

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРОД В СКВАЖИНЕ ВОЗЛЕ ПЛОТИНЫ ГЭС

<sup>1</sup>Дещеревский А.В., <sup>2</sup>Идармачев И.Ш.

<sup>1</sup>*Институт физики Земли РАН*

<sup>2</sup>*Институт геологии Дагестанского научного центра РАН*

В статье сделан анализ временных рядов уровня воды в Чиркейском водохранилище и кажущегося электрического сопротивления пород в скважине, расположенной в районе правого борта высотной плотины ГЭС для периода наблюдений 2010-2014 гг. Для расчета сезонных параметров рядов использовался пакет программ WinABD. На коротких периодах (менее года) влияние уровня воды в водохранилище на кажущееся сопротивление отсутствует. Для сезонных вариаций имеется довольно близкое совпадение фаз, а корреляция составляет - 0,94. Однако совпадение фаз все же неточное, для кажущегося сопротивления задержка составляет около 12 суток, а форма сезонных вариаций не совпадает: на сезонной кривой кажущегося сопротивления имеется резкий скачок в июне-августе, которого нет на кривой изменения уровня. Это означает, что прямого влияния уровень в водохранилище на кажущееся сопротивление не оказывает. Однако возможно опосредственное влияние через промежуточный третий фактор, действующий с определенной задержкой и генерирующий «пороговый» эффект в период разгрузки водохранилища до минимального уровня.

В качестве такого третьего фактора могут выступать деформационные или фильтрационные процессы. Для построения более конструктивной модели влияния (либо для обоснованного исключения соответствующих гипотез) необходимо привлечение дополнительных данных.

**Ключевые слова:** кажущееся электрическое сопротивление, скважина, среднесезонная функция, взаимнокорреляционная функция.

### **Ведение**

Изучение опасных геологических явлений в районах крупных ГЭС с высотными плотинами является важной задачей для проектировщиков и строителей гидросооружений. Авария на Саяно-Шушинской ГЭС вновь обратила внимание геофизиков на данную проблему.

В Дагестане сильное землетрясение с магнитудой  $M=6.6$ , которое произошло вблизи тогда еще строящейся Чиркейской ГЭС, вызвало обрушение скальных массивов в каньоне р. Сулак, где началась возводиться плотина высотой 232 м. В образовавшиеся трещины были заделаны цементным раствором.

В дальнейшем исследование сейсмичности района Чиркейской ГЭС показало увеличение активности при достижении уровня воды в верхнем бьефе плотины 120 м [1]. После резкого увеличения числа слабых толчков через 4 месяца с начала заполнения было зарегистрировано первое сильное землетрясение с  $M=5,0$  на расстоянии 5-7 км от плотины ГЭС, еще через 17 суток в южной окрестности водохранилища произошло землетрясение с  $M=5.2$  с многочисленными афтершоками. Параметр сейсмической активности  $A_{10}$ , который определяется площадью исследований, периодом наблюдений и числом землетрясений, показал, что после наполнения водохранилища он увеличился в 50 и более раз по сравнению с периодом до заполнения. Последующие после наполнения водохранилища годы сейсмичность района остается высокой, при этом наблюдается постепенное ее затухание. Для периода 1975 -1983 гг. амплитуды графика  $A_{10}$  превышали среднее многолетнее значение до заполнения в 10 раз. Данный факт показывает, что водохранилище оказывает свое влияние на земную кору не только во время заполнения, но и в последующий период сезонных колебаний, которые достигают 37-40 м в год. Анализ графика  $A_{10}$  показывает, что пики его совпадают с максимумами сезонных увеличений уровня воды в водохранилище с интервалом 1 год. Механизм такой связи пока неизвестен, но можно предположить, что

переменная компонента нагрузки водохранилища вызывает нарушение равновесного состояния земной коры.

