

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.287>

УДК 551.3:550.3 (575.1)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПЛОТИНЕ И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Хамидов Х.Л., Ибрагимов А.Х., Хамидов Л.А.

*Цель.* Совершенствование системы мониторинга сейсмичности и реализация новой цифровой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений с современной базой обработки сейсмометрической информации на гидротехнических сооружениях Узбекистана.

*Методы.* Внедрение цифровой регистрации волн для целей оценки колебаний плотины и береговой части Чарвакского водохранилища.

*Результаты.* Определены частоты и скорости колебаний тела плотины и береговых склонов в автоматическом режиме без вмешательства операторов. Рассчитаны отношения амплитуд скорости колебания в измерительных пунктах к амплитудам скорости колебания основания плотины или береговых склонов Чарвакского водохранилища. При регистрации разных землетрясений в разных точках эти отношения значительно изменяются в зависимости от азимута прихода волн. Грунты водохранилища категорированы по сейсмическим свойствам.

*Область применения исследований.* Полученные данные экспериментальных исследований могут быть использованы при оценке условий колебаний высоких плотин Чарвакского водохранилища при сильных землетрясениях.

*Ключевые слова:* водохранилище, сейсмический мониторинг, землетрясение, спектр, магнитуда.

(Поступила в редакцию 21 мая 2020 г.)

### Введение

Совершенствование системы мониторинга сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана, исследования влияния техногенных факторов от строительства водохранилищ требует выполнения большого объема наблюдений. Например, вокруг объекта необходимо разбить сеть сейсмических станций (хотя бы временных) для возможности регистрации местных землетрясений [1; 2; 3]. Для оценки устойчивости при эксплуатации таких сооружений в фоне естественных и техногенных сейсмических процессов необходимо получить более глубокие научные знания о механизмах колебания горных массивов в зонах водохранилищ [3]. Без создания современных цифровых систем наблюдения достичь этого практически невозможно. Поэтому стало актуальным совершенствование системы мониторинга сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана и реализация новой цифровой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений с современной базой обработки сейсмометрической информации на гидротехнических сооружениях Узбекистана.

### Основная часть

Географически Чарвакское водохранилище находится в Ташкентском вилояте Восточного Узбекистана на территории Бостанлыкского района. Оно расположено в начале реки Чирчик, несколько ниже по течению места слияния рек Пскем и Чаткал, между отрогами Угамского и Чаткальского хребтов западного Тянь-Шаня. Водоохранилище образовано каменно-насыпной плотиной высотой 168 м. Основание водохранилища пересекают ряд сейсмоактивных разломов, такие как Пскомский, Кумбельский и Каржантауский. В этой зоне происходили сильные землетрясения с  $M \geq 5$ : Бричмуллинское (1956), Ташкентское (1966),

Денапское (1974), Таваксайское (1977), Назарбекское (1980), Ташкентское (2008). Водохранилище Чарвак находится в зоне 8–9-балльной сейсмичности по шкале MSK-64 [1; 3].

Инженерно-сейсмологическая обстановка береговых склонов и плотины Чарвакского водохранилища в период с 1976 по 1998 г. контролировалась путем организации и проведения инженерно-сейсмометрических наблюдений на участке ближе к линии створа плотины [2; 4].

В этот период обработка материалов записи землетрясений на плотине Чарвак проводилась с большими разрывами во времени. В ряде случаев это, видимо, было результатом уменьшения финансирования этих исследований. Это привело к оттоку кадров и резкому сокращению объемов обрабатываемых данных.

Другой наиболее характерной причиной неустойчивой работы системы является моральное старение комплекса оборудования, в котором большими трудозатратами оцифровывались записи скоростей колебаний для тела плотины. На выходе устаревшей системы сейсмоприемник – гальванометр – регистратор на фотобумаге имели информацию только о картине волновых форм. Аналоговые сейсмограммы оцифровывались отдельно. Далее вся база оцифрованных данных записывалась на носители и в вычислительном центре Министерства геологии в Ташкенте обрабатывалась с помощью специальных программ. Это требовало больших трудовых и финансовых затрат.

