

УДК 551.3:550.3

Инструментальные сейсмические наблюдения в зонах крупных водохранилищ Узбекистана

© 2022 г. Л.А. Хамидов, Ф.Р. Артиков, Х.Л. Хамидов, Б.Р. Ганиева,
С.Г. Анварова, Ф.И. Иброгимов

ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

Поступила в редакцию 01.08.2022 г.

Аннотация. Представлены результаты произведённых оценок текущего состояния инструментальных сейсмических наблюдений, используемых на водохранилищах в сейсмоактивных районах Узбекистана. Оценка текущего состояния непрерывных инструментальных сейсмологических наблюдений произведена на Чарвакском, Андижанском, Гиссаракском и Туполангском водохранилищах. Обобщены оценки состояния инструментальных наблюдений на крупных водохранилищах Восточного и Южного Узбекистана. Представлены результаты экспедиционных исследований, а также возможности совершенствования существующих систем. Полученные результаты носят практический характер, определены направления совершенствования существующей стационарной сейсмометрической системы на крупных резервуарах. Результаты также можно использовать для создания и обеспечения систем постоянного сейсмического мониторинга на водохранилищах.

Ключевые слова: совершенствование, водохранилища, сейсмометрия, плотина, сейсмические станции, частоты, колебания, спектр, скорость.

Для цитирования: Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г., Иброгимов Ф.И. Инструментальные сейсмические наблюдения в зонах крупных водохранилищ Узбекистана // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 52–67. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.05>. EDN: PLBKXN

Введение

Исследования, проведённые для оценки текущего состояния инструментальных сейсмических наблюдений, используемых на водохранилищах в сейсмоактивных районах Узбекистана, направлены на обеспечение выполнения Постановления Президента Республики Узбекистан от 30.07.2020 г. № ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» [*Постановление Президента ...*, 2020].

В настоящее время наиболее строгие требования предъявляются к изучению волновых свойств скальных оснований плотин интенсивно эксплуатируемых водохранилищ Узбекистана. Сейсмические волны передают на каменно-набросные или грунтовые слоистые массивы пород особенно большие кинематические смещения и сейсмические нагрузки. Хотя исследованию плотин и береговых склонов таких объектов всегда уделялось постоян-

ное внимание [*Касымов и др.*, 1974; *Плотникова и др.*, 1986; *Салямова*, 1997; *Джураев Н. и др.*, 2004; *Шукуров*, 2010; *Хамидов Л. и др.*, 2013], многие их свойства и, главным образом, колебания при сейсмических нагрузках изучены пока недостаточно полно. Имеется ряд причин, сдерживающих эти исследования: ограниченность возможностей постоянного сейсмологического мониторинга; отсутствие оперативных интерактивных систем сейсмометрических наблюдений; недостаточные объёмы инженерно-сейсмометрических съёмки и информации о волновых формах из зон эксплуатируемых водохранилищ; отсутствие целенаправленных режимных сейсмометрических наблюдений, основанных на современной аппаратуре. Поэтому в последние годы в комплексе исследований, способствующем повышению безопасности и эффективности эксплуатации водохранилищ, новым направлением стало совершенствование системы сейсмического мониторинга в зонах водохранилищ.

Исторически на всех крупных водохранилищах регулярное совершенствование системы мониторинга сейсмичности проводится, во-первых, для обеспечения контроля сейсмической устойчивости плотин (в пределах государственных норм, установленных той или иной страной). Во-вторых, – для сейсмического микрорайонирования территорий водохранилищ и примыкающих к ним зон. И, в третьих, – для выявления сейсмичности, вызванной водохранилищами.

Инженерно-сейсмометрические исследования на водохранилищах Узбекистана в конце XX в. проводились в основном аналоговыми сейсмическими станциями в пределах СНиП-II-7-81 для целей сейсмического микрорайонирования при выборе участка строительства, а также при контроле колебаний плотин во время сильных землетрясений [СНиП-II-7-81, 1982].

После завершения строительства и начала эксплуатации в Узбекистане крупного Чарвакского водохранилища в его ближней зоне произошли два сильных землетрясения. 13 февраля 1977 г. в 15 ч 33 мин произошло землетрясение с интенсивностью $I=5$ баллов по шкале MSK-64 и магнитудой $M=3.6$. Месяц спустя, 15 марта в 14 ч 7 мин произошёл второй, более сильный толчок с $I=5$ баллов по шкале MSK-64 и магнитудой $M=3.9$. В работах Л.М. Плотниковой, В.И. Махмудовой, Б.С. Нуртаева и др. это землетрясение получило название «Денапское» [Плотникова и др., 1986; Плотникова и др., 1999; Плотникова и др., 1983]. Как было отмечено в [Плотникова и др., 1999], «... интерес к изучению особенностей проявления этих землетрясений связан с решением проблемы влияния водохранилища на сейсмичность района и с вопросами сейсмостойкости уникального гидротехнического сооружения – высокой Чарвакской плотины ...».

Исследования, проведённые с 1972 по 2007 г. В.И. Уломовым, С.М. Касымовым, Л.М. Плотниковой, В.Г. Гафуровым, И.Б. Яковлевой, В.Г. Катренко, Б.С. Нуртаевым, Е.В. Квашиным, В.И. Махмудовой, Н.М. Джураевым, И.Х. Тимбековым, Ф.Ф. Зияудиновым, М.А. Шукуровым и др. [Плотникова и др., 1983; Касымов и др., 1974; Яковлева, Меденцева, 1974; Квашин и др., 1980; Саямова, 1997; Джураев Н. и др., 2004; Плотникова, Матасова и др., 1979], совмещали первые две задачи из трёх указанных выше. Совершенствование системы мониторинга локальной сейсмичности на цифровой базе в зонах водохранилищ Узбекистана в этот период ещё не было организовано. Инженерно-сейсмометрическая служба, основанная на старой частично автома-

тизированной и частично аналоговой сейсмической аппаратуре, работала в Чарвакском (Ташкентский вилоят), Андижанском (Андижанский вилоят), Гиссаракском (Кашкадарьинский вилоят) и Туполангском (Сурхандарьинский вилоят) водохранилищах с большими перерывами [Шукуров, 2010; Хамидов Л. и др., 2013; Зияудинов и др., 2016; Ибрагимов А., Хамидов Х., 2018].

В этот период записи сейсмических колебаний, особенно на водохранилищах Южного Узбекистана, проводились, как правило, на осциллографическую фотобумагу, которая проявлялась в специальных затемнённых химических лабораториях. Далее сейсмограммы передавались группе обработчиков для выделения землетрясений и отметки времён вступлений головных волн, а также сохранения фотокопий только с записями землетрясений. В дальнейшем другой группой сотрудников проводились оцифровка этих записей и составление баз цифровых значений. Эти базы, подготовленные в виде цифровых таблиц на бумаге по всем компонентам волновых форм, ещё одной группой исследователей вводились в память ЭВМ, и в стандартизированной программной среде определялись искомые параметры (смещение, скорости, ускорения и др.) [Плотникова и др., 1986; Квашин и др., 1980].

Выполнение этих работ на одном объекте требовало много времени и огромных людских и финансовых ресурсов. На одном только Чарвакском водохранилище, несмотря на автоматизацию первичной записи, работали более 30 сотрудников в специальном здании полигонного типа, где в архиве хранились тысячи бумажных сейсмограмм. Все оценки времён вступлений головных волн в измерительных точках отмечались весьма условно вручную.

1. Состояние инструментальных сейсмических наблюдений

Исследования, проведённые за последние годы, и ряд сейсмических событий, произошедших в ближних зонах водохранилищ, показали необходимость выявления механизмов очагов землетрясений, вызванных инженерной деятельностью человека, и оценки уровня сейсмогенности зон влияния особо важных водохранилищ Узбекистана. Исследования как в нашей стране, так и за рубежом, показали, что определение уровней фоновой и локальной сейсмичности для выявления возможных техногенных землетрясений играет немаловажную роль. Поэтому решение задачи обнаружения землетрясений в связи с эксплуатацией крупных водохранилищ является

важным для принятия обоснованных мер по предотвращению вредных последствий.

Необходимость решения этих задач в ближайшие годы отмечена в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 30.07.2020 г. № ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» [*Постановление Президента ...*, 2020]. Поэтому в рамках выполнения этой программы совершенствование цифрового мониторинга сейсмичности поэтапно проводится на Чарвакском, Андижанском, Гиссаракском и Туполангском водохранилищах. Первичные результаты цифрового мониторинга локальной сейсмичности с возможностями выхода к реализации решения третьей задачи на примере зоны Гиссаракского водохранилища были представлены в кандидатской диссертации М.А. Шукурова в 2009 г. [*Шукуров*, 2010].

