

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Соловьева Сергея Петровича

на диссертацию **Идармачева Ибрагима Шамильевича «Вариации электрических параметров горных пород в районе плотины Чиркейской ГЭС, связанные с геодинамическими и сейсмическими процессами»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность исследований. Актуальность диссертационной работы И.Ш. Идармачева и связь работы с фундаментальной наукой определяется проблемой, связанной с техногенной деятельностью человека и ее воздействием на окружающую среду. Объектом диссертационного исследования является район Чиркейской ГЭС, расположенный на территории Северного Кавказа в Дагестане, который характеризуется высокой сейсмической активностью. Полученные в диссертационной работе результаты имеют также и практическое значение в целях снижения риска опасных геологических процессов в районах ГЭС.

Цель и задачи исследований. Целью работы являлось решение проблемы влияния крупного водохранилища на окружающую среду. Для решения поставленной цели решены следующие задачи:

- создание физически обоснованной модели влияния сезонных колебаний уровня воды в водохранилище на окружающую среду на примере Чиркейского водохранилища;
- исследование геодинамических процессов в горных массивах, прилегающих к плотине ГЭС;
- обоснование нового метода наблюдений за электрическими параметрами горных пород в скважине для оценки развития опасных геологических процессов вблизи ГЭС.

В основу работы положен большой экспериментальный материал электрометрических, термометрических, метеорологических, сейсмологических данных, полученных в районе Чиркейской ГЭС.

Во введении сформулированы актуальность, цели, задачи, научная новизна, практическая значимость, защищаемые положения работы и другие показатели.

В главе 1 излагаются литературные данные по результатам исследований электрических свойств горных пород при изменении их напряженно-деформированного состояния (НДС). На основе анализа автор обосновал эффективность применения электрических методов наблюдений для изучения НДС скальных массивов. Показано, что для скальных пород, находящихся в естественных условиях, коэффициент тензочувствительности горных пород по электрическому сопротивлению достигает наибольшей величины. Данная характеристика горных пород позволяет с высокой чувствительностью регистрировать деформационные процессы. Одним из преимуществ электрических методов наблюдений является то, что они позволяют проводить исследования как больших массивов в районе водохранилища, так и малых - в районе плотины ГЭС.

Обосновывается применение скважинного метода для режимных наблюдений за электрическими параметрами горных пород. В отличие от наземных методов размещение измери-

тельной установки в скважине позволяет устранить или довести до минимума влияние метео-факторов, тем самым обеспечить стабильное условие проведения эксперимента, что является основополагающим фактором для долговременных наблюдений.

В главе 2 собраны данные о геологии, тектонике, сейсмичности района исследований. На основе их анализа показано, что чаша водохранилища сложена из верхнемеловых известняков мощностью до 450 м, которая рассечена мелкими разломами. Глубинный Владикавказский разлом проходит в непосредственной близости от плотины ГЭС. На расстоянии 20-25 км к северу от водохранилища расположен узел глубинных разломов Северного Кавказа. Район узловых зон разломов характеризуется максимальной сейсмической активностью. В период строительства ГЭС в 1970 г. здесь произошло землетрясение $M=6.6$. Всплеск активности наблюдался и в период наполнения водохранилища в 1974 г. Таким образом, проведенный в работе анализ показывает, что район Чиркейской является геодинамически активным, где могут происходить такие опасные геологические процессы как сильные землетрясения, оползни и другие природные и техногенные явления.

В 3 главе представлены наиболее значимые результаты исследований, на основе которых сформулированы защищаемые положения диссертации. Эксперимент проводился в массиве горных пород, примыкающем к правому борту высотной плотины. Для эксперимента использовались имеющиеся в данном массиве скважины, глубинами 120 м и 180 м. В данном массиве выделяются тектонические и более мелкого порядка трещины. Судя по геологическому разрезу откоса правого берега плотины (рис. 3.1.4) в массиве выделяются трещины вертикального и наклонного типа, по которым могут произойти подвижки и тем самым повредить плотину. Поэтому основанием для экспериментальных работ на данном массиве являлось то, что электрические методы наблюдения позволяют контролировать состояние трещин, вызванных деформационными процессами.

В данных экспериментах измерительные электроды помещались ниже минимального уровня воды в скважине на 30 м для обеспечения стабильных условий измерений. В качестве измерительной аппаратуры использовались установки, созданные ранее в Институте геологии Дагестанского НЦ РАН и Дагестанском ФЕГС РАН, отличающиеся высокой точностью, например, относительная погрешность измерений кажущегося сопротивления за суточный период осреднения не превышает 0.18%. Объем зондирования горных пород, при выбранных геометрических параметрах четырехэлектродной установки в скважине, составляет 250-300 м³.

