

**СОВРЕМЕННАЯ ЦИФРОВАЯ СЕТЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА ТАДЖИКИСТАНА**

**С.Х. Негматуллаев**

*Геофизическая служба Академии наук Таджикистана, г. Душанбе, n\_sobit@mail.ru*

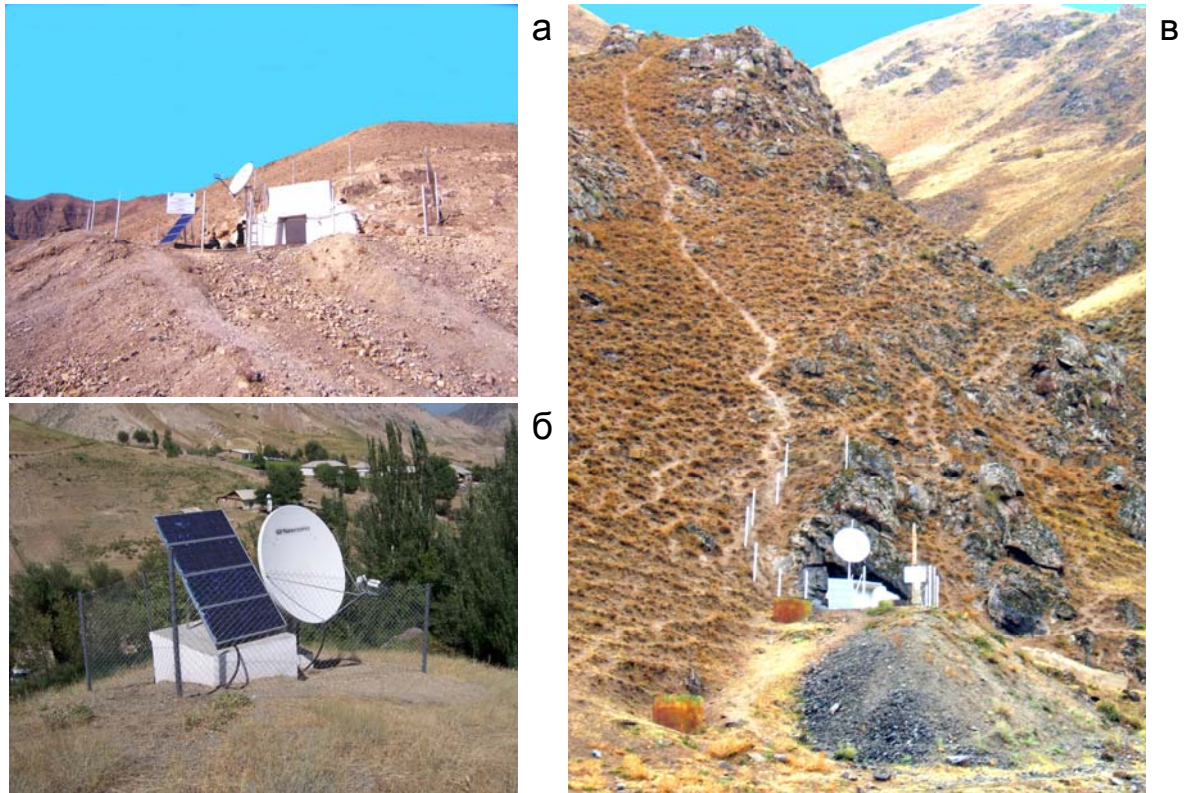
Уникальная система сейсмологических и геофизических наблюдений Таджикистана, созданная в 90-е гг. прошлого столетия усилиями Института физики Земли АН СССР, Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР (ТИССС), а также благодаря совместному сотрудничеству с зарубежными странами была фактически выведена из строя. Перестал функционировать и Среднеазиатский центр по прогнозу землетрясений и оценки сейсмической опасности в г. Душанбе, признанный одним из лучших в бывшем СССР, прекратился оперативный обмен сейсмологическими данными, перестал выходить ежегодник «Землетрясения Средней Азии и Казахстана».

