

С. В. МЕДВЕДЕВ, В. И. БУНЭ

## ОПЫТ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЙОНА ГИДРОУЗЛА КЫРДЖАЛИ В БОЛГАРИИ

В работе приводятся статистические сведения о сейсмичности Болгарии и отдельных ее районов, дается оценка повторяемости землетрясений, а также описываются результаты проведенных инструментальных измерений для определения сейсмичности района гидроузла Кырджали.

Оценка сейсмичности районов строительства плотин является одной из самых ответственных задач сейсмического районирования. В последние годы в связи с разработкой планов строительства высоких плотин на рр. Нарын и Вахш были проведены специальные сейсмогеологические исследования [1, 2]. Ниже излагаются некоторые результаты изучения сейсмичности района строительства плотины Кырджали на р. Арда в Болгарии. Помимо авторов в исследованиях принимали участие болгарские специалисты Ив. Петков, Ек. Григорова, Л. Христосков, Сн. Манолова [3].

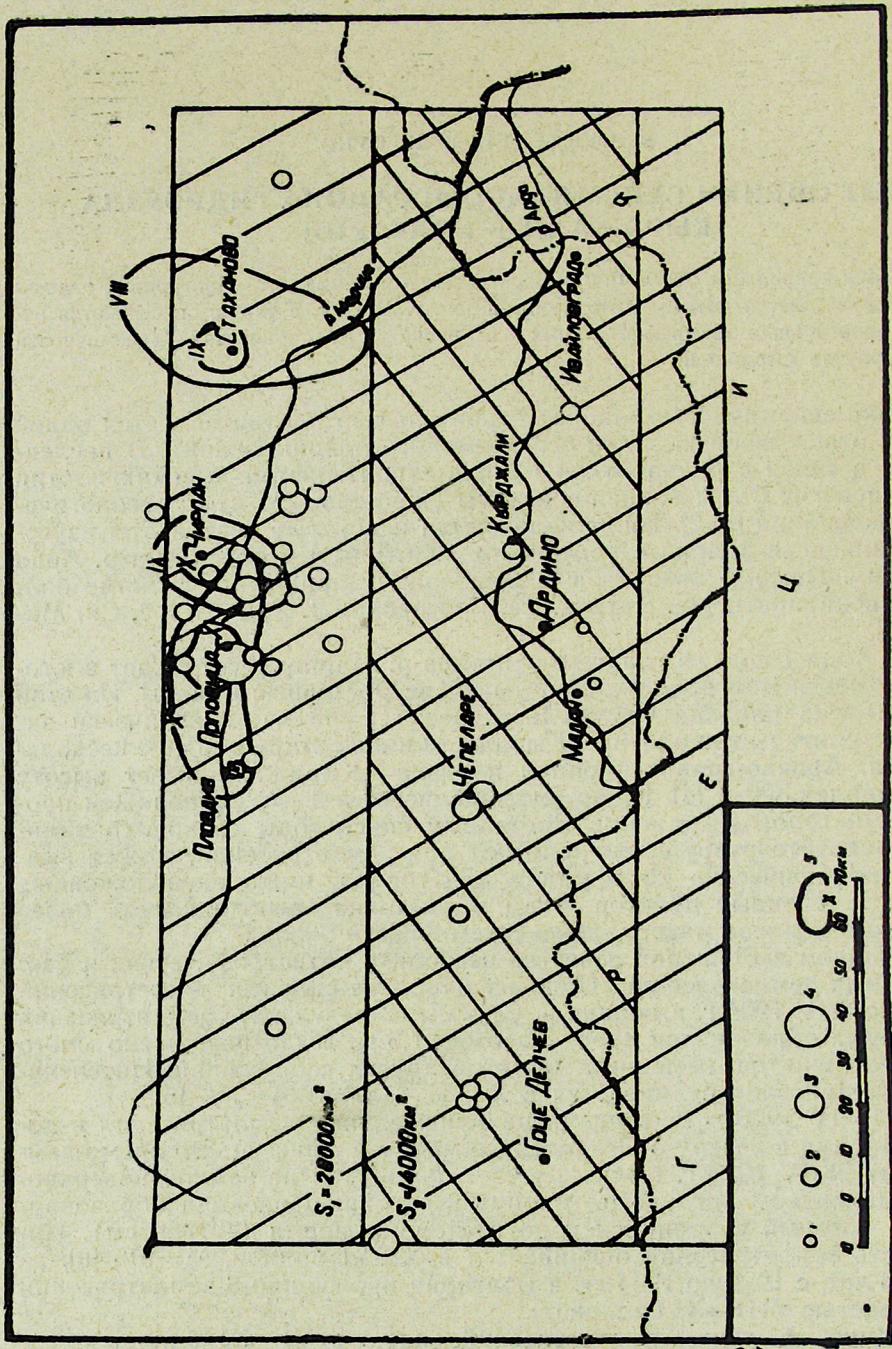
Река Арда (один из главных притоков р. Марицы) протекает в юго-восточной части Болгарии в горном массиве Восточные Родопы. На этой реке построена плотина Студен-Кладенец ( $H=68$  м), практически завершено строительство плотины Кырджали и проектируется еще несколько плотин. Ароочно-гравитационная плотина Кырджали имеет высоту 100 м и пролет 300 м [4]. Ниже плотины, всего в 3 км, расположен промышленный город Кырджали. Внезапный спуск воды из водохранилища, в результате разрушения плотины при землетрясении, может вызвать катастрофические последствия для города, ниже расположенных плотин и населенных пунктов. Этим и вызвана необходимость более тщательного анализа материалов о сейсмичности района.

