

О СЕЙСМИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ УЧАСТКА ГИДРОУЗЛА КЫРДЖАЛИ В БОЛГАРИИ

С. В. Медведев, В. И. Бунз, И. Н. Петков, Е. Григорова,
Л. Христосков, С. Рыжикова и К. Палиева

§ 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

В районе города Кырджали на р. Арда производится строительство гидроузла, имеющего арочную плотину высотой около 100 м и пролетом около 300 м. Строительный участок расположен в сейсмической зоне, и для разработки проекта плотины в заключении, данном болгарскими сейсмологами, было указано, что сейсмичность района семь баллов. Проект арочно-гравитационной железобетонной плотины был разработан болгарским проектным институтом Гидроэнергопроект с учетом восьмibalльной расчетной сейсмичности при сейсмичности района семь баллов.

Во время строительства плотины, когда большая часть ее уже была закончена, было решено провести некоторые дополнительные инструментальные сейсмические исследования в районе плотины и на самой плотине. Эта задача была возложена Болгарской академии наук. Но поскольку Геофизический институт Болгарской академии наук не располагает необходимой для разрешения поставленной задачи аппаратурой, то было прибегнуто к содействию АН СССР, в частности — Института физики Земли, откуда были направлены проф. С. И. Медведев — руководитель отдела „Сейсмическое районирование“ и В. И. Бунз — ст. научный сотрудник, снабженные соответствующей аппаратурой.

Кроме авторов в настоящей работе по исследованию приняли участие специалисты — инж. геофиз. М. Стоянов и техн. лаборанты Р. Грозева, Б. Чакыров, П. Илиев и Г. Младенов.

Разведочная сейсмическая аппаратура была предоставлена Управлением геологических исследований и охраны недр земли.

§ 2. СЕЙСМИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА, ПРИМЕНЯВШАЯСЯ ПРИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В КЫРДЖАЛИ

На участке гидроузла были произведены измерения с помощью привезенной из СССР сейсмической аппаратуры, разработанной в Институте физики Земли АН СССР. Региональная временная сейсмическая станция включала в себя осциллограф ОСБ-5, гальванометры ГБ-IV, сейсмографы ВЭГИК, службу времени с морским хронометром и вспомогательные устройства. Передвижная инженерная сейсмическая станция состояла из осциллографа ПОБ-9, сейсмографов ВЭГИК, гальванометров ГБ-IV и шунтирующих коробок. Полевые работы в Кырджали продолжались с 28. IX по 14. X. 1961 г.

Для регистрации колебаний использован сейсмограф ВЭГИК, разработанный Г. П. Кириным при участии Б. Г. Рулева и А. А. Харина, который предназначен для гальванометрической регистрации. Маятник сейсмографа имеет магнитное затухание. Прибор используется как сейсмоприемник совместно с осциллографом, включающим в себя гальванометры, осветитель и лентопротяжный механизм.

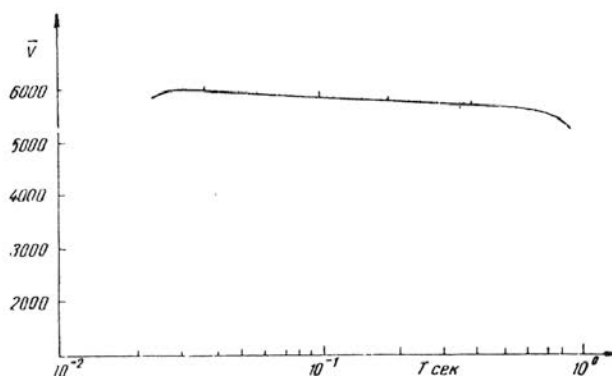
ВЭГИК может выполнять регистрацию как горизонтальных, так и вертикальных колебаний. Маятник сейсмографа подвешен к стойкам на крестообразных стальных плоских пружинах. Ось вращения маятника, образуемая двумя парами пружин, при регистрации вертикальных колебаний, имеет горизонтальное положение. В этом случае маятник удерживается в равновесии стальной винтовой пружиной. Для регистрации горизонтальных колебаний эта пружина снимается и прибор поворачивается на 90° . Ось вращения занимает почти вертикальное положение.

С маятником сейсмографа жестко связан цилиндрический каркас, могущий при колебании маятника двигаться в воздушном зазоре сильного постоянного магнита. На каркас намотаны две катушки из эмалированного тонкого провода. Одна катушка замкнута и служит для увеличения затухания колебания маятника. Вторая катушка связана с гальванометром и служит для регистрации движения маятника. Во время измерений в Кырджали собственный период маятника был принят 1,1 сек и затухание 0,5.

ВЭГИК может измерять перемещение от 0,0001 до 2,0 мм. Приведенная длина маятника составляет около 10 см; вес прибора 9,5 кг, а его габариты $30 \times 12 \times 15$ см.

Сейсмографы ВЭГИК соединяются с гальванометрами ГБ-IV, расположенными в магнитном блоке осциллографа. Малогабаритные гальванометры ГБ-IV имеют разные собственные частоты от 13 до 1000 герц. В данном случае в Кырджали применялись гальванометры с собственной частотой 13 герц и с затуханием около семи. Такие постоянные гальванометры в сочетании с указанными выше постоянными сейсмографами ($T_c = 1,1$ сек; $T_r = 0,077$ сек; $D_c = 0,5$; $D_r = 7,0$) дают возможность осуществлять регистрацию колебаний с почти постоянным увеличением на всем рабочем диапазоне периодов. Измеряемые колебания имели периоды не более 0,5 сек и не менее 0,02 сек. Для длиннопериодных микросейсм (3—4 сек) чувствительность канала можно оценивать по отношению квадратов периодов микросейсм и собственного периода сейсмографа. Оптический рычаг гальванометров ГБ-IV в соответствии с конструкцией осциллографов ОСБ-5 и ПОБ-9 равен 22 см.

Частотная характеристика для системы ПОБ-9 — ГБ-IV (13 герц) — ВЭИК показана на фиг. 1, согласно которой увеличение системы в рабочем диапазоне составляет 6 тысяч. Частотная характеристика системы ОСБ-5 — ГБ-IV (13 герц) — ВЭИК подобна указанной на фиг. 1.



Фиг. 1. Частотная характеристика для системы ПОБ-9-ГБ IV (13 Гц) ВЭИК

В качестве регистрира на региональной сейсмической станции использовался осциллограф ОСБ-5, разработанный Е. С. Борисевичем, скорость движения ленты в котором составляла 120 мм/мин, а ширина ленты — 280 мм. При этих условиях смена лент производилась через 6 часов, то есть 4 раза в сутки. Сейсмическая региональная станция имела целью установить существование местных очагов землетрясений в районе Кырджали, и поэтому проводилась регистрация колебаний по одной вертикальной составляющей с целью определения гипоцентрального расстояния по разности времени прихода продольных и поперечных волн.

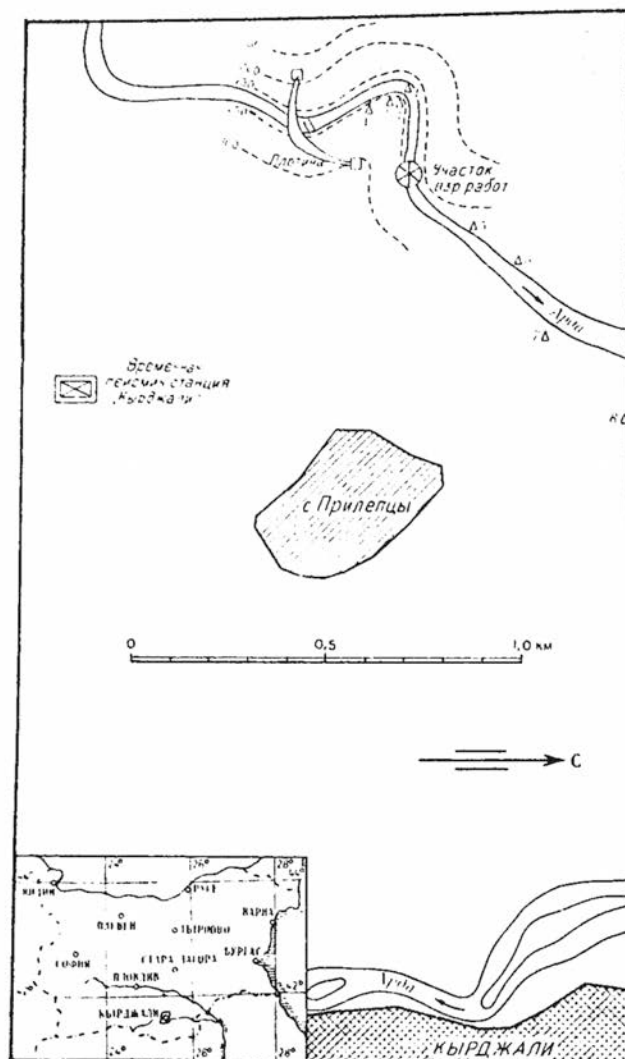
Передвижная инженерная сейсмическая станция производила измерения по методу МИКС (многоканальное исследование колебаний сооружений). С помощью этой станции производились измерения колебаний железобетонной плотины для определения периодов собственных колебаний и логаритмического декремента затухания колебаний. Вторая задача, решаемая с помощью этой станции, заключалась в определении уровня микросейсм. Для этого проводились измерения в разных точках, показанных треугольниками на фиг. 2 (точки 1—8).

§ 3. СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ПО ТЕЧЕНИЮ Р. АРДА В КВАДРАТЕ МЕЖДУ 41—42° СЕВЕРНОЙ ШИРОТЫ И 25—26° ВОСТОЧНОЙ ДЛГОТЫ

Болгария принадлежит к европейской сейсмичной области, охватывающей впадины Эгейского и Мраморного морей и смежные с ними территории. Эти области сильно расчленены на большие и малые блоки, смещение которых является источником весьма сильных землетрясений.

По накоплению микросейсмического материала Болгарию можно разделить на сейсмоактивные области и определить число ощутимых землетрясений в стране, происходящих от местных очагов. С 1928 по 1960 г. в Болгарии было отмечено 2495 землетрясений. Положение очагов определялось на основании макросейсмических материалов и изучений.

Сведений о сейсмичности г. Кырджали и его района немного ввиду того, что этот город оставался в пределах Европейской Турции до 1914 г. Первые сведения о землетрясениях в Кырджали относятся к XIX столетию. 12. XII. 1884 г. произошло три последовательных землетрясения. В

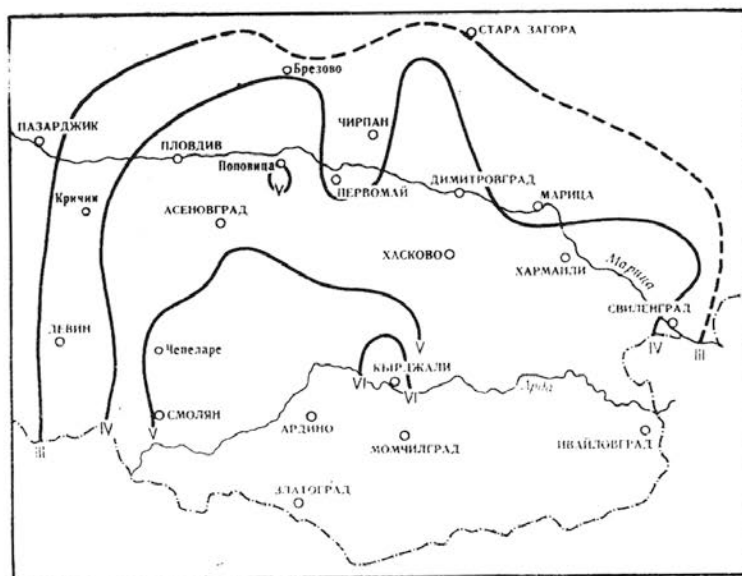


Фиг. 2. Измерения в разных точках, показанных треугольниками

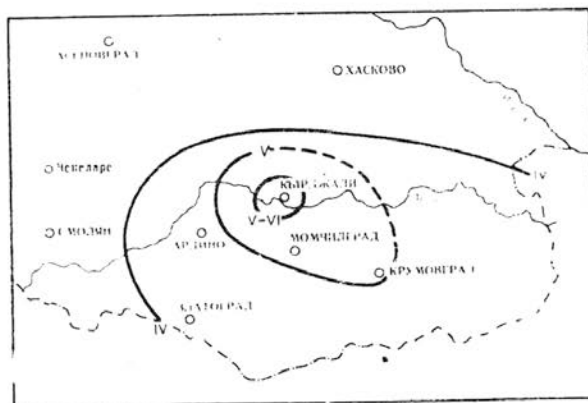
1885 г., 29 ноября в 19 часов и в 1887 г., 13 октября, в 19,5 часов в Кырджали наблюдались землетрясения. Эти пять землетрясений были слабыми, с возможным эпицентром в Кырджали.

В 1906 г. 16 апреля в 19 часов 48 минут в Болгарии было землетрясение с максимальной интенсивностью 6 баллов. Эпицентр его находился

приблизительно в 168 км от София, что вычислено по разнице во времени вступления волн Р и L, записанному сейсмографом Омори—Боша, установленным в то время в Софии. Если принять во внимание макросейсмическую карту (фиг. 3) и расстояние от эпицентра, то можно до-



Фиг. 3. Землетрясение 16. IV. 1905 г. 9 ч. 48 мин.



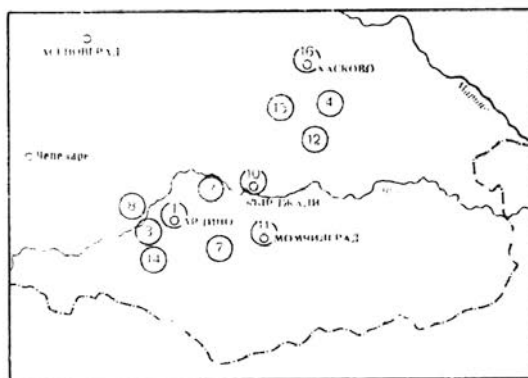
Фиг. 4. Землетрясение 28. VIII. 1936 г. 1 ч. 57 мин.

пустить, что очаг этого землетрясения находится около г. Кырджали с интенсивностью 6 баллов.

