

УДК 550.348.098.64

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20905

## О СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЧИРКЕЙСКО-ИРГАНАЙСКОГО УЗЛА СУЛАКСКОГО КАСКАДА ГЭС

© 2016 О.А. Саидов, к.г.-м.н.

Дагестанский филиал Единой ГС РАН, 367008, Республика Дагестан,  
г. Махачкала, ул. Белинского, 16,  
e-mail: omarsaidov@yandex.ru

Показано, что заполнение и эксплуатация водохранилища Ирганайской ГЭС существенно не влияет на сейсмический режим исследуемой территории.

В результате длительной эксплуатации водохранилища Чиркейской ГЭС (более 40 лет) изменились реологические свойства геологической среды и, соответственно, сейсмический режим, прилегающей к водохранилищу территории, что отразилось на величине угла наклона графика повторяемости.

**Ключевые слова:** сейсмичность, сейсмические события, гистограмма, энергетический класс, распределение, заполнение, эксплуатация, деформация.

### Введение

Землетрясения, связанные с заполнением крупных водохранилищ, отличаются от тектонических землетрясений по режиму выделения сейсмической энергии, распределению во времени форшоков и афтершоков, по соотношению повторяемость – магнитуда [Гупта, Растроги, 1979]. В работе [Соболева, 1980] отмечается изменение механизмов очагов слабых землетрясений при интенсивном заполнении водохранилища Нурекской ГЭС, в частности, изменение осей сжатия в очагах, расположенных к юго-западу и северо-востоку от глубоководной части водохранилища, что вызывается упругим прогибанием дна водохранилища.

Нами расчетным путем оценены величины деформаций прогибания горных пород у основания водохранилища Чиркейской ГЭС (объем  $3 \times 10^9$  м<sup>3</sup>) [Саидов, 1984]. Максимальное значение прогибания (8 см) отмечается под ложем водохранилища на глубине 1 км. Погружение поверхности охватило площадь не менее 1000 км<sup>2</sup>, что превышает площадь зеркала водохранилища примерно в 40 раз и охватывает зону расположения водохранилища Ирганайской ГЭС.

Как известно, заполнение водохранилища Чиркейской ГЭС, особенно его первый этап, вызвало усиление сейсмической активности прилегающей территории [Левкович и др., 1982]. Такие значимые сейсмические события, как Верхнекаранайский рой землетрясений 9–11 энергетического класса в октябре 1974 года, Салатаусское землетрясение 13 энергетического класса 23 декабря 1974 года приурочены к зонам, где отмечаются максимальные скорости изменения градиента деформаций прогибания [Саидов, 1984].

Таким образом, заполнение крупного водохранилища в сейсмически активном регионе, каковым является область Дагестанского клина, где и расположено водохранилище Чиркейской ГЭС, показало, что возникающие в результате заполнения водохранилища деформации прогибания являются одной из причин возникновения землетрясений техногенной природы и дополнительным фактором способствующим

щим развитию сейсмического процесса. В связи с тем, что район расположения Ирганайского водохранилища подпадает в зону деформаций прогибания Чиркейского водохранилища, интерес представляет, как дополнительная нагрузка веса воды водохранилища Ирганайской ГЭС повлияла на сейсмический режим указанной территории.

### Обсуждение результатов

Рассмотрим сейсмический режим территории, прилегающей к Чиркейско-Ирганайскому узлу Сулакского каскада ГЭС, за 2005–2010 годы в радиусе до 40 км от Ирганайского водохранилища, в периоды его заполнения и эксплуатации.

На рис. 1 представлен график заполнения и эксплуатации водохранилища Ирганайской ГЭС. Первый этап заполнения водохранилища начался еще в 1997 году, и водохранилище было заполнено только на 1/3 его объема. Второй этап заполнения водохранилища длился с июля 2006 года по апрель 2008 года, когда уровень воды повысился на 20 м, а третий этап интенсивного заполнения продолжался с апреля 2008 года по октябрь 2008 года, когда уровень воды поднялся еще на 27 м (до проектной абсолютной отметки 547 м). Водоохранилище Ирганайской ГЭС не является крупным ( $6,20 \times 10^8 \text{ м}^3$ ). По объему воды оно, почти в 5 раз меньше, чем водохранилище Чиркейской ГЭС ( $3 \times 10^9 \text{ м}^3$ ). Тем не менее, нами предполагалось, что дополнительная нагрузка на горный массив, который находится в зоне деформаций прогибания Чиркейского водохранилища, может вызвать изменение сейсмического режима данной территории.