Начиная с 2005 г., для восстановления системы сейсмического мониторинга с помощью и при поддержке Швейцарского управления по развитию и сотрудничеству (ШУРС), проведены работы по проекту «Реабилитация сети сейсмического мониторинга в Таджикистане», порученному НПО «RMP International». Швейцарское правительство через ШУРС профинансировало поставку и монтаж первых широкополосных цифровых сейсмических станций со спутниковой связью. Эти новые станции в соответствии с договоренностью с фирмой «Барки Таджик» расположены так, чтобы наилучшим образом охватить районы существующих, строящихся и проектируемых ГЭС в центральной части республики, на юге, на севере и на Памире (рис. 1 и 2): «Гарм», «Чуян-Гарон» (в 25 км северо-восточнее Душанбе), «Шаартуз», «Гезан» (в районе Пенджикента), «Чорук-Дарон» (в районе Кайраккумской ГЭС), «Игрон» (в районе Нурекской ГЭС), «Манем» (в районе ГЭС Памир-1).



**Рис. 1.** Сеть цифровых широкополосных сейсмических станций, развернутая на территории Таджикистана в 2005–2008 гг.

Установка станций произведена при содействии специалистов канадской фирмы «Nanometrics» (Девид Рийки Мур) и Швейцарского федерального геофизического института (Питер Цвайфель). Сотрудники «RMP International» прошли специальное обучение за рубежом.



**Рис. 2.** Сейсмические станции «Шартуз» (а), «Чуян-Гарон» (б) и «Гарм» (в)

Каждая из установленных станций представляет комплект, включающий трехкомпонентный сейсмометр Trillium, преобразователь Trident, солнечные панели с аккумуляторами, работающими в буферном режиме, спутниковую антенну VSAT, приемопередатчик Cygnus. Сейсмометр воспринимает колебания земной поверхности в широком диапазоне частот, Trident преобразовывает сигналы из аналоговой формы в цифровую и передает ее на приемопередатчик Cygnus. Далее через спутниковую антенну информация попадает на центральную сейсмическую станцию в г. Душанбе, где установлены два компьютера: один из них служит для сбора и хранения данных, другой – для анализа и обработки. На компьютерах установлено специальное программное обеспечение. Вся цифровая сейсмическая система работает в режиме множественного доступа с временным разделением (TDMA), когда каждая станция передает данные в определенный промежуток времени. Связь удаленных станций с Центром сбора и обработки данных, расположенном в г. Душанбе (рис. 3), обеспечивается с помощью космического спутника Intelsat. Передача данных происходит непрерывно в масштабе реального времени.



**Рис. 3.** Центр сбора и обработки сейсмических данных в г. Душанбе

Сведения об установке станций и их кодах даны в табл. 1, значения параметров цифровой аппаратуры – в табл. 2.

**Таблица 1.** Сведения об отдельных цифровых станциях Геофизической службы академии наук Республики Таджикистан (ГС АН РТ) в хронологии их открытия

№	Название	Код	Дата открытия/закрытия	Координаты		
				φ°, N	λ°, E	h <sub>v</sub> , м
1	Гарм	GARM	05.10.2005	39.000	70.316	1305
2	Шаартуз	SHAA	22.10.2005	37.562	68.122	868
3	Гезан	GEZN	02.11.2006	39.283	67.715	1485
4	Игрон	IGRN	18.11.2006	38.220	69.326	1284
5 а	Душанбе	DUSH	24.10.2005/16.08.2007	38.569	68.781	786
5 б	Чуян-Гарон	CHGR	05.11.2007	38.656	69.158	1049
6	Манем	MANEM	18.10.2008	37.530	71.660	2312
7	Чорук-Дарон	CHRDR	22.07.2008	40.386	69.671	580

**Таблица 2.** Данные об аппаратуре цифровых станций ГС АН РТ

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность, велосигграф – отсчет/(м/с)
Гарм (GARM)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Шаартуз (SHAA)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Гезан (GEZN)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Игрон (IGRN)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Душанбе (DUSH)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Чуян-Гарон (CHGR)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Манем (MANEM)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>
Чорук-Дарон (CHRDR)	Trident +Trillium40	ВН (N, E, Z) v	0.025–50	100	24	1.5·10 <sup>9</sup>

Созданная сеть из семи широкополосных сейсмических станций со спутниковой системой связи является опорной для создания локальных сетей в районе строительства Рогунской и других ГЭС (Дашти-Джумской, каскада Зеравшанских), а также для проведения сейсмологического мониторинга и обмена сейсмическими данными с сейсмологическими центрами соседних стран [1]. Данные сети доступны для заинтересованных организаций – Министерства энергетики и промышленности, Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне, научно-исследовательских институтов и других организаций.