С 1914 г. даются более полные макросейсмические сведения об этой области. В 1936 г. 28. VIII, в 1 час 57 мин. было отмечено землетрясение с эпицентром в г. Кырджали и максимальной интенсивностью 5—6 баллов. Карта изосейст этого землетрясения составлена по макросейсмич-

ным данным (фиг. 4). Очаг землетрясения находился на глубине 7—10 км. Изосейсты на севере имеют больший градиент, а на юге они растягиваются. Направление оси ЮВ-СЗ.

С 1936 по 1947 г. Кырджали являлся два раза эпицентром землетрясений, интенсивностью не более 4 баллов.



Фиг. 5. Эпицентры в исследованном квадрате

После 1914 г. по течению р. Арда, между 25 и 26 меридианами было установлено макросейсмичным путем семь эпицентров. В Бял Извор, Ардино, Дядевци, Джебел, Гледка, Дарез и г. Кырджали наблюдались землетрясения с наиболее значительной частотой. Сведения с более значительной частотой в г. Кырджали объясняются добросовестной работой корреспондентов.

На фиг. 5 отмечены эпицентры в исследованном квадрате.

В этой области происходят сотрясения под влиянием землетрясений, очаги которых находятся в Мраморном море, близ Дарданелл и очагов, находящихся по течению р. Марица, в Поповица, Чирпан, Первомай, Хасково, Гылыбово.

Наиболее сильные сотрясения, вызванные этими очагами, отмечаются с XIV в. Можно заключить, что г. Кырджали подвергался воздействию этих землетрясений.

1354 г., 2 марта произошло катастрофическое землетрясение, разрушившее все города Фракии на берегу моря.

14 сентября 1509 г. произошло землетрясение, разрушившее укрепления г. Галлиполи, г. Демотика, а в том же году 16 ноября был совершенно разрушен г. Эдирне. Землетрясение было отмечено во всей Османской империи, в Малой Азии и Европе.

1646 г. 5 апреля — сильное землетрясение распространилось до Северной Италии.

В 1863 г., 22 апреля, близ Дарданелл и Эдирне произошло сильное землетрясение.

В XX в. г. Кырджали продолжал подвергаться действию этих очагов. В табл. 2 отмечены землетрясения, которые были в г. Кырджали и его районе, и макросейсмическим путем были составлены карты изосейст.

Таблица 1

**Каталог
землетрясений в квадрате 41—42 и 25—26 Е с 1892 до 1960 г. —
местные очаги**

Дата	Место	Балл	Число
1	2	3	4
24. XII. 1924 г.	Ардино	(III)	2
3. III. 1932 г.	"	III	
12. I. 1940 г.	Бойно	III	1
27. IX. 1932 г.	Бял извор	IV	1
4. IX. 1926 г.	Войводово	(IV)	1
7. X. 1950 г.	Гледка	IV	1
7. VI. 1954 г.	Дарец	III	1
30. IV. 1937 г.	Джебел	IV	5
2. VIII. 1939 г.	"	IV—V	
12. I. 1940 г.	"	III	
16. VI. 1942 г.	"	III	
20. VIII. 1951 г.	"	IV	
26. I. 1953 г.	Дядовци	III	
29. V. 1921 г.	Крумовград.	(IV)	4
17. IV. 1925 г.	"	IV	
19. IV. 1928 г.	"	IV	
13. V. 1932 г.	"	IV	
16. III. 1914 г.	Кырджали	III	8
29. V. 1923 г.	"	III	
26. X. 1923 г.	"	III	
14. IV. 1928 г.	"	III	
4. I. 1935 г.	"	III	
28. VIII. 1936 г.	"	V—VI	
12. I. 1940 г.	"	III	
4. III. 1947 г.	"	IV	
7. VI. 1954 г.	Момчиловград	III	1
7. X. 1950 г.	Мост	III	1
26. IV. 1943 г.	Нановица	IV	1
26. IX. 1932 (22 часа 12 мин. 22 часа 17 мин.)	Неделино	III	3
25. I. 1938 г.	"	V	
14. IX. 1912 г.	Тракиец	IV	1
25. XI. 1894 г.	Хасково	III	39
26. XI. 1894 г.	"	II	
9. XI. 1905 г.	"	VI	
14. IX. 1912 г.	"	IV	
15. IX. 1912 г.	"	III	
14. IV. 1928 г.	"	III	
15. IV. 1928 г.	"	III	
17—18. IV. 1928 г.	Хасково-7 земетр.	III	
19. IV. 1928 г.	"	III	
19. IV. 1928 г. (5 часов 56 мин.)	"	V	
(8 часов 15 мин.)	"	IV	
11 часов 10 мин.)	"	V	

Продължение от таблица 1

1	2	3	4
20. IV. 1928 г.		VI	
21. IV. 1928 г.		V	
23. IV. 1928 г. (3 часа 0)		IV—V	
5 часов 0)		VI	
16 часов 0)		V	
24. IV. 1928 г. (2 часа 14 мин.)		V	
(3 часа 17 мин.)		VIII	
(16 часов 30 мин.)		VII	
28. IV. 1928 г. (1 часов 10 мин.)	Хасково	VI	
28. IV. 1928 г. (5 часов 9 мин.)	"	II—III	
(5 часов 12 мин.)	"	III—IV	
(5 часов 25 мин.)	"	IV	
20 часов	"	III—IV	
3. V. 1928 г.	"	V	
13. XII. 1928 г.	"	IV	
31. VII. 1931 г.	"	IV—V	
3. VIII. 1931 г.	"	IV	
7. IX. 1935 г.	"	IV	
15. VII. 1947 г.	"	IV	
16. VII. 1947 г.	"	III	
	"	III	

Таблица 2

Перечень землетрясений разной интенсивности в Кырджали

Дата	J	Координаты		M	Фиг.
		с. ш.	в. д.		
1912 9. VIII	VI	40,2	26,1	7 1 4	6
1912 13. IX	V	40,2	26,1	—	7
1917 20. XII	V	Мрам. море		—	8
1926 3. IX	VI	Мрам. море		—	9
1928 14. IV	VI—VII	42,2	25,4	6 3/4	10
1928 18. IV	VI	42,3	25,2	6 3/4	11
1928 25. IV	V	42,1	25,1	5,5	12
1932 29. IX	IV	40,4	23,3	6,1 4	13
1932 26. IX	V	39,8	23,8	—	14
1933 8. V	IV	40,4	23,7	—	15
1933 11. V	IV	40,4	23,0	6 1/4	16
1935 4. I	V	40,0	27,5	6 1/4	17
1935 4. I	IV	40,0	27,5	—	18
1943 26. III	IV	41,5	25,2	4 1/2	19
1951 19. III	IV	41,5	25,0	3 1/2	20
1953 18. III	IV	40,5	27,3	7 3/4	21
1953 18. VI	IV	41,7	26,6	4 3/4	22
1954 3. VIII	IV	40,0	25,0	5 3/4	23

Примечание: В таблице J означает интенсивность землетрясения в Кырджали.

§ 4. ОЦЕНКА ПОВТОРЯЕМОСТИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ КЫРДЖАЛИ

На основании изучения соотношений между числами землетрясений с разной энергией в очаге в различных сейсмических районах установлено, что число более слабых землетрясений закономерно увеличивается. Графически эту закономерность удобно представить в виде графиков повторяемости. Для построения такого графика землетрясения разбиваются на определенные классы по энергии упругих волн или по магнитуде M . По оси абсцисс откладываются классы по энергии, а по оси ординат числа землетрясений, соответствующие данному энергетическому классу. Графики такого типа были построены для некоторых сейсмоактивных районов Советского Союза для землетрясений, различающихся по энергии на 6—8 порядков. Таким путем удастся привлечь слабые, но многочисленные землетрясения для более уверенной оценки повторяемости сильных и, следовательно, редких землетрясений.

Землетрясения в Болгарии в настоящее время еще не классифицированы по энергетическим классам. Сведения о магнитудах (M) имеются только для наиболее сильных землетрясений. Поэтому в настоящее время такого типа графики повторяемости составить затруднительно. В Болгарии собраны многочисленные данные об ощутимых землетрясениях за последние 40—50 лет. В связи с этим представляется целесообразным построить графики повторяемости для землетрясений, классифицированных по шкале балльности. В Болгарии принята шкала Форелли — Меркалли, оценка балльности по которой несколько отличается от шкалы, принятой в СССР (ГОСТ 6249—52). Приведение всех землетрясений к одной шкале — задача слишком трудоемкая. Учитывая, что в среднем оценка по шкале, принятой в СССР (ГОСТ 6249—52) дала бы меньшую балльность, во всех случаях, когда в сборниках „Землетресенията в България“ указаны два значения, например VII—VIII, принимаем меньшее значение балльности.

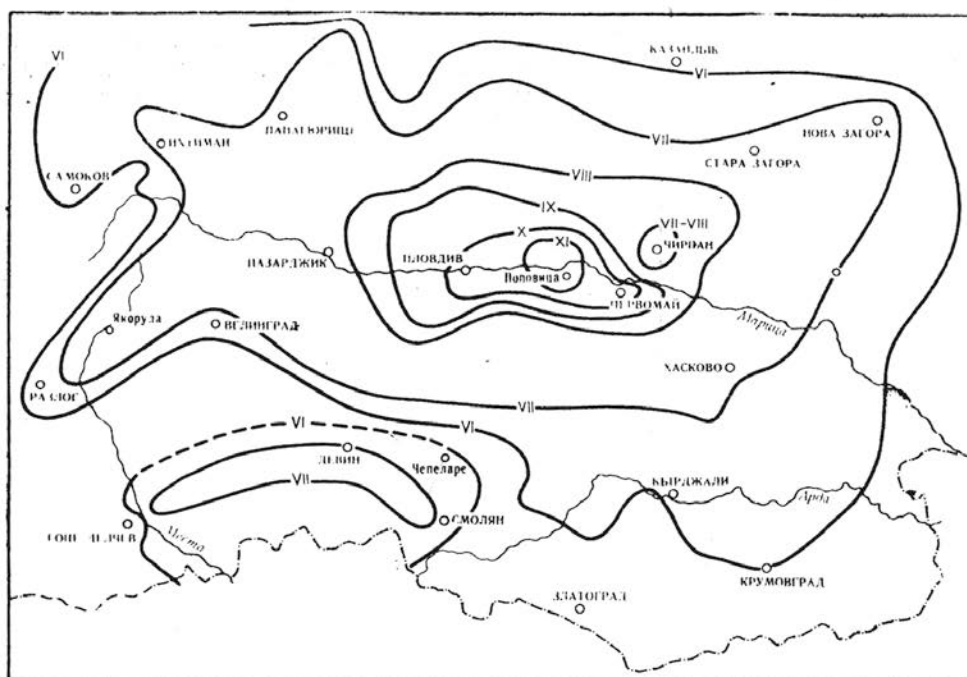
Выбор площади для сбора сведений о повторяемости землетрясений. Чтобы сделать достаточно обоснованное заключение о возможной повторяемости очагов землетрясений в районе Кырджали были использованы все имеющиеся сведения о VI—X-балльных землетрясениях в Родопах, начиная с бассейна р. Места на западе до нижнего течения р. Арда на востоке. Южная граница района приблизительно совпадает с южной границей Болгарии. Северная граница района проходит по северной границе Фракийской низменности. Координаты района $41^{\circ}15' - 42^{\circ}15'$ с. ш. и $23^{\circ}30' - 26^{\circ}30'$ в. д. Площадь района 28 000 км².

Краткая характеристика материалов о сейсмичности района и выбор периода наблюдений. Сведения об очагах землетрясений силою в 6—10 баллов представлены в табл. 3 и на карте эпицентров на фиг. 7. Первые отрывочные сведения о катастрофических землетрясениях в районе Пловдива относятся к 1750, 1799, 1818 и 1859 гг. Наиболее полные сведения собраны о двух X-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.

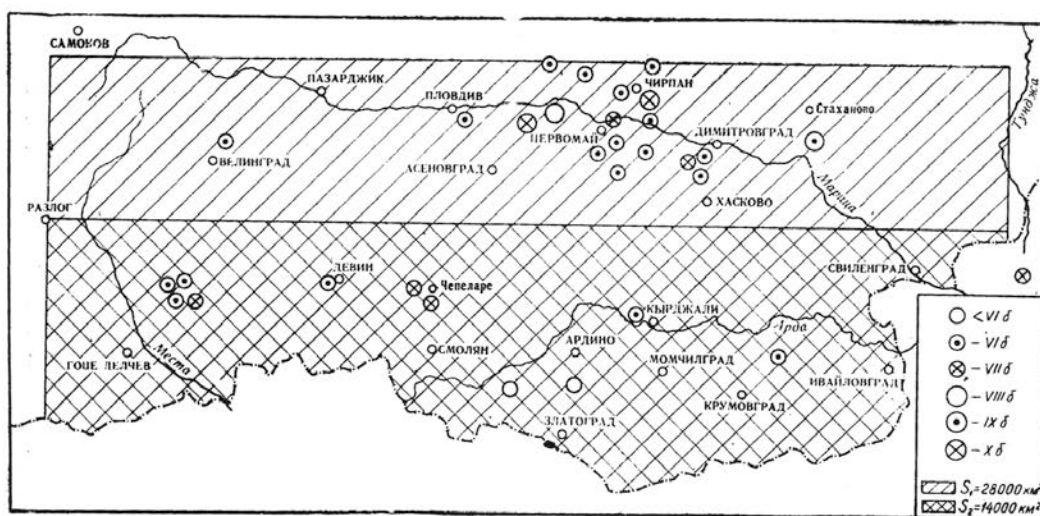
В связи с оценкой повторяемости землетрясений нам нужны достаточно полные сведения о землетрясениях данной силы (VI баллов и выше) для всей изучаемой территории. Трудно предположить, что для всего этого района такие сведения были достаточно полно собраны за период до 1910 г. Это, в частности, объясняется тем, что большая часть территории этого района до 1912 г. составляла Европейскую часть Турции и сведения о землетрясениях вряд ли собирались в тот период с достаточной полнотой. Следует также учитывать, что большая часть территории занята горами и в связи с этим слабо заселена. Даже к 1946 г., как это видно из карты густоты населения Болгарии, составленной Географическим институтом БАН, в Западных Родобах имеются большие участки площадью более 200 км², лишенные даже деревень. Населенные пункты в Западных Родобах тяготеют к долинам рек Струма, Места, Выча и др. В Восточных Родобах населенные пункты размещены с достаточной полнотой, однако и для этой части Родоп имеются четкие данные, показывающие, что сведения об ощутимых и даже VI-балльных землетрясениях поступали в Софию недостаточно регулярно и систематически. Например в 1928 г. из Кырджали имеются сведения, что землетрясение 14. IV ощущалось как VI—VII-балльное, а сведений о более сильном землетрясении 18. IV из Кырджали не поступило, хотя очевидно, что оно ощущалось с силой также не менее VI баллов. Об этом можно судить на основании сведений, поступивших из Крумовграда и др. населенных пунктов в Восточных Родобах, а также карт изосейст (фиг. 6), составленных на основании этих данных. Можно привести и другие подобные факты, свидетельствующие о том, что макросейсмические сведения о землетрясениях этого района начиная с 1910 г. были собраны не с исчерпывающей полнотой, что объясняется природными условиями этого района и рядом общеизвестных исторических фактов.

