<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-2-113-119>

УДК: 550.8.08

Результаты дипольного зондирования правого берега плотины Чиркейской ГЭС

Идармачев Ш. Г.*, Идармачев И. Ш.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской Академии наук
ул. Ярагского, 75, 367030, г. Махачкала, Россия

Поступила / Received 13.03.2019

Принята к печати / Accepted for publication 24.04.2019

Впервые в практике натурных исследований в районе плотины Чиркейской ГЭС применялся метод дипольного электрического зондирования. Целью являлось исследование геодинамических процессов в массиве горных пород, расположенных в бортах высотной плотины для разработки новых методов контроля опасных геологических процессов природного и техногенного характера. Основанием для изучения деформационных процессов в большом объеме правого берега плотины послужили результаты электрического зондирования пород небольшой четырехэлектродной установкой в скважине за период 2010–2015 гг., которые показали, что изменение уровня водохранилища вызывает сезонную деформацию пород. Применение дипольного зондирования позволяет существенно увеличить размеры исследуемого объекта. Объем зондируемых пород правого берега плотины составляет $6 \times 10^6 \text{ м}^3$, т. е. в 2000 раз увеличился по сравнению с четырехэлектродной установкой в скважине. Особенностью применяемой аппаратуры является непрерывность и высокая точность измерений кажущегося сопротивления массива, которая позволяет регистрировать происходящие в нем динамические процессы. Результаты наблюдений методом дипольного зондирования за небольшой период 2018 г. позволяют сделать вывод о техногенном воздействии гидроагрегатов Чиркейской ГЭС на напряженно-деформированное состояние скальных пород, прилегающих к правому борту плотины. Для отдельных периодов наблюдений обнаружены вариации кажущегося сопротивления большой амплитуды, позволяющие предположить, что исследуемый массив находится в условиях неустойчивого равновесия, т. е. время от времени по имеющимся трещинам происходят сдвиги. Триггерами подвижек могут являться пуски гидроагрегатов. Подвижки по крупным тектоническим трещинам скального массива в районе правого борта плотины могут привести к обвальным процессам и раскрытию трещин в приконтактной зоне с плотиной. Метод непрерывного дипольного электрического зондирования может найти практическое применение для мониторинга опасных геологических процессов в районах ГЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дипольное электрическое зондирование, кажущееся сопротивление, коэффициент тензочувствительности

Благодарности

Работа подготовлена при поддержке программы Президиума РАН №1.56 «Фундаментальные основы новых технологий для обеспечения безопасности высотных плотин».

Адрес для переписки:

Идармачев Ш. Г.
ФГБУН ИГ ДФИЦ РАН
ул. Ярагского, 75, 367030, Махачкала, Россия,
e-mail: idarmachev@yandex.ru

Address for correspondence:

Idarmachev Sh. G.
FGBUN IG DFIC RAN
Yaragского str., 32, 367030, Makhachkala, Russia,
e-mail: idarmachev@yandex.ru

Для цитирования:

Идармачев Ш. Г., Идармачев И. Ш. Результаты дипольного зондирования правого берега плотины Чиркейской ГЭС. Надежность и безопасность энергетики. 2019. – Т. 12, №1. – С. 113 – 119.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-2-113-119>

For citation:

Idarmachev Sh. G., Idarmachev I. S. [The results of dipole sounding of the right bank of the dam of the Chirkei hydroelectric power plant]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2019, vol. 12, no. 2, pp. 113 – 119. (in Russian)
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-2-113-119>

The results of dipole sounding of the right bank of the dam of the Chirkei hydroelectric power plant

Idarmachev Sh. G.*, Idarmachev Ib. S.

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Geology of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