В прошлом в Болгарии известно несколько катастрофических и разрушительных землетрясений. Одно из наиболее сильных землетрясений произошло 3 IV 1904 г. в долине р. Струмы. В результате землетрясения на р. Струма образовался порог высотою 1,5 м. Было разрушено много населенных пунктов, каменных мостов и других сооружений. Интенсивность землетрясения оценивается в X—XI баллов,  $M=7\frac{3}{4}$  [5].

14 и 18 IV 1928 г. произошли разрушительные землетрясения в долине р. Марица к северу от Родопского массива (фиг. 1). Во время землетрясения 28 IV 1928 г. были отмечены подвижки на земной поверхности. На маленьком притоке р. Марица в селении Поповица образовался порог, который сохранился и по настоящее время (40—50 см). Интенсивность землетрясения оценивается в X—XI баллов,  $M=6\frac{3}{4}$  [6].

За 26 лет, с 1928 по 1954 гг. в Болгарии произошло 8 землетрясений интенсивностью VIII—XI баллов [7].

Сведения об очагах землетрясений силою в VI—XI баллов представлены на карте (фиг. 1). Первые отрывочные сведения о катастрофических землетрясениях в районе Пловдива относятся к 1750, 1799, 1818



и 1895 гг. Наиболее полные сведения собраны о двух X—XI-балльных землетрясениях ( $M=6\frac{3}{4}$ ) в этом же районе в 1928 г. Первые сведения о VI-балльном землетрясении непосредственно в районе г. Кырджали относятся к 1906 г.

Таблица 1  
Количество очагов землетрясений различной интенсивности,  
зарегистрированных в Болгарии с 1928 по 1954 гг.

	Интенсивность					
	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Число землетрясений	47	17	5	1	1	1

На основании изучения соотношений между числами землетрясений с разной энергией в очаге в различных сейсмических районах установлено, что число более слабых землетрясений закономерно увеличивается. Эту закономерность удобно представить в виде графиков повторяемости. Для построения такого графика землетрясения разбиваются на определенные классы по энергии упругих волн или по магнитуде. Землетрясения в Болгарии в настоящее время еще не классифицированы по энергетическим классам. Сведения о магнитудах ( $M$ ) имеются только для наиболее сильных землетрясений. В Болгарии собраны многочисленные данные об ощущимых землетрясениях за последние 40—50 лет. В связи с этим представляется целесообразным построить графики повторяемости для землетрясений, классифицированных по макросейсмическим данным по шкале балльности. В Болгарии принята шкала Форелли-Меркали, оценка балльности по которой несколько отличается от шкалы, принятой в СССР (ГОСТ 6249-52). Учитывая, что в среднем оценка по шкале, принятой в СССР, дала бы меньшую балльность, во всех случаях, когда в сборниках «Землетресенетията в България» [7] указаны два значения, например, VII—VIII, принимаем меньшее значение балльности.