За период с 2016 по 2021 г. были выполнены исследования по обеспечению возможности полномасштабного обновления системы слежения за сейсмичностью в зонах указанных выше водохранилищ [*Хамидов Л. и др.*, 2013; *Зияудинов и др.*, 2013; 2016; *Ибрагимов А., Хамидов Х.*, 2018]. За этот период системы аналоговых сейсмических станций нами были полностью заменены на цифровые [*Зияудинов и др.*, 2013; *Ибрагимов А., Хамидов Х.*, 2013; *Хамидов Л., Зияудинов и др.*, 2015].

В эти годы были проведены работы по сбору информации о самых крупных техногенных объектах — водохранилищах Восточного и Южного Узбекистана, по изучению и анализу параметров сейсмичности в разные периоды согласно ШНК 2.06.11-04 в наиболее крупных водохранилищах, таких, как Чарвакское, Андижанское, Гиссаракское, Туполангское, Ахангаранское, Каркидонское и Резаксайское [*ШНК 2.06.11-04*, 2006; *Хамидов Х., Артиков*, 2017; *Хамидов Х., Артиков*, 2018; *Хамидов Л., Ибрагимов А., Хамидов Х. и др.*, 2020].

Инструментальные сейсмометрические наблюдения непрерывным и дискретным способами работают на объектах как в стационарном, так и нестационарном режимах. Регистрация сейсмических волн на плотинах и береговых склонах Чарвакского, Андижанского, Ахангаранского, Каркидонского, Резаксайского, Гиссаракского, Пачкамарского и Туполангского водохранилищ производится установленными в 2006–2011 гг. цифровыми сейсмическими станциями. Они морально устарели и не полностью отвечают современным требованиям.

В Чарвакском водохранилище, например, в 2007–2018 гг. сейсмометрические наблюдения проведены при помощи цифровой сети для оценки колебания плотины и прибортовой части. В теле плотины действовали 18 измерительных точек (по три сейсмометра в каждой) цифровой регистрации. Измерительные пункты оборудованы высокочувствительными сейсмометрами для записи местных и близких землетрясений с усилением каналов более 10000 (в зависимости от фона помех 1-го рода). Диапазон периодов полосы пропускания — 0.2–2 с, амплитудно-частотные характеристики каналов соответствуют главной части спектра сейсмических волн близких и местных землетрясений [*Хамидов Х., Артиков*, 2017; *Хамидов Х., Артиков*, 2018]. Инженерно-сейсмометрические оценки по временной схеме представлены цифровыми записями в измерительных пунктах [*Хамидов Х., Артиков*, 2016]. При переходе на постоянную схему инженерных сейсмометрических наблюдений количество их увеличивалось. Часть измерительных пунктов в противоположных бортах и в основании осталась в исходном положении [*Хамидов Х., Артиков*, 2016]. Для количественной оценки относительных изменений сейсмической интенсивности на участках с разными физико-механическими свойствами крупнообломочных массивов был использован метод регистрации землетрясений малых энергий [*СНиП-II-7-81*, 1982; *ШНК 2.06.11-04*, 2006].

В Андижанском водохранилище в 2018 г., в рамках инновационного проекта «Создание цифровой сейсмической системы на плотине Андижанского водохранилища для мониторинга его состояния и прогноза возможных природных и техногенных катастроф», была запущена усовершенствованная цифровая система сейсмического мониторинга [*Алимухамедов*, 2019; *Хамидов Л., Ибрагимов А. и др.*, 2019]. В составе аппаратуры имеются сейсмометры СМ-3, установленные в соответствующих 18 боксах и камерах на теле плотины. Дополнительные нестационарные сейсмометрические измерения на гребне Андижанской плотины производились с применением широкополосных трёхкомпонентных цифровых сейсмометров CMG-6TD производства Guralp, Великобритания. Измерения микросейсм по 30 мин проведены в 14 пунктах регистрации [*Хамидов Л. и др.*, 2020]. При изучении сильных движений и приращения балльности на Андижанской плотине и в естественном грунте были размещены два однотипных широкополосных акселерометра CMG-5TDE. Первый временно установленный прибор

расположен на сейсмостанции «Кампир-Рават», второй — на гребне плотины.

На Гиссаракском водохранилище, так как основание плотины расположено в едином тектоническом блоке и в зонах с сейсмичностью 7 и 8 баллов [Яковлева, Меденцева, 1974; Плотникова, Матасова и др., 1979], расстановка 24 сейсмоприёмников спроектирована таким образом, чтобы обеспечить трёхмерное окружение объёма пород, представляющего интерес в плане оценки устойчивости [Хамидов Л., Ибрагимов А., Хамидов Х. и др., 2020]. Для достижения этого сейсмоприёмники размещены как на поверхности и на площадках уступов карьера Гиссаракского водохранилища, так и в скважинах глубиной 100–250 м, пробурённых за верхним контуром грунтово-насыпной плотины. Расстояние между сейсмоприёмниками составляет порядка 100–200 м, при этом наблюдениями охватывается объём пород с максимальным поперечным размером 300–500 м. Электрические сигналы с сейсмических датчиков поступают на регистрирующие модули, где происходят их фильтрация, оцифровка и предварительная обработка [Хамидов Л., Ибрагимов А., Хамидов Х. и др., 2020]. Установка аппаратуры и обеспечение работы локальной цифровой сейсмометрической сети в районе расположения Гиссаракского водохранилища предназначены для инженерного обеспечения мониторинга землетрясений в зоне влияния данного объекта. Плотина Гиссаракского водохранилища на реке Аксу расположена в зоне с высокой сейсмичностью (8 баллов), она относится к сооружениям первого класса по капитальности. Высота плотины по проекту — 140 м, объём водохранилища — 170 млн м³ [Хамидов Х., Артиков, 2018; Хамидов Х., 2019]. На Гиссаракском водохранилище во время тестирования установки станций локальные сети действовали по временной схеме — в 1988–1989 гг., по постоянной схеме — в 1990–2008 гг. и по цифровой — с 2009 по 2013 г. С 2014 по 2018 г. обеспечена полностью непрерывная работа системы. Исторически инженерно-сейсмометрические наблюдения были организованы в конце 1986 г., в начале строительства. В период наблюдений с 1987 по 1989 г., когда высота плотины ещё не достигала проектной отметки, инженерно-сейсмометрические наблюдения проводились по временной схеме расположения сейсмостанций. Начиная с 1990 г., в 2007–2013 г. инженерно-сейсмометрические наблюдения были усовершенствованы, а в 2014–2018 гг. — полностью переведены на постоянную схему цифровых наблюдений [Хамидов Х., 2019].

Территория Туполангского водохранилища эксплуатируется в южной части Гиссарских гор на площади с близким простираем к нему Южно-Тянь-Шанского разлома в переходной зоне к Памирскому орогену с границами западнее хребта Сурхантау и восточнее Мачетли. Ранее в этом районе происходили сильные и разрушительные землетрясения, например, Каратагское силой 9–10 баллов ($M \geq 7$, эпицентр достаточно близок к водохранилищу), Байсунское 8–9 баллов (в 80–90 км к юго-западу от водохранилища) и Чуянчинское (в 70–80 км к северо-востоку от водохранилища) с $M \geq 6$ [Джурраев и др., 2006; Хамидов Х., Артиков, 2016]. Наблюдения, проведённые в период 1973–1981 гг., показали, что территория характеризуется высокой сейсмичностью. Здесь могут происходить землетрясения с интенсивностью до 9 баллов ($M \geq 7$) [Джурраев и др., 2006; Хамидов Х., Артиков, 2016]. Сейсмическими исследованиями в зоне возможного влияния водохранилища установлено, что землетрясения силой 7, 8 и 9 баллов ($M \geq 5$) имеют закономерность повторяемости один раз в 300, 1000 и 4000 лет. Створ плотины расположен в зоне 8- и 9-балльной сейсмической интенсивности [Хамидов Х., 2021; Хамидов Х., Артиков и др., 2021]. Для изучения поведения береговых склонов и состояния основания чаши водохранилища при землетрясениях, с учётом синхронности возможных колебаний, произведена начальная сборка сейсмометрического материала, полученного при одновременной регистрации землетрясений небольшой силы на стационарных измерительных пунктах сейсмометрических наблюдений Туполангского водохранилища. Эти пункты оборудованы идентичными сейсмическими каналами.

Определение разницы прихода волн взаимно совпадающих фаз в пунктах измерений производится при обработке всех сейсмограмм с выделением отрезков с одинаковым начальным временем t , отдельно текущим временем t_1 с расчётом от t_0 . На достоверно выделенных одинаковых фазах назначается нумерация до конца временного интервала обработки сейсмограммы [Хамидов Х., 2021; Хамидов Х., Артиков и др., 2021].

