

УДК 550.344.92.09(—924.46)

Л. Б. СЛАВИНА, М. Б. МКРТЧЯН

СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В НИЖНИХ ЧАСТЯХ ЗЕМНОЙ КОРЫ МАЛОГО КАВКАЗА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Методом кажущихся скоростей оцениваются скорости продольных волн P в нижних частях земной коры Малого Кавказа по данным 27 сейсмических станций. Составлена карта поля скоростей на глубине 30—60 км, выяснен характер изменения скоростей, их связь с другими геофизическими полями. Поле скоростей продольных волн имеет сложное строение и меняется в большом диапазоне: от 7,2 км/сек на западе, до 8,0 км/сек на юго-востоке.

Работ по исследованию скоростей в верхах мантии Кавказа проводилось сравнительно мало [2, 5, 7]. В частности, были получены карты поля скоростей продольных волн P под Кавказом методом расчетов трехмерных скоростных моделей [7]. Однако этот способ позволяет получить скорости только в области концентрации очагов землетрясений. С другой стороны известно, что очаги землетрясений на Кавказе распределены неравномерно. Имеются районы, где они отсутствуют, следовательно, здесь невозможно было получить оценку скорости волн. Поэтому возникает необходимость оценки скорости продольных волн и выделения скоростных зон в низах земной коры, независимо от местоположения гипоцентров.

Метод оценки скоростного строения коры и мантии по кажущимся скоростям был предложен и разработан применительно к данным о временах пробега сейсмических волн от землетрясений до сети региональных станций в работах Л. Б. Славиной и С. А. Федотова для Камчатки [8].

Методика применительно к Кавказу существенным изменениям не подвергалась. Кажущаяся скорость рассчитывалась по разностям времен прихода волны P от одного землетрясения на пару станций. При этом станции и эпицентр должны были находиться на одной прямой или близко к ней. Так как измерение кажущейся скорости, полученное по одному гипоцентру, могло содержать случайные ошибки, выбиралась группа близко расположенных гипоцентров, по которым и оценивалась V —кажущаяся средняя по данной трассе на данные пары станций.

Было использовано около 220 землетрясений Кавказа, Турции и Ирана с глубиной залегания очага до $H=30$ км с $K \geq 9$, по данным 27 сейсмических станций [1]. Выбрано 8 групп эпицентров (рис. 1), в каждую из которых входило от 10 до 45 землетрясений.

При выделении местоположения отдельных групп считали необходимым иметь статистически достаточное количество землетрясений в

группе для определения среднего значения кажущихся скоростей и встречные наблюдения по отдельным трассам. Трассы волн от отдельных групп достаточно густой сеткой покрывают различные тектонические области Кавказа.