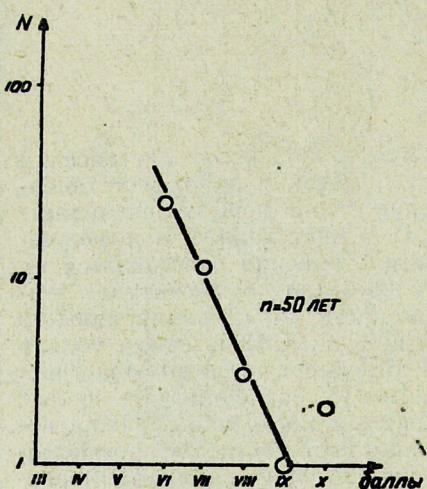
Чтобы сделать достаточно обоснованное заключение о возможной повторяемости очагов землетрясений в районе Кырджали, были использованы все имеющиеся сведения о VI—X-балльных землетрясениях в Родопах, начиная от бассейна р. Места на западе до нижнего течения р. Айда на востоке. Южная граница района приблизительно совпадает с южной границей Болгарии; северная проходит по северной границе Фракийской низменности. Площадь района 28 000 км<sup>2</sup>. Для некоторых землетрясений этого района нельзя с необходимой степенью точности определить координаты очагов на основании карт изосейст. Для целого ряда землетрясений вообще не удалось составить карты изосейст, хотя очевидно, что очаги этих землетрясений располагались в пределах изучаемого района. Эти землетрясения не нанесены на карту эпицентров (фиг. 1), но они использованы для составления графика повторяемости. На основании графика повторяемости (фиг. 2) можно утверждать, что в Родопах на площади в 100 км<sup>2</sup> могут происходить землетрясения силою в VII баллов со средней повторяемостью один раз за 150 лет.

Сейсмичность Родоп в территориальном отношении не равномерна; как видно из фиг. 1, район Кырджали, который нас особенно интересует, за прошедшие 50 лет отличается заметно меньшей сейсмической активностью.

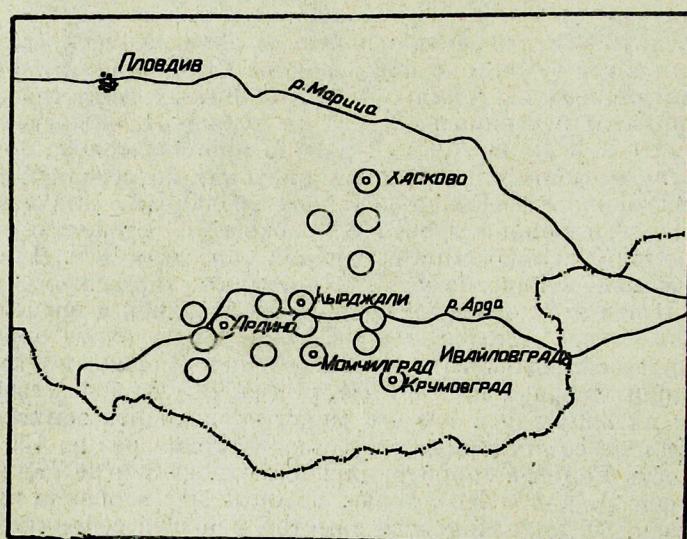
На основании геологических и отрывочных сейсмостатистических данных за прошлые два века можно предполагать, что наблюдаемое за

последние 50 лет распределение эпицентров не случайно, и можно ожидать, что и в будущем также северные отроги Родоп и Верхне-Фракийская низменность будут отличаться большей сейсмической активностью по сравнению с Центральной частью Восточных Родоп, по которой проходит р. Арда. В связи с этим рассмотрим повторяемость очагов VI—VII-балльных землетрясений в Родопах без учета землетрясений Верхне-Фракийской низменности и северных отрогов Родоп. На фиг. 1 эта территория обозначена как площадь  $S_2$  ( $S_2=14\,000 \text{ км}^2$ ).

На территории  $S_2$  за 50 лет произошли 4 землетрясения силою в VII баллов и 6—силою в VI баллов. Землетрясений интенсивностью VIII баллов не отмечено, а число VI-балльных по ряду соображений, высказанных выше, следует считать явно заниженным. В связи с этим для этой части территории график повторяемости землетрясений построить сейчас нельзя, так как имеется только одна более или менее надежная точка. На основании данных о VII-балльных землетрясениях можно предполагать, что в этой части Родоп на площади в  $1000 \text{ км}^2$  VII-балльные землетрясения будут повторяться со средней частотой один раз за 200 лет. Судя по тому, что за последние 50 лет в Восточных Родопах, восточнее Чепеларе, не было очагов VII-балльных землетрясений, можно допустить, что и в даль-



Фиг. 2. График повторяемости землетрясений в долине р. Марица и Родопах за 50 лет (1911—1960 гг.).