Анализ других данных, полученных в районе Чиркейской ГЭС, например, электрического сопротивления скальных пород в скважине в правом борту плотины, показал наличие высокой корреляции с сезонным изменением уровня воды в водохранилище, порядка -0,8 [2]. Однако наличие статистической связи еще не означает, что изменение уровня водохранилища оказывает прямую влияние на электрическое сопротивление породы, поэтому она должна подтверждаться еще и физической моделью взаимодействия.

В настоящей работе нами сделан более детальный анализ рядов уровня воды в верхнем бьефе плотины Чиркейской ГЭС ( $H_{вдхр}$ ) и кажущегося электрического сопротивления пород в скважине ( $R_k$ ), так он может выявить новые факты, подтверждающие механизм воздействия заполнения водохранилища на земную кору.

Сам параметр  $R_k$  является функцией от удельных сопротивлений пород ( $\rho_p$ ) различных слоев геоэлектрического разреза, их мощностей. Для однородной среды  $R_k = \rho_p$ . Измерение  $R_k$  производится четырехэлектродным зондом, питающие электроды которого расположены на глубинах 90 и 99 м. Верхний электрод зонда находится ниже минимального сезонного уровня воды в скважине на 30 м, что обуславливает стабильность измеряемого параметра от различных помех экзогенного характера.

Измерения  $R_k$  производятся непрерывно с помощью специально разработанной установки [3], которая предназначена для высокоточных режимных наблюдений. Данная установка состоит из платы сбора данных, программного обеспечения, стабильного генератора тока и долговременных свинцовых электродов, приспособленных для установки их в скважине. Для анализа используются среднесуточные данные  $R_k$ , относительная погрешность которых не превышает 0,1% и данные ежедневных измерений уровня воды в верхнем бьефе плотины, которые осуществляются службой дирекции Чиркейской ГЭС.

## 1. Методика анализа получения исходных данных

Графики исходных рядов  $H_{вдхр}$  и  $R_k$  за период 2010-2014 гг. показаны на рис. 1.

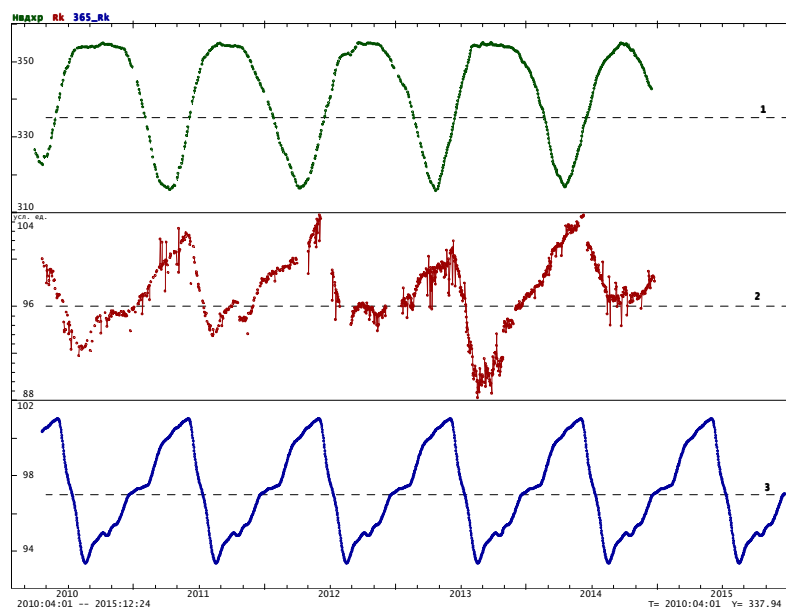


Рис. 1. Графики: 1-  $H_{вдхр}$ ; 2-  $R_k$ ; 3-  $365 \cdot R_k$

Как для  $H_{вдхр}$ , так и для  $R_k$  характерен сильный сезонный ход. Для любых рядов, содержащих регулярную вариацию с общим периодом очень высока вероятность совпадения этих составляющих в фазе или в противофазе. Нулевая корреляция между такими рядами будет наблюдаться только в исключительных случаях. Поэтому целесообразно отдельно рассматривать сезонные и остаточные компоненты вариаций.