Созданная система послужила основой для организации при Президиуме академии наук Республики Таджикистан Геофизической службы, задачами которой является проведение непрерывных сейсмологических, геодинамических, геодезических и других видов наблюдений на территории республики и оперативное обеспечение заинтересованных организаций информацией о происходящих землетрясениях. К настоящему времени сейсмическая система регистрирует в месяц от 500 до 700 событий с энергетическим классом  $K_p \geq 3$ , из которых более 200 событий имеют энергетический класс  $K_p \geq 10$ . Ежемесячный сейсмологический бюллетень передается заинтересованным организациям. Геофизической службой создана база волновых форм событий объемом более 300 Гб, начиная с 2005 г. Для полного освоения программного обеспечения в вопросах обработки и анализа получаемых цифровых данных центр в г. Душанбе сотрудничает с IRIS, фирмой Nanometrics и Институтом геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан и его Центром данных.

Благодаря сотрудничеству с Германским исследовательским центром Земли (GFZ, Потсдам), с Центрально-Азиатским институтом прикладных наук о Земле (CAIAG, г. Бишкек, Республика Кыргызстан), с Научно-исследовательской станцией РАН (г. Бишкек) и с Институтом геологии АН Республики Таджикистан на Памире была организована регистрация землетрясений в ждущем режиме сетью из 30 сейсмических станций Guralp в рамках Тянь-Шань-Памирской геодинамической программы (рис. 4).

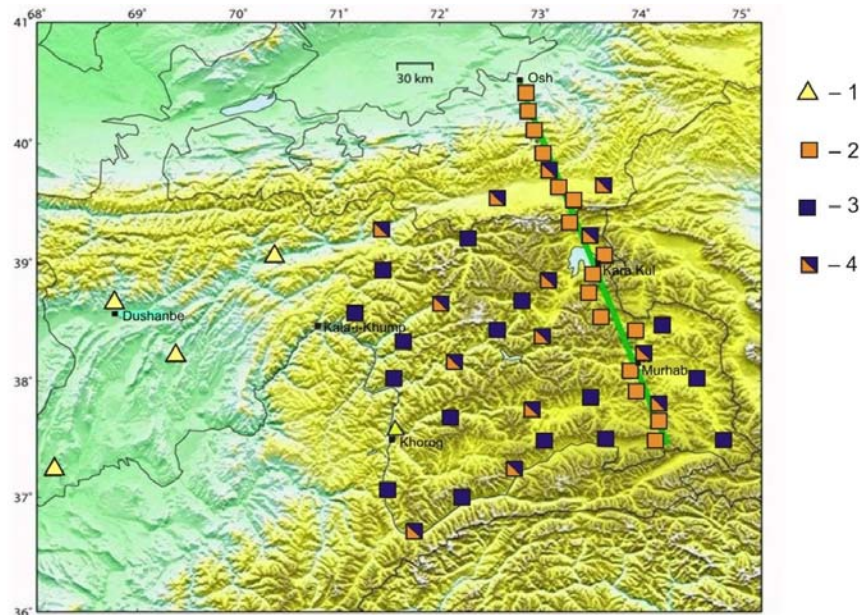


Рис. 4. Памирская сеть сейсмических станций, работающих в автономном режиме

1 – сейсмические станции ГС АН РТ; 2 – сейсмические станции Guralp, установленные по профилю Ош–Мургаб для проведения ГСЗ в 2008–2009 гг.; 3 – эти же станции, установленные по площади в 2009–2010 гг.; 4 – сейсмические и магнитотеллурические станции.

В результате совместных исследований удалось получить уникальные сведения, позволяющие построить профиль строения земли до глубин 800 км, а также предложить вероятный механизм формирования сверхмощной коры и генезис мантийных землетрясений Памира. Совместные работы планируется продолжить по Памиро-Дарвазу и Таджикской депрессии.