75 Yaragskogo, 367030, Makhachkala, Russia

For the first time in the practice of full-scale studies in the area of the Chirkei HPP dam, the method of dipole electric sounding was used. The aim was to study the geodynamic processes in the rock mass located in the sides of the high-rise dam to develop new methods of control of natural and man-made hazardous geological processes. The basis for the study of deformation processes in a large volume of the right bank of the dam was laid by the results of electric sounding of rocks by a small four-electrode in-well installation over the period 2010–2015, which showed that the change in the level of the reservoir caused seasonal deformation of rocks. The use of dipole sounding can significantly increase the size of the object under study. The volume of the probed rocks of the right bank of the dam is $6 \times 10^6 \text{ m}^3$, that is 2000 times larger compared to the four-electrode in-well installation. The equipment used is characterized by the continuity and high accuracy of measurements of apparent resistance of the mass, which enables to register the dynamic processes occurring in it. The results of observations by the method of dipole sounding over a short period of 2018 enable to conclude about the anthropogenic impact of the Chirkei hydroelectric power plant on the stress-strain state of rocks adjacent to the right side of the dam. For individual periods of observation, variations of apparent resistivity of large amplitude are detected, suggesting that the analyzed mass is in conditions of unstable equilibrium, i. e. displacements occur from time to time along the cracks in place. The movements can be triggered by starts of hydraulic units. Shifts in large tectonic cracks in the rock mass near the right side of the dam can lead to landslide processes and opening of cracks in the dam contact zone. The method of continuous dipole electric sounding can find its practical application for monitoring of hazardous geological processes in hydroelectric power plants.

KEYWORDS: dipole electric sounding, apparent resistivity, strain gauge factor

Acknowledgments

The work was prepared with the support of the program of the Presidium of RAS №1.56 "Fundamentals of new technologies to ensure the safety of high-rise dams".

В настоящее время безопасность ГЭС контролируется тремя видами мониторинга:

- сейсмическим, регистрирующим колебания землетрясения;
- инженерно-сейсмометрическим, регистрирующим колебания в теле плотины;
- регистрирующим колебания турбины [1].

К другим контрольно-измерительным системам относятся прямые и обратные отвесы, щелемеры, гидростатические нивелиры и другие методы мониторинга [2–4].

К техногенным авариям на плотине приводят землетрясения, паводки рек, оползни [5]. После Спитакского землетрясения 1986 г. были введены новые правила технической эксплуатации ГЭС, требующие опроса всех видов контрольно-измерительных систем после каждого сейсмического толчка интенсивностью 5 баллов и выше по шкале MSK-64.

В процессе эксплуатации ГЭС с высотными плотинами было обнаружено, что слабые землетрясения в районе водохранилища могут вызвать деформации приконтактной зоны скального основания плотины [6]. Землетрясения вызывают скачки на обратных отвесах, установленных на плотине. Такого рода скачки наблюдались также при форсированном наполнении водохранилища.

Скачки деформации могут быть связаны с подвижкой блоков по разлому в результате снятия накопленных

в породах напряжений. Эти процессы представляют большую опасность для плотины и ее берегов в условиях высоконапорного фильтрационного потока воды в горном массиве. Например, плотина Сент-Френсис (США) рухнула в 1928 г. из-за трещины, возникшей в ее теле. Позднее комиссия установила, что этому способствовала тектоническая активность палеоразлома под плотинной.

К авариям на ГЭС могут привести не только подвижки по разломам, но и деформации трещинных зон под плотинной или в береговых примыканиях, приводящие к раскрытию трещин и усилению фильтрационного потока, суффозии пород.

В феврале 2017 г. в результате паводков вода, переливающаяся через правый берег плотины Оровиль (США), начала размывать наносы на скальных породах, в отдельных местах появились промоины с большими потоками воды. Средняя часть участка аварийного водосброса под напором воды разрушилась. В итоге аварию удалось предотвратить большими усилиями. Позднее комиссия установила ряд технических просчетов строителей. Под водосбросом в результате суффозии образовались карстовые пустоты, на правом берегу обнаружили вертикальные трещинные зоны, которые дали течь.

Особую опасность для грунтовой плотины представляют активизация разломов или трещинных зон под ней, приводящие к нарушению работы противофиль-

трационной диафрагмы, неравномерному оседанию тела плотины [5]. Поэтому изучение закономерностей техногенного влияния изменения уровня воды в водохранилище на процессы, происходящие в геологической среде в районах ГЭС, является актуальной научно-исследовательской задачей, имеющей практическое значение для обеспечения безопасности и прогноза опасных геологических явлений.