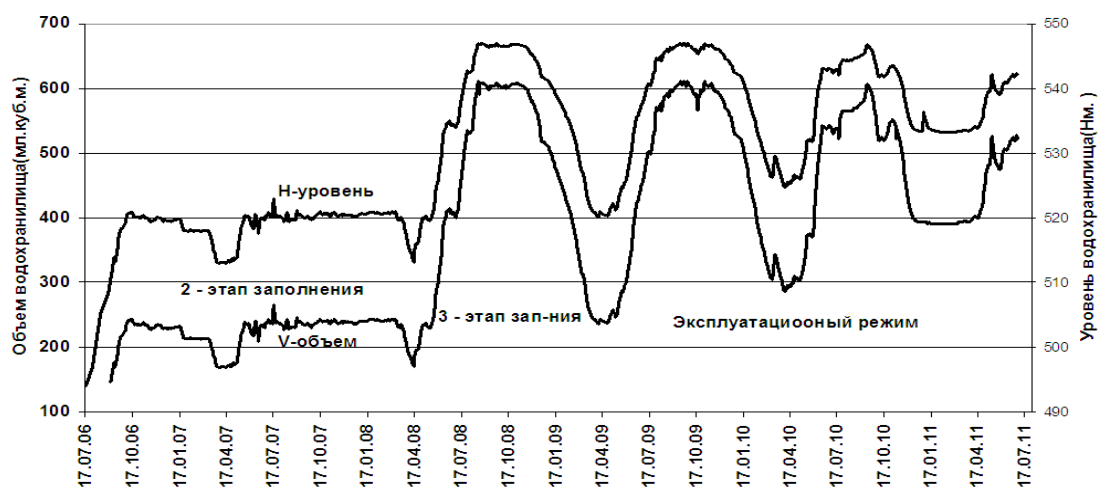


Рис. 1. Уровень и объем водохранилища Ирганайской ГЭС (2006–2011 гг.)

На рис. 2 представлены сейсмические события 6–12 энергетического класса (всего их 440) в радиусе до 40 км от Ирганайского водохранилища за период 01.2005–12.2010 годы, по данным Дагестанского филиала ГС РАН. На рисунке показаны контуры водохранилищ Чиркейской и Ирганайской ГЭС, а также сейсмические станции ДФ ГС РАН, которые расположены на исследуемой территории. Указанный интервал времени охватывает период, как до второго этапа заполнения водохранилища, так и периоды интенсивного его заполнения и эксплуатации.

Как видно на рисунке, сейсмические события распределены неравномерно. Ли-

нией АБ их можно разделить на 2 участка. Большинство сейсмических событий группируется вокруг Чиркейского водохранилища, тогда как на территории расположения водохранилища Ирганайской ГЭС их очень мало. Некоторое скопление сейсмических событий можно отметить к юго-востоку от водохранилища.

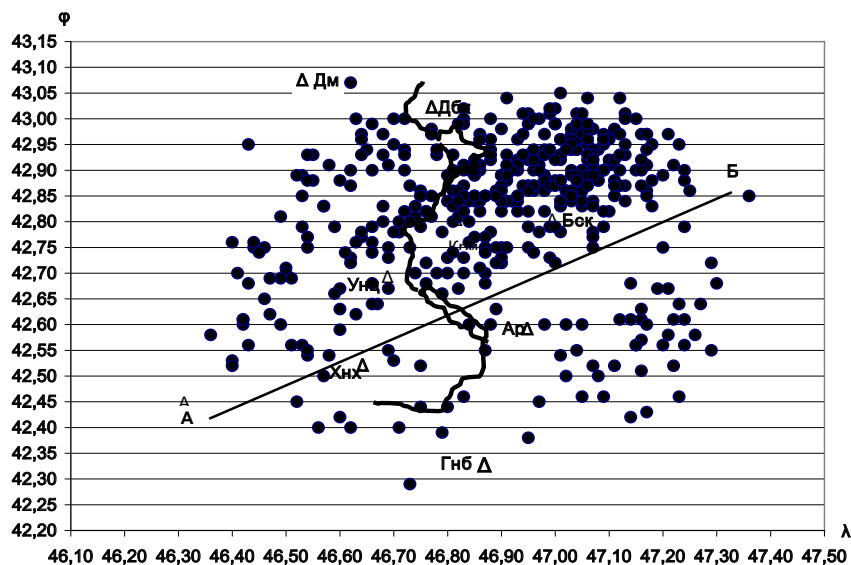


Рис. 2. Сейсмичность Чиркейско-Ирганайского узла Сулакского каскада ГЭС за период 2005–2010 годы

Детальное распределение сейсмических событий по энергетическим классам и по глубине представлено в таблице 1.