Сейсмометрические измерения по временной схеме проводились аналоговыми сейсмическими станциями в четырёх стационарных измерительных пунктах. Часть из них установлена на левом, другая часть — на правом берегу на отметках, соответствующих высоте плотины (в штольнях на расстоянии — 18 м от устья), а один — в основании плотины. Первая точка измерений установлена на правом берегу на отметке 60 м

(в штольнях на расстоянии – 12 м от устья). Все измерительные пункты размещены в скальных грунтах (конгломераты, известняки). При переходе на постоянную схему измерений количество измерительных пунктов увеличилось до восьми, при этом пункты в противоположных бортах и основании остались в прежнем положении, а новые измерительные пункты установлены на гребне и в нижнем бьефе плотины [Хамидов Х., Артиков и др., 2021].

Установкой семи цифровых сейсмических станций СРС-КМ/V-F EL108.00.00-v4 по обязательной схеме в зонах влияния Гиссаракского и Туполангского водохранилищ обеспечена возможность изучения поведения бортов и основания чаш при землетрясениях. В данном случае принимается во внимание также и синхронность колебаний. Произведена совместная обработка сейсмометрического материала, полученного при регистрации землетрясений небольшой энергии на измерительных пунктах. Налажены и установлены сейсмометры во всех измерительных точках, проведены тестирование, калибровка, наладка сети каналов и её программного обеспечения.

Тестирование стационарных сейсмических станций и сейсмодатчиков, используемых в Гиссаракском и Туполангском водохранилищах, проведено для обеспечения достоверности сейсмометрической информации при проведении инженерно-сейсмометрических работ.

Сейсмический мониторинг территории вокруг Гиссаракского и Туполангского водохранилищ проводился в основном лабораторией Техногенной сейсмичности (ныне «Локального сейсмогенеза») Института сейсмологии АН РУз [Хамидов Х., Анварова, Ибрагимов А., 2019; Хамидов Х., Артиков и др., 2021]. В настоящее время в радиусе до 120 км от створов Гиссаракского и Туполангского водохранилищ действуют три сейсмостанции, используемые для определения эпицентров и магнитуды землетрясений [Хамидов Х., Артиков, 2018; *Khamidov L. et al.*, 2021]. Первая сейсмическая станция – «Туполанг» (ТПЛ) – расположена на расстоянии 1 км к югу от створа Туполангского водохранилища и в 77 км от створа Гиссаракского водохранилища в юго-восточном направлении. Вторая сейсмическая станция – «Шабада» (ШБД) – расположена на расстоянии 76 км к северо-западу от створа Туполангского водохранилища и 1 км к западу от створа Гиссаракского водохранилища. Третья станция расположена на расстоянии 115 км к западу от створа Туполангского водохранилища и 72 км к западу от створа Гиссаракского

водохранилища, в 300 м от левого берега Пачкамарского водохранилища (ПЧК). На этих станциях с 2011 по 2021 г. (в Пачкамарской зоне – с 2015 по 2019 г. отдельно от станций Комплексной опытно-методической экспедиции Института сейсмологии АН РУз) действовала сейсмическая станция СРС-КМ/v-F (Elius). Ранее этот тип цифровых сейсмических станций с 2006 по 2015 г. успешно работал для составления региональных каталогов землетрясений Узбекистана, благодаря регистрации на 22 республиканских сейсмических станциях в составе Комплексной опытно-методической экспедиции Института сейсмологии АН РУз [Закиров и др., 2004]. Также многие годы эти станции успешно обеспечивают сейсмометрическое наблюдение за объектом «ЛУКОЙЛ» вплоть до сегодняшнего дня.

Согласно условиям эксплуатации сейсмометрической аппаратуры, в зонах Гиссаракского и Туполангского водохранилищ основными характеристиками регистрирующего тракта являются следующие: амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) каналов; идентичность АЧХ (полная или частичная) каналов; амплитудные характеристики каналов, их линейность и динамический диапазон; переходная характеристика аналого-цифрового преобразователя (АЦП); взаимное влияние каналов; положение нулевого уровня АЦП и его стабильность [Соколов, Словоцов, 2006; Хамидов Х., Артиков и др., 2021]. При эксплуатации обеспечена возможность быстрого контроля общей работоспособности системы, включая сейсмические датчики.

М.В. Соколовым и Н.О. Словоцовым была представлена основа программного обеспечения калибровки сейсмометрических каналов СРС-КМ/v-F [Соколов, Словоцов, 2006; Хамидов Х., Артиков и др., 2021]. Согласно требованию, это программное обеспечение калибровки сейсмометрических каналов сейсмической рабочей станции СРС-КМ/v-F (далее – станция) установлено на персональном компьютере, работающем под управлением Windows XP, на котором выполняется и первичная обработка информации [Соколов, Словоцов, 2006]. Во время проведения работ по калибровке компьютер подключается к станции по интерфейсу USB.

С 2007 по 2019 г. все заводские метрологические оценки и поверки сейсмостанций, установленных на плотине и береговых склонах Гиссаракского и Туполангского водохранилищ, произведены на основе изложенного ниже алгоритма.

Для калибровки и проверки работоспособности каналов сейсмостанции, включая сейсмометры, реализован вариант метода гармонической

калибровки сейсмического канала. При этом на персональном компьютере обрабатывается отклик системы при подаче заданного сигнала от генератора непосредственно на рабочий вход канала и тестовых импульсов на демпфирующую катушку сейсмоприёмника [Khamidov L. et al., 2021; Соколов, Словоцов, 2006; Хамидов Х., Ганиева и др., 2021; Хамидов Х., Иброгимов Ф., Ганиева, 2021].

2. Обсуждение необходимости совершенствования существующих систем

Как отмечено в работах Д.Б. Короленко, А.П. Кузьменко, В.В. Москвичева и В.С. Сабурова, причинами ухудшения устойчивости гидротехнических сооружений являются воздействия фильтрации, температурного фактора, нагрузок от работы технологического оборудования, сейсмические воздействия и т.д. [Короленко и др., 2019]. Плотины крупных водохранилищ относятся к особо опасным объектам, для которых в соответствии с требованиями нормативных документов регламентируется обязательная установка систем постоянного цифрового сейсмометрического наблюдения, обеспечивающих записи поступающих от землетрясений сейсмических волн и колебаний для контроля уровня безопасной эксплуатации объектов [Махутов и др., 2011].

На основе проведённого выше анализа состояния инструментальных наблюдений на водохранилищах Узбекистана можно сделать вывод, что существующие системы инженерно-сейс-

мометрических наблюдений в основном обеспечивают регистрацию сейсмических событий и архивирование записей колебаний плотин и береговых склонов. Полученные данные дают возможность анализировать состояние сейсмических колебаний только лишь в отдельных участках плотин и береговых склонов. В табл. 1 показан список крупных водохранилищ Узбекистана, используемых в зонах высокого сейсмического риска.

Из всех водохранилищ, действующих в сеismoопасных зонах Узбекистана, только на семи организованы сейсмометрические наблюдения. Собственные частоты колебаний определены лишь в считанных объектах, что весьма сузило возможности сейсмического контроля кинематических характеристик колебания плотин и береговых склонов.

Создание единой базы данных по подверженности сейсмическим рискам для Узбекистана является одной из наиболее важных задач обеспечения безопасной эксплуатации сооружений в сеismoопасных районах, каковыми являются более 70% территории Узбекистана.

Если учесть, что более 75% таких крупных экономически важных объектов, как водохранилища Узбекистана, находится в зоне большого сейсмического риска, то актуальность создания подобных региональных баз данных становится ещё более значимой.

На рис. 1 показаны эксплуатационные объёмы и пункты расположения по уровню сейсмичности водохранилищ Узбекистана. Рис. 2 демонстрирует назначение этих водохранилищ.