В связи с этим в качестве основы для оценки повторяемости был исследован материал о землетрясениях района, начиная с 1910 г. (табл. 3). Период наблюдений составляет 50 лет. Приближенные координаты эпицентров были определены в подавляющем числе случаев на основании карт изосейст фиг. 3—23. Так же, в большинстве случаев на основании карт изосейст были определены и глубины очагов землетрясений. Очаги землетрясений расположены на глубинах в пределах 3—20 км. Для некоторых землетрясений этого района нельзя с нужной степенью точности определить координаты очагов на основании карт изосейст, например для землетрясения 3. IV. 1926 г., хотя очевидно, что очаг землетрясения располагался в Восточных Родобах. Для целого ряда землетрясений, например для 9 землетрясений 1928 г., 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. 7), но были использованы для составления графика повторяемости (фиг. 8).

Краткая характеристика сейсмичности района и оценка повторяемости VII-балльных землетрясений. О сейсмичности района можно судить на основании карты эпицентров землетрясений силою в VI—X баллов (фиг. 7). Как видно из этой карты, основная масса очагов расположена в пределах Верхне-Фракийской низменности и контакта этой низменности с северными отрогами Родоп. В этом районе произошло два X-балльных землетрясения с большим числом



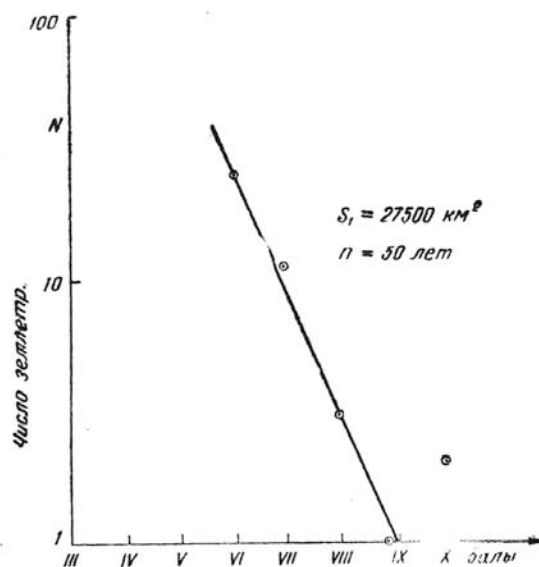
Фиг. 6. Землетрясение 18. IV. 1928 г. 19 ч.28 мин



Фиг. 7. Карта эпицентров IV—X-балльных землетрясений в Родонах

последующих толчков в 1928 г., а также происходили VI и VII-балльные землетрясения в 1923, 1924, 1929, 1930, 1933, 1939, 1945 и 1947 гг. Как уже упоминалось, этот район отличался высокой сейсмичной активностью и в XVIII и XIX вв.

С учетом высокой сейсмичности этого района на основании графика повторяемости (фиг. 8) можно утверждать, что в Родобах на площади в 1000 км² могут происходить землетрясения силой в VII баллов со средней повторяемостью один раз за 150 лет.



Фиг. 8. График повторяемости землетрясений в Родобах (табл. 4) 27500 км²

Однако, как видно из фиг. 7, сейсмичность Родоп в территориальном отношении не равномерна, и в частности, район Кырджали, который нас особенно интересует, за прошедшие 50 лет отличался 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 протекает р. Арда. В связи с этим рассмотрим повторяемость очагов VI—VII-балльных землетрясений в Родобах без учета землетрясений Верхне-Фракийской низменности и северных отрогов Родоп. На фиг. 7 эта территория обозначена как площадь S_2 ($S_2 = 14\,000$ км²).

Оценка повторяемости VII-балльных землетрясений в центральной части Западных и Восточных Родоп. На территории S_2 произошло за 50 лет 4 землетрясения силой в VII баллов и 6 землетрясений силой в VI баллов. VIII-балльных землетрясений не отмечено ни одного, а число VI-балльных землетрясений по ряду сообщений, высказанных выше, следует считать явно заниженным. В связи с этим для части территории график повторяемости землетрясений построить сейчас нельзя, т. к. для графика повторяемости имеется одна бо-

Таблица 3

Повторяемость очагов землетрясений
(VI—X баллов) в Родопах (41°15'—42°15' в. д. и 23°30'—26°30' с. ш.)
 $S_1=28\,000\text{ км}^2$

Год	Интенсивность в баллах					Дата	Гринвич. час. мин.
	VI	VII	VIII	IX	X		
1906	1					16. IV	09 48
1907	1					17. IX	16 20
1910		1				23. II	7 52
1923	1					19. XII	03 30
1924	1					23. XII	17 06
1926	1					3. IX	22 01
1928	6+4	1+3	1+2	1	2	См. приложение к табл. 3	
1929	2						
						2. IV	06 25
						24. VII	12 10
						18. I	03 39
1930	3					24. VII	20 26
						"	50
	1					28. VIII	01 57
1936		2				3. V	10 09
1939						9. VIII	12 30
	1					14. V	00 45
1940		1				1. IX	14 19
1941		1				15. III	00 00
1944		2				20. VI	22 08
1947	3					15. VII	14 30
1952						3. VI	13 48
						2. XII	15 48
						"	13 00
1953		1				18. VI	05 45
n = 50 лет	21	9	1	1	2	Землетрясения с эпицентрами.	
n = 60 лет	25	12	3	1	2		
n = 50 лет	6	4				С учетом землетрясений 1928 г. без эпицентров.	

лее или менее надежная точка. На основании данных о VII-балльных землетрясениях можно предполагать, что в этой части Родоп на площади в 1000 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 (пункт в 60 км к западу от Кырджали) не было очагов VII-балльных землетрясений, можно допустить, что и в дальнейшем в долине р. Арда VII-балльные землетрясения будут происходить реже, чем в районе Чепеларе и в более западных районах. Следует считаться с тем, что к югу от Ардино по инстру-

Приложение к табл. 3

Землетрясения 1928 г. силою в VI—X баллов

Дата	Время Гринвич. час. мин.	Интен- сивность	Коорд.		Эпицентры
			в. д.	с. ш.	
14. IV	09 01	X	42°12'	25°20'	
17. IV	05 49	VII			
17. IV	07 35	VII			
18. IV	09 43	VII			
18. IV	06 48	VI			
18. IV	19 23	X	42°08'	25°01'	
18. IV	19 42	V—VI	42°10'	25°05'	
18. IV	20 05	V—VI	42°10'	25°05'	
18. IV	20 48	VI—VII			
18. IV	23 15	VIII	42°10'	25°05'	
18. IV	23 27	V (VI)	41°58'	25°45'	
19. IV	09 10	VI	41°55'	25°07'	
19. IV	22 41	VI			
20. IV	06 17	VI			
23. IV	10 50	VI	42°22'	25°44'	
24. IV	0 14	VIII			
24. IV	0 17	VII	42°01'	25°28'	
25. IV	09 26	IX	42°06'	25°53'	
25. IV	09 36	VI			
28. IV	18 02	VIII			
15. X	18 02	VI			

ментальным данным в 26. III. 1943 г. произошло землетрясение с $M = 4\frac{1}{2}$. Это землетрясение ощутилось в Восточных Родопах как IV-балльное вероятно лишь в связи с тем, что очаг был расположен сравнительно глубоко (глубже 20 км). При меньшей глубине очага это землетрясение вызвало бы VII-балльный эффект на поверхности. 3. IX. 1929 г. между Кырджали и Ивайловградом 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. 5) и на основании кратковременных наблюдений высокочувствительной сейсмической станции.

Временная региональная высокочувствительная станция в Кырджали работала в период с 2 по 13 октября 1961 г. Так как в период работы станции имели место перерывы по различным техническим причинам, то чистое время регистрации составляет приблизительно 10 суток. Получено 40 сейсмограмм. На каждой сейсмограмме осуществлялась непрерывная 6-часовая регистрация. На сейсмограммах выделено 22 землетрясения (см. Бюллетень станции в табл. 4). Четких близких землетрясений зарегистрировано немного. Для 8 землетрясений можно предполагать, что $S-P$ заключено в пределах 1—8 сек, что указывает на существование местных слабых землетрясений в районе Кырджали.

Оценка повторяемости VI-балльных сотрясений в районе Кырджали. В некоторых случаях при особенно неблагоприятных условиях строительства плотины большие неприятности могут иметь место и при более слабых сотрясениях, оцениваемых в VI баллов и даже меньше. Например, полагают, что известная катастрофа на плотине Малпассе во Франции в 1960 г. была вызвана не только плохими грунтами в основании этой плотины, но также и рядом крупных взрывов, произведенных при строительстве дороги вблизи этой плотины. В связи с этим оценка повторяемости IV—VI-балльных сотрясений в районе г. Кырджали. Сотрясения IV—VI баллов в районе Кырджали 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-Фракийской низменности, Мраморного моря и Западной Турции. Данные о повторяемости IV—VI-балльных землетрясений представлены в табл. 6. В таблицу включены сотрясения в IV—VI баллов в Кырджали независимо от расположения очага (в непосредственной близости от Кырджали или на расстоянии 50—250 км). В основу таблицы положены данные, собранные с помощью сейсмокорреспондентов. Кроме того, в таблицу включены данные о сотрясениях IV—VI баллов, которые не были сообщены сейсмокорреспондентами, но должны иметь место в г. Кырджали на основании сообщений из близко расположенных пунктов и карт изосейст. Соответствующие данные, обосновывающие включение того или иного землетрясения в табл. 5, можно найти в графах табл. 6, на которые сделаны сноски в таблице. На основании данных табл. 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 землетрясений IV балла (фиг. 9). Из фиг. 26 следует, что землетрясения силой VI баллов могут повторяться в среднем один раз за 16—25 лет, си-

Бюллетень высокочувствительной сейсмической станции
Кырджали за октябрь 1961 г.

№	№ сейсмо- граммы	Дата	P			S			S-p	2 Ap		2 As		Tp	Ts
			час.	мин.	сек.	час.	мин.	сек.		мм	μ	мм	μ		
1	№ 2	3. X	14	55	18,3	14	55	19,8	1,5	2	0,1	3	0,25	0,2	0,2
2	№ 2	3. X	14	55	37,5	18	01	58,0	1,5	0,5	0,05	2	0,13	0,2	0,9
3	№ 6	4. X	18	01	57,5	18	01			0,5	0,05	1	0,08	0,5	0,5
4	№ 6	4. X	21	50	31,9	21	32								
5	№ 9	5. X	21	32	20,4	21	32								
6	№ 10	5. X	22	27	30,5	22	27								
7	№ 10	5. X	22	37	31,5	22	37								
8	№ 13	6. X	17	55	29,4	17	55								
9	№ 14	7. X	1	44	52,1	1	44								
10	№ 16	7. X	16	07	24,4	16	08			1	0,1	1	0,1	0,5	0,5
11	№ 18	7. X	23	22	13,9	23	22			0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,2
12	№ 19	8. X	6	49	24,4	6	49								
13	№ 20	8. X	15	14	37,3	15	14								
14	№ 20	8. X	15	35	33,6	15	35			2	0,3	2	0,3	0,5	0,9
15	№ 21	8. X	17	17	28,6	17	17			1	0,1	1,5	0,12	0,2	0,2
16	№ 21	8. X	19	40	18,9	19	40								
17	№ 21	8. X	20	15	5,4	20	15			0,5	0,05	1	0,1	0,2	0,2
18	№ 23	9. X	6	47	10,4	6	47			5,0	0,4	5,0	0,4	0,5	0,2
19	№ 24	9. X	10	35	17,7	10	36			4	0,3	3	0,25	0,7	0,9
20	№ 24	9. X	13	00	38,5	13	00			1,5	0,1	2	0,17	0,2	0,2
21	№ 24	10. X	12	22	56,9	19	22			0,5	0,08	3	0,5	0,2	0,2

Таблица 5

**Повторяемость сотрясений силою IV—VI баллов в районе Кырджали
от местных и удаленных очагов**

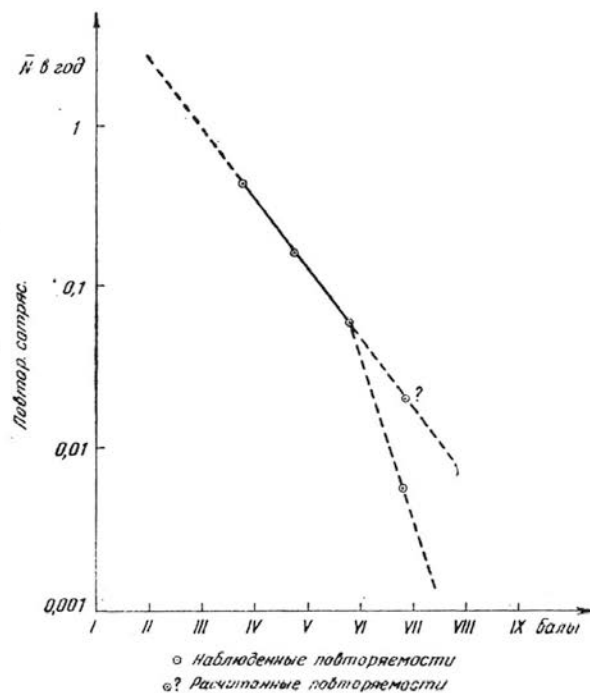
№	Дата	Интенсивность			M	Район очага
		IV	V	VI		
1	1906 16. IV			1		
2	1912 9. VIII		1		7 1 4	Турция—Греция
3	1912 13. IX		1			
4	1917 21. VIII		1			Турция—Греция
5	1917 20. XII		1			Мраморное море
6	1919 1. VIII	1				Турция
7	1919 18. VIII	1				Турция
8	1924 23. XII	1				Пловдив—Верен
9	1926 3. IX			1		Мраморное море
10	1928 14. IV			1	6 3 4	
11	1928 18. IV			1	6 3 4	
12	1928 25. IV		1		5 1 2	Преславец—Чирпан
13	1929 18. IV	1				Ямболско
						Македония
14	1931 7. III	1				Македония
15	1931 8. III	1				Греция
16	1932 26. IX		1		6 1 4	Греция
17	1932 29. IX	1				
18	1933 8. V	1			6 1 4	Греция
19	1933 11. V				6 1 4	Мраморное море
20	1935 4. I.		1			Мраморное море
21	1935 4. I	1				Греция
22	1935 18. II	1				Кырджали—Харманли
23	1936 28. VIII		1			Чирпан—Ямбол
24	1937 29. IX	1				Пловдив—Первомай
25	1940 23. II	1			4 1 2	
26	1943 26. III	1				Ковачевци
27	1944 15. III	1			3 1 2	
28	1951 19. III	1			7 3/4	
29	1953 18. III	1			4 3/4	
30	1953 18. VI	1			5 3 4	
31	1954 3. VIII	1				

Таблица 6

**Количество очагов землетрясений, зарегистрированных
в Болгарии с 1928 по 1954 г.**

Наименование	Число очагов землетрясений					
	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Число землетрясений по каталогу	47	17	5	1	1	1
Расчетное число землетрясений	17	5	1	2	—	—
Площади сотрясений при интенсивности в очаге IX баллов, кв. км	9500	2600	1250	520	—	—

лою V баллов в среднем раз за 6 лет и силой IV баллов в среднем раз, в 2 года. Для VI-балльных землетрясений средний период раз в 25 лет можно получить, если оба землетрясения и 1926 и 1936 гг., определенные как V—VI балльные, считать только V-балльными и землетрясение 1912 г.