Таблица 1

**Распределение землетрясений по глубине и энергетическим классам на территории Чиркейско-Ирганайского узла Сулакского каскада ГЭС, за период 2005–2010 гг.**

Класс земл-й / Глубина очагов, км	6	7	8	9	10	11	12
	Кол-во земл-й	Кол-во земл-й	Кол-во земл-й	Кол-во земл-й	Кол-во земл-й	Кол-во земл-й	Кол-во земл-й
2-6	89	83	15	5	1	1	2
6-10	58	31	6	6	0	0	0
10-15	38	17	4	1	4	0	0
15-20	18	9	7	2	0	0	0
20-25	7	9	2	0	0	0	0
25-30	2	4	0	1	0	1	0
30 и более	6	6	4	1	2	0	0
<b>Всего зем-й</b>	<b>218</b>	<b>159</b>	<b>38</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Район расположения водохранилища Ирганайской ГЭС находится южнее Сулакского выступа, относится к Известняковому Дагестану. В соответствии с картой

сейсмического районирования попадает в область возможных сотрясений с магнитудой 5,5 и может быть подвергнут сейсмическому воздействию благодаря распространению сотрясений на краевой части Терско-Каспийского прогиба в области его сочленения с отрогами Известнякового Дагестана, включая Сулакский выступ.

Как известно, район расположения Чиркейского водохранилища характеризуется сложным геологическим строением с широко развитой сетью глубинных разломов и высокой сейсмической активностью [Левкович и др., 1982].

Таким образом, по геолого-тектоническим условиям район расположения Чиркейского водохранилища отличается от Ирганайского водохранилища, что, по всей вероятности, и отражается на сейсмическом режиме. Территория, примыкающая к водохранилищу Ирганайской ГЭС, остается практически асейсмичной. В связи с этим следует отметить следующее обстоятельство заключающееся в том, что заполнение водохранилища Ирганайской ГЭС происходило поэтапно в течение практически 12 лет с перерывами и небольшими объемами воды, кроме третьего его интенсивного этапа заполнения. Такой режим заполнения водохранилища, по всей вероятности, не повлиял на накопление упругих напряжений от дополнительной нагрузки. Энергия дополнительных упругих напряжений, по-видимому, медленно диссипировалась в окружающее пространство, не успевая накопиться.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам за период 2005–2010 годы в радиусе до 40 км от водохранилища Ирганайской ГЭС. Как видно из рисунка, для исследуемого района наиболее представительны землетрясения энергетического класса 6 и 7. Их количество составляет более 85% от общего количества, а землетрясения 8–12 энергетического класса менее 15%.

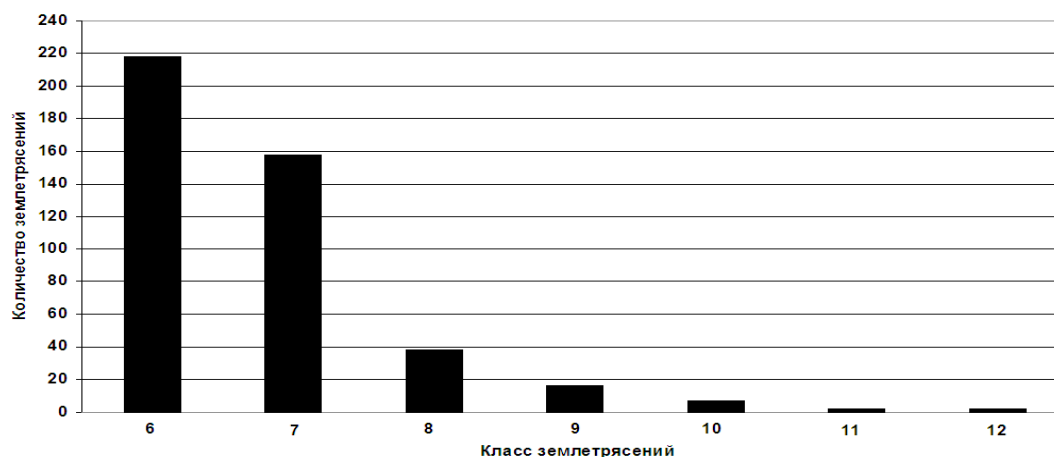


Рис. 3. Гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам за период 01.2005–12.2010 годы

Рассмотрим распределение землетрясений по энергетическим классам в соответствии с этапами заполнения водохранилища Ирганайской ГЭС и выполним их сравнительный анализ, поскольку такой анализ должен показать отсутствие или наличие детерминированной связи между количеством сейсмических событий и изменением уровня и соответственно объемного режима водохранилища.