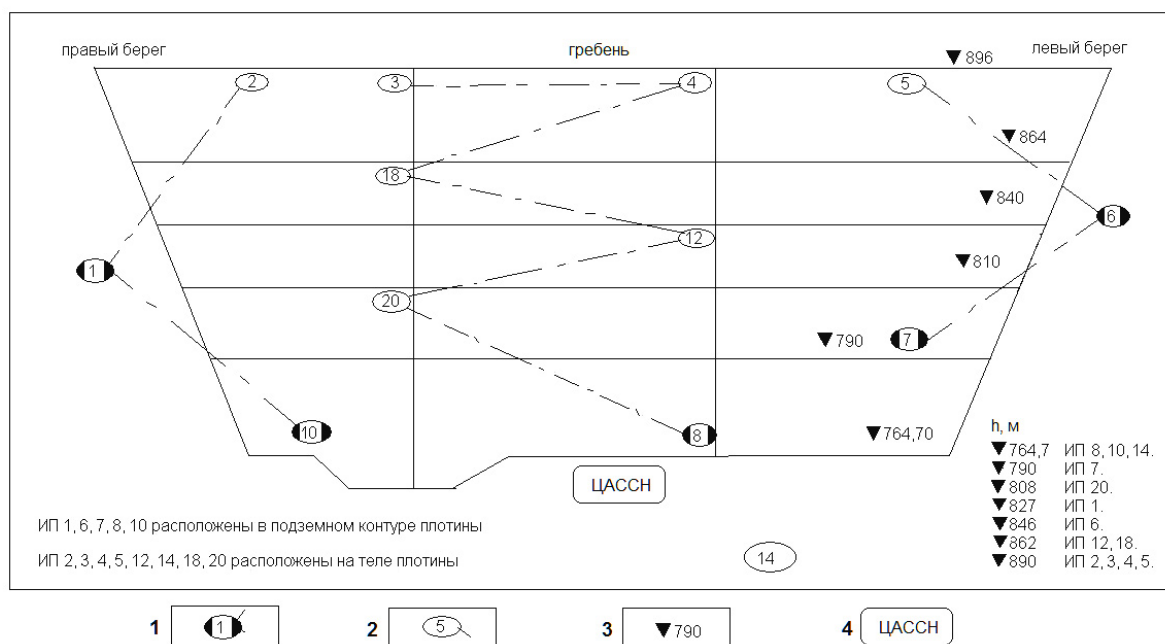
С 2006 г. было начато совершенствование системы наблюдений на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища. Эта было началом модернизации системы инженерно-сейсмологических исследований в зонах крупных водохранилищ Узбекистана. Отличительной чертой этой системы от предыдущих была возможность обеспечения оперативности обработки сейсмометрических данных, записанных при землетрясениях прямо на объекте [4; 5]. Она улучшила оперативность и временную точность цифровой регистрации сейсмических волн. Вся сейсмическая информация, записанная при землетрясении, без вмешательства операторов, непосредственно поступала в память компьютера в едином цифровом формате, автоматически выполнялась оценка магнитуды зарегистрированного землетрясения и расчет эпицентрального расстояния.

Объем Чарвакского водохранилища при максимальном заполнении составляет около 2 км<sup>3</sup>. Плотина имеет длину более 800 м. В теле плотины установлены 20 измерительных точек цифровой регистрации (по три сейсмометра каждая). Инженерно-сейсмометрические оценки по временной схеме представлены цифровыми записями в 20 измерительных пунктах [6] (рис. 1).

Измерительные пункты оборудованы высокочувствительными сейсмографами для записи местных и близких землетрясений с увеличением каналов в зависимости от фона помех 1-го рода от 10 000. Диапазон периодов полосы пропускания 0,2–2 с, амплитудно-частотные характеристики каналов соответствуют главной части спектра сейсмических волн слабых близких и местных землетрясений [5; 6].

