

**01 ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
МИКРОСЕЙСМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ И ПРОЦЕССОВ В ИХ ОСНОВАНИЯХ  
(НА ПРИМЕРЕ ПЛОТИН ГЭС)**

Н.К. Капустян\*, \*\*, Г.А. Антоновская\*\*, Нго Тхи Лы\*\*\*  
(\*ИФЗ РАН, Москва, \*\*ИЭПС УрО РАН, Архангельск, \*\*\*ИГ ВАИТ, СРВ)

**AN INNOVATIVE MICROSEISMIC TECHNOLOGY FOR  
INVESTIGATION OF CONSTRUCTION STATE AND PROCESSES IN  
SOIL (DEMONSTRATED ON HYDROPOWER PLANT DAM)**

N.K. Kapustian\*, \*\*, G.A. Antonvskaya\*\*, Ngo Thi Lu\*\*\*  
(\*IPE RAS, Moscow, \*\*IEPN UB RAS, Arkhangelsk, \*\*\*IG VAST, SRV)

**Аннотация.** На примере двух плотин: в Центральном Вьетнаме и Чиркейской ГЭС в Дагестане представлены новые разработки по технологии микросейсмических наблюдений и способам обработке данных. Показаны две возможности: 1) выявления аномальных зон в теле плотины и причин их возникновения из-за особенностей строения основания плотины. 2) Долговременный микросейсмический мониторинг позволяет выявить деформационные процессы в бортах и основаниях плотины, определяемые геодинамикой района ее размещения.

**Abstract.** New developments in the technology of microseismic observations and data analysis are illustrated with the investigation of two hydropower plant dams – in Central Vietnam and Chirkey HPS in Dagestan. Two capabilities of the technique discussed are: 1) sweeping for anomalous areas in dam structure identified to be originating from soil peculiarities, 2) detection by long-term microseismic monitoring of crust geodynamics-induced deformational processes in soils and boards of a dam.

С развитием аппаратно-методической базы микросейсмические наблюдения приобретают все больший вес в геофизических исследованиях, причем преимущественно для практических применений. Это связано с их дешевизной и технологической простотой исполнения (по сравнению с сейсморазведкой), а также с возможностью применения в практически любых ситуациях (например, для тела плотин, стесненных условий площадки и пр.). Все это делает микросейсмические наблюдения приоритетными для целей рекогносцировки перед детальными исследованиями и для долговременного мониторинга.

В настоящее время понятие «микросейсмические наблюдения» объединяет целый набор технологий, основанных на анализе волн разного генезиса и типов (эмиссия, техногенные сигналы, поверхностные волны и пр.). Существенно, что зарегистрированное волновое поле может параллельно обрабатываться различными способами, опирающимися на разные составляющие микросейсм, для получения принципиально разной информации о среде. Рассмотрим две составляющие среднечастотных (0,5-10 Гц) микросейсм: поверхностные волны Рэлея и техногенные монохроматические колебания (пики в спектре микросейсм), возбуждаемые в геологической среде при работе электрических машин. Примеры из практики иллюстрируют возможность комплексирования разных методик, а также использование техногенных пиков для структурных и геодинамических исследований.

Пример 1. Обследование состояния бетонной плотины в Центральном Вьетнаме. Проведены микросейсмические наблюдения по галереям в теле плотины и на профилях в верхнем и нижнем бьефах. Для обследования тела плотины использовался набор пиков в спектре, создаваемых гидроагрегатами в 5 км от плотины, выполнялось сейсмическое просвечивание с определением относительных амплитуд - значений для каждого из пиков в разных точках относительно стационарной точки [1, 2]. Это существенно, т.к. точки проходились последовательно по времени. Результатом явилась картина пространственного распределения относительных амплитуд, на которой отчетливо выделяется аномальная зона кулисообразной формы (рис. 1,а).

Вне плотины записи обрабатывались по методике, основанной на методе низкочастотного микросейсмического зондирования (ММЗ) [3], позволяющем получать разрезы относительной интенсивности вертикальной (Z) компоненты волн Рэлея. При наличии априорных данных о скоростях в ключевых точках, разрезы интенсивности могут быть пересчитаны в скоростные, учитывая, что высокая интенсивность соответствует низкой скорости волн Рэлея. Глубинность оцениваемого участка определяется  $\frac{1}{2}$  длины волны Рэлея, т.е., по существу, частотой анализируемой составляющей спектра Z-компоненты микросейсм.