Таблица 1. Используемые водохранилища Узбекистана в зонах высокого сейсмического риска

№	Водоохранилища и области их расположения	Год ввода	Объем, млн м ³	Высота плотины, м	Длина плотины, м	Зона, балл
1	Андижан (Андижан)*	1970	1900.0	121.0	850	8–9
3	Ахангаран (Ташкент)**	1989	198.0	100.0	1933	8
2	Джиззах (Джиззах)***	1973	100.0	20.0	5500	8
4	Туябугуз (Ташкент)	1963	250.0	36.5	2815	8
5	Чарвак (Ташкент)*	1978	2006.0	168.0	764	8–9
6	Каркидон (Фергана)**	1968	218.4	70.3	420.2	8–9
7	Куюмазар (Бухара)***	1954	320.0	—	—	8
8	Гиссарак (Кашкадарья)*	1986	170.0	138.5	528	8–9
9	Пачкамар (Кашкадарья)**	1967	250.0	71.0	573	8
10	Чимкуртан (Кашкадарья)***	1960	500.0	33.0	7700	8
11	Туполанг (Сурхандарья)*	1979	1200.0	12.0	4	8
12	Каттакуртан (Самарканд)***	1968	900.0	31.2	4040	8
13	Заамин (Джиззах)***	1987	51.0	73.0	73.5	8
14	Южно-Сурхан (Сурхандарья)***	1962	800.0	30.0	4930	8

Примечания: * – стационарные сейсмометрические исследования; ** – нестационарные сейсмометрические исследования; *** – в периоды требований исследований управлениями эксплуатации.

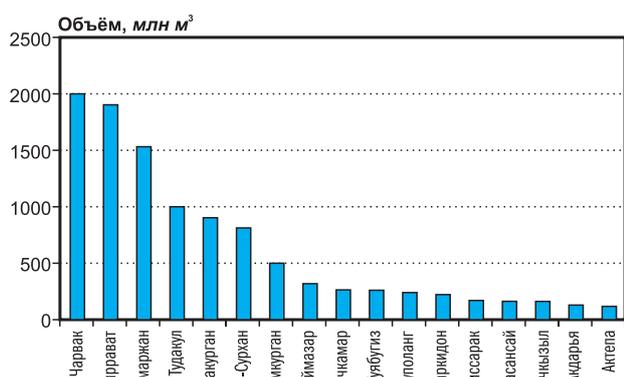


Рис. 1. Эксплуатационные объёмы и пункты расположения по уровню сейсмичности водохранилищ Узбекистана

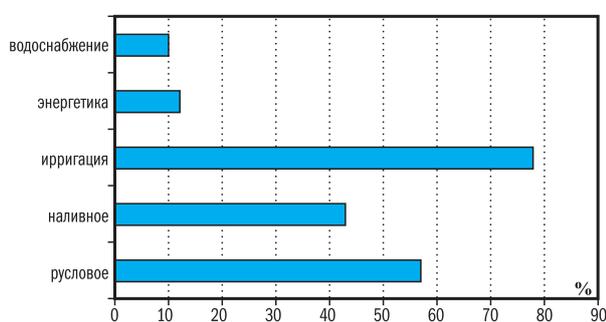


Рис. 2. Назначение водохранилищ Узбекистана

По данным ООН, Узбекистан является единственной страной Центральной Азии, где вопросы безопасности плотин управляются «Законом о безопасности гидротехнических сооружений», изданным в 1999 году. Этот закон обязателен для исполнения на всех крупных плотинах, находящихся в государственной собственности Узбекистана.

Согласно информации Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан и ООН, из всех стран Центральной Азии Узбекистан обладает самой развитой водохозяйственной инфраструктурой, которая позволяет вырабатывать около 7 млрд кВт·ч электроэнергии в год и орошать 4 млн 260 тыс. гектаров земель.

На рис. 3 показано, сколько водохранилищ расположено в зонах разных уровней балльности землетрясений в Узбекистане в процентах.

В Узбекистане имеется 273 крупных и особо важных гидротехнических сооружения I, II, III классов. Из них, по определению Международной комиссии по большим плотинам, 54 — большие плотины с общим объёмом в пределах 20 км³.

Как видно из рис. 3, более половины действующих, строящихся и построенных водохранилищ Узбекистана географически расположена

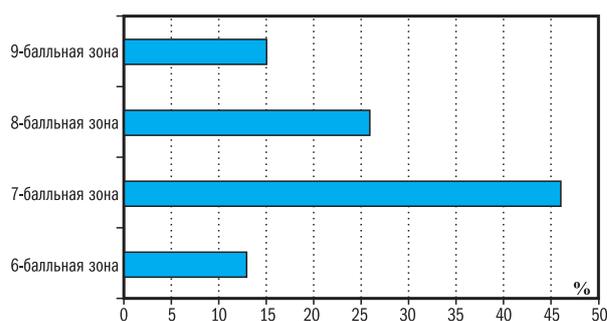


Рис. 3. Процентное отношение количества водохранилищ, расположенных в зонах разных уровней балльности землетрясений

в зонах высокого сейсмического риска. Особую опасность в этих зонах представляет возможность возникновения землетрясений с интенсивностью 8 или 9 баллов.

В стране уделяется большое внимание дальнейшему развитию сейсмического мониторинга водохозяйственной инфраструктуры и особенно водохранилищ, предназначенных для ирригации и энергетики. Так, в 2018 г. завершена модернизация Туполангского водохранилища (рис. 4).

С 2017 г. начаты работы по реализации проектов создания Туполангского каскада гидротехнических сооружений. В 2019 г. проведены работы по инженерно-сейсмологическим исследованиям проектируемого каскада Чарвак-Пскомской зоны водохранилищ. Также планируется начало подготовки проекта по развитию каскада малых ГЭС на реке Зарафшан в зоне, примыкающей к Зааминскому гидроузлу.

Известно, что после 1991 г. произошёл разрыв связей с организациями, ведомствами и институтами из других бывших республик СССР. Совместно с ними ранее проводились натурные сейсмологические исследования. Производились оценки сейсмической безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений (рис. 5).

Время показало, что многие страны Центральной Азии не сумели достаточно оперативно создать собственные системы сейсмологических служб для вышеуказанных целей. Было ограничено выделение достаточных средств с целью продолжения наблюдений и замены действовавших систем сейсмометрических наблюдений, выходящих из строя в процессе эксплуатации. Поэтому такие наблюдения за состоянием плотин в целом ухудшились.

Из-за отсутствия финансовых средств ремонтно-восстановительные и профилактические работы по нескольким плотинам не производились в требуемом объёме. Они должны выполняться

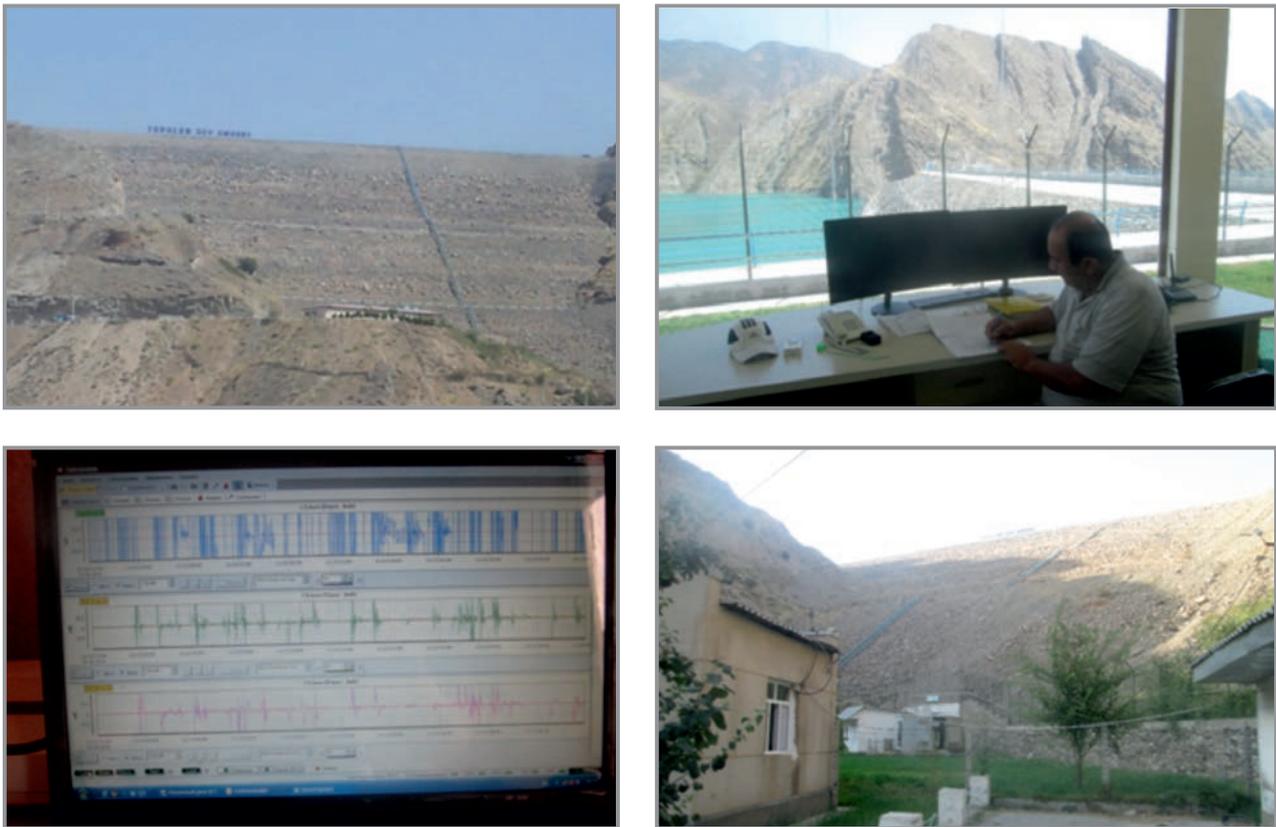


Рис. 4. Новая диспетчерская на плотине Туполангского водохранилища, 2018 г.