Из них 12 измерительных пунктов, расположенных на бортах и в основании плотины, остались в прежнем положении [3; 6]. Чувствительность регистрационных каналов сейсмостанции в ждущем режиме установлена для записи скорости слабых колебаний грунта от 1 до 5 баллов и для более сильных – от 5 до 9 баллов. В качестве сейсмоприемников применялись СМ-3. На сейсмограммах определялись максимальные амплитуды скорости колебаний –  $V_i^{max}$  (мм/с) и соответствующие им периоды колебаний, длительность колебаний [5]. Произведен также расчет относительного изменения интенсивности колебаний  $\delta_i = V_i^{max} / V_8^{max}$ , где  $i$  – номер измерительного пункта,  $V_8^{max}$  – амплитуда скорости колебаний у основания плотины. Определение сейсмических свойств мелкообломочных и крупнообломочных массивов в зоне плотины Чарвак как экспериментального материала при разных нагрузках и объемах воды выполнялось несколькими методами [7; 8]: запись слабых далеких землетрясений, изучение спектральных характеристик грунтов, анализ микросейсм и метод

Накамура (HVSР) [7]. Для обработки данных использовались программы JSESAME и GEOPSY. Метод регистрации землетрясений малых энергий использован для количественной оценки относительных изменений сейсмической интенсивности на участках с разными физико-механическими свойствами крупнообломочных массивов.



1, 2 – измерительные пункты, оборудованные 3-компонентными сейсмометрами; 3 – изометрическая высота; 4 – центр обработки автоматизированной системы сейсмометрических наблюдений объекта  
**Рисунок 1. – Схема расположения пунктов регистрации на плотине Чарвакского водохранилища**

Обработка сигналов, поступающих от измерительных пунктов по всем каналам и компонентам, проводилась на центральном диспетчерском пункте управления Чарвакского водохранилища. В период совершенствования произведена установка многоканальной системы регистрации сейсмических сигналов на основе серийно выпускаемых 16-разрядных 8-канальных автоматических цифровых преобразователей (АЦП) с предварительными усилителями и наборами фильтров производства WEBTRONICS (США). Система состоит из 6 комплектов 8-канальных WEBTRONICS, подключаемых к компьютеру МЕС-5002 с шестью СОМ-портами. На регистрирующем компьютере одновременно запускаются 6 исполняемых файлов программы регистрации, причем для каждой запускаемой программы присваиваются свои (уникальные) каналы регистрации. Суммарное количество каналов – 48 (с возможностью дальнейшего расширения сети датчиков). С помощью GPS-приемника первого АЦП WEBTRONICS производится синхронизация внутреннего таймера регистрирующего компьютера. Поток данных с остальных пяти АЦП привязывается таймеру РС. Непрерывные данные и событийные файлы прописывались в специальные разделы по группам сейсмометров. На рисунке 2 показана упрощенная блок-схема АЦП WEBTRONICS, на рисунке 3 представлена блок-схема системы регистрации сейсмических колебаний.

Каждая система WEBTRONICS состоит: из 8-канального предварительного усилителя с возможностью переключения коэффициента усиления от 1 до 200 с шагом 50; 8-канального полосового фильтра высоких и низких частот; коммутатора, совмещенного с АЦП; GPS-приемника со внешней антенной; СОМ-порта; импульсного блока питания; соединительного кабеля СОМ-СОМ. Для обработки данных необходим отдельный компьютер.