Единичные значения кажущейся скорости определялись для каждого землетрясения как

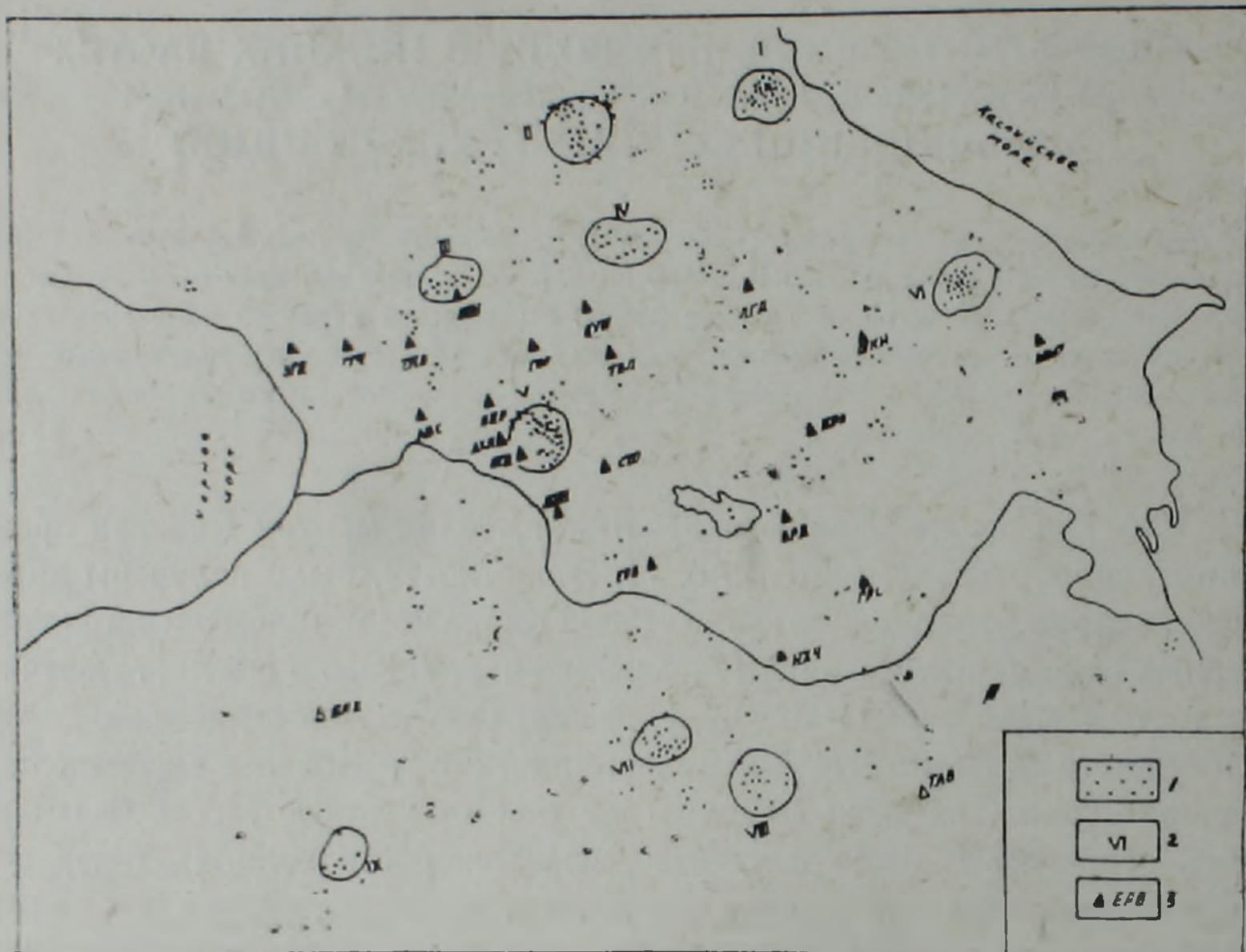


Рис. 1. Карта групп эпицентров землетрясений Кавказа за 1971—1975 гг. 1—эпицентры с $K \geq 9$ за 1971—1975 гг.; 2—номера групп эпицентров; 3—сейсмические станции.

$$V_i^* = \frac{\Delta_r - \Delta_l}{t_r - t_l},$$

где V_i^* — кажущаяся скорость; Δ_l ; Δ_r — соответственно эпицентральные расстояния станций в паре; t_l ; t_r — время вступления волны на первой и второй станциях.

Для каждой группы очагов выбирались все возможные пары станций, расстояние между которыми более 50 км, а эпицентральное расстояние до ближней станции более 180 км.

Пары станций по группам

- I группа:* Шки-Крб, Крб-Врд, Крб-Грс, Крб-Кдж, Врд-Нхч, Крб-Нхч, Шки-Грс, Лгд-Крб, Лгд-Врд, Лгд-Ерв, Тбл-Лин, Тбл-Бгд, Бгд-Эрз, Бкр-Гор, Гор-Абс, Они-Гчр, Они-Згд, Кдж-Тав, Тав-Грс, Врд-Тав, Грс-Тав, Кдж-Тав, Тбл-Стп, Тбл-Ерв, Душ-Лин, Гор-Ани,
II группа: Шмх-Шки, Лдг-Шки, Лдг-Крб, Лдг-Врд, Врд-Кдж, Врд-Грс, Бгд-Гор, Они-Абс, Крб-Грс.

III группа: Бгд-Ерв, Лин-Ерв, Стп-Ерв, Стп-Нхч, Стп-Кдж, Стп-Врд-
Стп-Грс, Врд-Грс, Крб-Лик, Шки-Шмх, Лгд-Шки, Лдг-Шмх.

IV группа: Бгд-Эрз, Ахл-Эрз, Стп-Ерв, Врд-Кдж, Врд-Грс, Шки-Шмх.

V группа: Ерв-Нхч, Ерв-Кдж, Врд-Грс, Крб-Шмх, Шки-Шмх, Они-Птг,
Тав-Ерв, Тав-Нхч.

VI группа: Грс-Нхч, Крб-Врд, Крб-Ерв, Стп-Лин, Тбл-Бкр, Тбл-Гор, Тбл-
Бгд, Тбл.-Абс, Тбл-Гчр, Тбл-Згд, Лгд-Они.

VII группа: Грс-Шмх, Врд-Крб, Крб-Шки, Врд-Шки, Лгд-Мхч, Ерв-
Стп, Ерв.-Тбл, Стп-Тбл, Тбл-Грз, Лин-Бгд, Лин-Они, Бкр-Они, Абс-
Гчр.

VIII группа: Грс-Шмх, Грс-Шки, Крб-Врд, Крб-Мхч, Лгд-Врд, Ерв-Тбл,
Ерв-Гор, Ерв-Душ, Стп-Гор, Ерв-Стп, Лин-Бгд, Лин-Бкр, Лин-Бкр,
Лин-Бкр, Ахл-Абс, Стп-Они, Лин-Они, Ерв-Лин.

