкек: Изд-во «Илим», 1993. С. 4-17.
2. Юдахин Ф.Н., Мамыров Э.М., Шварцман Ю.Г., Ильясов Б., Муралиев А.М. Основные результаты работ по прогнозу землетрясений в Киргизии и перспективы их дальнейшего развития//Советско-Китайский симпозиум по прогнозу землетрясений. Гарм. 1990. С. 5-7.
3. Vernon F. The Kyrgyz Seismic Network, IRIS Newsletter, No.2, 7-8, 1994.
4. Грин В.П., Ильясов Б.И., Ким Н.И. и др. Некоторые результаты исследований по поискам предвестников землетрясений в Чуйской впадине и ее горном обрамлении//Поиски предвестников землетрясений. Ташкент, «Фан», 1976, с.146-150.
5. Грин В.П., Б. И. Ильясов, Н. И. Ким, Л. Р. Лопатина, З.А. Меджитова, Беленович. Некоторые результаты прогностических исследований на Фрунзенском полигоне // Физические процессы в очагах землетрясений. М., Наука 1980 г., с. 14-20.
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г./Отв. редакторы д.ф.-м.н. Н.В.Кондорской и д.ф.-м.н. Н.В. Шебалин. Изд-во «Наука», Москва. 1977. С.198-296.
7. Джанузаков К.Д., Ильясов Б.И., Кнауф В.И. и др. Сейсмическое районирование Киргизской ССР. Фрунзе. Изд-во «Илим». 1977. -53с.
8. Ризниченко Ю.В.(ред.) Методы детального изучения сейсмичности. –Тр. ИФЗ АН СССР, 1960, т.176, № 9, с.50-74.
9. Ризниченко Ю.В. О сейсмическом течении горных масс//Динамика земной коры. М.: «Наука», 1965. С.56-63.
10. Мамыров Э. Землетрясения Тянь-Шаня: магнитуда, сейсмический момент и энергетический класс. –Бишкек: «Инсанат», 2012. -234с.



11. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Основы физики очага и предвестники землетрясений//Физика очага землетрясений. М.: Наука, 1975. С.6-29.
12. Scholz C.H., Sykes L.R., Aggarwal Y.P. Earthquake prediction: a physical basis, Science, 181, 803 (1973).

*Рецензент: д. г.-м.н. Кендирбаева Д.Ж.*