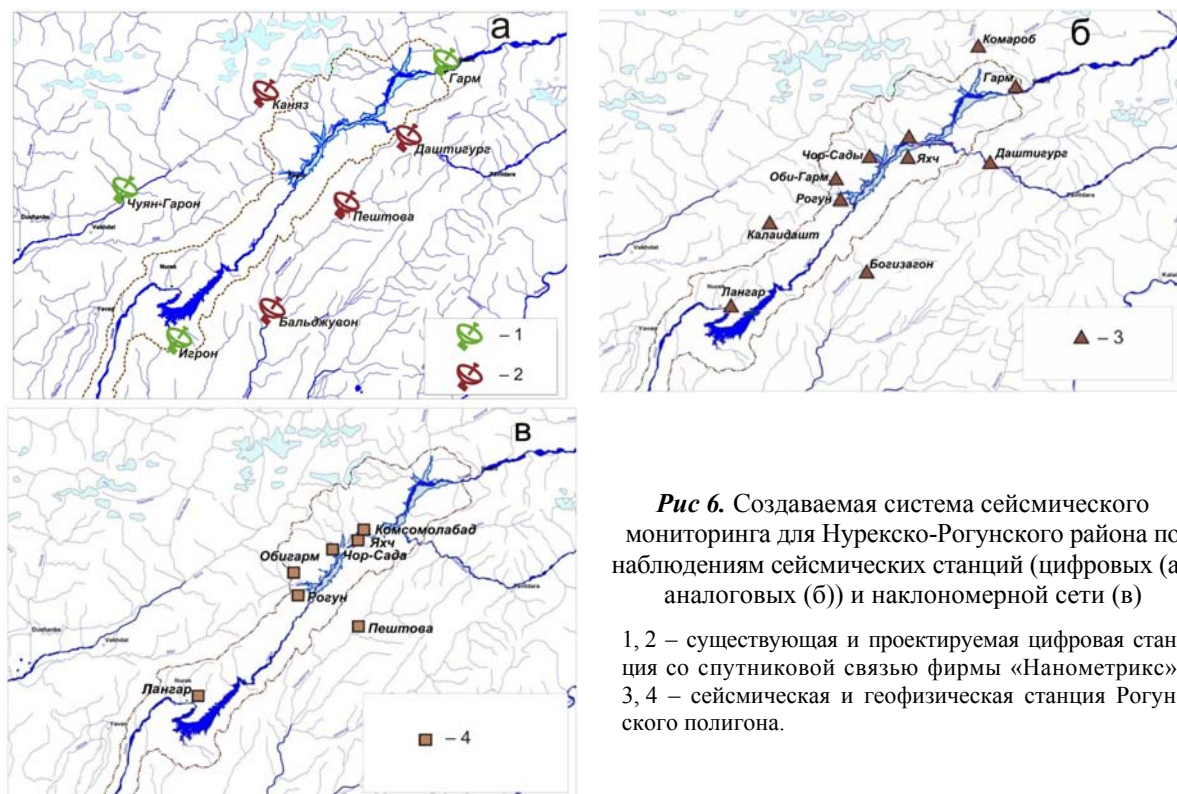
В связи с подписанием в 2009 г. Договора о создании новой безъядерной зоны на территории Центральной Азии (включая Таджикистан), Геофизической службе предстоит участвовать в работах по контролю за ядерными испытаниями в региональном аспекте. Проведение такой работы планируется в тесном сотрудничестве с Институтом геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан и его Центром данных, а также с соответствующими организациями других центрально-азиатских республик.

Для обеспечения контроля за сейсмичностью района строящегося каскада ГЭС запланировано создание локальной сети станций в районе верхнего и среднего течения р. Вахш. Для этого потребуются 4–5 широкополосных цифровых станций со спутниковой связью. Базовую станцию в районе Рогунского гидроузла планируется организовать на площадке Верхний Майдон. Дирекцией строящегося гидроузла для этих целей уже построены специальные здания для Центра сейсмогеофизического мониторинга головного участка Рогунского гидроузла и акватории будущего водохранилища (рис. 5).

Всю сейсмологическую информацию планируется передавать для обработки и анализа в г. Душанбе и обеспечивать доступность этой информации для дирекции строящегося гидроузла и заинтересованных организаций.



Рис. 5. Здания будущего Центра сейсмогеофизического мониторинга головного участка Рогунского гидроузла и акватории водохранилища на площадке Верхний Майдон



**Рис 6.** Создаваемая система сейсмического мониторинга для Нурекско-Рогунского района по наблюдениям сейсмических станций (цифровых (а), аналоговых (б)) и наклономерной сети (в)

1, 2 – существующая и проектируемая цифровая станция со спутниковой связью фирмы «Нанометрикс»; 3, 4 – сейсмическая и геофизическая станция Рогунского полигона.