Для контроля состояния трещинных зон, а также геодинамической обстановки зоны разломов в районе плотины можно применять различные методы разведочной геофизики. Например, электрические методы являются наиболее чувствительными к деформации горных пород. С их помощью можно регистрировать малые относительные деформации в земной коре в пределах 10^{-4} – 10^{-6} . Как показывают данные лабораторных опытов и полевых экспериментов, величина коэффициента тензочувствительности пород по электрическому сопротивлению [7, 8] лежит в диапазоне 10^3 – 10^5 и сильно зависит от степени насыщения их водой, при этом фактор усиления деформации для пород, находящихся в естественных условиях в земле больше, чем в лабораторных экспериментах. Поэтому методы наблюдений, позволяющие контролировать электрические параметры горных пород в естественных условиях, могут быть использованы для изучения опасных геологических процессов в районах ГЭС.

Результаты длительных наблюдений за кажущимся электрическим сопротивлением пород (R_k) в забое необсаженной скважины глубиной 100 м [9] показали, что вариации R_k коррелируют с сезонными колебаниями уровня воды в Чиркейском водохранилище. На рисунке 1 приведены графики сезонных вариаций уровня водохранилища и кажущегося сопротивления для периода 2010–2015 гг. Как видно, с повышением уровня водохранилища величина кажущегося сопротивления пород уменьшается за счет увеличения порово-тре-

щинного пространства под воздействием роста в них гидростатического давления воды.

Кратковременное повышение кажущегося сопротивления с августа по сентябрь месяцы связано с понижением минерализации воды в результате притока дождевых и ледниковых вод в водохранилище. Задержка кажущегося сопротивления от уровня водохранилища связана с тем, что процессы понижения минерализации воды в водохранилище и фильтрации ее через массив пород требуют определенного времени — в пределах нескольких месяцев. Начиная с января по март месяцы, уровень водохранилища падает, а кажущееся сопротивление увеличивается. Из этих данных следует, что сезонные колебания уровня водохранилища оказывают техногенное воздействие на окружающие его горные массивы, в том числе в районах плотины ГЭС, вызывая деформацию расширения пород в период паводка рек и сжатия, когда происходит разгрузка водохранилища.

Естественно, здесь возникают вопросы о влиянии различного рода помех на кажущееся сопротивление. Однако детальный анализ данных [10] для периода наблюдений 2010–2015 гг. показал отсутствие значимой связи кажущегося сопротивления с давлением и температурой атмосферы, осадками и температурой воды в скважине.

На графиках кажущегося сопротивления (рисунок 1) для отдельных периодов наблюдений видны скачкообразные изменения большой амплитуды (2–3 Ом·м). Эти изменения в 4–5 раз превышают допустимую погрешность измерительной аппаратуры и не могут быть связаны с утечками на линии подводящих проводов на землю, т. к. провода подвешены на столбах с изоляторами. Сопротивление проводов также периодически проверяется для контроля возможных утечек на линии, соединяющей зонд с измерительной станцией. Предполагается, что скачки кажущегося сопротивления

горных пород в области расположения измерительного зонда в скважине связаны с процессами сдвиговой деформации вдоль имеющихся в массиве трещин. В начальном этапе деформации происходит растяжение трещин, при этом прочность пород падает, затем наступает время сдвиговой подвижки в результате соединения между собой мелких трещин.

Такие деформационные процессы в блоке, примыкающем к телу высотной плотины и сопровождающиеся сдвигами вдоль крупных трещин, могут представлять опасность для гидросооружения. Однако данные, полученные четырехэлектродной установкой электрического зондирования с разным питающих электродов 9 м для небольшого объема пород ($V = 300 \text{ м}^3$), не позволяют исследовать деформационные процессы во всем массиве

Рисунок 1. Графики сезонных вариаций уровня водохранилища (1) и кажущегося сопротивления (2) [9]

Figure 1. Graphs of seasonal variations of reservoir level (1) and apparent resistance (2) [9]

правого берега плотины Чиркейской ГЭС. Поэтому была поставлена задача зондировать большую часть массива горных пород правого берега плотины. Выбор данного объекта для исследования связан с тем, что в нем имеется целая серия дислокаций различного ранга, включая трещин тектонического происхождения. По правому борту идет 90% фильтрационного потока, при этом интенсивность его меняется во времени как в период сезонных изменений уровня воды в водохранилище, так и во время местной сейсмической активности [11].

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) определить метод электрического зондирования, позволяющий охватить большой массив;
- 2) выбрать место и способ размещения системы электродов и датчиков;
- 3) создание современного измерительного комплекса для долговременных режимных наблюдений за электрическими параметрами горных пород, повышающих точность оценки развития опасных геологических процессов в районах крупных ГЭС.