На рис. 4 представлена гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам за период 01.2005–07.2006 годы. Данный период длительностью временного интервала более полутора лет, характеризуется стабильным уровнем и объемом воды в водохранилище. От первого этапа заполнения водохранилища прошло уже 8 лет и гравитационное воздействие воды на сейсмический режим прилегающей территории можно считать практически нивелированным.

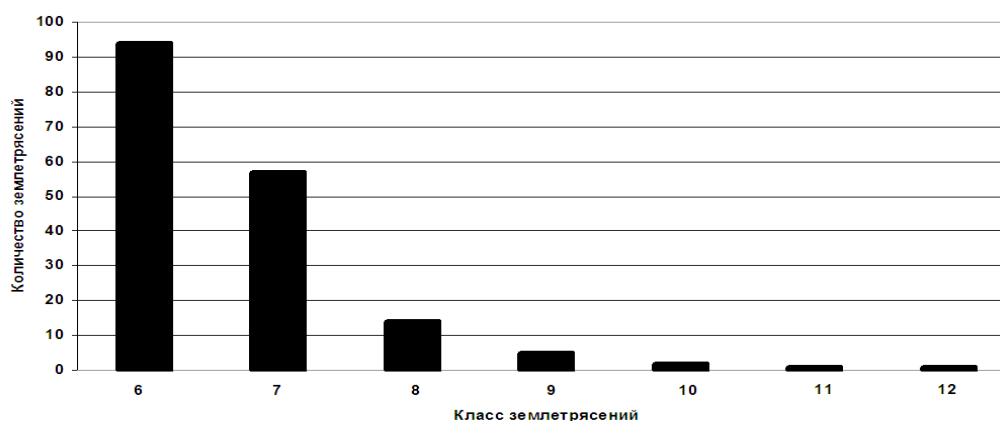


Рис. 4. Гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам за период 01.2005–07.2006 годы

Общее количество сейсмических событий составляет 174, причем представительными являются сейсмические события 6 и 7 энергетического класса, их количество – 151, что составляет примерно 86% от общего количества сейсмических событий за этот период. В то же время, период характеризуется сейсмическими событиями более высокого 10, 11 и 12 энергетического класса.

На рис. 5 представлена гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам в период второго этапа заполнения водохранилища Ирганайской ГЭС (08.2006–04.2008 годы). Данный период характеризуется тем, что сейсмическая активность снизилась, хотя временной интервал данного этапа чуть больше, чем предыдущего этапа и уровень водохранилища повысился на 20 метров. Общее количество сейсмических событий составляет 82, что в 2 раза меньше по сравнению с предыдущим периодом. Представительными остаются сейсмические события 6 и 7 энергетического класса, их количество 70, что составляет примерно 85% от общего количества сейсмических событий за этот период. В то же время, период характеризуется не только снижением сейсмической активности по сравнению с предыдущим этапом, но и снижением сейсмических событий более высокого энергетического класса (только 1 событие 10 класса). Повышение уровня воды в водохранилище Ирганайской ГЭС на 20 метров, соответственно и его объема в период второго этапа заполнения, не повлияло на повышение сейсмической активности рассматриваемого района.