Остаточная компонента вариаций по свойствам довольно близка к стационарному случайному процессу. Для выяснения наличия связи между такими сигналами можно использовать обычные статистические методы – такие, как корреляционный анализ (с учетом возможной задержки во времени). То есть, статистические методы могут применяться независимо от наличия или отсутствия физической модели, объясняющей влияние атмосферных эффектов на  $R_k$  (либо отсутствие такого влияния). Затем результаты расчетов можно пытаться интерпретировать в рамках тех или иных физических моделей.

Для сезонной компоненты формальный анализ малополезен, так как в общем случае гипотеза об отсутствии связи для таких сигналов обычно не может быть отклонена с приемлемым уровнем значимости. Поэтому при анализе сезонных вариаций надо исходить преимущественно из физических, а не статистических соображений.

## 2. Оценка сезонной компоненты вариаций для $R_k$

Для ряда  $R_k$  при построении сезонной модели надо учесть два момента.

Во-первых, в начальный период наблюдений (до середины 2012 г.) наблюдения выполнялись реже, чем во вторую половину срока. Поэтому при формальном суммировании данных за первую и вторую часть срока сравнительный «вес» первых наблюдений будет занижен. Очевидно, что это не совсем правильно, т.к. сезонный ход  $R_k$  имеет довольно плавную форму и наблюдения с периодичностью раз в три дня аппроксимируют сезонный ход практически так же хорошо, как и ежедневные. Чтобы выровнять вклад первой и второй части срока в сезонную функцию, целесообразно поэтому интерполировать пропуски в наблюдениях, по крайней мере короткие.

Во-вторых, в ряде  $R_k$  периодически прослеживаются высокочастотные флуктуации (как, например, в мае-июне 2013 г.) Чтобы уменьшить возможное искажение формы среднесезонной функции (ССФ), их лучше отфильтровать перед расчетом ССФ. Поскольку продолжительность таких экскурсов не превышает 1-3 суток, для фильтрации можно использовать медианное сглаживание в окне шириной 7 суток.

Таким образом, для оценки сезонной вариации  $R_k$  были выполнены следующие действия:

- 1) Сглаживание скользящей медианой в окне 7 суток с заполнением пропусков в ряде тренда.
- 2) Расчет ССФ по методу [3] со сглаживанием 30 суток (рис. 1, №3).

На рис. 2 показана взаимнокорреляционная функция (ВКФ), рассчитанная не по исходным рядам, а по среднесезонным функциям  $365\_N_{вдхр}$  и  $365\_R_k$ , так как для них ВКФ получается более гладкой.

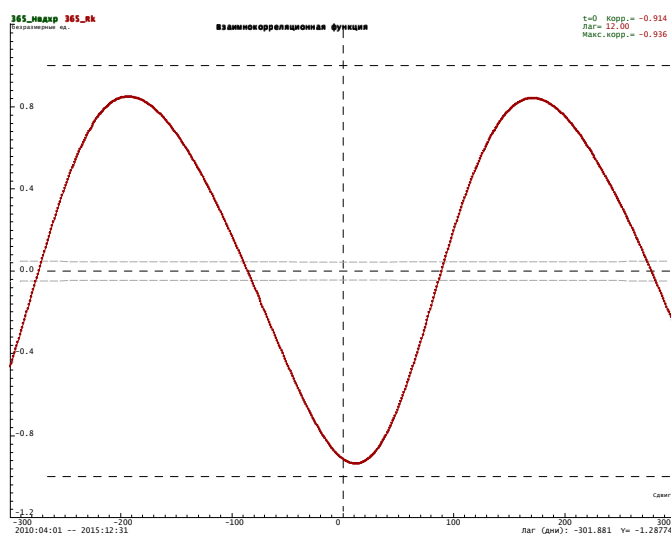


Рис. 2. Взаимнокорреляционная функция для среднесезонных рядов  $365\_N_{вдхр}$  и  $365\_R_k$

Максимальная корреляция  $-0,94$  получается при сдвиге 12 суток. Сопротивление отстает от уровня воды. Этот результат нуждается в комментариях.