Фиг. 9. Повторяемость сотрясений различной силы в Кырджали (по сотрясениям IV—VI баллов)

считать только V-балльным, если учитывать, что изосейсты в VI баллов проходят очень близко от Кырджали. Все это, конечно, приближенно. Ясно, что сооружение типа плотины, которое должно простоять сотни лет, несколько раз за период своего существования испытает сотрясения такой интенсивности.

Точки, соответствующие повторяемости IV—VI-балльных сотрясений, хорошо укладываются на одну прямую. Если продолжить эту прямую в область сильных землетрясений, то окажется, что VII-балльные сотрясения должны были бы повторяться с частотой один раз за 50 лет, однако это противоречит результатам наблюдений за 50 лет. Расчеты, проведенные выше, показывают, что нет оснований ожидать возникновения VII-балльных сотрясений в районе Кырджали чаще, чем один раз за 200 лет, и есть основания предполагать, что такие землетрясения в этом районе за счет местных очагов могут происходить в этом районе и еще реже. Предполагать возможность возникновения VII-балльных сотрясений за счет очагов в Мраморном море или Турции нельзя, т. к. 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 этих землетрясениях, являющихся, вероятно, земле-

трясениями с максимальной энергией в очагах в этих районах, в Кырджали имели место сотрясения V—VI или IV баллов (в 1912 и 1953 гг.).

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

Таким образом, несмотря на то, что непосредственно в районе Кырджали не наблюдались сотрясения силою в VII баллов за последние 50 лет, имеются основания предполагать, что такие сотрясения возможны в этом районе один раз за 200—400 лет.

Этот вывод подтверждается анализом данных о повторяемости сотрясений для всей Болгарии.

Для определения повторяемости сотрясений разной интенсивности для всей территории Болгарии в среднем использованы данные за 1928—1954 г., приведенные в сводном каталоге землетрясений Болгарии.

Оценка землетрясений произведена более высоким баллом, чем это было бы нужно сделать по шкале ГОСТ 6249—50. Поэтому для расчетов повторяемости числа землетрясений смещены на единицу по балльности и приведены в табл. 6.

В этой же таблице указаны площади сотрясений разной балльности в кв. км при интенсивности в эпицентре IX баллов. Эти данные получены как средние на основании анализа изосейст сильных болгарских землетрясений. Такое соотношение площадей сотрясений разной интенсивности принято также и для случая, если интенсивность в эпицентре равна VIII и VII баллам. Подсчет суммарных площадей сотрясений дан в следующей таблице:

Таблица 7

**Вероятность сотрясения в год разной балльности
в среднем для территории Болгарии**

Интенсивность в очаге	Число землетрясений	Площади сотрясений в кв. км за время с 1928 по 1954 г.			
		9	8	7	6
IX	2	1040	2500	5200	19000
VIII	1	—	520	1250	2600
VII	5	—	—	2600	6250
VI	17	—	—	—	8840
Сумма :		1040	3020	9050	36690
Вероятность сотрясений в год:		$\frac{1}{2850}$	$\frac{1}{980}$	$\frac{1}{310}$	$\frac{1}{82}$

Суммарные площади сотрясений для всей территории Болгарии, приведенные в таблице, даны за период наблюдений 27 лет и для площади 110 тыс. кв. м. Делением суммарной площади сотрясения по каждому баллу на общую площадь территории Болгарии и на общий период наблюдений

можно получить вероятность (в среднем) в год сотрясений разной балльности. Для высокосейсмических районов Болгарии вероятности будут выше средних, а для малосейсмических районов они будут ниже полученных средних. Цифры вероятности показывают, что сейсмичность района участка гидроузла Кырджали следует принять равной 7 баллов, а расчетную сейсмичность для проектирования арочной плотины следует принять равной 8 баллов.

Участок гидроузла Кырджали находится в средней по интенсивности сейсмической зоне Болгарии, и поэтому полученные численные значения вероятности сотрясений можно принять как характеристику его сейсмичности.

§ 5. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

Плотина построена на узком Бирамудском проломе р. Арда в трех километрах западнее центра г. Кырджали. Высота над уровнем моря основания стены равна 239 м, а верх стены — 325 м, т. е. 86 м над дном реки.

Район исследований находится в средней части Восточных Родоп, на востоке срединного кристаллического блока — фиг. 2. Эта часть горной системы имеет холмистый характер, с большим числом маленьких речных долин.

Река Арда одна из больших рек Болгарии. Ее долина представляет собой иногда более узкую, а иногда более широкую площадь, в которой Родопский кристаллический массив выдвинулся на нескольких ступенях с многими разрывами и провалами.

Характерной особенностью морфологической структуры долины Арды является чередование долинных расширений с сужениями в виде недлинных глубоких проломов. Будущее водохранилище находится в Игловрышском расширении. Город Кырджали в одном из таких расширений — в Кырджалийском. Их разделяет Бирамудский проход, в самой узкой части которого построена плотина. Здесь русло реки проходит по основным кристаллическим породам; в расширении река образовала аллювиальные террасы, которые потом были засыпаны делювиальными с соседних склонов. Местами, особенно в Кырджалийском расширении, долина реки образована речными наносами.

Главными породами района являются гнейсы, мергели, местами тальковые сланцы.

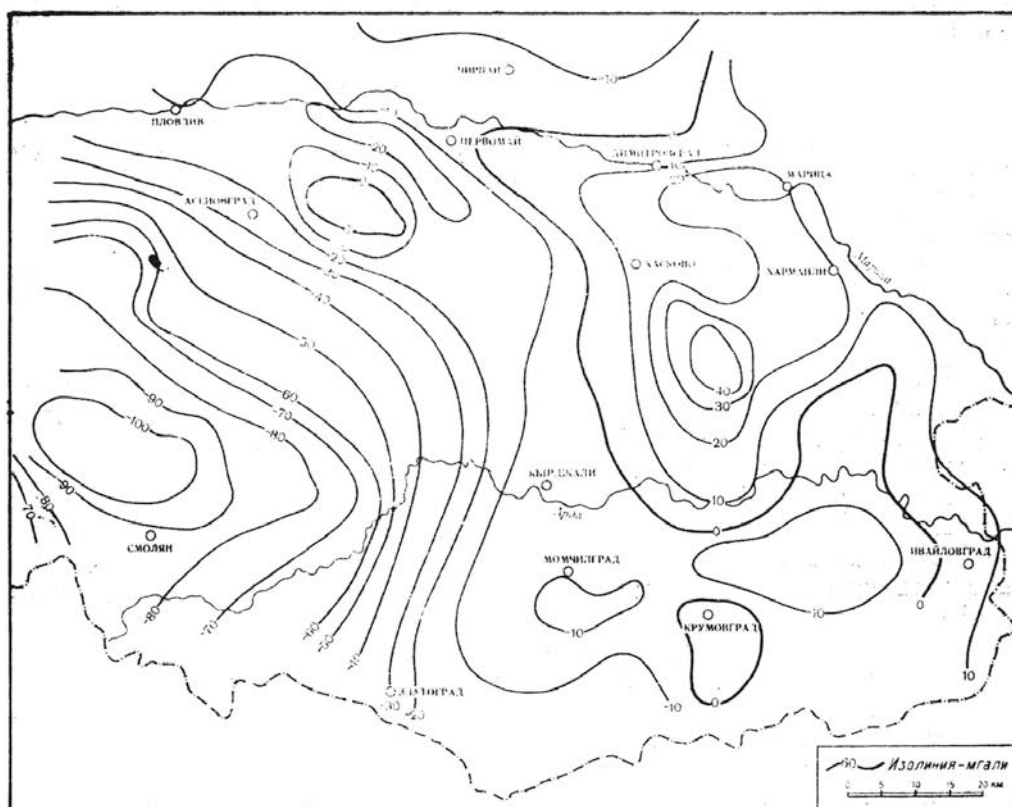
По данным геологической группы БАН и др. участок, на котором расположена плотина Кырджали, находится в зоне пересечения основных структур в Восточных Родопах. По этой причине скальные породы здесь интенсивно расчленены на тектонические блоки разного размера.

В этом участке проявлялись интенсивные тектонические движения в различные эпохи. Большая часть разломов образовалась в период от начала верхнего эоцена до начала миоцена. Одновременно происходило также оживление старых разломов. Можно предположить, что по некоторым разломам движения продолжались и после миоцена. На существовании молодых движений указывает то, что маркирующий олигоценый горизонт на участке расположения плотины денивелирован на 300 см по профилю восток—запад.

§ 6. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОБЛАСТИ БОЛГАРИИ

В районе Восточных Родоп проведены региональные гравиметрические и магнитные исследования. В отдельных частях района проведены подробные магнитные и геоэлектрические исследования с целью разведки и изучения рудных месторождений.

Гравитационное поле данного района дано на карте (фиг. 10), на которой изображены аномалии Буге при $\sigma = 2,67$.

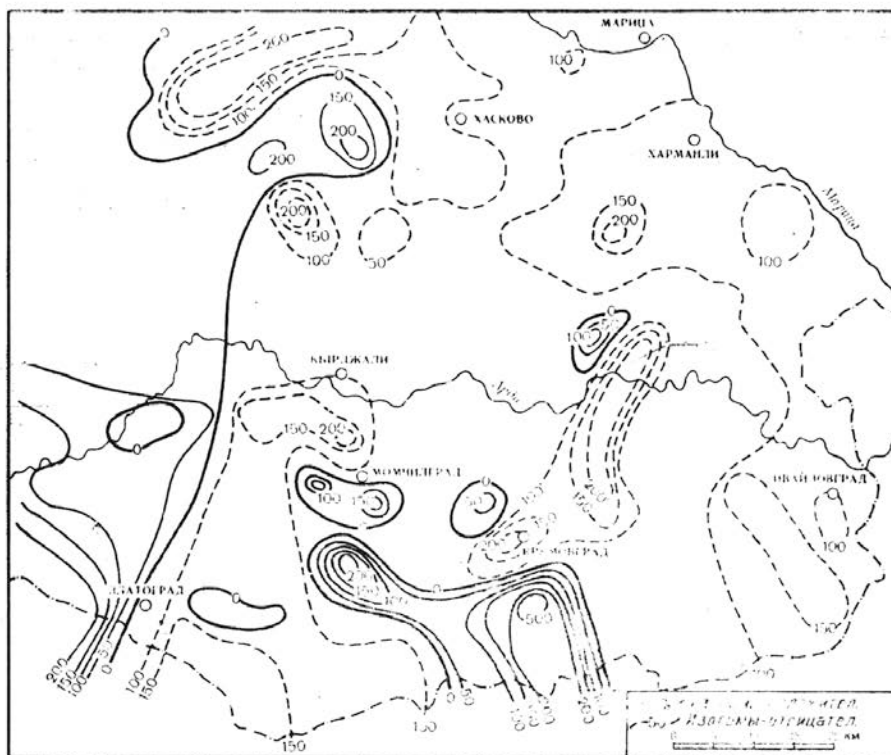


Фиг. 10. Гравитационное поле (Буге аномалия $\sigma = 2,67$) в Восточных Родобах

Гравиметрическая съемка выполнена по сравнительно редкой сети, в среднем 6×6 км. Измерения проведены статистическим гравиметром „Граф“ с точностью $\pm 0,8$ мгала. Суммарная ошибка, которая легла в основу гравиметрической карты, порядка в среднем 2,5 мгала.

Аномальные амплитуды в районе, порядка 100 мгала. Основное направление изолиний север-юг. Это особенно ясно проявляется в районе г. Кърджали и западнее, где находится ясно выраженный значительный гравиметрический градиент. Направление изолиний тут необходимо связать с общим направлением простираций структур. Большой гра-

визометрический градиент по течению р. Арда ограничивает с востока Родопский массив. Возможно, что в исследуемом районе имеется ремкая флексурная складка земной коры или глубинный разлом. Можно провести главным образом качественную интерпретацию гравитационного поля, так как здесь сильно сказывается, по всей видимости, влияние изостазии, вызывающее отрицательные значения гравитационного поля в центре Родопского массива.



Фиг. 11. Магнитное поле (ΔZ) в Восточных Родопах

Гравитационный максимум в районе г. Хасково связан, по всей вероятности, с локальными поднятиями более плотных масс земной коры. Нулевая изолиния очерчивает ось одной депрессии (синеклизе) в палеозое, заполненной третичными формациями, на западной границе которой находится исследуемый район.