Сопоставление разреза ММЗ (рис. 1,б) с картиной для тела плотины (рис. 1,а) показывает, что скоростные свойства основания плотины вблизи правого и левого бортов существенно различны. Это создает эффект «консольного» опирания плотины и, как следствие, возникновения добавочных напряжений, которые могут сопровождаться микротрещинами кулисообразной направленности. Данный вывод определяет состав работ и схемы дальнейших обследований.

Пример 2. Система сейсмологического мониторинга с размещением датчиков в теле высотной арочной бетонной плотины Чиркейской ГЭС (Дагестан) [4] ведет сбор данных в непрерывном режиме уже более 1 года.

Применяемая аппаратура реализует динамический диапазон 130 дБ, что позволяет регистрировать не только сейсмические события, но и микросейсм, в частности техногенные пики от работающих агрегатов ГЭС. Сеть датчиков, размещенных на плотине и в береговых примыканиях позволяет вести непрерывный мониторинг напряженно-деформированного состояния плотины при просвечивании техногенными пиками. Программа сбора данных позволяет автоматизировано получать картину, аналогичную рис. 1,а, с интервалом в 1 час.

Анализ этих данных показывает, что деформирование плотины имеет ярко выраженную периодичность, причем доминирующими являются периоды, характерные для лунно-солнечных приливов - 12 и 25 час, т.е. деформаций  $10^{-8}$ - $10^{-9}$ . Эти процессы являются модулирующими для амплитуд техногенных сигналов. Устранение приливной составляющей выявляет более слабые деформирующие ритмы с периодами 60-65 час (рис. 2,а). Природа этих ритмов, которые наблюдаются во всех точках плотины и на берегах в течение более 1 года пока не выяснена. Предположительно это может быть отражением геодинамических процессов в районе, имея в виду то, что, по существу, плотина является гигантским деформометром, зажатым между бортами разрывного нарушения. Фильтрация и этих ритмов выявляет присутствие более медленных вариаций (рис. 2,б) в которых временные интервалы понижения амплитуд могут быть связаны с затишьями перед местными землетрясениями из определенного района. Тут требуется существенно большая статистика, но физически такая возможность оправдана тем, что в геологической среде не все точки имеют одинаковую тензочувствительность и существуют «взаимосвязанные» зоны [5].

Приведенные примеры демонстрируют имеющиеся аппаратурно-методические возможности, которые позволяют развивать новые практически важные (т.е. инновационные) технологии, применимые для обеспечения сейсмобезопасности как сооружений, так и природной среды.

*Работа выполнена при частичной поддержке Инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1006*

1. Капустян Н.К., Юдахин Ф.Н. Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий // Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 416 с.

2. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий // Екатеринбург: УрО РАН. 2007. 156 с.

3. Горбатиков А.В. Способ сейсморазведки. Пат. РФ № 2271554. // Бюлл. изобр. 2006, № 7

4. Капустян Н.К. Сейсмобезопасность: обобщение опыта мониторинга зданий и сооружений/"Проектирование и инженерные изыскания" №4 2012 с. 24-31.

5. Николаев А.В. Черты геофизики XXI века// Геофизика на рубеже веков. М.: Изд. ОИФЗ РАН., 1999. С. 319-323.