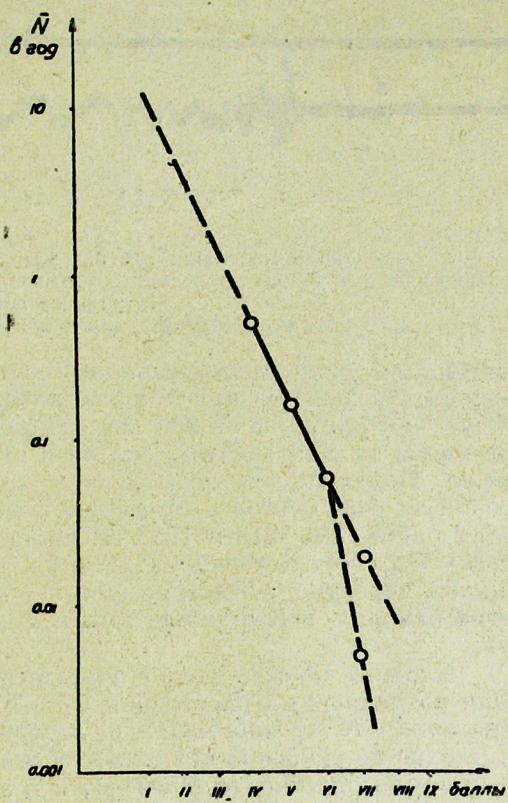


Фиг. 3. Пункты, из которых поступали сведения о местных ощутимых землетрясениях в Восточных Родопах.

нейшем в долине р. Арда VII-балльные землетрясения будут происходить реже, чем в районе Чепеларе и в более западных его частях. Следует считаться с тем, что по инструментальным данным к югу от Ардино 26 III 1943 г. произошло землетрясение с  $M=4\frac{1}{2}$ . Это землетрясение ощущалось в Восточных Родопах как IV-балльное, вероятно, лишь потому, что очаг был расположен сравнительно глубоко (глубже 20 км).

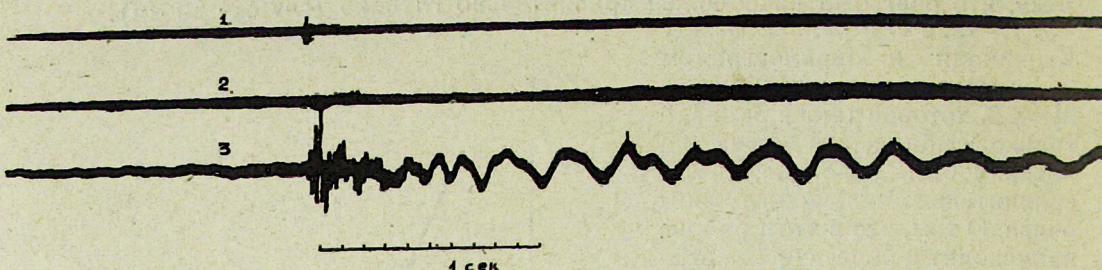
3 IX 1926 г. в районе между Кырджали и Иайлловградом произошло землетрясение с  $M=4,6$ , которое также вызвало только VI-балльный эффект на поверхности, вероятно, из-за сравнительно большой глубины очага. О том, что в этом районе происходят и более слабые землетрясения на меньшей глубине можно судить на основании карты эпицентров по данным сейсмокорреспондентов (фиг. 3) и на основании кратковременных наблюдений высокочувствительной сейсмической станции. Временная региональная высокочувствительная станция в Кырджали работала в период с 2 по 13 X 1961 г. Четких близких землетрясений не зарегистрировано. Для 8 землетрясений можно предположить, что S—P заключено в пределах 1—8 сек., что указывает на существование местных слабых землетрясений в районе Кырджали.

В некоторых случаях при особенно неблагоприятных условиях строительства плотин большие неприятности могут иметь место и при более слабых сотрясениях, оцениваемых в VI баллов. В связи с этим оценим повторяемость IV—VI-балльных сотрясений в районе г. Кырджали. Они могут быть вызваны не только очагами местных землетрясений, оценка повторяемости которых сделана выше, но и сильными землетрясениями из расположенных к северу и югу высокоактивных сейсмических зон Верхне-Фракийский низменности, Мраморного моря и Западной Турции. На основании макросейсмических данных [6] составлен график повторяемости сотрясений IV—VI баллов в Кырджали по наблюдениям за 50 лет для землетрясений IV—VI баллов и за 40 лет — для IV баллов (фиг. 4). Из графика следует, что землетрясения силою VI баллов могут повторяться в среднем один раз за 16—25 лет. Однако ясно, что сооружение типа плотины, которое должно простоять сотни лет, несколько раз за период своего существования испытает сотрясения такой интенсивности. На графике повторяемости точки, соответствующие повто-



Фиг. 4. Повторяемость землетрясений с интенсивностью IV—VII баллов в Кырджали.