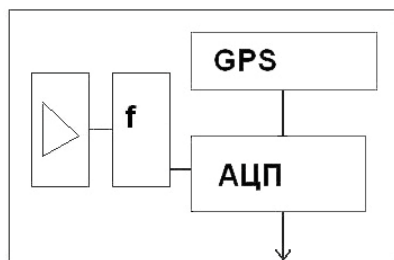


Рисунок 2. – Упрощенная блок-схема АЦП WEBTRONICS

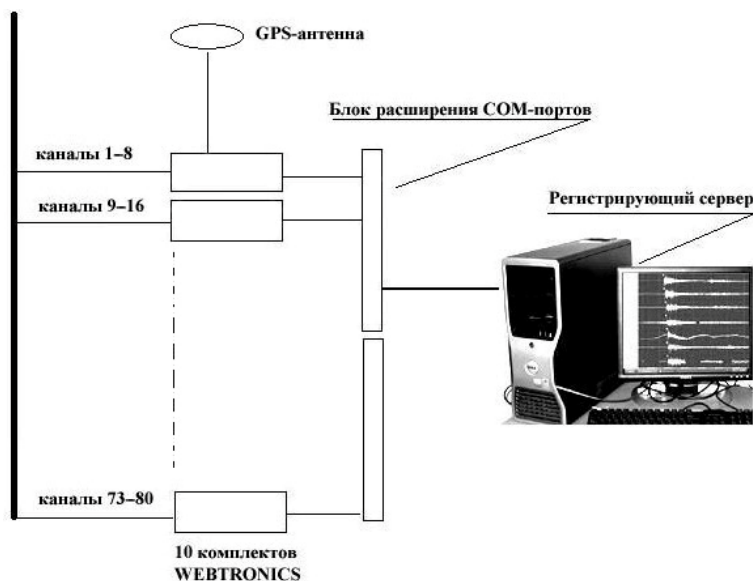


Рисунок 3. – Блок-схема системы регистрации сейсмических колебаний

В качестве примера результатов измерений в таблице 1 показаны значения частот колебаний  $f_0$  и отношение максимальных амплитуд скоростей колебания в разных измерительных пунктах (ИП) тела плотины к максимальным амплитудам скорости колебания ИП 8, находящегося на основании плотины, при Туябугузском землетрясении 25 мая 2013 г. (магнитуда  $M = 5,1$ ; расстояние до очага землетрясения  $R = 75$  км). Это самое сильное землетрясение, происходившее в радиусе  $R \leq 100$  км от створа Чарвакского водохранилища.

Таблица 1. – Изменение сейсмометрических показателей плотины Чарвакского водохранилища, зарегистрированных при Туябугузском землетрясении (25 мая 2013 г. в 22:18:33.7;  $M = 5,1$ ;  $R = 75$  км) в ИП 4, 8, 14 и 19.

Сейсмометрический показатель	ИП 8			ИП 4		
	Z*	E	Z	E	N	N <sub>1</sub>
Максимальная амплитуда скорости колебаний $V_i^{\max}$ , мм/с	12 400	13 050	25 320	28 910	26 340	28 910
Частота колебаний $f_0$ , Гц	0,896	0,772	1,122	2,788	1,407	2,788
Относительное изменение интенсивности колебаний $\delta_i = V_i^{\max} / V_8^{\max}$	1	1	1	2,33	2,02	2,33

Примечание. Z – вертикальная компонента, E – восток-запад, N – север-юг.

Продолжение таблицы 1

Сейсмометрический показатель	ИП 14			ИП 19		
	Z	E	N	Z	E	N
Максимальная амплитуда скорости колебаний $V_i^{\max}$ , мм/с	–	25 650	21 080	31 170	38 650	22 000
Частота колебаний $f_0$ , Гц	–	0,891	2,731	4,783	6,494	6,978
Относительное изменение интенсивности колебаний $\delta_i = V_i^{\max} / V_8^{\max}$	–	1,97	0,83	2,51	2,96	0,87

Динамические параметры колебаний в пунктах наблюдений определялись по записям, полученным сейсмостанциями, работающими в ждущем режиме (ИП 1, 2, 3, ... 14). Производилась автоматическая разметка записей землетрясений на сейсмограммах с длиной обрабатываемой части, соответствующей периоду с момента прихода волн с максимальной

амплитудой скорости колебаний до фазы, где амплитуда скорости колебаний уменьшается до 1/3–1/5 от максимального значения.

В большинстве случаев обрабатываемая часть сейсмограмм составляет от 3 до 7, редко до 10 с. В ИП 4 регистрация волн велась в непрерывном режиме. Все сеймостанции работали в цифровом режиме регистрации сейсмических событий. В специализированной программной среде WinQuake определялся азимут на эпицентр путем измерения знаков и значений амплитуд скорости колебаний Р-волн.

Тело плотины Чарвакского водохранилища достаточно анизотропно и имеет различную жесткость вдоль и поперек конструкции, поэтому реакция на сейсмические воздействия зависит от направления прихода волн из очага землетрясения. В зависимости от азимута прихода волн меняется и отклик тела плотины. Поскольку плотина Чарвакского водохранилища имеет протяженную конструкцию, в основном изменения реакции плотины можно наблюдать, построив спектры скоростей колебаний. Расчет отношения амплитуд скорости колебания в измерительных пунктах к амплитудам скорости колебания основания плотины или береговых склонов Чарвакского водохранилища показал, что при регистрации разных землетрясений в разных точках они сильно изменяются в зависимости от азимута прихода волн.

На рисунке 4 показан спектр колебаний на ИП 8 при землетрясении 25.05.2013 22:18, магнитуда 5,1.