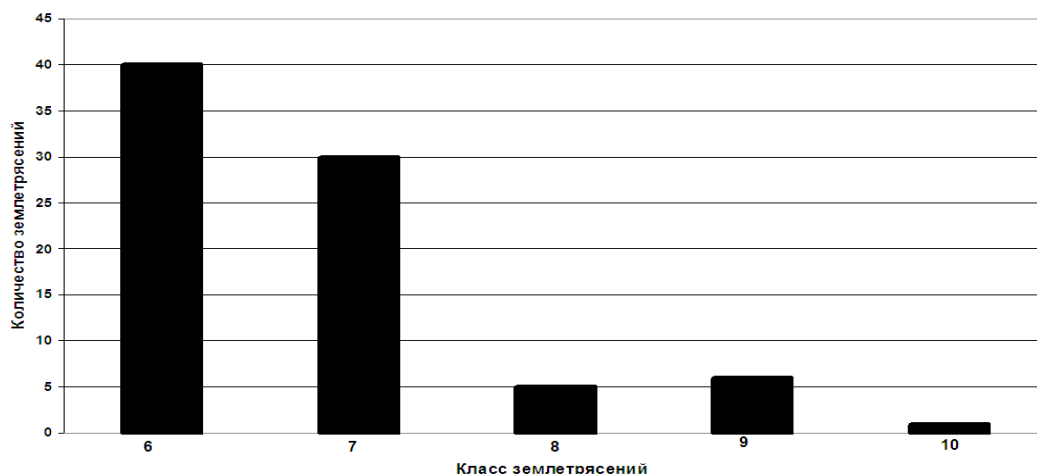


Рис. 5. Гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам в период второго этапа заполнения водохранилища (08.2006-04.2008 гг.)

На рис. 6 представлена гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам в период третьего этапа интенсивного заполнения и последующей эксплуатации водохранилища Ирганайской ГЭС (04.2008-04.2009 гг.).

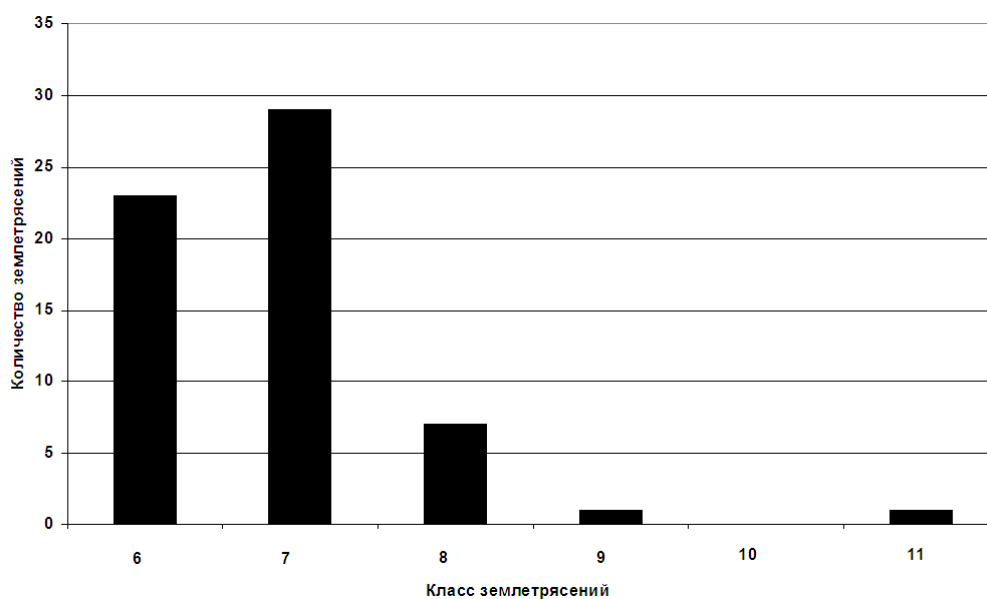


Рис. 6. Гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам в период третьего этапа заполнения и эксплуатации водохранилища (04.2008-04.2009 гг.)

Общее количество сейсмических событий составляет 61, что значительно меньше по сравнению со вторым этапом заполнения водохранилища, хотя уровень воды поднялся еще на 27 метров. Представительными остаются сейсмические события 6 и 7 энергетического класса, их количество – 52, что составляет примерно 83% от общего количества сейсмических событий за этот период. Интенсивное поднятие уровня воды в водохранилище на 27 метров и его снижение примерно на ту же величину не повлияли на повышение сейсмической активности.

На рис. 7 представлена гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам в периоды эксплуатационного режима водохранилища в 2009–2010 годы.

Временной интервал охватывает 2 периода нагрузки и разгрузки эксплуатационного режима водохранилища. Общее количество сейсмических событий составляет 121, из них сейсмические события 6 и 7 энергетического класса – 102 (примерно 84% от общего количества сейсмических событий за этот период). Данный период по длительности временного интервала сопоставим с периодом 2005–2006 годов, когда уровень и объем водохранилища сохранялись стабильными. Сравнение сейсмических режимов обоих периодов показывает, что количество сейсмических событий эксплуатационного периода значительно меньше, чем количество сейсмических событий стабильного периода (см. гистограммы 4 и 7).