Рис. 5. Примеры старой аппаратуры в зоне Гиссаракского водохранилища

на сооружениях с наибольшим сейсмическим риском, расположенных в зонах возможного 8–9-балльного землетрясения. Вероятные аварии от сильных сейсмических нагрузок могут привести к жертвам среди населения и значительным экономическим потерям, особенно, если такие важные объекты строятся вблизи жилых зон. Насколько необходимо и актуально контролировать их устойчивость, можно увидеть на примере водохранилища Сардоба.

В настоящее время в Узбекистане уделяется серьёзное внимание дальнейшему развитию сейсмологических наблюдений в водохозяйственной инфраструктуре и, особенно, на крупных водохранилищах, предназначенных

для ирригации и энергетики. Согласно Постановлению Кабинета Министров от 17.12.2020 г. за № ПКМ-792 «О внедрении системы непрерывного проведения инструментальных сейсмологических наблюдений на водохранилищах, расположенных на сейсмически активной территории республики» [Постановление Кабинета ..., 2020] на 14 крупных водохранилищах Узбекистана, расположенных в зонах 8–9-балльных землетрясений, будет произведена модернизация системы сейсмометрических наблюдений. В табл. 2 показана обеспеченность стабильности работы сети сейсмических станций в зонах водохранилищ Узбекистана и динамика её изменения за последние годы.

Таблица 2. Обеспеченность стабильности работ сейсмических станций в зонах водохранилищ Узбекистана

№	Сейсмические станции	Количество	Сейсмометры	Водоохранилища	Период работы	Формат данных
1	CPC-KM/V-F EL108.00.00-v4 (Россия, Узбекистан)	7	СМ-3, СКМ-3, СМ-3КВ 21	Гиссарак, Туполанг, Пачкамар	2004–2018	цифровой на каждой компоненте, на квартал, стационарный, не интерактивный, GPS
2	WEBTRONICS GPS (США)	8	СМ-3, СКМ-3, СМ-3КВ 62	Чарвак, Андижан	2009–2021	цифровой на каждой компоненте, на полгода, стационарный, не интерактивный, GPS
3	GURALP (Великобритания)	3	СМГ-6ТД 9	Чарвак, Андижан, Туполанг, Гиссарак, Каркидон, Ахангаран, Резаксай, Пачкамар, Джизах, Сардоба, Заамин	2016–2021	цифровой на каждой компоненте, на период измерений, нестационарный, не интерактивный, GPS
Замена всех систем на единую аппаратуру (действует в тестовом режиме с 1 июня 2022 г.)						
4	Apatit-V (Россия)	22	GPS, NTP 22	Чарвак, Андижан, Гиссарак, Туполанг	2022	цифровой на каждой компоненте, непрерывный, стационарный, интерактивный, GPS
Запланировано на установку в период с 2023 по 2026 г.						
5	Apatit-V (Россия)	92	GPS, NTP 92	12	Установка 2023–2025	цифровой на каждой компоненте, непрерывный, стационарный, интерактивный, GPS
Всего		114	342	14		

Анализ инструментальных сейсмических наблюдений в зонах крупных водохранилищ Узбекистана показал, что техническое состояние оборудования действующих локальных сетей контроля сейсмичности требует существенной модернизации согласно современным требованиям.

В последних двух пунктах табл. 2 показана новая аппаратура — установленная (работающая в тестовом режиме) и запланированная на установку в 2023–2025 гг. на 14 водохранилищах согласно вышеуказанному постановлению [*Постановление Кабинета ...*, 2020].

Выводы

Практика сейсмометрических исследований по гидротехническим сооружениям, эксплуатируемым в настоящее время на территории Узбекистана и в трансграничных зонах, показала, что водохранилища, находящиеся в активных разломных зонах, наиболее уязвимы при резкой активизации сейсмичности. Для оценки этой уязвимости необходимо более точно определить кинематические и динамические параметры, пользуясь записями непрерывно действующих систем сейсмометрических измерений на теле плотин и береговых склонах.

При совершенствовании или создании новых сейсмометрических систем на плотинах и береговых склонах водохранилищ Узбекистана нужно уделять особое внимание реализации возможности оперативного интерактивного анализа амплитудных спектров колебаний.

Выполнение оценки текущего состояния плотины и береговых склонов при сейсмических нагрузках с вышеуказанными системами контроля становится проблематичным. Это требует дополнительных измерительных или расчётных обоснований.

При проведении выборки измерительных пунктов необходимо осуществление работ по созданию базы цифровых данных частот колебаний по всем водохранилищам, где будет выполнена модернизация инженерно-сейсмометрических систем.

Занесение в базу цифровых данных волновых форм по каждому водохранилищу необходимо проводить отдельно, исходя из архитектуры, специфики и расположения плотин. По всем пунктам измерений обязательны оценки резонансных частот, коэффициента усиления колебаний и коэффициента сейсмической неустойчивости.

Совершенствование сейсмометрической аппаратурной базы на водохранилищах должно

позволять одновременно наблюдать землетрясения — местные и удалённые, — а также пуск и остановку агрегатов ГЭС с оперативной оценкой собственных колебаний плотины.

Определение параметров проектирования систем сейсмического мониторинга зон крупных гидротехнических сооружений, расположенных в зонах высокой сейсмичности, необходимо произвести согласно предложениям ответственных министерств и ведомств Узбекистана, так как это связано с большим объёмом строительных, коммуникационных и инженерных работ, а также с обеспечением соответствующей финансовой базы.

Литература

Алимухамедов И.М. Новая основа инженерно-сейсмометрических наблюдений на плотине Андиганского водохранилища // Девятая Уральская молодёжная научная школа по геофизике: сборник научных материалов. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2019. — С. 3–7.

Джураев Н.М., Зияудинов Ф.Ф., Джураев О.Н. О поведении бортов и основания каньона во время землетрясений в период завершения строительства и в начале эксплуатации плотины Гиссаракского водохранилища // Проблемы оценки сейсмической опасности, риска и прогноз землетрясений: Материалы Международной конференции. № 1. — Ташкент: ИС АН РУз, 2004. — С. 418–426.

Джураев Н.М., Зияудинов Ф.Ф., Тимбеков И.Х., Туйчиева М.А., Фахриддинов Ж.Ф. Характер синхронности колебаний бортов каньона по отношению к основанию Туполангского водохранилища // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. — 2006. — № 3. — С. 92–97.

Закиров М.С., Соколов М.В., Бахриддинов С. Мониторинг сейсмичности территории Республики Узбекистан: Основные направления исследований системы сейсмометрических и прогностических наблюдений // Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений. Материалы Международной научной конференции. — Ташкент: ИС АН РУз, 2004. — С. 84–94.

Зияудинов Ф.Ф., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Фахриддинов Ж.Ф. Результаты инженерно-сейсмометрических наблюдений в зоне Гиссаракского водохранилища // Геология и минеральные ресурсы. — 2016. — № 5. — С. 58–65.