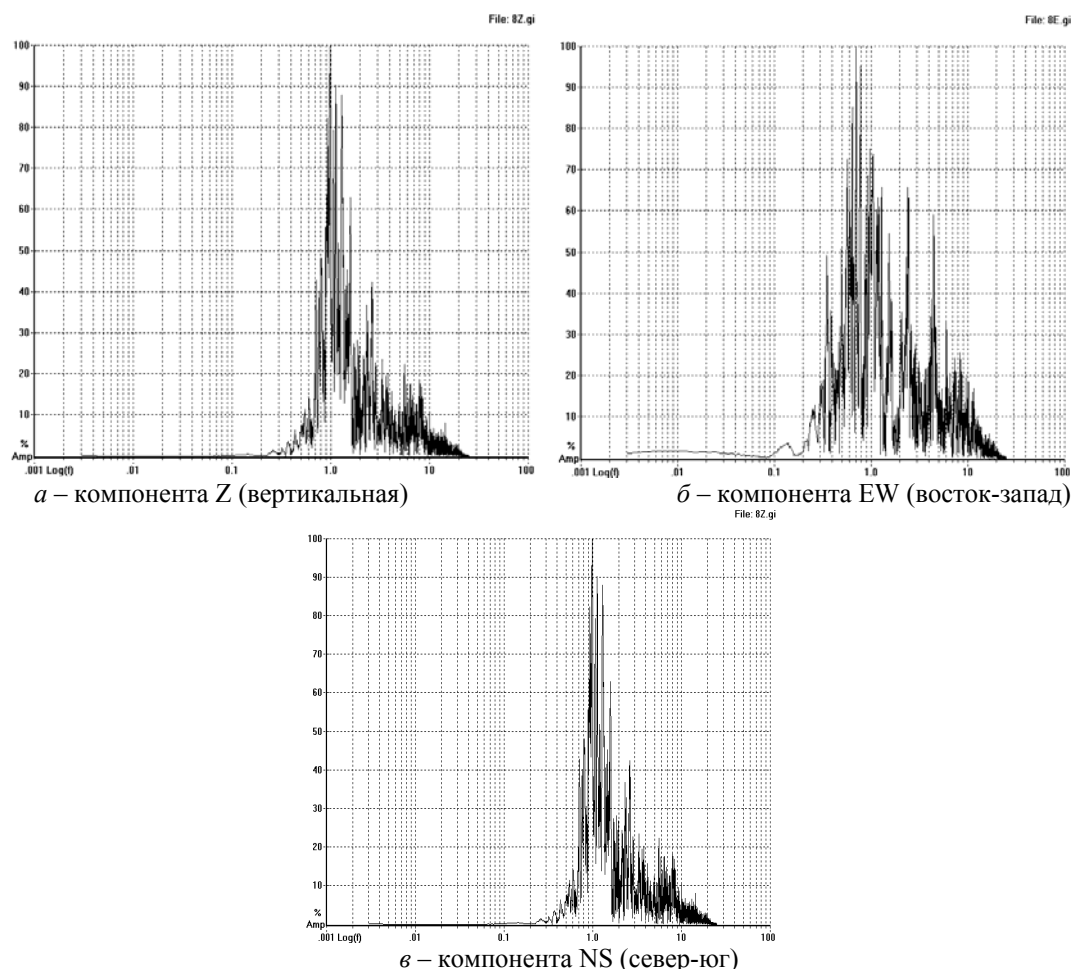


Рисунок 4. – Спектр колебаний на ИП 8 при землетрясении 25.05.2013 22:18, магнитуда 5,1

Выявлено, что на гребне плотины спектр сейсмических колебаний содержит высокочастотные компоненты, связанные с резонансными явлениями, и значения скоростей смещений на гребне плотины по сравнению со скоростями смещений основания плотин больше

в 12–15 раз при слабых землетрясениях. При сильных сейсмических воздействиях это отношение не превышает 3,0. Спектр колебаний тела плотины зависит от расстояния до очага землетрясения. От удаленных землетрясений доходят в основном низкочастотные колебания. Поэтому созданная на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища возможность автоматического выделения высокочастотных гармоник колебаний от далеких землетрясений важна для оперативного определения реакции тела плотины при чрезвычайных ситуациях, возникающих от воздействия сейсмических нагрузок.