Во-первых, факт запаздывания на 12 суток говорит о том, что уровень воды в водохранилище не влияет на сопротивление напрямую (если бы это было так, то задержка бы отсутствовала).

Во-вторых, корреляция все-таки довольно высокая:  $-0,94$ , а задержка не очень большая. Это означает, что полностью исключить физическое влияние уровня на сопротивление нельзя. Однако такое влияние может проявляться только опосредственно, через какой-то третий процесс, который развивается в течение нескольких суток и с некоторым запаздыванием проявляется в изменении сопротивления.

В качестве такого «третьего процесса» может выступать деформационный процесс или, например, фильтрационный. Однако любая модель, предполагающая физическую зависимость сопротивления от изменений уровня, должна объяснять резкий скачок сопротивления в июне-августе. Ведь на графике сезонного хода уровня нет аналогичной резкой особенности. Это означает, что процесс, инициированный разгрузкой водохранилища, должен развиваться нелинейно и резко менять свои характеристики в тот момент, когда уровень водохранилища достигает минимальной отметки. Например, это может быть резкое изменение минерализации подземных вод в связи с изменением направления фильтрационного потока. Или какой-то скачок в характеристиках породы в момент, когда нагрузка на породу минимизируется. Например, раскрытие трещин и поступление в них воды с более сильной минерализацией, которая до этого была «заперта» в относительно более хорошо растворимых пластах. В общем, с этим надо разбираться.

Конечно, такая интерпретация не является единственно возможной. Вполне может быть, что сезонные вариации уровня и сопротивления вызваны разными, никак не связанными между собой причинами. Однако чтобы обосновано ответить на этот вопрос, необходимо получить и проанализировать дополнительные данные, в первую очередь о минерализации воды и о деформациях.

### **Выводы**

Для сезонных вариаций имеется довольно близкое совпадение фаз, а корреляция составляет  $-0,94$ . Однако совпадение фаз все же неточное (по ВКФ задержка около 12 суток), а форма сезонных вариаций не совпадает: на сезонной кривой  $R_k$  имеется резкий скачок в июне-августе, которого нет на кривой изменения уровня. Это означает, что прямого влияния уровень в водохранилище на  $R_k$  не оказывает. Однако возможно опосредственное влияние через промежуточный третий фактор, действующий с определенной задержкой и генерирующий «пороговый» эффект в период разгрузки водохранилища до минимального уровня.

В качестве такого третьего фактора могут выступать деформационные или фильтрационные процессы. Для построения более конструктивной модели влияния (либо для обоснованного исключения соответствующих гипотез) необходимо привлечение дополнительных данных.

### **Литература**

1. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Алиев И.А., Абдулаев Ш.-С.О., Идармачев А.Ш. Возбужденная сейсмичность в районе Чиркейского водохранилища и ее проявление в геофизических полях. Тр. Института геологии Дагестанского научного центра РАН. Махачкала.: «Aleph». 2012. Вып. 59. 103 с.
2. 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 (науки о Земле). Махачкала. 2014. С. 11-15.
3. Идармачев Ш.Г., Алиев М.М., Абдулаев Ш.-С.О., Хаджи Б.А. Станция для электрического зондирования «Георезистор». Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. Мат. Межд. конф. Воронеж. 2001. С. 86-87.
4. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Некоторые вопросы методики оценки среднесезонных функций для геофизических данных. М.: ОИФЗ РАН, 1999б. 40 с.