Объект исследований

Плотина Чиркейской ГЭС высотной 232 м расположена на территории Северного Кавказа (Дагестан) на реке Сулак. Участок, выбранный для исследований, состоит из скальных пород размерами 600×400 м, который примыкает к правому борту плотины. На данном участке для исследования обходной фильтрации плотины строителями ГЭС была пробурена скважина глубиной 120 м. Уровень воды в скважине имеет синхронный ход с уровнем воды в водохранилище со сдвигом по абсолютной отметке на 13–14 м.

Массив пород состоит из горизонтальных слоистых пачек плотных известняков верхнего мела, толщиной 0,3–1,5 м с прослойками мергелей, аргиллитов и известковых глин.

Фильтрация воды в массиве происходит по трещинам различного ранга. По имеющимся данным в архиве Чиркейской ГЭС геологического разреза правого берега плотины в скальном массиве выделяются следующие виды трещин различного азимута от вертикальных до субвертикальных: основные тектонические, складчатые тектонические, мелкие тектонические, целые плоскости трещин.

Для определения электрических характеристик пород исследуемого массива пород было проведено вертикальное электрическое зондирование. Геоэлектрический разрез имеет следующие параметры: $h_1=1,5$ м; $\rho_1=100$ Ом·м; $h_2=7$ м; $\rho_2=12$ Ом·м; $h_3=\infty$; $\rho_3=150$ Ом·м. В верхнем слое, состоящим из наносов (насыпного слоя галечников и песка)¹, удельное сопротивление высокое. Находящийся под ним слой из глинистых наносов задерживает в себе влагу и поэтому его удельное сопротивление низкое. С увеличением глубины зондирования возрастает влияние нижележащего слоя извест-

няка высоким удельным сопротивлением.

Методика и аппаратура измерений

Для проведения наблюдений за большим массивом горных пород правого берега Чиркейской плотины применяется широко известный специалистам геофизического профиля метод дипольного зондирования. По сравнению с четырехэлектродной установкой, применявшейся ранее для измерений кажущегося сопротивления пород в скважине, он обладает рядом преимуществ:

- 1) повышенной чувствительностью к неоднородностям геоэлектрического разреза, например, трещинным зонам;
- 2) возможностью зондирования различными видами установок: экваториальным, осевым, азимутальным и другими;
- 3) возможностью зондировать различные объемы пород при помощи одного питающего диполя и нескольких приемных диполей;
- 4) отсутствием помех, связанных с утечками тока из питающей цепи в приемную, а также вызванными индуктивными наводками переменного тока.

Условная схема зондирования массива приведена на рисунке 2. Питающий диполь длиной 110 м располагается на поверхности исследуемого массива, а приемный — в скважине. Заземлениями питающего диполя служат две двухметровые обсадные трубы скважин.

Объем зондирования определяется расстояниями между питающим и приемным диполями. В данном случае это расстояние составляет 100 м. По приближенным оценкам объем зондирования равен 6×10^6 м³, т. е. установка позволяет контролировать деформационные процессы в большей части массива в области правого примыкания к плотине.

Процесс зондирования заключается в следующем. На питающие электроды АВ от генератора подаются разнополярные прямоугольные импульсы постоянного тока $I=0,3$ А длительностью 10 с, а с приемных электродов MN снимается разность потенциалов (U), которая пропорциональна силе тока в питающем диполе и кажущемуся сопротивлению R_k . Величина кажущегося сопротивления определяется формулой:

$$R_k = k(U/I), \quad (1)$$

где R_k — величина, зависящая от строения геоэлектрического разреза, удельных сопротивлений слоев и их мощностей; k — геометрический коэффициент, зависящий от расстояний между электродами АВМN.

Приемные электроды свинцовые с размерами 20×150 мм. Для обеспечения стабильности поляризации электродов концы подводящих проводов (4) изолированы от воды с помощью резинового сальника (3), зажатого в торцевом отверстии электрода. Конструкция их приведена на рисунке 3. Испытание электродов на других стационарных измерительных пунктах показало их высокую надежность при длительной эксплуа-

¹ С высоким удельным сопротивлением.