Грунты в каньонной части, под ядром плотины водохранилища и в правобережной части береговых склонов могут быть отнесены к грунтам I категории по сейсмическим свойствам. Для них интенсивность сейсмических воздействий по установленным в Республики Узбекистан нормам не превышает 8 баллов<sup>1</sup>. Галечники под плотиной на левобережной поверхности Ходжикентской террасы отнесены к грунтам II категории по сейсмическим свойствам. Известняки левого берегового склона водохранилища в верхней части примыкания плотины, тоже отнесены к грунтам II категории по сейсмическим свойствам. Для них интенсивность сейсмических воздействий составляет 9 баллов<sup>2</sup>.

Карты, построенные нами по распределению землетрясений в период исследований для данного района, указывают на устойчивую повышенность сейсмической активности зоны Чарвакского водохранилища [6; 9]. Определено значение углового коэффициента графика повторяемости  $\gamma = 0,53 \pm 0,08$ , являющегося энергетической характеристикой землетрясений, что близко к  $\gamma$  для Восточного Узбекистана. Величина сейсмической активности  $A_{10} = 0,07$  при этом получилась близкой к средним значениям сейсмической активности для всей площади исследования [9].

### **Заключение**

Усовершенствование системы мониторинга сейсмичности и реализация цифровой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища позволили обеспечить оперативный контроль над колебанием плотины при сейсмических нагрузках.

Анализ результатов измерений сейсмометрических показателей при Туябугузском землетрясении показал, что значение отношения амплитуд скорости колебания в измерительных пунктах на теле плотины к амплитудам скорости колебания измеренных на ее основании сильно изменяется в зависимости от азимута прихода волн.

Выявлено, что по сейсмическим свойствам грунты в каньонной части, под ядром плотины водохранилища и в правобережной части береговых склонов относятся к грунтам I категории, а галечники под плотиной на левобережной поверхности и в верхней части примыкания плотины к грунтам II категории. Согласно установленным нормам интенсивность сейсмических колебаний соответственно составляет 8 и 9 баллов.

Работа выполнена при поддержке Академии наук, Министерства инновационного развития и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан (Государственная программа фундаментальных и прикладных исследований на 2017–2020 годы гранты № ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Плотникова, Л.М. К вопросу о механизме техногенных землетрясений / Л.М. Плотникова, Б.С. Нуртаев, М.Г. Фленова // Геология и минеральные ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 54–58.

<sup>1</sup> Градостроительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения: ШНК 2.06.11-04. – Утвержден Приказом Госархитектстроя РУз от 21.12.04 № 76а. – Государственный Комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. – Ташкент, 2006. – 103 с.

<sup>2</sup> Там же.

2. Плотникова, Л.М. Влияние Чарвакского водохранилища на параметры сейсмического режима / Л.М. Плотникова, В.И. Уломов, В.И. Махмудова // Экспериментальная сейсмология в Узбекистане. – Ташкент: Фан. – 1983. – С. 31–43.
3. Хамидов, Л.А. Инженерные основы цифрового сейсмометрического наблюдения в зоне водохранилищ Узбекистана / Л.А. Хамидов [и др.] // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Междунар. науч.-практ. конф., материалы «ГЕОРИСК-2015»: в 2 т. / отв. ред. В.И. Осипов. – М.: РУДН, 2015. – Т. 1. – С. 534–540.
4. Квашин, Е.В. Автоматизированная сейсмометрическая служба Чарвакской плотины / Е.В. Квашин, Л.М. Плотникова, У.Г. Тиллаводдиев // Инструментальные средства сейсмических наблюдений. – М.: Наука. – 1980. – № 13. – С. 32–34.
5. Хамидов, Л.А. Анализ инженерно-сейсмологических параметров и коэффициента разжижения грунтов в теле плотины Чарвак / Л.А. Хамидов, А.Х. Ибрагимов, Ф.Р. Артиков // Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем: материалы VI Междунар. научно-техн. конф., Узбекистан, Самарканд, 19–20 апр. 2013 г. – Самарканд: СамГАСИ. – 2013. – Т. 2. – С. 72–75.
6. Хамидов, Л.А. Возможности оценки собственных колебаний плотин и влияния режима эксплуатации водохранилищ на локальную сейсмичность / Л.А. Хамидов [и др.] // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – 2018. – № 2. – С. 74–79.
7. Nakamura, Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Micro tremor on the Ground Surface / Y. Nakamura // Quart. Report of RTRI, 1989. – Vol. 30, № 1. – P. 25–33.
8. Ибрагимов, А.Х. Частота собственных колебаний плотин Резаксайского и Каркидонского водохранилищ Ферганской долины / А.Х. Ибрагимов, Х.Л. Хамидов // Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии: материалы Междунар. научн. конф., Узбекистан, Ташкент, 15–16 окт. 2018 г. – Ташкент, 2018. – С. 461–464.
9. Хамидов, Л.А. Об изменчивости параметров сейсмичности в зонах активного влияния водохранилищ Узбекистана / Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: материалы XIII Междунар. сейсмологической школы (на базе сейсмической станции «Симиганч»), Таджикистан, Душанбе, 11–15 сент. 2018 г. / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 307–311.