ряемости IV—VI-балльных сотрясений, хорошо укладываются на одну прямую. Если продолжить эту прямую в область сильных землетрясений, то окажется, что VII-балльные строения должны были бы повторяться с частотой один раз за 50 лет. Однако это противоречит результатам



Фиг. 5. Колебания плотины Кырджали при слабых взрывах:  
1—основание плотины; 2—галерея внутри плотины; 3—верх плотины. Колебания в направлении радиуса арки.  
На всех приборах зарегистрированы горизонтальные колебания.

там наблюдений за этот период. Расчеты показывают, что нет оснований ожидать возникновения VII-балльных сотрясений в районе Кырджали чаще, чем один раз за 200 лет, и можно предполагать, что такие землетрясения за счет местных очагов в этом районе могут происходить еще реже. Предполагать возможность возникновения VII-балльных сотрясений за счет очагов в Мраморном море или Турции нельзя, так как в этих районах в 1912 и 1953 гг. происходили землетрясения с  $M=7\frac{1}{4}$  и с  $M=7\frac{3}{4}$  соответственно. При землетрясениях 1912 и 1953 гг., являющихся, вероятно, землетрясениями с максимальной энергией в очагах в этих районах, в Кырджали имели место сотрясения V—VI или IV балла.

Сложнее обстоит дело с очагами в Верхне-Фракийской низменности. Они возникают на расстоянии 50—70 км от Кырджали, где при землетрясении с  $M=6\frac{3}{4}$  наблюдались сотрясения в VI баллов. Возможно, что в Верхне-Фракийской низменности могут возникнуть очаги и более сильных землетрясений (с  $M=7\frac{1}{2}$ ), и в этом случае можно предположить, что в Кырджали могут возникнуть и более сильные сотрясения (до VII баллов).

Таким образом, несмотря на то, что за последние 50 лет непосредственно в районе Кырджали не наблюдались сотрясения силою в VII баллов, имеются основания предполагать, что они здесь возможны один раз за 150—200 лет. Цифры показывают, что сейсмичность района участка гидроузла Кырджали следует принять равной VII баллам, а расчетную сейсмичность для проектирования арочной плотины следует принять равной VIII баллам.

Помимо оценки сейсмичности района, на основе сейсмостатистических данных были проведены следующие измерения:

1. Для определения упругих свойств пород, на которых возводится плотина, были измерены скорости распространения сейсмических волн, которые находятся в пределах 4500—4700 м/сек. При этом использовалась обычная сейсморазведочная аппаратура.

2. Измерены периоды собственных колебаний и логарифмические декременты затухания для плотины Кырджали. Измерялись горизонтальные составляющие колебаний в направлении, параллельном хор-

де арки плотины ( $T=0,28$ ,  $\lambda = 0,15$ ) и в перпендикулярном направлении ( $T=0,29$ ,  $\lambda = 0,22$ ). Измерения производились у основания плотины и на ее гребне (фиг. 5).

3. Определены преобладающие периоды микросейсм: выделены короткоперiodные микровибрации с периодом 0,24 сек. и микросейсмы с периодом 2,5 сек.

Близость периодов микровибраций и периодов собственных колебаний плотины заставляет предположить возможность возникновения резонансных явлений в плотине во время землетрясения, что необходимо принимать во внимание при определении расчетной сейсмичности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Нерсесов, В. Н. Грин, К. О. Джанузаков. О сейсмическом районировании бассейна реки Нарын, изд. АН Киргизской ССР, Фрунзе, 1960.
2. Геология и сейсмичность района Нурекской ГЭС. Изд-во АН Таджикской ССР, Душанбе, 1962.
3. С. В. Медведев, В. И. Бунэ, Ив. Петков, Л. Христосков. Сейсмические исследования участка гидроузла Кырджали в Болгарии, Известия Геофиз. ин-та БАН, т. III, София, 1962.
4. Гидроэлектростанция в НР Болгарии, София, 1958.
5. К. Киров, К. Палиева. Сейсмичност на Струмската долина, Известия Геофиз. ин-та БАН, т. II, София, 1961.
6. К. Киров. Принос към проучване на земетресенията от 14 и 18 април 1928 г. в Южна България. Сборник на Бълг. академия на науките, кн. XXXIX, 1935.
7. К. Киров, Ек. Григорова, Н. Илев. Принос към сейсмичност на България, Известия Геофиз. ин-та БАН т. I, София, 1960.

Институт физики Земли  
АН СССР.