Как видно из рис. 6, в состав планируемой системы входят опорные, функционирующие сейсмические станции «Гарм»-Грм, «Чуян-Гарон»-Чнг и «Игрон»-Игр. Их оснащение и работу обеспечивает Геофизическая служба АН РТ и НПО «RMP International». Для исследования наведенной сейсмичности планируется организовать 14 станций, оснащенных аппаратурой Guralp. Все эти станции параллельно должны быть оснащены аппаратурой для регистрации сильных движений.

Имеется необходимость в создании сети наклономерно-деформометрических и геофизических станций в акватории Нурекско-Рогунского водохранилища. Такую систему планируется создать совместно с Институтом геологии и сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. В районе Нурека действует комплексная станция «Лангар»-Лнг для сейсмологических и наклономерно-деформометрических наблюдений. В этом районе необходимы и другие станции: «Оби-Гарм»-Обг, «Чор-Сады»-Чрс, «Нуробод»-Нрд, «Яхч»-Яхч, «Гарм»-Грм. Для их организации необходимо использовать существующие подземные сооружения – специально для этих целей пройденные в горных породах штольни протяженностью 200 м (100 м – подходная, две по 50 м – ориентированные на север и восток) в акватории будущего водохранилища.

Создание системы геологического, сейсмического и деформационного мониторинга для каскада ГЭС на р. Вахш является одной из актуальных наших задач на ближайшее время.

Освоение гидроэнергетических ресурсов в горных сейсмически активных районах имеет свою специфику. Кроме непосредственного воздействия землетрясения на гидротехнические сооружения, большую опасность представляют так называемые вторичные последствия землетрясений – оползни, обвалы, сели. Они чаще всего не влияют непосредственно на сооружения гидроузла, поскольку при проектировании место для строительства выбирается довольно тщательно, но могут осложнить или даже составить угрозу работе каскада гидросооружений. Известные случаи с Оби-Шурским селом или Байпазинским оползнем служат ярким тому примером. Поэтому необходимо избежать негативных последствий такого воздействия, используя данные сейсмологического, деформационного и геологического мониторинга по долине р. Вахш.

Особого внимания требует изучение возбужденной сейсмичности, связанной с техногенными процессами из-за строительства крупных водохранилищ. Опыт изучения возбужденной сейсмичности в районе Нурекского водохранилища показал, что выбор оптимального режима

заполнения вновь строящегося гидроузла может существенно повлиять на режим сейсмичности в районе строительства и снизить опасные последствия спровоцированных землетрясений [2].

Заполнение Нурекского водохранилища показало, что напряжения от создаваемой пригрузки на земную кору передается по системе разломов на большие расстояния [3]. Завершение строительства Сангудинских и Рогунской ГЭС создаст практически непрерывное водохранилище длиной 200–250 км, расположенное в зоне одного из самых сейсмически активных разломов на территории Таджикистана. Такое единое, по сути, большое водохранилище может существенно повлиять на сейсмический режим не только территории, прилегающей к нему, но и на всю эту сейсмоактивную зону. В связи с этим важно уже сейчас начать сейсмологические наблюдения как в акватории будущего Рогунского водохранилища, так и всего среднего течения р. Вахш. Для этого необходимо установить не менее 5–6 цифровых широкополосных сейсмических станций со спутниковой связью для осуществления мониторинга за сейсмическим режимом территории и выбора оптимального режима заполнения строящегося водохранилища. Для уверенной интерпретации возбужденных землетрясений необходимы детальные сейсмологические наблюдения за достаточно длительный промежуток времени не только в период после, но и перед заполнением водохранилища.