Для анализа создана база данных, состоящая из рядов кажущегося сопротивления, электрического поля, температуры воды в скважине, уровня воды в водохранилище, температуры, давления атмосферы и осадков за период наблюдений 2010 -2014 гг. Для обработки данных используется программа WinABD, разработанная в ИФЗ РАН, предназначенная для работы с временными рядами. Предварительно для сезонных рядов сделана процедура сглаживания с целью подавления случайных высокочастотных флуктуаций, заполнение пропусков, расчет среднесезонной функции (ССФ), затем произведены расчеты остаточных (несезонных) компонент, взаимнокорреляционных функций (ВКФ) и спектров.

Детальный анализ рядов температуры атмосферы и давления для сезонных и остаточных компонент не показал их влияния на кажущееся сопротивление. Такой же результат показало сравнение рядов кажущегося сопротивления и температуры воды в скважине. Вариации температуры измерялись терморезистором, установленным на глубине 95 м ниже уровня во-

ды. Погрешность одного измерения не превышает 0.01 °С. Измерения производятся с интервалом 5 минут. При суточном осреднении данных, состоящих из 288 значений, погрешность уменьшается до 0.001 °С. Амплитуда сезонного годового хода графика температуры воды не превышает значение 0.022 °С, что соответствует изменению удельного сопротивления породы 0.14 Ом·м, тогда как сезонные вариации кажущегося сопротивления пород в скважине превышают 6 Ом·м. Из этого сделан вывод, что температура воды в скважине не оказывает существенного влияния на кажущееся сопротивление.

Для анализа влияния осадков на кажущееся сопротивление используется метод наложения эпох. Анализ по 18 эпизодам усредненного графика не дает основания считать, что осадки оказывают влияние на кажущееся сопротивление, так как аномалии кажущегося сопротивления имеются как до, так после осадков, в то время как они должны быть только после осадков. Поэтому делается вывод о том, что обнаруженные аномалии носят случайный характер.

Для сезонных рядов уровня воды в водохранилище и кажущегося сопротивления наблюдается высокая корреляция. Максимальная корреляция достигается при сдвиге графиков на 12 суток, т.е. когда изменение кажущегося сопротивления отстает от изменения уровня воды в водохранилище. Такой же характер зависимости наблюдается и для рядов электрического поля. Механизм отставания сезонных вариаций от уровня воды в водохранилище автор работы объясняет тем, что процесс фильтрации воды из водохранилища в массив требует определенного времени. В период сезонного наполнения водохранилища повышение гидростатического давления в порах и трещинах породы приводит к деформации расширения породы, уменьшению кажущегося сопротивления и повышению электрического поля, а уменьшение давления – увеличению кажущегося сопротивления и уменьшению электрического поля. Для рядов с отфильтрованным сезонным ходом взаимнокорреляционная функция не превышает значений 0.3 – 0.35, что свидетельствует об отсутствии значимой статистической связи. Это означает, что внутригодовые вариации уровня воды в водохранилище не оказывают заметного влияния на кажущееся сопротивление.

В 4 главе исследована связь между электрическими параметрами пород и сейсмичностью района. Для этого построена карта эпицентров землетрясений, начиная $M > 3.0$, произошедших внутри площади, ограниченной радиусом 100 км от плотины Чиркейской ГЭС. Для всех землетрясений были вычислены амплитуды предвестниковых деформаций по известной формуле М.П. Добровольского, позволяющей учитывать энергию землетрясения и расстояние до пункта наблюдения. Для сравнения во временном интервале с землетрясениями использовался график кажущегося сопротивления с удаленным сезонным ходом. Анализ данных показал, что радиусе до 25 км от плотины за исследуемый период произошло 24 землетрясения с $M \geq 3.3$ на глубинах 5-10 км, из них 6 в радиусе до 10 км. Одно глубокое землетрясение с $M=4.8$.

По расчетным данным максимальное значение деформации $\Delta\varepsilon/\varepsilon=1.8 \cdot 10^{-7}$ соответствует землетрясению с $M=3.8$, произошедшему 07.09.2012 под плотинной на глубине 10 км. После данного землетрясения произошло аномальное понижение кажущегося сопротивления на 6 Ом·м, которое продолжалось в течение 12 месяцев. Следует отметить, что внутри данной аномалии под водохранилищем произошло еще два землетрясения. Первое 05.11.2013 на глубине 5 км с $M=3.5$ ($\Delta\varepsilon/\varepsilon=1.1 \cdot 10^{-7}$) и второе 31.03.2013 на глубине 50 км с $M=4.8$ ($\Delta\varepsilon/\varepsilon=6.7 \cdot 10^{-7}$).

8). В периоды близкие к этим толчкам наблюдаются скачкообразные изменения кажущегося сопротивления.