Зияудинов Ф.Ф., Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р. Цифровой сейсмический мониторинг в зонах водохранилищ // Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития. Материалы VI Международной научно-

- технической конференции. – Навои: НГГИ, 2013. – С. 308–310.
- Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л.* Инженерно-сейсмометрические наблюдения в плотине Чарвакского водохранилища // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Материалы V Международной молодёжной конференции. – Бишкек: ИС РАН, 2013. – С. 206–208.
- Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л.* Частота собственных колебаний плотин Резаксайского и Каркидонского водохранилищ Ферганской долины // Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии. Материалы Международной научной конференции. – Ташкент: ИС АН РУз, 2018. – С. 461–464.
- Касымов С.М., Джураев Н.М., Тимбеков И.Х., Мирзаев В.М.* Сейсмическое микрорайонирование площадей строительства гидротехнических сооружений Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1974. – 155 с.
- Квашин Е.В., Плотникова Л.М., Тиллаволдиев У.Г.* Автоматизированная сейсмометрическая служба Чарвакской плотины // Инструментальные средства сейсмических наблюдений. Вып. 13. – М: Наука, 1980. – С. 32–34.
- Короленко Д.Б., Кузьменко А.П., Москвичев В.В., Сабуров В.С.* Информационная система сейсмометрического мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений: опыт моделирования, разработки и внедрения // Вычислительные технологии. – 2019. – Т. 24, № 5. – С. 13–37. doi: 10.25743/ICT.2019.24.5.003. – EDN: XRVGFG
- Махутов М.А., Гаденин М.М., Москвичев В.В., Лепихин А.М., Черняев А.П.* Формирование нормативной базы безопасности и защищённости ГЭС Сибири от тяжёлых катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2011. – № 4. – С. 28–32. – EDN: OFUCET
- Плотникова Л.М., Матасова Л.М., Суров В.П., Махмудова В.И.* Особенности проявления землетрясений в районе Чарвакского водохранилища в период максимального заполнения // Сейсмологические исследования в Узбекистане. – Ташкент: Фан, 1979. – С. 92–105.
- Плотникова Л.М., Махмудова В.И., Карнаухова О.В.* Методика и результаты определения значимых факторов режима эксплуатации Чарвакского водохранилища, определяющих сейсмичность района // Сейсмогеодинамика области перехода от орогена Тянь-Шаня к Туранской плите. – Ташкент: Фан, 1986. – С. 87–102.
- Плотникова Л.М., Нуртаев Б.С., Фленова М.Г.* К вопросу о механизме техногенных землетрясений // Геология и минеральные ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 54–58.
- Плотникова Л.М., Уломов В.И., Махмудова В.И.* Влияние Чарвакского водохранилища на параметры сейсмического режима // Экспериментальная сейсмология в Узбекистане. – Ташкент: Фан, 1983. – С. 31–43.
- Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 17.12.2021 г. № ПКМ-792 «О внедрении системы непрерывного проведения инструментальных сейсмологических наблюдений на водохранилищах, расположенных на сейсмически активной территории республики».* – URL: <https://lex.uz/docs/5170832>
- Постановление Президента Республики Узбекистан от 30.07.2020 г. № ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан».* – URL: <https://lex.uz/docs/4921703>
- Саямова К.Д.* Расчётные значения динамических характеристик и сейсмических ускорений грунтово-плотин по одномерной и двумерной теории // Проблемы механики. – 1997. – № 2. – С. 10–15.
- СН и П-П-7-81* Строительство в сейсмических районах. Норма проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 49 с.
- Соколов М.В., Слоцов Н.О.* Программное обеспечение калибровки сейсмометрических каналов станции «СРС-КМ/v» и первичной обработки информации // ТЭО системы «ELIUS». – Ташкент: ООО «ELIUS», 2006. – 12 с.
- Хамидов Л.А., Зияудинов Ф.Ф., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р.* Инженерные основы цифрового сейсмометрического наблюдения в зоне водохранилищ Узбекистана // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9 Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2015»: в 2 т. Т. 1. / Отв. ред. В.И. Осипов. – М.: РУДН, 2015. – С. 534–540. – EDN: UOAEFL
- Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л.* Возможности совершенствования системы мониторинга сейсмичности в зонах Чарвакского и Андижанского водохранилищ // Seysmologiya Muammolari. Проблемы сейсмологии. – 2019. – № 1. – С. 51–60.
- Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л.* Результаты обработки записей колебаний плотин и береговых склонов Чарвакского и Андижанского водохранилищ Узбекистана при слабых землетрясениях // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 4. – С. 123–134. doi: 10.35540/2686-7907.2020.4.03. – EDN: EUBAVE
- Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Артиков Ф.Р.* Анализ инженерно-сейсмологических параметров и коэффициента разжижения грунтов в теле плотины Чарвак // Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем. Материалы

VI Международной научно-технической конференции: в 2 т. Т. 2. — Самарканд: САМГАСИ, 2013. — С. 72–75.

Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Р. Разработка проекта и создания локальных сетей мониторинга сейсмической опасности в крупных водохранилищах, расположенных зонах 8–9-балльной сейсмичности Узбекистана // *Seismologiya Muammolari*. Проблемы сейсмологии. — 2020. — № 2 (2). — С. 74–83.

Хамидов Х.Л. К совершенствованию системы сейсмического мониторинга в зонах крупных водохранилищ Узбекистана // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тезисы докладов VIII Международного симпозиума (Бишкек, 28 июня — 2 июля 2021 г.). — Бишкек: НС РАН, 2021. — С. 236–237.

Хамидов Х.Л. Обработки записей землетрясений, полученных с помощью системы мониторинга на плотине Гиссаракского водохранилища // Девятая Уральская молодёжная научная школа по геофизике: сборник научных материалов. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2019. — С. 213–217.

Хамидов Х.Л., Анварова С.Г., Ибрагимов А.Х. Некоторые результаты совершенствования системы сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XI Международной конференции молодых учёных и студентов. В 2 т. Т. 1. — Бишкек: НС РАН, 2019. — С. 219–226.

Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Обеспечение мониторинга техногенной сейсмичности в зонах водохранилищ Узбекистана // XIX Уральская молодёжная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. — Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2018. — С. 182–185.

Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Развитие цифрового сейсмометрического наблюдения в зоне активного влияния водохранилищ Южного Узбекистана // Восемнадцатая Уральская молодёжная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. — Пермь: ГИ УрО РАН, 2017. — С. 233–238.

Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Формирование локальных сейсмических событий под действием гравитационной нагрузки от веса водохранилища // Вестник НУУз. — 2016. — № 3/1. — С. 206–211.

Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Хамидов Л.А., Анварова С.Г. Тестирование стационарных сейсмических станций и сейсмоприёмников, используемых в Гиссаракском и Туполангском водохранилищах // *Seismologiya Muammolari*. Проблемы сейсмологии. — 2021. — № 2 (3). — С. 62–73.

Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Хамидов Л.А., Иброгимов Ф.И., Анварова С.Г. Кинематика колебания плотины Гиссаракской ГЭС // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. — 2021. — № 5. — С. 42–47.

Хамидов Х.Л., Иброгимов Ф.И., Ганиева Б.Р. Изменение кинематических параметров колебания плотины Гиссаракского водохранилища (Южный Узбекистан) // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XIII Международной конференции молодых учёных и студентов. — Бишкек: НС РАН, 2021. — С. 288–295.

ШНК 2.06.11-04. Градостроительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения. Издание официальное. Государственный Комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. — Ташкент, 2006. — 103 с.

Шукуров М.А. Деформационное воздействие режима эксплуатации коллектора на геологические объекты в окружающей среде и локальная сейсмичность, порождаемая этим: автореферат дисс. — Ташкент, 2010. — 19 с. (на узб. языке).

Яковлева И.Б., Меденцева Г.П. Сейсмичность района Гиссаракского водохранилища // Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана. — Ташкент: Фан, 1974. — С. 77–90.

Khamidov L., Turapov M., Mahkamov S., Artikov F., Suyunov Sh. Tracking the local seismicity level in the active influence zone of the southern Uzbekistan reservoirs // *E3S Web of Conferences*. — 2021. — V. 264. — 02043. doi: 10.1051/e3sconf/202126402043

Сведения об авторах

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Института сейсмологии имени Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан (ИС АН РУз), г. Ташкент, Узбекистан. E-mail: hamidov_l@mail.ru

Артиков Фарход Рустамович, ст. науч. сотр. ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан. E-mail: farhadbek_uz@mail.ru

Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан. E-mail: hayrulla_classic@mail.ru

Ганиева Барно Рустамовна, мл. науч. сотр. ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан. E-mail: barno.rustamovna@mail.ru

Анварова Садокат Гайратовна, мл. науч. сотр. ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан. E-mail: sadokat.anvarova@mail.ru

Иброгимов Фахриёр Исмоил угли, мл. науч. сотр. ИС АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан. E-mail: faxriyorbrogimov@gmail.com

Instrumental seismic observations in the zones of large reservoirs in Uzbekistan

© 2022 L.A. Khamidov, F.R. Artikov, Kh.L. Khamidov, B.R. Ganieva, S.G. Anvarova, F.I. Ibrogimov

IS AS RUz, Tashkent, Uzbekistan

Received August 1, 2022

Abstract The article presents the results of the assessments of the current state of instrumental seismic observations in reservoirs used in seismically active regions of Uzbekistan. The assessment of the current state of continuous instrumental seismological observations was made at the Charvak, Andijan, Gissarak and Tupolang reservoirs used in seismically active regions of Uzbekistan. The estimates of the state of instrumental observations at large reservoirs in Eastern and Southern Uzbekistan are summarized. The results of expeditionary research are presented, as well as the possibilities for improving existing systems. The results obtained are of a practical nature, in which the directions for improving the existing stationary seismometric system in large reservoirs are determined. The results can also be used to provide and create permanent seismic monitoring systems in reservoirs.