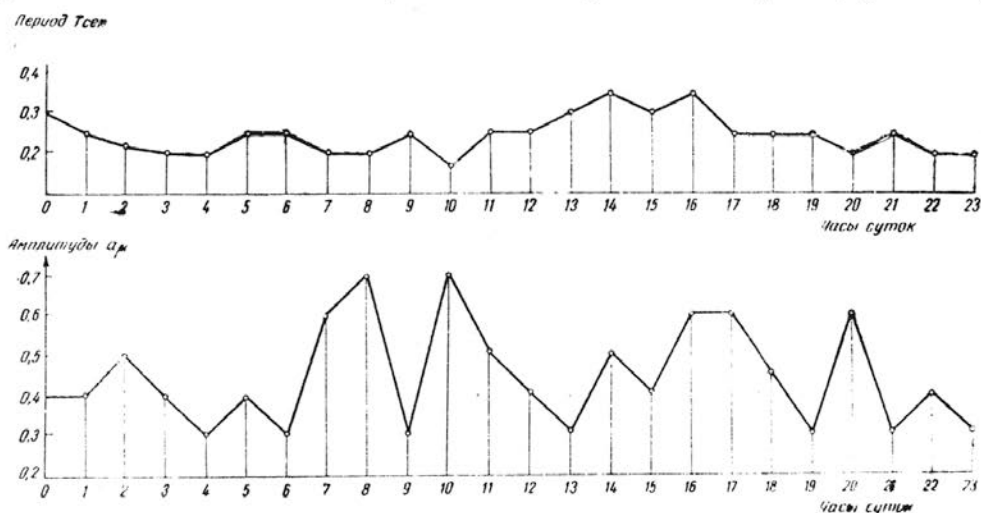
Магнитная съемка (ΔZ) района Восточных Родоп выполнена по сети, аналогичной сети при гравиметрии. Измерения выполнены магнитными весами „Шмидт“ с точностью ± 20 гамм. Как видно из геомагнитной карты (фиг. 11), нулевая изолиния имеет то же направление, какое имеют линии гравитационного поля в области большого гравиметрического градиента, т. е. север-юг. Отдельные локальные аномальные зоны связаны, вероятно, с изверженными породами или более сильным содержанием магнетита в

андезитах. Более глубокую интерпретацию магнитного поля и связи его со строением земной коры можно было бы провести при более густой сети и в горных районах.

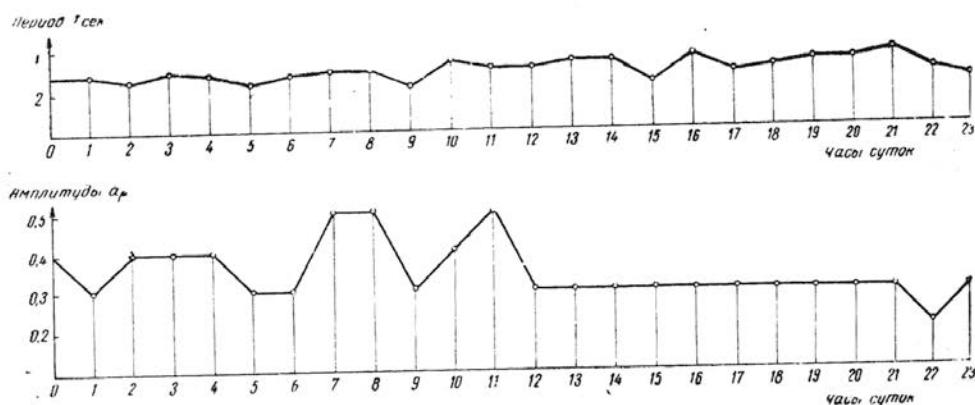
Вообще для данного района более представительным является гравитационное аномальное поле, которое совпадает с некоторыми сейсмическими зонами, вроде Хасковской и др.

§. 7. ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОСЕЙМ В РАЙОНЕ ГИДРОУЗЛА

Регистрация колебаний грунта на региональной сейсмической станции в Кырджали дала возможность получить сведения о микросеймах в данном пункте. Сейсмическая станция была расположена на пологом склоне холма. Сейсмограф регистрировал вертикальную составляющую и был установлен на известняках, весьма нарушенных на поверхности и представляющих собою в строительной терминологии "разборную скалу".



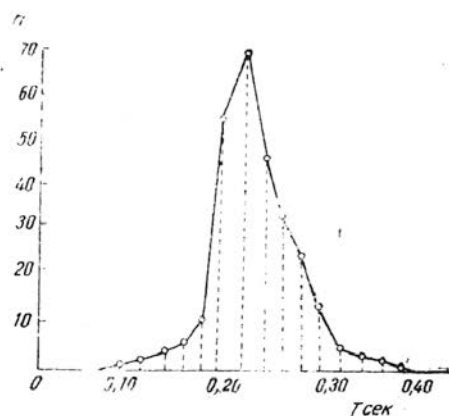
Фиг. 12. Короткопериодный микросейсм в разные часы суток



Фиг. 13. Длиннопериодный микросейсм в разные часы суток

На сейсмограммах сейсмической станции Кырджали выделяются два типа микросейсм: короткопериодные (0,2—0,3 сек) и длиннопериодные (2,5—3,0 сек). Для определения амплитуд и периодов микросейсм обработка их проводится отдельно. Для каждого часа суток определялись максимальные значения амплитуд и соответствующие им периоды микросейсм. Данные эти, полученные за весь период наблюдения, впоследствии осреднялись. Средние значения максимальных амплитуд микросейсм и соответствующих им периодов показаны на графиках. На фиг. 12 даны значения короткопериодных микросейсм в разные часы суток. На фиг. 13 то же для длиннопериодных микросейсм. Среднее значение за сутки составляет: а) короткопериодные вертикальные микросейсм $A=0,44$ микронов и $T=0,24$ сек; б) длиннопериодные вертикальные микросейсм $A=0,34$ микронов и $T=2,5$ сек.

Для короткопериодных микросейсм была сделана оценка частоты повторяемости колебаний разных периодов; для этого производилась выборка колебаний за две минуты с разными периодами. График частоты повторяемости короткопериодных микросейсм для региональной сейсмической станции Кырджали показан на фиг. 14. Как видно, преобладающий период по этому графику равен 0,22 сек, что достаточно близко к среднему.



Фиг. 14. График частоты повторяемости короткопериодных микросейсм для региональной сейсмической станции Кырджали

С помощью передвижной инженерной сейсмической станции были замерены микросейсм в восьми точках в районе гидроузла и в девяти точках на территории г. Кырджали. Все измерения микросейсм производились в дневное время, и регистрировались три составляющие: С—Ю, В—З и вертикальная. Восемь пунктов измерения в районе гидроузла располагались по возможности (поскольку позволяет рельеф) на одном радиальном профиле с разными грунтовыми условиями в местах установки приборов (фиг. 2). Результаты измерения микросейсм даны на табл. 8.

Таблица 8

Микросейсм в разных пунктах на участке гидроузла Кырджали

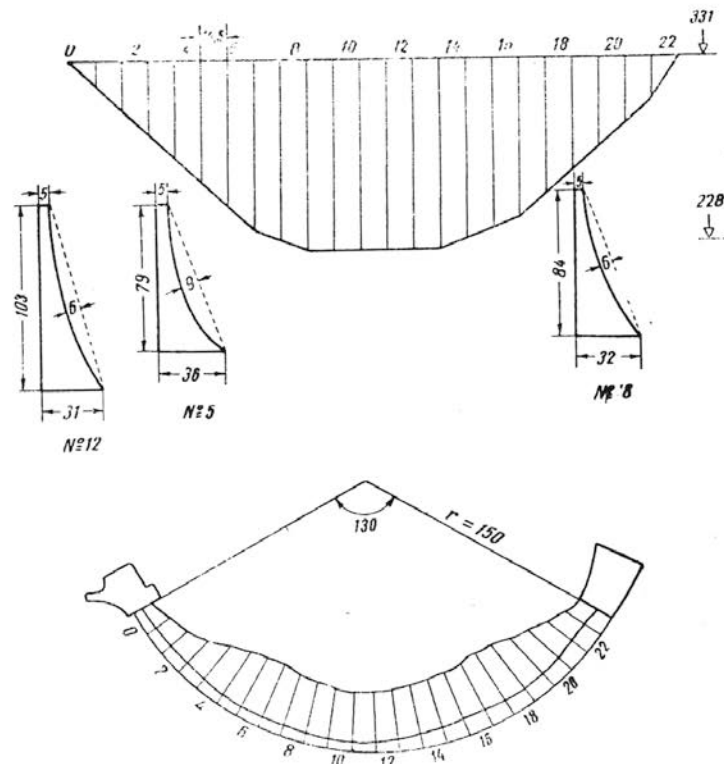
№	Пункт наблюдения	ВЗ		СЮ		Верт.	
		$T_{\text{сек}}$	A_{μ}	$T_{\text{сек}}$	A_{μ}	$T_{\text{сек}}$	A_{μ}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Кристаллические скальные породы. Левый берег р. Арда; отм. +23 м. Расстояние 70 м от плотины	0,78	0,20			2,5 0,24	0,34 0,44
2	Правый берег р. Арда. Отметка +21 м. Расстояние 150 м от плотины. Кристаллические породы	0,78	0,20			2,5 0,24	0,34 0,44

Продължение на табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Правый берег р. Арда. Отметка +10 м. Расстояние 150 м от плотины. Кристаллические породы	1,05	0,22	1,00	0,35	0,24	0,44
4	Дно реки, кристаллические породы покрыты бстонным слоем. Кристаллические породы сильно пересечены швами	0,50	0,07	0,62	0,07		
5	В створе водосброса. Расстояние 50 м. Отметка +20 м. Крупноблочные грунты, слабо отсортированные. Мощность 7 м. Грунт. воды нет	0,32	0,17	0,42	0,42		
6	I терраса р. Арда. Отметка +10 м. Щебенистые грунты с суглинистым заполнением. Грунтовые воды на глубине 7 м. Около моста через р. Арда, от водосброса 600 м	0,55	0,20	0,55	0,32	0,10	0,03
7	Песчаные аллювиальные отложения, отметка +5 м. Грунтовые воды на глубине 1 м; расстояние от плотины 650 м	0,25	0,43	0,25 1,13 0,12	0,33 0,63 2,10	0,09	0,25
8	Отметка 0,50 м. Пойменная терраса р. Арда. Расстояние 850 м. Песчаные водонасыщенные грунты	0,25	0,32	0,25	0,32	0,12	0,13
9	На расстоянии 1000 м от р. Арда. Делювиальные отложения 4—8 м. Отметка + 85 м. Северо-восточная окраина г. Кырджали	0,32	0,10	0,28 0,88 1,50	0,16 0,16 0,16	0,09	0,04
10	На расстоянии 1000 м от р. Арда. Делювиальные отложения 4—8 м. Отметка + 85 м. Северо-восточная окраина г. Кырджали	0,30	0,08	0,25	0,13	0,11	0,08
11	Центр. города Кырджали. Суглинисто-щебеночные грунты; глубина грунтовых вод не более 10 м	0,10	0,17	0,10	0,13	0,10	0,15
12	Город Кырджали, район почты. Суглинисто-щебеночные грунты	0,18	0,10	0,30	0,10		
13	Город Кырджали, район почты. Суглинисто-щебеночные грунты	0,75	0,20	1,05	0,20		
14	Город Кырджали. Южная окраина; делювиальные отложения; грунтовых вод нет	0,10	0,17	0,11	0,17	0,11	0,13
15	Город Кырджали. Южная окраина; делювиальные отложения; грунтовых вод нет	0,12	0,08	0,20	0,15	0,12	0,08
16	Юго-восточная часть г. Кырджали. Аллювиальные отложения. Грунтовых вод нет	0,22	0,17	1,00	0,17		
17	Юго-восточная часть г. Кырджали. Аллювиальные отложения. Грунтовых вод нет	0,15	0,25	0,12	0,17	0,11	0,10
18	Юго-восточная часть г. Кырджали. Аллювиальные отложения. Грунтовых вод нет	0,45	0,32	0,40	0,22	0,38	0,08
19	Юго-восточная часть г. Кырджали. Отметка +20 м. Расстояние от р. Арда 700 м	0,15	0,18	0,15	0,25	0,12	0,05
20	Юго-восточная часть г. Кырджали. Отметка +20 м. Расстояние от р. Арда 700 м	0,38	0,20	0,30	0,20		
21	Юго-восточная часть г. Кырджали. Отметка +20 м. Расстояние от р. Арда 700 м	0,45	0,37	0,70	0,42		
22	Южная часть г. Кырджали на расстоянии 100 м от моста через р. Арда. Аллювиальные отложения; +10 м	0,12	0,08	0,12 0,18	0,08 0,08		
23	Западный участок г. Кырджали. Расстояние 50 м от р. Арда. Отметка +10 м	0,12	0,20	0,14	0,20	0,09	0,17
24	Западный участок г. Кырджали. Расстояние 250 м. Отметка +20 м. Аллювиальные отложения	0,11	0,13	0,12	0,13	0,10	0,10

§ 8. СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛОТИНЫ

Для проведения динамических расчетов арочно-гравитационной плотины гидроузла в Кырджали существенное значение имеет знание периодов собственных колебаний плотины, а также логарифмических декрементов затухания колебаний. Теоретический расчет периодов колебаний арочно-гравитационной железобетонной плотины весьма трудоемок и может оказаться недостаточно достоверным из-за необходимости введения упрощающих расчет предпосылок. Определение декрементов затухания коле-



Фиг. 15. Схематический чертеж плотины

бания сооружения в целом расчетным путем невозможно. Поэтому были проведены измерения с помощью передвижной сейсмической станции периодов и декрементов затухания колебаний. Колебания возбуждались сейсмическим действием взрывов, производимых в связи с нуждами строительства. Участок взрывных работ показан на фиг. 2. Измерения выполнялись по методу МИКС (многоканальные исследования колебаний сооружений). Измерялись две горизонтальные составляющие колебаний — в направлении, параллельном хорде, стягивающей опорные точки арки, и в направлении, перпендикулярном этой хорде. Первое направление будем называть H_I , а второе H_{II} .

Вертикальные колебания плотины оказались при данном возбуждении весьма малыми, и измерения были прекращены после пробных замеров.