Один эпизод не позволяет сделать однозначный вывод о деформации разуплотнения массива горных пород, но он показывает, что данная аномалия может быть связана с увеличением порово-трещинного объема породы в области расположения измерительного зонда. Этот вывод подтверждается данными, полученными на этой скважине ранее другими авторами. По их данным после сильного Курчалойского землетрясения 2008 г. с $M=5.7$ в Чеченской Республике на эпицентральной расстоянии 50 км от плотины Чиркейской ГЭС наблюдалась аномалия подобной формы, уменьшение кажущегося сопротивления на 29%, которое длилось 9.6 месяцев. Общим является также вариации кажущегося сопротивления в периоды восстановления аномалий. С физической точки зрения скачки вполне могут быть связаны с подвижками в массиве по крупным трещинам, в результате которых снятие упругих напряжений приводит к закрытию трещин.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В итоге можно констатировать, что диссертант в полной мере выполнил поставленную перед ним задачу, связанную с техногенным влиянием крупного водохранилища на окружающую среду на примере результатов наблюдений за электрическими параметрами горных пород в районе Чиркейской ГЭС. Обосновал эффективность метода электрического зондирования для наблюдений за изменением напряженно-деформированного состояния скального массива в районе плотины ГЭС, тем самым обозначил важное значение данного метода исследований для практического применения.

Замечания по содержанию диссертации:

1. Во второй главе параграф 2.4 (стр. 36) очень коротко описаны графики уровня водохранилища и электрического поля (рис. 2.4), полученные авторами [Даниялов и др. 2007] за период 1980-1981 гг. Во-первых, не сказано в какой скважине получены эти данные, во-вторых, в дальнейшем нигде нет упоминания о них, хотя они представляют большой интерес, например, на графике электрического поля видны аномалии колебательного характера с амплитудами 150-160 мВ. Эти данные следовало бы рассмотреть в анализе данных.
2. На рисунках 3.3.3, 3.3.4 и 3.3.5 (стр. 56, 57) не приведены подписи величин, отложенных по осям координат и их размерности. В целом в главе 3 в большинстве рисунков использован неоправданно мелкий шрифт для обозначений величин по осям координат.
3. В главе 3 параграф 3.4.1. детальный анализ различных моделей температуры и давления атмосферы можно было сократить, просто ограничиться выбранными уравнениями регрессии.
4. В параграфе 3.4.4. ничего не сказано о природе общего тренда ряда температуры воды в скважине № 2, а он есть и довольно большой, достигает величины 1.2 °С за 3.5 года. Надо было бы дать какое-то объяснение данному эффекту.
5. В разделе 3.4.5 (стр. 114-117) рассматривается вопрос о влиянии сезонного изменения удельного сопротивления воды в водохранилище на кажущееся сопротивление горной породы в окрестности экспериментальной скважины. Ссылаясь на закон Арчи, сделана оценка возможного изменения величины кажущегося сопротивления горной породы. Из сравнения оценки с экспериментальными данными сделан вывод о том, что минерализация воды в водохранилище не оказывает влияния на степень минерализации воды в скважине. Автору следовало бы сделать оценки более аккуратно и показать численные значения величин, входящих в

формулы Арчи, учитывая то, что наряду с изменением минерализации воды и значения коэффициента пористости могут не оставаться постоянными при изменении уровня воды в водохранилище. С другой стороны, как было отмечено в работе, этот вопрос можно снять экспериментально, дополнив комплекс оборудования на экспериментальной скважине датчиками электропроводности воды в скважине. Эти измерения представляют большой интерес, поскольку в дальнейшем на основе закона Арчи можно получить расчетные значения коэффициента пористости горной породы при известных структурных параметрах. Изучение характера изменения пористости во времени относительно изменения уровня воды в водохранилище позволит получить дополнительную информацию о геодинамических процессах в горном массиве в окрестности скважины.

Сделанные замечания не влияют на оценку научной квалификации работы. Диссертация является завершенным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Полученные результаты можно квалифицировать как решение задач в области техногенного воздействия крупного водохранилища на окружающую среду, а также разработки метода контроля за напряженно-деформированным состоянием скальных массивов в районах ГЭС. Результаты работы достоверны и обладают новизной, а защищаемые положения достаточно обоснованы. Считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор И.Ш. Идармачев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геология и геофизические методы поисков полезных ископаемых. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Доктор физико-математических наук

 С.П. Соловьев
Дата 30.10 2017 года

Официальный оппонент, Сергей Петрович Соловьев,

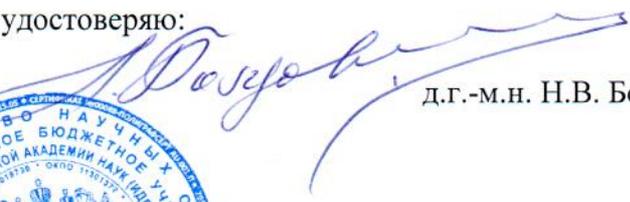
Ведущий научный сотрудник лаборатории приповерхностной геофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН)

Адрес: 119334, Ленинский проспект, 38, корпус 1, ИДГ РАН,
Тел.: +7(499)137-66-11, e-mail: soloviev@idg.chph.ras.ru

«Я, Соловьев Сергей Петрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку»

Подпись Соловьева Сергея Петровича удостоверяю:
Ученый секретарь ИДГ РАН




д.г.-м.н. Н.В. Болдовский