Рисунок 2. Схема установки дипольного зондирования: АВ — питающие электроды, подключенные к генератору тока; MN — приемные электроды, подключенные к приемному устройству; пунктирная линия — условный уровень зеркала подземных вод

Figure 2. Scheme of installation of dipole sensing: A — supply electrodes connected to the current generator; MN — receiving electrodes connected to the receiver; dotted line — the conditional level of the groundwater mirror

Рисунок 3. Схема устройства электродов: 1 — свинцовый электрод круглой формы; 2 — место пайки провода к электроду; 3 — резиновый сальник; 4 — кабель; 5 — провод

тации более 10 лет.

В качестве электрических линий от измерительной установки до электродов используются две пары би-филярного провода со сталебронзовыми жилами марки ГПСМ с сопротивлением изоляции 100 МОм.

Измерение R_k производится установкой «Георезистор», разработанной в Институте геологии Дагестанского научного центра РАН для непрерывного электрического зондирования [12]. Состоит из платы сбора данных, сопряженной с персональным компьютером, программы управления, генератора импульсов. Относительная погрешность измерений R_k при испытаниях установки в лабораторных условиях не превышает $\pm 0,01\%$. В полевых условиях погрешность возрастает из-за различного рода электрических помех, и не превышает $\pm 0,5\%$.

Обсуждение результатов

На рисунке 4 показан график среднесуточных значений R_k за период с июня по август месяцы полевых

наблюдений. На нем видны периоды резких изменений кажущегося сопротивления с амплитудами до 15 Ом·м. Природа их пока неизвестна, но можно предположить, что они обусловлены деформационными процессами в массиве, трещинные зоны которого находятся в условиях неустойчивого равновесия. Такие системы могут менять свои напряженно-деформированные состояния под внешним воздействием, например, атмосферного давления, землетрясения и других факторов.

На рисунке 5 приведены графики R_k среднесуточных данных для различных суток. Для всех графиков минимальные отклонения наблюдаются в утреннее время до 5 часов. Отклонения относительно измерения 1 ч не превышают 0,52 Ом·м. Для графиков 1 и 2 вариации R_k достигают 43–29 Ом·м, соответственно. Для них после 5 часов утра изменение R_k происходит практически скачкообразно. Для графика 1 после двухчасового пика наблюдается плавное затухание и к 18 часам наступает полное восстановление. Для графика 2 R_k вначале уменьшается, затем в интервале времени от 7 до 8 часов скачком увеличивается, а к 16 часам полностью восстанавливается.

Природа данных аномалий пока неизвестна. Однако начало их совпадает во времени с пуском турбин ГЭС,

Рисунок 4. График кажущегося сопротивления, полученный методом дипольного зондирования большого массива пород

Figure 4. Apparent resistance graph obtained by dipole sensing of a large rock mass

Рисунок 5. Графики среднечасовых данных кажущегося сопротивления для различных суток
Figure 5. Graphs of hourly average data of apparent resistivity for different days

вызывающих возникновение ощутимых колебаний на плотине. Импульсные низкочастотные колебания могут служить триггерами для изменения напряженно-деформированного состояния скального массива. Аномалии большой амплитуды свидетельствуют об изменении состояния трещин в массиве, в том числе крупных тектонических, находящихся в условиях неустойчивого равновесия.

Аномалии резкого роста R_k наблюдались также и в лабораторных экспериментах деформирования больших блоков образцов известняка [7]. На начальном этапе сжатия пород наблюдается устойчивое уменьшение электрического сопротивления образца, перед разрушением оно резко возрастает до аномальных значений на 30–40%. Эти эксперименты показывают, что по мере подготовки и развития внутреннего сдвигового разрушения образца возникают аномалии кажущегося сопротивления скачкообразной формы.

Естественно, что данные лабораторных экспериментов могут отличаться от результатов натурных исследований в зависимости от различных условий, в которых находятся горные породы, но характерные признаки неупругой деформации позволяют определить общий механизм наблюдаемых аномальных процессов изменения R_k . Следует отметить, что амплитуды изменений электрического сопротивления при разрушении образцов и полевых наблюдений примерно одного порядка (40 и 42%).

Таким образом, скачкообразные изменения R_k в большом объеме горных пород могут быть обусловлены переходом массива в неустойчивое состояние под воздействием внешних

факторов, например, пуском гидроагрегатов, импульсное воздействие которых изменяет напряженно-деформированное состояние среды.