Горизонтальные составляющие колебания измерялись по двум схемам. В первой схеме регистрировались колебания в основании плотины, в средней точке по высоте и на верху плотины. Все приборы располагались на блоке № 12 на одной вертикальной оси. Во второй схеме проводилась регистрация колебаний по верху плотины на блоках № 12, 5 и 0. Схематический чертеж плотины приведен на фиг. 15, где даны план арочно-гравитационной железобетонной плотины с указанием разбивки на блоки, развертка бокового вида, а также основные сечения плотины. Общая ситуация указана на фиг. 2.

Необходимо отметить, что во время измерений железобетонные работы по возведению плотины были практически закончены и сделана значительная часть инъекционных работ. Заполнение водохранилища еще не началось.

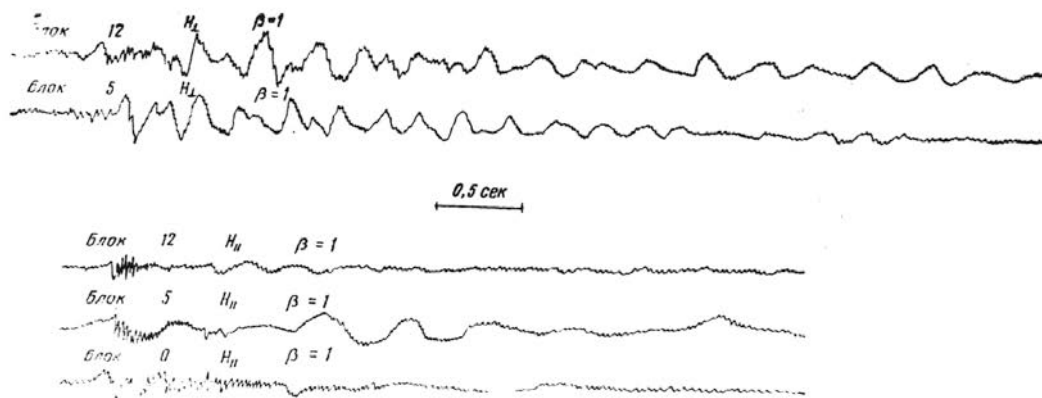
Все измерения производились со стороны нижнего бьефа. Сейсмографы ВЭГИК, имеющие период колебания 1,1 сек и затухание 0,5, устанавливались непосредственно на бетон. Осциллограф ПОБ-9 с гальванометрами ГБ-14 (13 герц) устанавливался на верхнем этаже здания гидроэлектростанции. Соединяющие осциллограф с сейсмографом двужильные провода в этих условиях имели длину около 100 м. Частотная характеристика системы показана на фиг. 1.

Для каждой расстановки приборов делалась регистрация 4—5 взрывов, которая осуществлялась без шунтирующих устройств, так как заряды имели сравнительно малый вес (2—8 кг), на расстоянии около 300 м. В табл. 10 приведены результаты обработки записей для горизонтальной составляющей, перпендикулярной хорде арки (I_1). Колебания скальных пород в основании плотины при сейсмическом действии взрыва имеют весьма короткие периоды (около 0,02 сек), поэтому возбуждение колебаний в плотине имеет импульсивный характер. Вслед за вынужденными колебаниями тело плотины совершает собственные затухающие колебания, которые регистрируются сейсмографом. Периоды собственных колебаний значительно больше (на порядок и выше), чем вынужденные. На фиг. 16 показаны примеры записей колебаний верха плотины при сейсмическом действии взрыва.

Приведенные в табл. 9 результаты измерений показывают, что период горизонтальных колебаний арочной плотины в направлении, перпендикулярном хорде, мало изменяется при каждом регистрируемом взрыве.

На табл. 10 приведены результаты обработки записи горизонтальных колебаний арочной плотины в направлении, параллельном хорде, соединяющей опорные точки арки. Эти материалы также показывают довольно устойчивые значения периода собственных колебаний и логарифмического декремента затухания колебаний.

Сами величины периода собственных колебаний ($T=0,28$ сек) и логарифмического декремента затухания ($\lambda=0,2$) заставляют весьма внимательно отнестись к расчету арочной плотины на сейсмические воздействия. Преобладающий период микровибраций в скальных породах в основании составляет 0,23 сек, что дает основания ожидать подобный же преобладающий период колебания земли при возможных сильных землетрясениях. Близость периодов собственного и вынужденного колебания при сейсмическом воздействии на плотину может вызвать значительное нарастание колебаний и раскачку железобетонной плотины. Такая опасность усугубля-



Фиг. 16. Колебания верха плотины при сейсмическом действии взрыва

ется тем обстоятельством, что логарифмический декремент затухания плотины сравнительно невелик.

Таблица 9

Горизонтальные колебания верха плотины H_I

№ блока	Взрывы №	n	t_1 (сек)	$2Am$ (мм)	$2Am+n$ (мм)	$Am/Am+n$	$\lambda \cdot n$	λ	T_1 (сек)
12	1	6	1,91	12,0	2,7	4,45	1,49	0,245	0,320
12	2	6	1,82	10,0	2,6	3,85	1,35	0,225	0,304
12	3	4	0,89	6,0	2,0	3,00	1,10	0,275	0,224
12	4	6	1,80	7,0	2,0	3,5	1,25	0,209	0,300
12	5	3	0,85	5,5	2,4	2,3	0,83	0,275	0,284
12	6	10	2,85	9,0	1,7	5,3	1,67	0,167	0,285
12	7	10	2,85	15,0	2,7	5,55	1,72	0,172	0,285
5	1	4	1,15	11,5	5,8	2,0	0,69	0,174	0,288
5	2	4	1,12	10,5	5,0	2,1	0,74	0,185	0,281
5	3	5	1,23	6,0	2,0	3,0	1,10	0,220	0,250
Средние значения									
блок 12								0,224	0,286
блок 5								0,193	0,273
блок 12 и 5								0,208	0,280

Таблица 10

Горизонтальные колебания верха плотины H_{II}

№ блока	Взрывы №	n	t_1 (сек)	$2Am$ (мм)	$2Am+n$ (мм)	$2Am/Am+n$	$\lambda \cdot n$	λ	T_1 (сек)
12	10	5	1,48	5,0	1,7	2,95	1,08	0,216	0,290
12	11	4	1,15	4,0	1,9	2,10	0,74	0,183	0,290
12	13	15	4,20	6,5	1,1	5,8	1,76	0,118	0,280
12	14	20	5,50	6,3	0,8	7,9	2,06	0,103	0,275
12	15	10	2,83	3,8	0,9	4,2	1,44	0,144	0,283
Сред. значения								0,153	0,283

§ 9. ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ НА УЧАСТКЕ ГИДРОУЗЛА

а) Аппаратура. Скорость сейсмических волн в исследуемом районе была определена с помощью 26-канальной стандартной сейморазведочной станции СС-26-Д.

Имея в виду состав пород данного района и возможную частоту спектра, излучаемого при взрывах, станция настраивалась на фильтрацию „3“, с максимальной чувствительностью 30 и 40 герц. Настройка на более высокую частоту привела бы к усилению электрических помех с частотой 50 герц. С целью уменьшения уровня этих помех работа производилась при усилении „3—4“, что отвечает коэффициенту усиления $(0,8—1,0) \times 10^4$. Однако уровень электрических помех, как это видно из приложенных сейсмограмм, не низкий. Меньшее усиление привело бы к увеличению зарядов взрывчатого вещества, что в конкретных условиях работы в данном районе оказалось трудным.

Техническая исправность аппаратуры была проконтролирована посредством сейсмограмм идентичности каналов, усилителей и собственных процессов. Скорость движения сейсмограмм порядка 42 см/сек. Маркировка времени осуществлена синхронным мотором, получающим энергию от камертонного генератора. Интервал между соседними отметками равняется 0,01 сек.

Гальванометрический блок состоит из 26 зеркальных гальванометров с электромагнитным затуханием на границе аперподичности, с собственным периодом около 130 герц и чувствительностью порядка 10^{-6} а/мм/м.

Сейсмические волны регистрировались посредством сейсмоприемников типа ПСМ-16 с чувствительностью КЕМС-0,7 вольт. см/сек. и собственной частотой около 30 герц. Связь между взрывным пунктом и сейсмической станцией осуществлялась по телефону. По нему же передавался и момент взрыва.

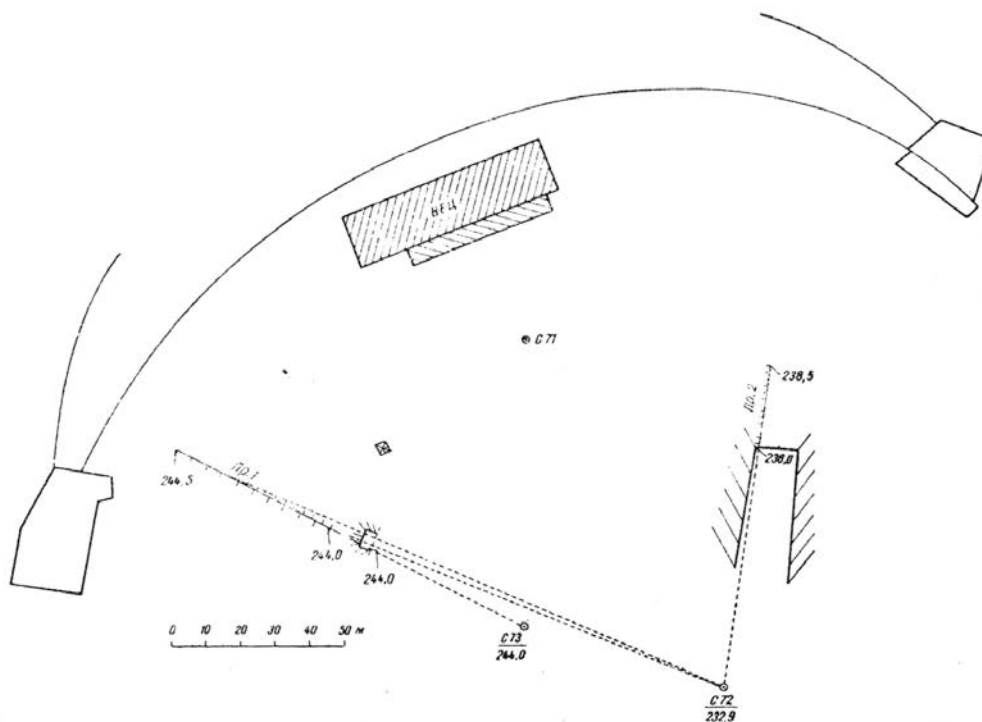
В процессе работы включался также и сейсмограф для отметки вертикального времени.

б) Методика и техника работы. Возбуждение сейсмических волн было выполнено взрывчатым веществом — амоналом, причем детонация осуществлялась посредством миллисекундных электродетонаторов, воспламеняющихся с помощью специальной взрывной машинки.

Так как взрывы производились в скважинах, заполненных водой, то взрывчатое вещество было уложено в стальные трубы — торпеды, величиной около 1 метра. Поверхностные взрывы оказались неподходящими, так как при этих взрывах возбуждались слабые сейсмические волны. Выполнение поверхностных взрывов с большим количеством взрывчатого вещества в условиях исследуемого района оказалось невозможным из-за необходимости соблюдения правил техники безопасности. Количество взрывчатого вещества, положенного в скважину, варьирует в пределах 5—10 кг. Наличие воды в скважинах благоприятствует получению большей сейсмической энергии и резких вступлений. Глубина скважин варьирует в пределах 66—74 м. Использованы скважины № 72 и № 73, как это изображено на фиг. 20 и 21.

В скважине 72 взрывание было совершено на глубине 66 и 74 м, а в скважине 73 на глубине 11 и 66 м. Так как скважина 72 должна была

быть подвергнута инжектированию цементом, то взрывание в ней на меньших глубинах не было возможно из-за опасности обвала. При взрывах на различных глубинах преследовалась цель исследовать влияние слоистости на скорость распространения сейсмических волн-анизотропии.



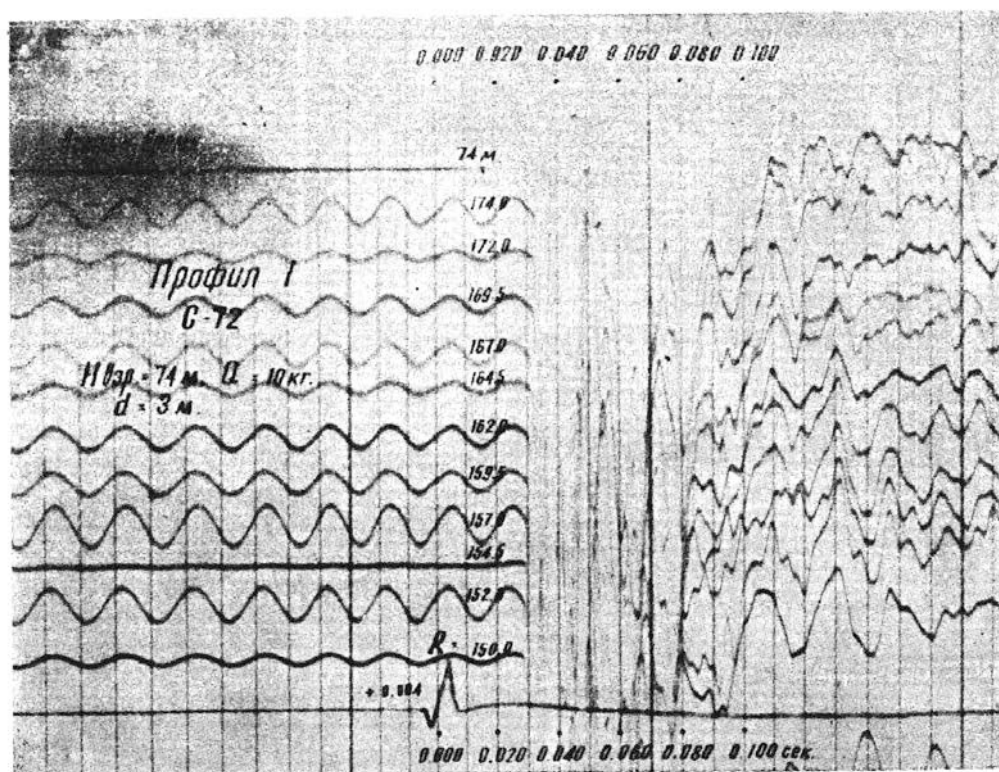
Фиг. 17. Схема расположения сейсмических профилей

Из-за плохих рельефных условий района самым подходящим местом для установки сейсмоприемников оказалась правая инжекционная штольня в которой установили сейсмический профиль № 1 и левый отводной канал, с установленным сейсмическим профилем 2 (фиг. 17). В обоих местах сейсмоприемники были установлены поверх бетонного слоя, толщиной около 30 см, почти в горизонтальном направлении с малым наклоном к выходу. Устья скважин, а также и сейсмические профильные линии, изображенные на фиг. 17, имеют абсолютную отметку. Длина сейсмических профильных линий (установок) определяется в зависимости от условий в штольне и осушительном канале. По профильной линии 1 сделаны две установки длиной 30 и 50 м с 11 сейсмоприемниками при интервалах 3 и 5 м. По профильной линии 2 сделана одна установка с интервалом 2 м с 12 сейсмоприемниками. Принятие сейсмической установки с вышеуказанной длиной, при условиях исследуемого района практически удовлетворяет требованиям для разрешения поставленной задачи.