Keywords Improvement, reservoirs, seismometry, dam, seismic stations, frequencies, fluctuation spectrum, speed.

For citation Khamidov, L.A., Artikov, F.R., Khamidov, Kh.L., Ganieva, B.R., Anvarova, S.G., & Ibrogimov, F.I. (2022). [Instrumental seismic observations in the zones of large reservoirs in Uzbekistan]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(3), 52-67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.05>. EDN: PLBKXN

References

Alimukhamedov, I.M. (2019). [A new basis for engineering seismometric observations at the dam of the Andijan reservoir]. In *Dvadsataya Uralskaya molodejnaya nauchnaya shkola po geofizike: sbornik nauchnykh materialov* [Twentieth Ural Youth Scientific School on Geophysics: Collection of scientific materials] (pp. 3-7). Perm, Russia: MIRAS Publ. (In Russ.).

Dzhuraev, N.M., Ziyaudinov, F.F., Timbekov, I.Kh., Tuichieva, M.A., & Fakhriddinov, Zh.F. (2006). [The nature of the synchronism of the oscillations of the sides of the canyon in relation to the base of the Tupolang reservoir]. In *Problemy seismologii v Uzbekistane* [Problems of seismology in Uzbekistan], 3, 92-97 (In Russ.).

Ibragimov, A.Kh., & Khamidov, Kh.L. (2013). [Engineering-seismometric observations in the dam of the Charvak reservoir]. In *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh. Materialy V Mezhdunarodnoi molodezhnoi konferentsii* [Modern equipment and technologies in scientific research. Materials of the V International Youth Conference] (pp. 206-208). Bishkek, Kyrgyzstan: SS RAS Publ. (In Russ.).

Ibragimov, A.Kh., & Khamidov, Kh.L. (2018). [Frequency of natural oscillations of the dams of the Rezak-sai and Karkidon reservoirs of the Ferghana Valley].

In *Geofizicheskie metody resheniya aktual'nykh problem sovremennoi seismologii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Geophysical methods for solving urgent problems of modern seismology. Materials of the International Scientific Conference] (pp. 461-464). Tashkent, Uzbekistan: IS AS RUz Publ. (In Russ.).

Juraev, N.M., Ziyaudinov, F.F., & Juraev, O.N. (2004). [On the behavior of the sides and base of the canyon during earthquakes during the completion of construction and at the beginning of the operation of the dam of the Hissarak reservoir]. In *Problemi otsenki seysmicheskoy opasnosti, riska i prognoz zemletryaseny: Materiali mejdunarodnoy konferentsii. № 1* [Problems of assessing seismic hazard, risk and earthquake forecast. Materials of the International Conference. N 1] (pp. 418-426). Tashkent, Uzbekistan: IS AS RUz Publ. (In Russ.).

Kasymov, S.M., Juraev, N.M., Timbekov, I.Kh., & Mirzaev, V.M. (1974). *Seismicheskoe mikroraiionirovanie ploshchadei stroitel'stva gidrotekhnicheskikh sooruzhenii Uzbekistana* [Seismic microzoning of areas for the construction of hydraulic structures in Uzbekistan]. Tashkent, Uzbekistan: Fan Publ., 155 p. (In Russ.).

Khamidov, Kh.L. (2019). [Processing of earthquake records obtained using the monitoring system at the dam of the Hissarak reservoir]. In *Dvadsataya Ural'skaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike: sbornik*

- nauchnykh materialov* [Twentieth Ural Youth Scientific School of Geophysics: collection of scientific materials] (pp. 213-217). Perm, Russia: MIRAS Publ. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L. (2021). [To improve the system of seismic monitoring in the areas of large reservoirs in Uzbekistan]. In *Problemy geodinamiki i geokologii vnutrikontinental'nykh orogenov. Tezisy dokladov VIII Mezhdunarodnogo simpoziuma (Bishkek, 28 iyunia – 2 iuliia 2021 g.)* [Problems of geodynamics and geocology of intracontinental orogens. Abstracts of the VIII International Symposium (Bishkek, June 28 – July 2, 2021)] (pp. 236-237). Bishkek, Kyrgyzstan: SS RAS Publ. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., & Artikov, F.R. (2016). [Formation of local seismic events under the action of gravitational load from the weight of the reservoir]. *Vestnik Natsional'nogo universiteta Uzbekistana* [Bulletin of the National University of Uzbekistan], 3/1, 206-211. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., & Artikov, F.R. (2017). [Development of digital seismometric observation in the zone of active influence of the reservoirs of Southern Uzbekistan]. In *XVIII Ural'skaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike: sbornik nauchnykh materialov* [XVIII Ural Youth Scientific School on Geophysics: Collection of scientific materials] (pp. 233-238). Perm, Russia: MIRAS Publ. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., & Artikov, F.R. (2018). [Ensuring monitoring of technogenic seismicity in the zones of reservoirs in Uzbekistan]. In *XIX Ural'skaia molodezhnaia nauchnaia shkola po geofizike. Sbornik nauchnykh materialov*. [XIX Ural Youth Scientific School on Geophysics: Collection of scientific materials] (pp. 182-185). Ekaterinburg, Russia: IGF UB RAS Publ. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., Anvarova, S.G., & Ibragimov, A.Kh. (2019). [Some results of improving the seismic monitoring system at the dam and shore slopes of the Charvak reservoir]. In *Sovremennye tekhnika i tekhnologii v nauchnykh issledovaniiah: Sbornik materialov XI Mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov. V 2 t. T. 1.* [Modern techniques and technologies in scientific research: A collection of materials of the XI International Conference of Young Scientists and Students: in 2 vols. Vol. 1.] (pp. 219-226). Bishkek, Kyrgyzstan: SS RAS Publ. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., Artikov, F.R., Khamidov, L.A., & Anvarova, S.G. (2021). [Testing of stationary seismic stations and geophones used in the Hissarak and Tupolang reservoirs]. *Problemy seismologii* [Problems of seismology], 2(3), 62-73. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., Ganieva, B.R., Khamidov, L.A., Ibragimov, F.I., & Anvarova, S.G. (2021). [Kinematics of oscillations of the dam of the Gissarak hydroelectric power station]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Uzbekistan* [Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan], 5, 42-47. (In Russ.).
- Khamidov, Kh.L., Ibragimov, F.I., Ganieva, B.R. (2021). [Changing the kinematic parameters of the vibrations of the dam of the Gissarak reservoir (Southern Uzbekistan)]. In *Sovremennye tekhnika i tekhnologii v nauchnykh issledovaniiah: Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov* [Modern techniques and technologies in scientific research: Collection of materials of the XIII International Conference of Young Scientists and Students] (pp. 288-295). Bishkek, Kyrgyzstan: SS RAS Publ. (In Russ.).
- Khamidov, L., Turapov, M., Mahkamov, S., Artikov, F., & Suyunov, Sh. (2021). Tracking the local seismicity level in the active influence zone of the southern Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 264, 02043. doi: 10.1051/e3sconf/202126402043
- Khamidov, L.A., Ibragimov, A.Kh., & Artikov, F.R. (2013). [Analysis of engineering seismological parameters and coefficient of soil liquefaction in the body of the Charvak dam]. In *Sovremennye problemy stroitel'nykh materialov, konstruksii, mekhaniki gruntov i slozhnykh reologicheskikh sistem. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: v 2 t. T. 2* [Modern problems of building materials, structures, soil mechanics and complex rheological systems. Materials of the VI International Scientific and Technical Conference: in 2 vols. Vol. 2.] (pp. 72-75). Samarkand, Uzbekistan: SAMGASI Publ. (In Russ.).
- Khamidov, L.A., Ibragimov, A.Kh., Alimukhamedov, I.M., & Khamidov, Kh.L. (2019). [Possibilities for improving the seismicity monitoring system in the zones of the Charvak and Andijan reservoirs]. *Problemy seismologii* [Problems of Seismology], 1, 51-61. (In Russ.).
- Khamidov, L.A., Ibragimov, A.Kh., Alimukhamedov, I.M., & Khamidov, Kh.L. (2020). [Results of processing records of vibrations of dams and coastal slopes of the Charvak and Andijan reservoirs in Uzbekistan during weak earthquakes]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Seismological Journal], 2(4), 123-134. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2020.4.03. EDN: EUBAVE
- Khamidov, L.A., Ibragimov, A.Kh., Khamidov, Kh.L., Artikov, F.R., Ganieva, B.R., & Anvarova, S.R. (2020). [Development of a project and the creation of local networks for monitoring seismic hazard in large reservoirs located in zones of 8-9 points of seismicity in Uzbekistan]. *Problemy seismologii* [Problems of Seismology], 2, 74-83. (In Russ.).
- Khamidov, L.A., Ziyudinov, F.F., Khamidov, Kh.L., & Artikov, F.R. (2015). [Engineering bases of digital seismometric observation in the zone of reservoirs of Uzbekistan]. In *Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami v sovremennom mire: materialy 9-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «GEORISK-2015»: v 2 t. T. 1. Otv. red. V.I. Osipov*