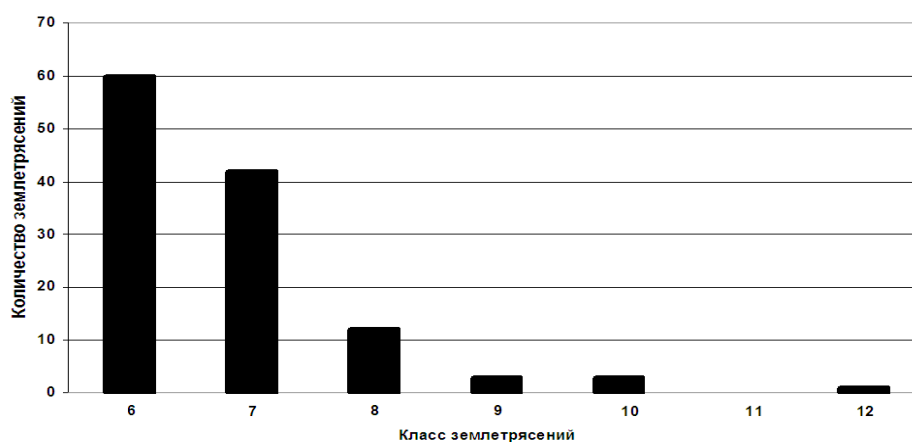


Рис. 7. Гистограмма распределения землетрясений по энергетическим классам в периоды эксплуатационного режима водохранилища (05.2009–12.2010 гг.)

Сравнительный анализ распределения землетрясений по энергетическим классам в соответствии с этапами заполнения водохранилища Ирганайской ГЭС показывает, что детерминированная связь между количеством сейсмических событий с одной стороны и изменением уровня и объемного режима водохранилища с другой, конкретно не выражена. Такое предположение подтверждается и в результате сравнения сейсмического режима периода 2005–2006 годов, когда уровень и объем водохранилища сохранялся стабильным, с сейсмическим режимом второго, третьего этапа заполнения водохранилища и его эксплуатационного режима работы (08.2006–04.2009 гг.), которые характеризуются снижением сейсмической активности.

В связи с этим следует подчеркнуть, что сейсмический режим территории Чиркейско-Ирганайского узла Сулакского каскада ГЭС, по всей вероятности, определяет эксплуатационный режим Чиркейского водохранилища. Он предусматривает ежегодные периодические изменения уровня на 40 метров, что составляет половину объема воды в водохранилище (1,5 млрд. м<sup>3</sup>). Поскольку земная кора под воздействием водной нагрузки в районе водохранилища Чиркейской ГЭС упруго деформируется [Саидов, 1984], то циклические изменения уровня воды и, соответственно, его объема в водохранилище вызывают вынужденные деформационные колебания в земной коре, соответствующие эксплуатационному режиму. При этом горная по-

рода испытывает периодически, то сжатие, то растяжение, в результате чего изменяется его порово-трещинный объем, что в свою очередь приводит к уменьшению прочности пород и, как следствие, изменению реологических свойств геологической среды и формированию очагов землетрясений. Кроме того, при циклическом изменении напряженного состояния твердые тела разрушаются при значительно меньшей нагрузке, чем при однократном деформировании, причем с увеличением числа циклов разрушающая нагрузка уменьшается. Это явление, обусловленное усталостью материала проявляется очень резко [Ярошевский, 1981] и играет, по-видимому, важную роль в сейсмическом процессе исследуемой территории.

На рисунке 8 показан график повторяемости территории прилегающей к Чиркейско-Ирганайскому узлу Сулакского каскада ГЭС в радиусе до 40 км, по сейсмическим данным за период 2005-2010 годы. Угловым коэффициентом графика повторяемости оказался равным  $\gamma = 0,37$ .