**Современное состояние и результаты сейсмического мониторинга на плотине  
и береговых склонах Чарвакского водохранилища**

**Current status and results of seismic monitoring on the dam  
and coastal slopes of the Charvak reservoir**

***Хамидов Хайрулла Лутфуллаевич***

доктор (PhD) по техническим наукам

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова  
Академии наук Республики Узбекистан,  
лаборатория локального сейсмотехногенеза,  
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,  
100128, г. Ташкент, Узбекистан  
e-mail: hayrulla\_classic@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-3210-6662

***Khayrulla L. Khamidov***

PhD in Technical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy  
of Science of the Republic of Uzbekistan,  
Local Seismic Techno Genesis Laboratory,  
Senior Researcher

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,  
100128, Tashkent, Uzbekistan  
e-mail: hayrulla\_classic@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-3210-6662

***Ибрагимов Алишер Хайдарович***

кандидат физико-математических наук

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова  
Академии наук Республики Узбекистан,  
лаборатория экспериментальной  
сейсмологии, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,  
100128, г. Ташкент, Узбекистан  
e-mail: alisher1957@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-7190-0116

***Alisher Kh. Ibragimov***

PhD in Physical and Mathematical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy  
of Science of the Republic of Uzbekistan,  
Laboratory of Experimental Seismology,  
Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,  
100128, Tashkent, Uzbekistan  
e-mail: alisher1957@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-7190-0116

***Хамидов Лутфулла Абдуллаевич***

доктор физико-математических наук

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова  
Академии наук Республики Узбекистан,  
лаборатория локального сейсмотехногенеза,  
заведующий лабораторией

Адрес: ул. Зулфияхоним, 3,  
100128, г. Ташкент, Узбекистан  
e-mail: hamidov\_l@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-8084-1648

***Lutfulla A. Khamidov***

Grand PhD in Physical and Mathematical Sciences

Mavlyanov Institute of Seismology of Academy  
of Science of the Republic of Uzbekistan,  
Local Seismic Techno Genesis Laboratory,  
Head of Laboratory

Address: ul. Zulfiyahonim, 3,  
100128, Tashkent, Uzbekistan  
e-mail: hamidov\_l@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-8084-1648



DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.287>

## CURRENT STATUS AND RESULTS OF SEISMIC MONITORING ON THE DAM AND COASTAL SLOPES OF THE CHARVAK RESERVOIR

**Khamidov Kh.L., Ibragimov A.Kh., Khamidov L.A.**

*Purpose.* Improvement of the seismicity monitoring system and implementation of a new digital system of engineering and seismometric observations with a modern base for processing seismometric information at the hydraulic structures of Uzbekistan.

*Methods.* Introduction of digital recording of waves for assessing oscillations of the dam and the coastal part of the Charvak reservoir.

*Findings.* The frequencies and oscillation rates of the dam body and the coastal slopes are determined in automatic mode without operator intervention. The ratios of the amplitudes of the oscillation velocity in measuring points to the amplitudes of the oscillation velocity of the dam base or the coastal slopes of the Charvak reservoir are calculated. When registering different earthquakes at different points, these relations vary significantly depending on the azimuth of the arrival of waves. Reservoir soils are categorized by seismic properties.