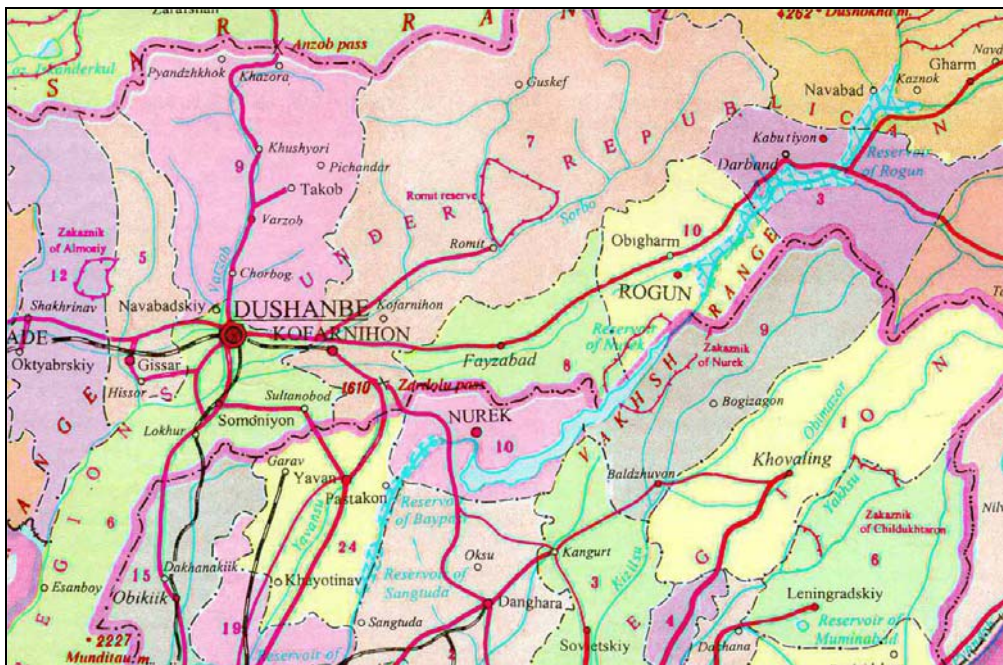


Рис. 7. Схема каскада водохранилищ на р. Вахш

При интерпретации сейсмологических данных планируется использовать такие методы прогноза, как:

- хорошо известный метод сейсмического затишья (с группированием землетрясений и рассмотрением двух типов затиший – групповых и одиночных толчков независимо друг от друга);

- метод концентрационного критерия укрупнения трещин во времени, предложенный ак. С.Н. Журковым [4, 5]. Этот метод ранее был использован с целью прогноза землетрясений (в том числе и возбужденных) по кинетике накопления разрывов для района Нурекского гидроузла [6].

Такой прогноз необходим для землетрясений с  $K_p \geq 10, 11, 12, 13, 14$  и т.д. за большой период времени в зависимости от уровня энергетической представительности землетрясений  $K_{min}$ , и особенно до начала заполнения водохранилища Рогунской ГЭС, пока не проявилась возбужденная сейсмичность. К началу заполнения Рогунского водохранилища целесообразно организовать вибрационное воздействие для снятия накопленных напряжений в земной коре. К тому времени уже будут определены места концентрации напряжений в зоне Гиссаро-Кокшаальского разлома на основе среднесрочных прогнозов. Организация работ по снятию

накопленных напряжений в земной коре с помощью вибрации позволит контролировать процесс трещинообразования и придать им пластический характер [7, 8]. Такой подход позволит не только прогнозировать возможные толчки, но и уменьшать их негативное воздействие и даже предотвращать их.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Негматуллаев С.Х., Девонашоев А.Ю., Мирбаева З.Д.** Возрождение сети сейсмического мониторинга в Таджикистане // Уменьшение стихийных бедствий и управление этими рисками. – Душанбе: Дониш, 2006. – С. 3–15.
2. **Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Симпсон Д., Соболева О.В.** Возбужденная сейсмичность в районе водохранилища Нурекской ГЭС. – Душанбе–Москва: Дониш, 1987. – 403 с.
3. **Негматуллаев С.Х., Старков В.И.** Влияние водохранилища на прилегающие территории // ДАН РТ. – 2006. – 49. – № 3 – С. 244–250.
4. **Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А., Савельев В.Н., Султанов У.** О прогнозировании разрушения горных пород // Физика Земли. – 1977. – № 8 – С. 11–18.
5. **Петров В.А.** Принципы кинетической теории прогнозирования макроразрушения // Физика твердого тела. – 1981. – 23. – Вып. 12. – С. 3581–3586.
6. **Куксенко В.С., Пикулин В.А., Негматуллаев С.Х., Мирзоев К.М.** Долгосрочный прогноз землетрясений по кинетике накопленных разрывов (район Нурекского водохранилища) // Прогноз землетрясений. – Душанбе–Москва: Дониш, 1984. – № 5 – С. 139–148.
7. **Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х.** Влияние механических вибраций на сейсмичность // ДАН СССР. – 1990. – 313. – № 1. – С. 78–83.
8. **Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х.** Влияние механических вибраций на сейсмичность и пластические деформации / Ред. М.А. Садовский – Душанбе: Дониш, 1992. – 51 с.