С целью регистрации вертикального времени (время, в течение которого сейсмический луч проходит расстояние от взрыва до земной поверхности в вертикальном направлении) около устья скважины 72 был постав-

лен сейсмоприемник. Чтобы определить скорость в бетоне, использовалась установка по профильной линии I с интервалом между сейсмоприемниками 3 м. Сейсмические волны получены здесь при ударе о железную балку на продолжении профильной линии.

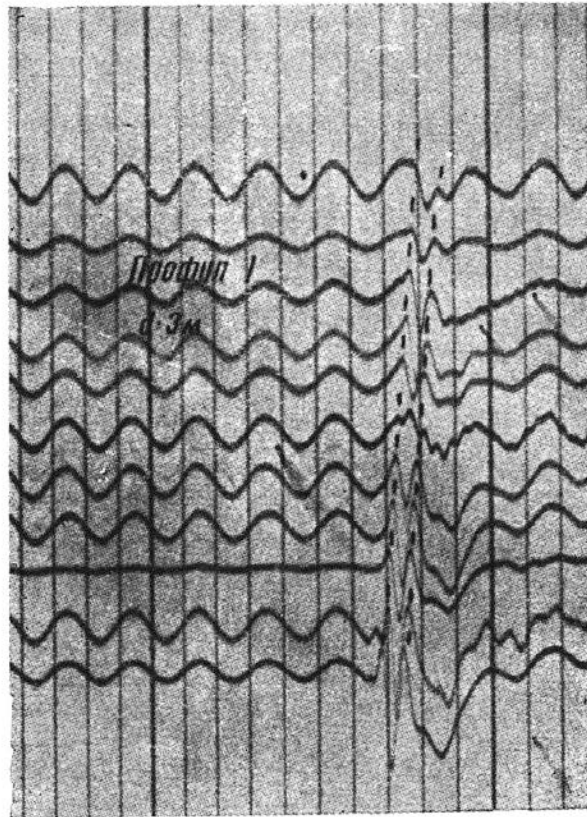
Вследствие того, что возбуждение сейсмических волн производится путем взрывов в скважинах на глубинах, соизмеримых с расстоянием сейс-



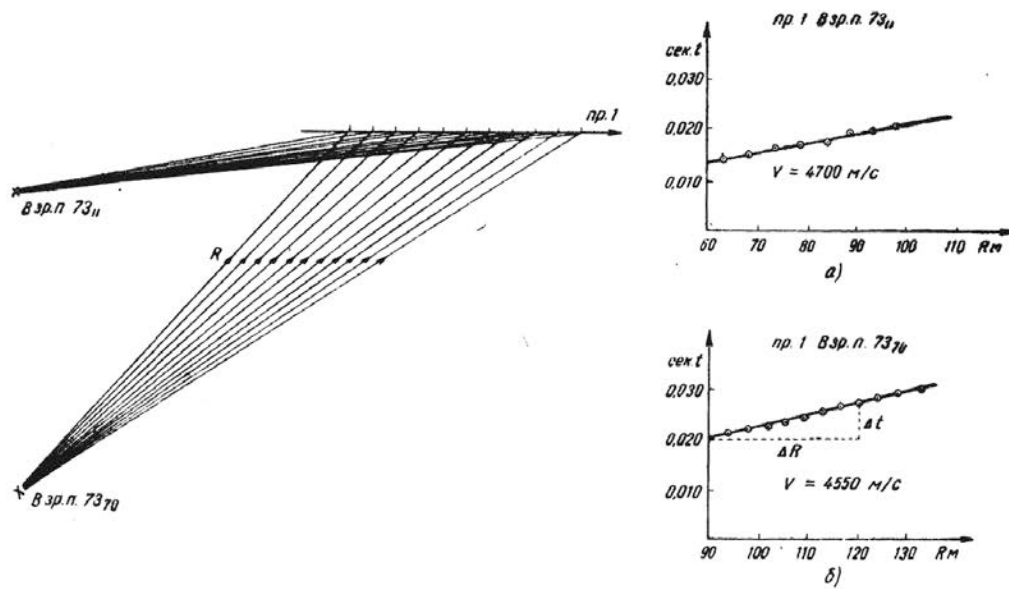
Фиг. 18. Сейсмическая запись прямой волны

мических стоянок до их устья, то фактически сейсмические профильные линии являются непродольными, что вызывает необходимость особенной обработки экспериментального материала.

в) Результаты измерений. От взрыва получают прямые волны во вторых вступлениях с выраженными осями синфазности (фиг. 18). Последние вероятно отраженные волны от границ между средой с различными волновыми сопротивлениями; их не будем рассматривать. Интерес представляют волны в первых вступлениях — прямые волны, так как они дают представления о скорости распространения сейсмических волн. Полезные сейсмоволны осложняются беспокойным фоном, как сказано выше, обремененным электрическим колебаниям в 50 герц от электрической сети. Несмотря на принятые усилия уровень этих помех не мог быть снижен с тем, чтобы была сохранена резкость первых вступлений сейсмических волн. Как видно из сейсмограммы на фиг. 18, была зарегистриро-

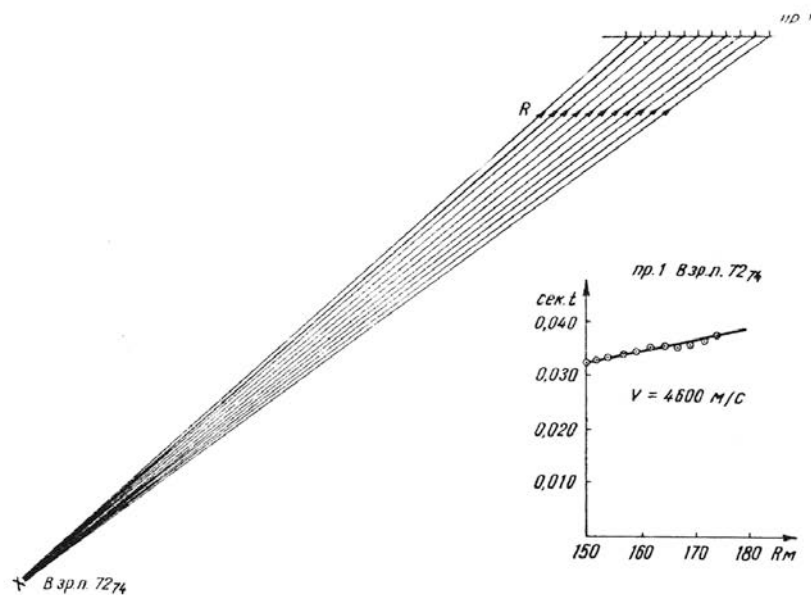


Фиг. 19. Запись сейсмических волн в бетоне

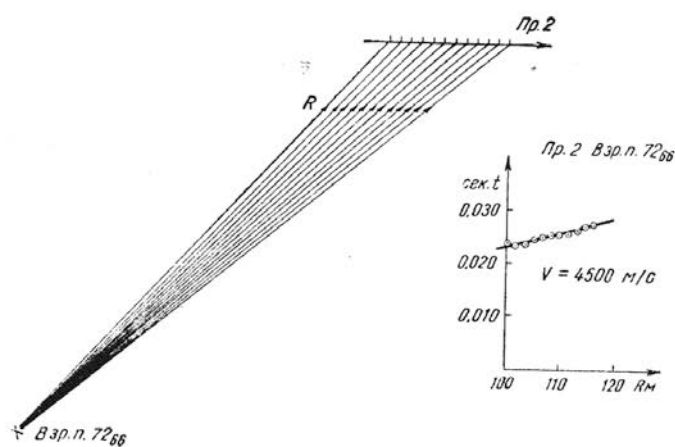


Фиг. 20. Годограф по профилю № 1 с взрывного пункта 73₁₁

вана и трасса вертикального времени. Моменты взрыва удовлетворительно резкие. Удовлетворительно зарегистрированы и сейсмические волны в бетоне (фиг. 19).



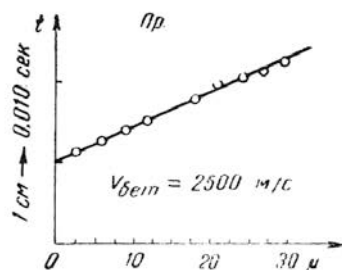
Фиг. 21. Годограф по профилю № 1 с взрывного пункта 7274



Фиг. 22. Годограф по профилю № 1 с взрывного пункта 7266

При вычислении скоростей принималось, что сейсмические лучи первых вступлений распространяются прямолинейно. На фиг. 20, 21, 22 даны сейсмические лучи и сейсмоустановки в плоскостях, проходящих через пункты установки и взрывные пункты. Профили № 1 и с. № 73, а также профиль № 2 и с. № 72 имеют плоскости вертикальные. Для профиля № 1 и с. № 72 эта плоскость является наклонной.

Скорости распространения сейсмических волн были вычислены на основании непродольных годографов прямых сейсмических лучей в указанных выше плоскостях, построенных с точностью 0,001 сек. Годографы



Фиг. 23. Годограф сейсмических волн в бетоне

отнесены к координатной системе, по абсциссе которой нанесена длина сейсмических лучей и в масштабе: 1 см равен 10 м, а по вертикали — время первых вступлений каждого луча в масштабе: 1 см равен 0,010 сек.

Как видно из фиг. 20, 21, 22, годографы являются прямыми линиями, что показывает, что между взрывной точкой и профилем пространство, пронизываемое сейсмическими лучами по упругим свойствам однородно. Скорость по каждому годографу определили по зависимости

$$V = \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

На фиг. 20 даны два годографа; а) годограф по профилю № 1 с взрывного пункта 73₁₁ (здесь индекс означает глубину взрыва в метрах). По нему вычислена скорость в метрах $V = 4700$ м/сек. б) годограф профиля № 1 с взрывного пункта 73₇₀. По нему вычислена скорость $V = 4550$ м/сек.

На фиг. 21 дан годограф по профилю № 1 с взрывного пункта 72₇₄. По нему получена скорость $V = 4000$ м/сек.

На фиг. 22 дан годограф по профилю № 2 с взрывного пункта 72₆₆. По нему вычислена скорость $V = 4500$ м/сек.

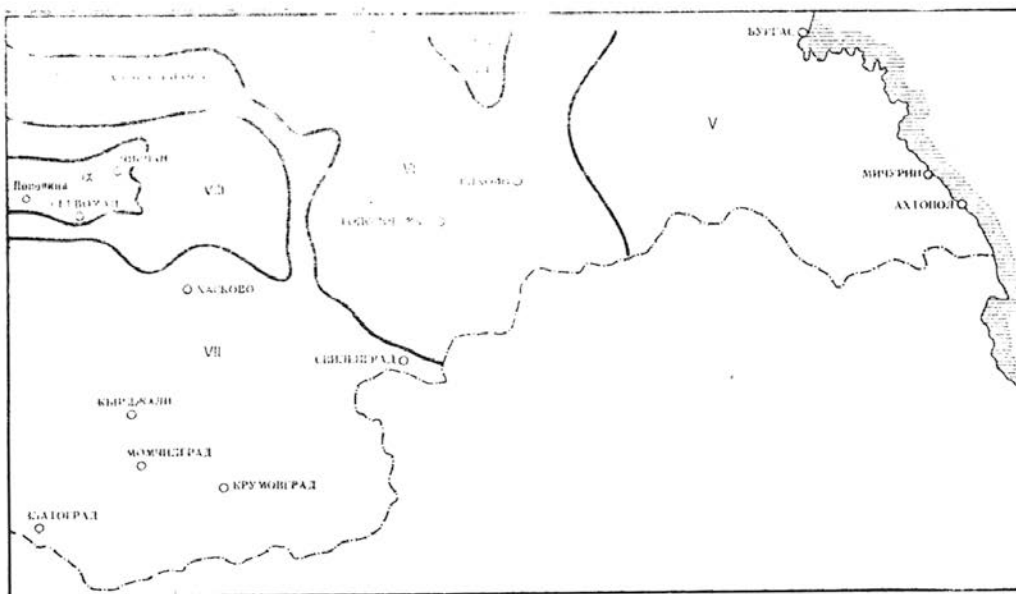
Средняя скорость в гнейсах, следовательно, будет $V = 4570$ м/сек.

Как видно из вышеуказанных данных, скорость сейсмических волн в массе породы из более мелких взрывных пунктов большая, чем таковая, соответствующая сейсмическим волнам более глубоких пунктов. Это проявление анизотропии.