*Application field of research.* The obtained experimental data can be used to assess the conditions of oscillations of high dams of the Charvak reservoir during strong earthquakes.

*Key words:* reservoir, seismic monitoring, earthquake, spectrum, magnitude.

(The date of submitting: May 21, 2020)

### REFERENCES

1. Plotnikova L.M., Nurtaev. B.S., Flenova M.G. K voprosu o mekhanizme tekhnogennykh zemletryaseniy [To the question of the mechanism of technogenic earthquakes]. *Geologiya i mineral'nye resursy* [Geology and mineral resources], 1999. No. 1. Pp. 54–58. (rus)
2. Plotnikova L.M., Ulomov V.I., Makhmudova V.I. Vliyanie Charvaksckogo vodokhranilishcha na parametry seysmicheskogo rezhima [The influence of the Charvak reservoir on the parameters of the seismic regime]. *Eksperimental'naya seysmologiya v Uzbekistane* [Experimental seismology in Uzbekistan]. Tashkent: Fan, 1983. P. 31–43. (rus)
3. Khamidov L.A., Ziyaudinov F.F., Khamidov Kh.L., Artikov F.R. Inzhenernye osnovy tsifrovogo seysmometricheskogo nablyudeniya v zone vodokhranilishch Uzbekistana [Engineering fundamentals of digital seismometric observation in the zone of reservoirs of Uzbekistan]. *Proc. 9th Intern. scientific-practical conf. «Analysis, prediction and management of natural risks in the modern world (GEORISK–2015)»*. In 2 vol. Moscow: RUDN. 2015. Vol. 1. Pp. 534–540. (rus)
4. Kvashin E.V., Plotnikova L.M., Tillavoldiev U.G. Avtomatizirovannaya seysmometricheskaya sluzhba Charvaksckoy plotiny [Automated seismometric service of the Charvak dam]. [Instruments for seismic observations]. Moscow: Nauka. 1980. No. 13. P. 32–34. (rus)
5. Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Artikov F.R. Analiz inzhenerno-seysmologicheskikh parametrov i koeffitsiyenta razzhizheniya gruntov v tele plotiny Charvak [Analysis of engineering-seismological parameters and the coefficient of soil liquefaction in the body of the Charvak dam]. *Proc. VI Intern. scientific-technical conf. «Modern problems of building materials, structures, soil mechanics and complex rheological systems»*, Samarkand, April 19–20, 2013. In 2 vol. Samarkand State Architectural and Civil-Engineering Institute, 2013. Vol. 2. Pp. 72–75. (rus)
6. Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Artikov F.R., Khamidov Kh.L., Ganieva B.R. Vozmozhnosti otsenki sobstvennykh kolebaniy plotin i vliyaniya rezhima ekspluatatsii vodokhranilishch na lokal'nuyu seysmichnost' [Opportunities for assessing the natural oscillations of dams and the impact of reservoir operation on local seismicity]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Uzbekistan*, 2018. No. 2. Pp. 74–79. (rus)
7. Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Micro tremor on the Ground Surface. *Quart. Report of RTRI*, 1989. Vol. 30. No. 1. Pp. 25–33.
8. Ibragimov A.Kh., Khamidov Kh.L. Chastota sobstvennykh kolebaniy plotin Rezaksaysckogo i Karkidonsckogo vodokhranilishch Ferganskoy doliny [The frequency of natural oscillations of the dams of the Rezaksay and Karkidon reservoirs of the Ferghana Valley]. *Proc. Intern. scientific conf. «Geophysical*

*methods for solving urgent problems of modern seismology», Uzbekistan, Tashkent, October 15–16, 2018. Pp. 461–464. (rus)*

9. Khamidov L.A., Artikov F.R., Khamidov Kh.L. Ob izmenchivosti parametrov seysmichnosti v zonakh aktivnogo vliyaniya vodokhranilishch Uzbekistana [On the variability of seismicity parameters in zones of active influence of reservoirs in Uzbekistan]. *Modern methods of processing and interpretation of seismological data: materials of the XIII International Seismological School (based on the Simiganch seismic station), Tajikistan, Dushanbe, September 11–15, 2018. Ed. A.A. Malovichko. Obninsk: FRC GS RAS, 2018. Pp. 307–311. (rus)*