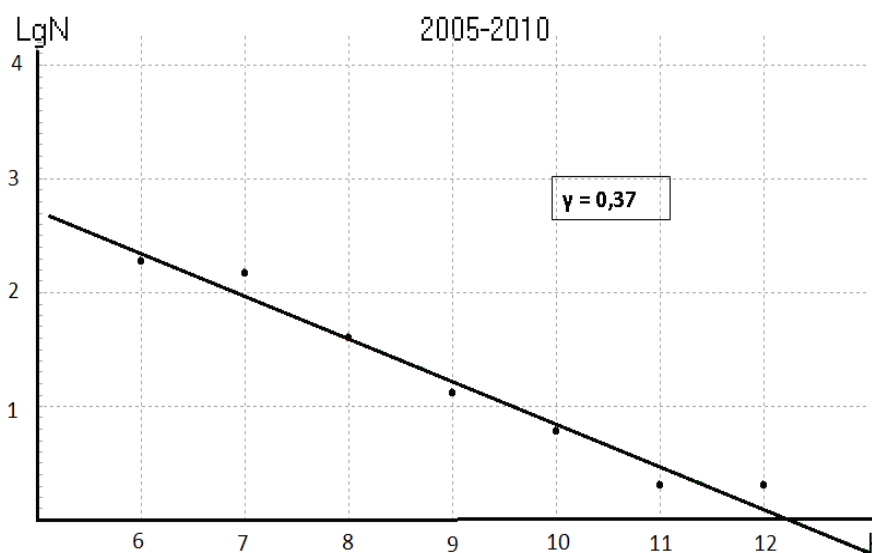


Рис. 8. График повторяемости территории прилегающей к Чиркейско-Ирганайскому узлу Сулакского каскада ГЭС

Как известно, угловым коэффициентом графика повторяемости характеризуют плотностные свойства геологической среды (условная вязкость), ее трещиноватость, раздробленность или консолидированность. Чем консолидированнее геологическая среда, тем выше энергетический класс землетрясения. Как показано в работе [Идармачев и др., 1977], угловым коэффициентом  $\gamma$  до заполнения водохранилища Чиркейской ГЭС равен 0,49, что соответствует значению  $\gamma$  для всей территории Дагестана. После начала заполнения водохранилища изменился сейсмический режим прилегающей территории и величина углового коэффициента снизилась до величины  $\gamma = 0,36$ , что практически совпадает с величиной полученной нами для территории, прилегающей к Чиркейско-Ирганайскому узлу Сулакского каскада ГЭС.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Заполнение и эксплуатация водохранилища Ирганайской ГЭС существенно не влияет на сейсмический режим исследуемой территории.
2. В результате длительной эксплуатации водохранилища Чиркейской ГЭС (около 40 лет) изменились реологические свойства геологической среды и, соответствен-



но, сейсмический режим, прилегающей к водохранилищу территории, что отразилось на величине угла наклона графика повторяемости.

### Литература

1. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. – М.: Мир, 1979.
2. Идармачев Ш.Г., Левкович Р.А. и др. Изменение некоторых характеристик сейсмичности района водохранилища Чиркейской ГЭС в период его заполнения // В кн.: Сейсмический режим территории Дагестана. – Махачкала, 1977. – №1(13). – С. 3–9.
3. Левкович Р.А., Дейнега Г.И., Каспаров С.А. и др. Геодинамический эффект, создания крупных водохранилищ в сейсмоактивных областях. – М.: Наука, 1982.
4. Саидов О.А. Деформации прогибания и возбужденные землетрясения // Изв. АН СССР. Советская геология, 1984. – №1. – С. 120–125.
5. Соболева О.В. Изменение механизмов очагов слабых землетрясений под влиянием Нурекского водохранилища // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1980. – №1. – С. 34–42.
6. Ярошевский В. Тектоника размылов и складок. – М.: Недра, 1981.

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20905

## IN THE SEISMIC ACTIVITY OF THE AREA CHIRKEY- IRGANAYSKAYA NODE SULAK CASCADE OF HPS

© 2016 O.A. Saidov, Sc. Cand. (Geol.-Min.)

Dagestan Branch of the Geophysical Service RAS, 367008, Republic of Dagestan,  
Makhachkala, str. Belinskogo, 16,  
e-mail: [omarsaidov1@yandex.ru](mailto:omarsaidov1@yandex.ru)

It is shown that the filling and operation of reservoirs Irganayskaya HPS does not significantly affect the seismic regime of the study area.

As a result of prolonged operation of the reservoir Chirkeisk HPS (over 40 years) has changed the geological properties of the geological environment and, accordingly, seismic regime adjacent to the reservoir site, which is reflected in the angle of the slope of the recurrence graph.

**Keywords:** seismicity, seismic events, histogram, energy class, distribution, filling, operation, deformation.