- [Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world: materials of the 9th International Scientific and Practical Conference "GEORISK-2015": in 2 vols. Vol. 1. Ed. V.I. Osipov] (pp. 534-540). Moscow, Russia: RUDN Publ. (In Russ.).
- Korolenko, D.B., Kuzmenko, A.P., Moskvichev, V.V., & Saburov, V.S. (2019). [Information system for seismometric monitoring of the technical condition of hydraulic structures: experience in modeling, development and implementation]. *Vychislitel'nye tekhnologii* [Computational Technologies], 24(5), 13-37. doi: 10.25743/ICT.2019.24.5.003. EDN: XRVGFG (In Russ.).
- Kvashin, E.V., Plotnikova, L.M., & Tillavoldiev, U.G. (1980). [Automated seismometric service of the Charvak dam]. In *Instrumental'nyye sredstva seismicheskikh nablyudeniy. Vyp. 13* [Tools for Seismic Observations. Vol. 13] (pp. 32-34). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Makhutov, M.A., Gadenin, M.M., Moskvichev, V.V., Lepikhin, A.M., & Chernyaev, A.P. (2011). [Formation of the regulatory framework for the safety and security of Siberian HPPs from severe catastrophes]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychainykh situatsii* [Problems of Safety and Emergency Situations], 4, 28-32 (In Russ.). EDN: OFUCET
- Plotnikova, L.M., Makhmudova, V.I. & Karnaukhova, O.V. (1986). [Methodology and results of determining the significant factors of the operation mode of the Charvak reservoir, which determine the seismicity of the region]. In *Seismogeodinamika oblasti perexoda ot orogena Tyanь-Shanya k Turanskoy plite* [Seismogeodynamics of the transition area from the Tien Shan orogen to the Turan Plate] (pp. 87-102). Tashkent, Uzbekistan: Fan Publ. (In Russ.).
- Plotnikova, L.M., Matasova, L.M., Surov, V.P., & Makhmudova, V.I. (1979). [Features of the manifestation of earthquakes in the area of the Charvak reservoir during the period of maximum filling]. In *Seismologicheskije issledovaniya v Uzbekistane* [Seismological research in Uzbekistan] (pp. 92-105). Tashkent, Uzbekistan: Fan Publ. (In Russ.).
- Plotnikova, L.M., Nurtaev, B.S., & Flenova, M.G. (1999). [To the question of the mechanism of technogenic earthquakes]. *Geologiya i mineral'nye resursy* [Geology and Mineral Resources], 1, 54-58. (In Russ.).
- Plotnikova, L.M., Ulomov, V.I., & Makhmudova, V.I. (1983). [The influence of the Charvak reservoir on the parameters of the seismic regime]. In *Ekspirimental'naya seismologiya v Uzbekistane* [Experimental Seismology in Uzbekistan] (pp. 31-43). Tashkent, Uzbekistan: Fan Publ. (In Russ.).
- Postanovleniye Kabineta Ministrov Respubliki Uzbekistan ot 17.12.2021 za № PKM-792 «O vnedrenii sistemy nepreryvnogo provedeniya instrumental'nykh seismologicheskikh nablyudenii na vodokhranilishchakh, raspolozhennykh na seismicheski aktivnoi territorii Respubliki»* [Decree of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan dated December 17, 2021 No. PKM-792. "On the introduction of a system of continuous instrumental seismological observations on reservoirs located in the seismically active territory of the Republic"]. Available at: <https://lex.uz/docs/4921703> (In Uzb.).
- Postanovleniye Prezidenta Respubliki Uzbekistan ot 30.07.2020 goda № PP-4794 «O merakh po korennomu sovershenstvovaniyu sistemy obespecheniya seismicheskoi bezopasnosti naseleniya i territorii Respubliki Uzbekistan»* [Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated July 30, 2020 No. PP-4794 "On measures to radically improve the system for ensuring seismic safety of the population and territories of the Republic of Uzbekistan"]. Available at: <https://lex.uz/docs/4921703> (In Uzb.).
- Salyamova, K.D. (1997). [Calculated values of dynamic characteristics and seismic accelerations of earth dams according to one-dimensional and two-dimensional theory]. *Problemy mekhaniki* [Problems of Mechanics], 2, 10-15. (In Russ.).
- SHNK 2.06.11-04 (2006). *Gradostroitel'nye normy i pravila. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. Gidrotekhnicheskie sooruzheniia. Izdanie ofitsial'noe. Gosudarstvennyi Komitet Respubliki Uzbekistan po arkhitekture i stroitel'stvu* [Urban planning norms and rules. Construction in seismic areas. Hydraulic structures. Official edition. State Committee of the Republic of Uzbekistan for Architecture and Construction]. Tashkent, Uzbekistan, 103 p.
- Shukurov, M.A. (2010). [Deformation effect of reservoir operational mode on surrounding geological bodies and resulting local seismicity: Abstract of the dissertation]. Tashkent, Uzbekistan: IS AS RUz Publ., 19 p. (In Uzb.).
- Sokolov, M.V., & Slotsov, N.O. (2006). [Software for calibration of seismometric channels of the SRS-KM/v station and primary information processing]. In *TEO sistemy «ELIUS»* [Technoeconomic optimization of the d ELIUS System]. Tashkent, Uzbekistan: ELIUS LLC Publ., 12 p. (In Russ.).
- Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh. Norma proektirovaniya.* (1982). [CH and P-II-7-81 Construction in seismic areas. Design norm]. Moscow, Russia: Stroyizdat Publ., 49 p. (In Russ.).
- Yakovleva, I.B., & Medentseva, G.P. (1974). [Seismicity of the area of the Hissarak reservoir]. In *Novye dannye po seismologii i seismogeologii Uzbekistana* [New data on seismology and seismogeology of Uzbekistan] (pp. 77-90). Tashkent, Uzbekistan: Fan Publ. (In Russ.).
- Zakirov, M.S., Sokolov, M.V., & Bakhridinov, S. (2004). [Monitoring of seismicity of the territory of the Republic of Uzbekistan: Main directions of research of the system of seismometric and prognostic

observations] In *Problemy otsenki seismicheskoi opasnosti, seismicheskogo riska i prognoza zemletryasenii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Problems of seismic hazard assessment, seismic risk and earthquake prediction. Proceedings of the International Scientific Conference] (pp. 84-94). Tashkent, Uzbekistan: IS AS RUz Publ. (In Russ.).

Ziyaudinov, F.F., Artikov, F.R., Khamidov, Kh.L., & Fakhriddinov, Zh.F. (2016). [Results of engineering seismometric observations in the zone of the Hissarak reservoir]. *Geologiya i mineral'nye resursy* [Geology and mineral resources], 5, 58-65. (In Russ.).

Ziyaudinov, F.F., Khamidov, L.A., & Artikov, F.R. [Digital seismic monitoring in reservoir zones.] In *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii gorno-metallurgicheskoi otrasli i puti ikh razvitiya. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Modern equipment and technologies of the mining and metallurgical industry and ways of their development. Materials of the VI International Scientific and Technical Conference] (pp. 308-310). Navoi, Uzbekistan: Navoi Mining Institute Publ. (In Russ.).

Information about authors

Khamidov Lutfulla Abdullaevich, Dr., Head of Laboratory of the Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (IS AS RUz), Tashkent, Uzbekistan. E-mail: hamidov_l@mail.ru

Artikov Farkhod Rustamovich, Senior Researcher of the IS AS RUz, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: farhadbek_uz@mail.ru

Khamidov Khairulla Lutfullaevich, PhD, Senior Researcher of the IS AS RUz, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: hayrulla_classic@mail.ru

Ganieva Barno Rustamovna, Junior Research of the IS AS RUz, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: barno.rustamovna@mail.ru

Anvarova Sadokat Gayratovna, Junior Research of the IS AS RUz, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: sadokat.anvarova@mail.ru

Ibrogimov Fakhriyor Ismoil ugli, Junior Research of the IS AS RUz, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: faxriyoribrogimov@gmail.com