Отдельный интерес представляют данные измерений R_k за более длительный период наблюдений. На рисунке 6 приведен график среднечасовых данных за 8 суток. На нем видны вариации R_k совершенно иного характера, имеющие форму колебаний суточного периода. Он показывает, что массив испытывает упругую деформацию сжатия-растяжения. На данном графике также видны скачки сопротивления. Максимальная амплитуда скачка между 70 и 74 часами составляет 2,2 Ом·м. Представляется, что они связаны с микроподвижками в массиве.

Природа суточных колебаний R_k малой амплитуды не ясна, но вполне

возможна их связь с изменением суточной нагрузки генераторов. По данным сейсмометрических наблюдений на плотине Чиркейской ГЭС [1] при быстром сбросе мощности агрегатов происходит возникновение кавитационного жгута в сейсмическом волновом поле частотой 2,7 Гц, который находится за пределами частоты вращения турбин. Вращение самих агрегатов с частотой 3,3 Гц вызывает колебания, которые ощущаются человеком, находящимся на гребне плотины. Изменение нагрузки генераторов в ночное и дневное время вполне может вызвать изменение интенсивности деформационных процессов в исследуемом массиве.

Выводы

1. Впервые в практике режимных электрометрических наблюдений для исследования геодинамических процессов в районе высотной плотины Чиркейской

Рисунок 6. График среднечасовых данных кажущегося сопротивления за 8 суток
Figure 6. Graph of average hourly apparent resistance data for 8 days

ГЭС проведено электрическое зондирование большого массива пород объемом $6 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ с помощью специальной установки «Георезистор» для длительных непрерывных прецизионных измерений кажущегося удельного электрического сопротивления пород [12]. Результаты наблюдений за небольшой период 2018 г. позволяют сделать вывод о техногенном воздействии гидроагрегатов Чиркейской ГЭС на напряженно-деформированное состояние скальных пород, прилегающих к правому борту плотины.

2. Для отдельных периодов наблюдений обнаружены вариации кажущегося сопротивления большой амплитуды, позволяющие предположить, что исследуемый массив находится в условиях неустойчивого равновесия, т. е. время от времени по имеющимся трещинам происходят сдвиги. Триггерами подвижек могут являться пуски гидроагрегатов. Подвижки по крупным тектоническим трещинам скального массива в районе правого борта плотины могут привести к обвальным процессам и раскрытию трещин в приконтактной зоне с плотиной.

3. Метод непрерывного дипольного электрического зондирования может найти свое практическое применение для мониторинга опасных геологических процессов в районах ГЭС.

Список использованных источников

1. Рогожин Е. А., Капустян Н. К., Антоновская Г. Н. Новая система сейсмического мониторинга гидротехнических сооружений. НТФ 2016; 3(95): 18–23.
2. Громыко И. В., Селезнев В. С., Лисейкин А. В. и др. Методы инженерно-сейсмического мониторинга целостности конструкции сооружений. Геология и ресурсы Кавказа 2017; 3(70): 59–64.
3. Идармачев Ш. Г. Методы непрерывного контроля за целостностью асфальтобетонной диафрагмы гравитационной плотины. Геология и ресурсы Кавказа 2017; 3(70): 75–77.
4. Нигметов Г. М., Магомедов Х. Д. Технология мониторинга опасных геологических процессов в районах гидроэлектростанций (ГЭС). Геология и ресурсы Кавказа 2017; 3(70): 12–20.
5. Гончар А. Д., Садыкова Л. Р. Опасные геологические процессы в районе строительства Туполангской плотины и ГЭС (юго-западный Гиссар, Узбекистан). Геология и ресурсы Кавказа 2017; 3(70): 4–11.
6. Марчук А. Н., Марчук Н. А. Контроль и прогноз опасных геодинамических процессов с помощью измерительных систем плотин. Геология и ресурсы Кавказа 2017; 2(69): 3–46.
7. Patonin A. V., Ponomarev A. V., Smirnov V. B. A laboratory instrumental for studying the physics of the destruction of rocks. Seismic instruments 2014; 1(50): 9–19.
8. Avagimov A. A., Ataev A. K. Structure of Precursor Anomalies of Electrical Conductivity and its tensosensibility in Kopetdag Seismic active region. J. of Earthquake Prediction Research 2016; 3: 572–580.
9. Идармачев И. Ш. Вариации кажущегося сопротивления массива горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки водохранилища. Вестник Дагестанского научного центра РАН 2014; 52: 11–15.
10. Дещеревский А. В., Идармачев И. Ш., Идармачев Ш. Г. Анализ влияния сезонных изменений уровня воды в Чиркейском водохранилище и атмосферных параметров на кажущееся сопротивление

горных пород в скважине, расположенной в районе правого борта плотины ГЭС. Геология и геофизика Юга России 2016; 3: 48–57.