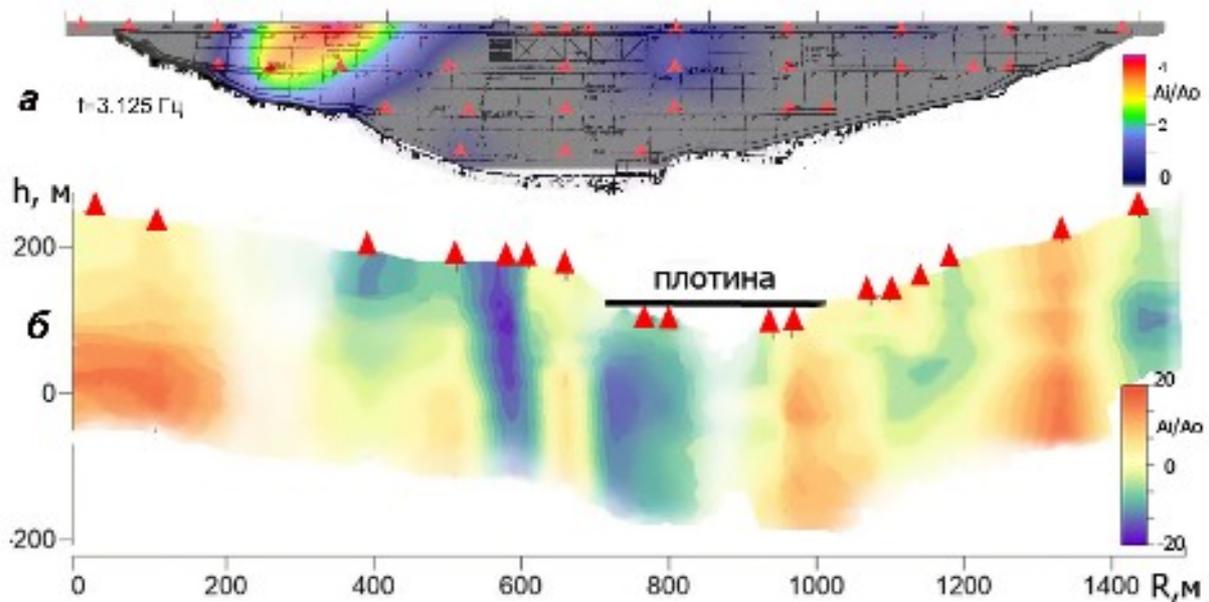


Рисунок 1. - Результаты микросейсмического обследования плотины в СРВ: а - просвечивание тела плотины техногенными вибрациями, б – Глубинны разрез ММЗ по волнам Рэлея

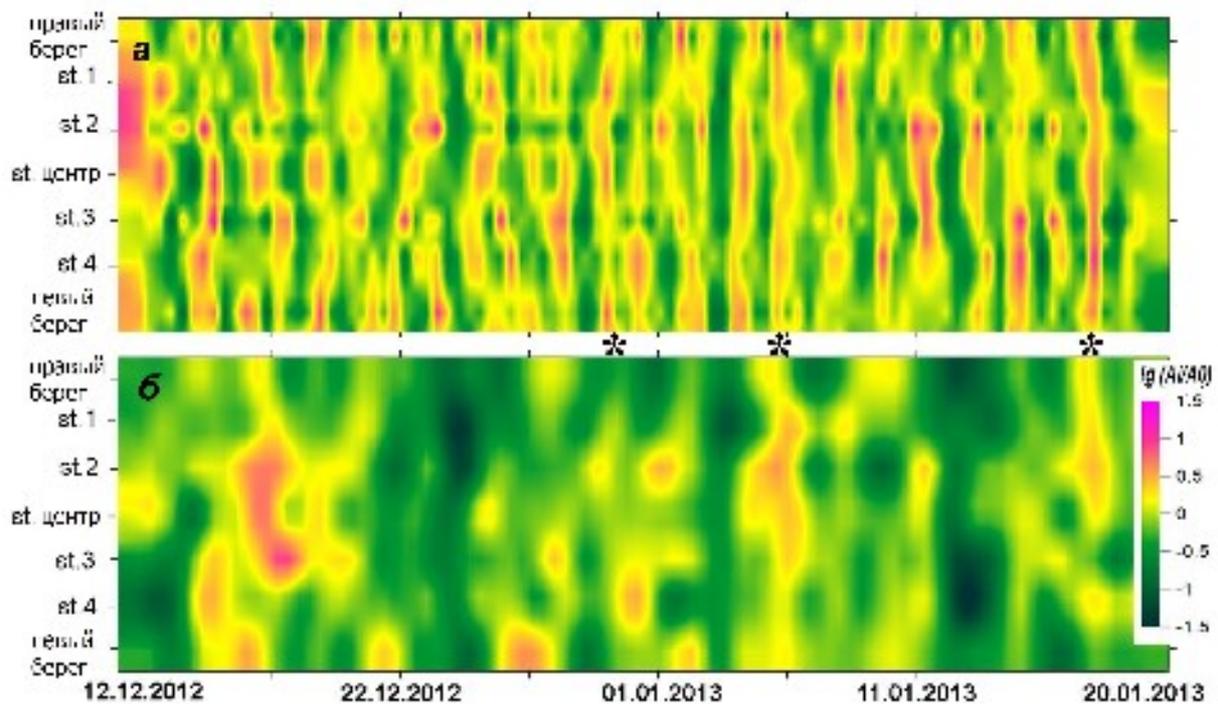


Рисунок 2. - Мониторинг состояния плотины Чиркейской ГЭС путем просвечивания техногенными вибрациями – временной ход амплитуд колебаний в точках на отм. 315 м: а – составляющая с ритмами 60-65 час, б – более медленные вариации, звездочками отмечены времена местных землетрясений