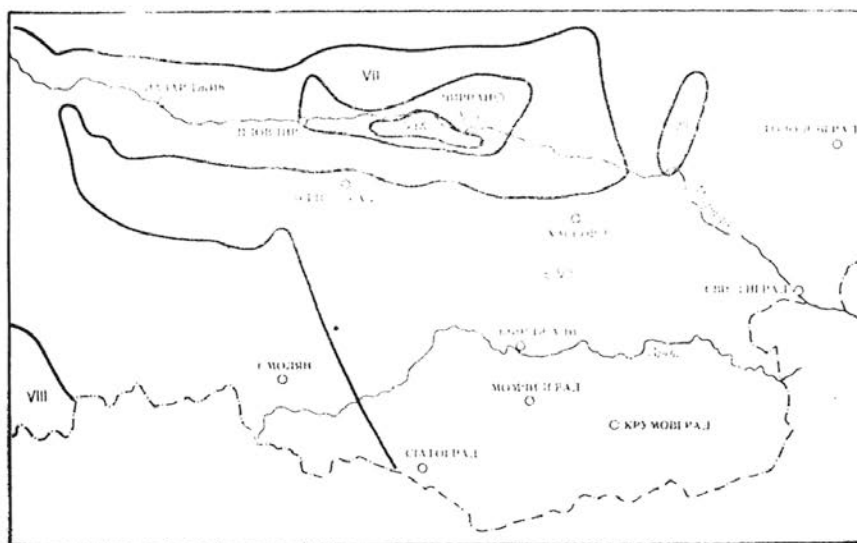
Скорость сейсмических волн, определенная по вертикальному времени $V = 3800$ м/сек. Как выше сказано, эта скорость была определена в скважине № 72₂, которая на 20 м достигает талькового тела мощностью около 18 м. Естественно, что занижение полученной выше средней скорости приблизительно на 770 м/с является следствием талькового тела, скорость распространения сейсмических волн в котором, вычисленная по косвенному пути, приблизительно 2600 м/сек. Поскольку по направлению сейсмических профилей тальковое тело выклинивается, то его влияние на скорость здесь не проявляется. На фиг. 23 дан годограф сейсмических волн в бетоне. Скорость здесь достигает 2500 м/сек.

§ 10. О НАПРАВЛЕНИЯХ РАБОТ ПО УТОЧНЕНИЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

В правилах по строительству в сейсмических районах Болгарии 1957 г. приведена карта сейсмического районирования, выкопировка из которой для интересующего нас района показана на фиг. 24. В 1961 г. были утверждены новые нормы сейсмического строительства в Болгарии, в ко-



Фиг. 24. Карта сейсмического районирования



Фиг. 25. Карта сейсмического районирования для сейсмического строительства

торых внесены значительные изменения в схему сейсмографирования (фиг. 25).

Для уточнения сейсмического районирования Болгарии необходим совместный анализ: а) сейсмологических, б) инженерно-сейсмологических и в) геотектонических материалов.

Сейсмостатистические данные о расположении очагов землетрясения различной силы в пространстве и времени могут быть разделены на макросейсмические, полученные на основании изучения последствий землетрясений неинструментальными методами, и инструментальные, полученные в результате обработки наблюдений сейсмических станций. Однако, необходимо совместное обобщение и анализ всех, как макросейсмических, так и инструментальных данных о землетрясениях.

Большое внимание целесообразно уделить составлению каталога землетрясений, в котором как инструментальные, так и макросейсмические сведения необходимо классифицировать.

Магнитуда землетрясений M определяется по максимальному смещению почвы в поверхностных волнах на основании записей сейсмических станций разных стран. Если данные о смещениях в поверхностных волнах отсутствуют, то отнесение землетрясений к той или иной группе по магнитуде производится на основании дальности регистрации на сейсмических станциях.

По точности определения координат эпицентры землетрясений подразделяются на эпицентры, ошибка в определении которых не превосходит A км, и на эпицентры, ошибка которых находится в пределах от A км до $2A$ км. Для получения инструментальных данных создается сеть сейсмических станций. Важным для сейсмического районирования является привлечение инструментальных наблюдений над очень слабыми землетрясениями. Экспериментально установлено, что в большинстве случаев более часто возникающие слабые землетрясения и редкие сильные землетрясения связаны территориально. Эта связь выражается в том, что слабые землетрясения в среднем для относительно больших территорий и времен наблюдений достаточно устойчиво характеризуют сейсмическую активность территории. Между относительным числом землетрясений и их энергией (или магнитудой) существует статистическая зависимость. Однако, для очень локальных зон и коротких сроков наблюдения, вследствие флуктуации сейсмической деятельности, могут иметь место отклонения от этой средней зависимости.

Для составления карты сейсмического районирования рекомендуется пересмотреть и систематизировать все существующие данные о проявлении землетрясений на поверхности земли. Эта работа оформляется в виде Атласа сильных землетрясений, содержащего карты изосейст землетрясений, карточный каталог и сводные карты изосейст по областям.

Желательно проведение дополнительных полевых работ по сбору неинструментальных данных о наиболее сильных землетрясениях прошлых лет с целью составления уточненных карт изосейст этих землетрясений. При этих исследованиях уделяется внимание как грунтовым условиям района, так и типам сооружений, подвергшихся разрушениям. Для всех макросейсмических данных проводится оценка интенсивности землетрясений в баллах при использовании для этого новой шкалы Института физики Земли АН СССР (ГОСТ 6249-52).

Для сейсмического районирования составляется сеймотектоническая карта, на которой должны найти отражение основные закономерности тектонического развития как крупных регионов, так и отдельных зон. Для этого необходим последовательный структурно-фациальный анализ истории развития сейсмоактивной области. Помимо выделения крупных гео-

тектонических элементов, отличающихся геологической историей и, как следствие, разным строением, на карте показываются зоны различной величины градиента скорости вертикальных движений коры, региональные тектонические разрывы разных типов, порядка, размера, глубины, амплитуды и возраста.

Исследования по сейсмическому районированию сочетаются с работами по сейсмическому микрорайонированию крупнейших городов.

§ 11. ВЫВОДЫ

В работе приведены материалы о сейсмичности района Кырджали, геофизические данные по юго-восточной Болгарии, геологические данные для участка, окружающего створ плотины Кырджали, материалы о микросейсмических колебаниях в районе гидроузла, о сейсмических скоростях в горных породах на участке сооружения плотины и о собственных колебаниях плотины.

Для составления отчета использованы результаты инструментальных наблюдений в районе гидроузла Кырджали, полученные с помощью советской сейсмологической аппаратуры, привезенной для этой цели из Москвы, а также материалы, накопленные в результате многолетних сейсмологических исследований в Болгарии.

На основании всех приведенных в отчете данных могут быть сделаны следующие выводы.

За время работы на участке гидроузла Кырджали временной региональной сейсмической станции в октябре 1961 г. было получено 40 сейсмограмм, на которых зарегистрировано 22 слабых землетрясения (см. табл. 5). Для 8 землетрясений разность сейсмических волн — Р составляет от 1 до 8 секунд, и, следовательно, их очаги расположены в пределах 50 км от станции, то-есть вблизи участка гидроузла. Существование местных слабых землетрясений в районе Кырджали указывает на наличие современной тектонической активности в этой зоне.

Измерение микросейсм на участке гидроузла Кырджали на скальных породах показало, что для этого района характерны два типа колебаний: короткопериодные микровибрации и длиннопериодные микросейсмы. Средний период микровибраций составляет 0,24 сек, а средняя суточная амплитуда 0,44 микрона. Длиннопериодные микросейсмы имеют преобладающий период 2,5 сек и среднюю амплитуду 0,34 микрона. Микросейсмы, измеренные на аллювиальных наносах долины реки Арда, имеют значительно большие амплитуды и менее регулярны, чем на скальных породах.

Скорости распространения сейсмических волн в горных породах на участке гидроузла Кырджали были определены на основании сейсморазведочных работ, проведенных в октябре 1961 г. при возбуждении колебаний взрывами. Скорости распространения продольных упругих волн по профилю № 1 равны 4700 м/сек и 4550 м/сек, а по профилю № 2 — 4600 м/сек и 4500 м/сек. Средняя скорость равна 4570 м/сек. Скорость сейсмических волн в вертикальном направлении вдоль скважины оказалась равной 3800 м/сек. При общей глубине скважины 72 м, она пересекает тальковое тело с мощностью слоя 18 м. Исходя из этого, приближенный расчет для талькового тела косвенным путем дает скорость 2600

м/сек. Полученные скорости позволяют вычислить модули упругости (модули Юнга) пород в их естественном залегании.

В экспедиционных условиях на гидроузле были организованы и проведены измерения собственных колебаний логарифмических декрементов затухания колебаний арочно-гравитационной плотины. Вынужденные колебания плотины возбуждались взрывами. Интерпретация осциллограмм показала, что период горизонтальных колебаний верха среднего блока плотины в направлении, перпендикулярном к хорде, соединяющей пяты арки, равен 0,29 сек и логарифмически декремент затухания колебаний равен 0,22. В направлении, параллельном хорде арки плотины, горизонтальные колебания верха центрального блока имеют период 0,28 сек и логарифмический декремент затухания колебания 0,15.

Оценка повторяемости VII-балльных землетрясений по имеющимся материалам могла быть произведена лишь с малой степенью надежности. Можно предположить, что VII-балльные землетрясения в районе Кырджали могут происходить со средней повторяемостью один раз за 200 — 400 лет. Уточнение этого вопроса может быть получено в результате проведения многолетних инструментальных наблюдений с помощью сети высокочувствительных сейсмических станций. Если учесть, что плотины Кырджали построены с расчетом на сейсмические нагрузки до VIII баллов, вопрос о более точной оценке повторяемости VII-балльных землетрясений вряд ли имеет большое практическое значение.

По гравиметрическим данным, на участке р. Арда от Кырджали до Рудозема отмечается значительный гравиметрический градиент — 3 м гал/км.

Для дальнейшего уточнения и обоснования карты сейсмического районирования Болгарии необходимо развитие и расширение а) сейсмологических, б) инженерно-сейсмологических и в) сеймотектонических исследований. Работы по сейсмическому районированию должны сопровождаться развитием инструментальных наблюдений и сочетаться с исследованиями по сейсмическому микрорайонированию крупных городов Болгарии.

Приведенные сейсмологические данные, а также наличие столь большого гравиметрического градиента и тектонические данные в комплексе указывают на возможность возникновения в этом районе землетрясений силой VII баллов. Исходя из этого, район строительства плотины следует признать VII-балльным, а для расчета плотины должен быть принят VIII балл шкалы ГОСТ-6249-52.

Участок, на котором расположена плотина, находится в зоне пересечения основных структур в Восточных Родобах. В связи с этим скальные породы интенсивно расчленены на блоки разного размера. Зоны разломов заполнены глиной, что указывает на сравнительно молодые движения по обоим разломам.

Поступила на 1. XI. 1961 г.

ВЪРХУ СЕИЗМИЧНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ НА УЧАСТЪКА НА ХИДРОВЪЗЕЛА КЪРДЖАЛИ В БЪЛГАРИЯ

С. В. Медведев, В. И. Буне, И. Н. Петков, Е. Григорова,
Л. Христосков, С. Рыжикова, К. Палиева

(Резюме)

В настоящата работа са използвани резултатите от инструменталните наблюдения на сеизмичността в района на хидровъзела Кърджали през октомври на 1961 год. и материали от дългогодишни макросеизмични изследвания в България. Дават се геофизични и геоложки данни за областта.

Направени са измервания на микросеизмичните колебания в участъка на хидровъзела, които показват, че тук са характерни два типа микро-сеизми; късопериодични със среден период 0,24 сек. и средна денонощна амплитуда 0,44 и дългопериодични микросеизми с преобладаващ период 2,5 сек. и средна амплитуда 0,34.

Изследвани са скоростите на разпространение на сеизмичните вълни в скалите, посредством сеизморазведочна станция, като трептенията са пораждали от взривове. Средната скорост на разпространение на надлъжните еластични вълни е равна на 4570 м/сек. Тази скорост е повлияна от скоростта в талкошистите, която бе определена косвено и възлиза на 2600 м/сек. Скоростта във вертикално направление е 3800 м/сек. Получените скорости позволяват да се изчислят модулите по еластичността на скалите в естествени условия.

Направени са измервания и интерпретация на собствените колебания и логаритмичния депримент на затихване на колебанията на язовирната стена.

Във времето на инструменталните сеизмични изследвания са били регистрирани 22 слаби земетресения, като осем от тях са били местни с огнища, отстоящи максимално на 50 км от станцията, това дава указание за наличността на съвременна тектонска активност в този район.

Въз основа на направената оценка на повторемостта на земетресенията от 7-а степен се предполага, че седембалните земетресения могат да се случат със средна повторемост един път на 200—400 год., и като се имат пред вид големият гравиметричен градиент и тектоничните данни изобщо, съществува възможност за възникване в този район на земетресения с интензивност 7 бала.

RECHERCHES SISMIQUES DANS LE SECTEUR DU COMPLEXE HYDROÉNERGÉTIQUE DE KÄRDJALI EN BULGARIE

S. V. Medvedev, V. I. Bouné, I. N. Petkov, E. Grigorova,
L. Hristoskov, S. Rijikova et K. Palieva

(Résumé)

Le présent article tire parti des résultats fournis par les observations d'appareils enregistreurs de la sismicité dans la région du complexe hydro-énergétique de Kârdjali, pendant les mois d'Octobre 1961, ainsi que de la documentation sur les recherches macrosismiques faites en Bulgarie de longues années durant. On donne en outre des renseignements géophysiques et géologiques relatifs à cette région.

Les mesurages des oscillations microsismiques, faits dans le secteur du complexe hydroénergétique montrent que cette région est caractérisée par deux types de microséismes: les uns à périodes courtes durant en moyenne 0,24 secondes, et d'une amplitude moyenne diurne de $0,44 \mu$, et les autres à périodes longues d'une durée prédominante de 2,5 secondes et d'une amplitude diurne moyenne de $0,34 \mu$ (microns).

On a également calculé la vitesse de propagation des ondes sismiques dans les roches, à l'aide d'une station de renseignements sismiques, les tremblements nécessaires étant suscités par des explosions. La vitesse de propagation moyenne des ondes élastiques en long est égale à 4570 m/sec. Cette vitesse est influencé par la vitesse à travers les schistes de talc, déterminée indirectement, qui est de 2600 m/sec. La vitesse de propagation dans le sens vertical mesure 3800 m/sec. Les vitesses obtenues permettent de calculer les modules d'élasticité des roches dans des conditions naturelles.

On a fait aussi des mesurages et une interprétation des oscillations propres du barrage et du décrétement logarithmique de la décroissance des oscillations de ce mur de barrage.

Au cours des recherches sismiques instrumentales on a enregistré 22 faibles tremblements de terre, dont 8 étaient locaux, leurs foyers étant éloignés de 50 km au maximum de la station, ce qui indique la présence d'activité tectonique contemporaine dans cette région.

Analysant la fréquence de répétition des tremblements de terre de VII^e degré et partant de l'estimation qui en a été faite, on présume que les séismes de cette intensité peuvent avoir lieu une fois tous les 200 à 400 ans en moyenne: considérant d'autre part le grand gradient gravimétrique et en général toutes les données d'ordre tectonique de cette région, il est toujours probable que des séismes du VII^e degré d'intensité y aient lieu.