11. Марчук А. Н., Марчук Н. А., Николаев А. В. Гиперчувствительность измерительной системы Бурейской ГЭС к геодинамическим влияниям. Геология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология 2013; 3: 252–258.

12. Идармачев Ш. Г., Идармачев И. Ш. Аппаратура для прецизионных измерений электрических параметров горных пород в скважине. Геология и ресурсы Кавказа 2018; 2(72): 49–53.

References

1. Rogozhin E. A., Kapustyan N. K., Antonovskaya G. N. New system of seismic monitoring of hydraulic structures. NTR 2016; 3(95): 18–23. (In Russ.)
2. Gromyko I. V., Seleznev V. S., Lisejkin A. V. Methods of engineering-seismic monitoring of structural integrity. Geology and resources of the Caucasus (Geologiya i resursy Kavkaza) 2017; 3(70): 59–64. (In Russ.)
3. Idarmachev Sh. G. Methods of continuous monitoring of integrity of asphalt concrete diaphragm of gravity dam. Geology and resources of the Caucasus (Geologiya i resursy Kavkaza) 2017; 3(70): 75–77. (In Russ.)
4. Nigmatov G. M., Magomedov H. D. Technology of monitoring of dangerous geological processes in the areas of hydroelectric power plants (HPP). Geology and resources of the Caucasus (Geologiya i resursy Kavkaza) 2017; 3(70): 12–20. (In Russ.)
5. Gonchar A. D., Sadykova L. R. Dangerous geological processes in the area of construction of Tupolang dam and hydroelectric power station (southwest Hissar, Uzbekistan). Geology and resources of the Caucasus (Geologiya i resursy Kavkaza) 2017; 3(70): 4–11. (In Russ.)
6. Marchuk A. N., Marchuk N. A. Control and forecast of dangerous geodynamic processes with the help of dam measuring systems. Geology and resources of the Caucasus (Geologiya i resursy Kavkaza) 2017; 2(69): 39–46. (In Russ.)
7. Patonin A. V., Ponomarev A. V., Smirnov V. B. A laboratory instrumental for studying the physics of the destruction of rocks. Seismic instruments 2014; 1(50): 9–19
8. Avagimov A. A., Ataev A. K. Structure of Precursor Anomalies of Electrical Conductivity and its tensosensibility in Kopetdag Seismic active region. J. of Earthquake Prediction Research 2016; 3: 572–580.
9. Idarmachev I. Sh. Variations of the apparent resistance of the upper Cretaceous rock mass in the area of the Chirkey hydroelectric dam under the influence of the variable load of the reservoir. Bulletin of the Dagestan scientific center of RAS (Vestnik Dagestanskogo nauchnogo centra RAN) 2014; 52: 11–15. (In Russ.)
10. Deshcherevskij A. V., Idarmachev I. Sh., Idarmachev Sh. G. Analysis of the influence of seasonal changes in the water level in the Chirkei reservoir and atmospheric parameters on the apparent resistance of rocks in the well located near the starboard side of the hydroelectric dam. Geology and Geophysics of South of Russia (Geologiya i geofizika Yuga Rossii) 2016; 3: 48–57. (In Russ.)
11. Marchuk A. N., Marchuk N. A., Nikolaev A. V. Hypersensitivity measuring system Bureyskaya HPP to geodynamic effects. Geology, engineering Geology, hydrogeology, Geocryology (Geologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya) 2013; 3: 252–258. (In Russ.)
12. Idarmachev Sh. G., Idarmachev I. Sh. Precision measurement equipment electrical parameters of rocks in the well. Geology and resources of the Caucasus (Geologiya i resursy Kavkaza) 2018; 2(72): 49–53. (In Russ.)