Здесь принято известное сокращение сейсмических станций Кавказа [1], Шки-«Шеки», Крб—«Кировабад», Врд—«Варденис», Грс—«Горис» и т. д.

Строгое расположение станций и эпицентра на одной линии часто не выдерживалось. Среднее значение угла между направлениями эпицентр-станция составляло около 20° .

Для определенной группы станций вычислялись единичные значения кажущейся скорости для каждой пары станций от разных землетрясений. Затем выбирались одни и те же пары и вычислялось среднее арифметическое \bar{V}^* , то есть среднее значение скорости по трассам:

$$\bar{V}^* = \frac{\sum V_i}{n}$$

Одновременно оценивалась ошибка единичного наблюдения и среднего значения. В каждой группе землетрясений для осреднения определялось среднее положение эпицентра, которое условно называлось центром.

Таким образом, сотни сейсмических лучей по направлению гипоцентр-станция пронизывали верхнюю мантию и земную кору Кавказа. Они несли в себе информацию о строении и скоростях распространения сейсмических волн в областях, через которые проходили трассы. Значения V^* на трассах можно сравнивать только качественно. Нам необходима была количественная оценка по площади. Поэтому был использован метод осреднения, предложенный в [8].

Измеренные кажущиеся скорости отнесены к площади, заключенной между парой станций и серединами трасс сейсмических лучей, начиная от центра группы. Вся исследуемая область была разбита на сетку квадратов со стороной 0,1 градуса. Каждый из квадратов попадал внутрь нескольких разных площадей, для которых получены кажущиеся скорости, а затем значения в узлах осреднялись. Указанным способом осреднения получены сравнительно сглаженные карты скоростей продольных волн в нижних частях земной коры и верхах мантии, однако основные характеристики поля скоростей сохранились. Полученные значения кажущихся скоростей можно приписать глубине 30—60 км.

По вышеописанной методике нами получены данные о скоростях по трассам, которые сведены в таблицу 1. В таблице содержатся также сведения о среднеквадратичной ошибке, то есть согласованности значений V^* . Важно отметить, что имеются данные о скоростях по трассам как вдоль основных морфологических структур Малого Кавказа, так и вкrest их простирания. Имеются нагоняющие и встречные трассы.

Результаты таблицы показывают хорошее согласие данных на ряде встречных и нагоняющих трасс. Например, Крб-Врд от центра VI (с севера) и VII, VIII (с юга) имеет скорость 7,5—7,4 км/сек; Ерв-Лни от встречных трасс по центрам III и VIII 7,2—7,1 км/сек. По нагоняющим трассам, например, Тбл-Лни от групп I и II значения равны (7,4 км/сек).

В то же время в отдельных местах наблюдаются незначительные отличия по встречным трассам, например, Эрз-Бгд от центра I и IV дают скорости 7,1 и 7,3 км/сек соответственно.

Рассматривая трассы вдоль и вкrest основных морфологических структур Малого Кавказа, можно видеть, что в юго-восточной его части (район Азербайджана и Зангезурский район Армении) скорости по трассам в среднем составляют 7,5 км/сек, как с северо-востока на юго-запад, так и встречные.

В центральной части (район Лагодехи, Тбилиси, Степанаван) скорости несколько ниже и составляют 7,3 км/сек с СВ на ЮЗ и 7,1 км/сек по встречным трассам. В западной части (район Опи—Зугдиди) скорости в среднем 7,5—7,4 км/сек. По трассам вдоль Малого Кавказа с СЗ на ЮВ скорость составляет 7,4 км/сек, а с ЮВ на СЗ—7,3 км/сек.

Самые низкие значения скоростей наблюдаются на трассах Стп-Ерв 7,2—7,0 км/сек, а самые высокие значения до 8,1 км/сек—в Зангезурском районе на трассе Грс-Нхч.

Способом осреднения, описанным выше, нами были получены значения скорости в узлах равномерной сетки. Далее были проведены изолинии равных скоростей (рис. 2).

Как следует из карты, поле имеет сложно-мозаичное строение. Скорость меняется от 7,2 км/сек на северо-западе в районе Абастумани-Гегечкори до 7,8—8,0 км/сек на юго-востоке в районе Степанакерта. Некоторое повышение скорости наблюдается в районе к северу от Душети (до 7,6—7,8 км/сек). Полоса низких скоростей 7,2—7,4 км/сек протягивается с северо-запада от района Бакурнани через Ахалкалаки, Богдановку, Ленинанкан в направлении Еревана и далее на юго-восток.

При сравнении полученного нами поля скоростей с данными трехмерного поля скоростей—картой-схемой на глубине $H=10$ км [7], заметно, что зона низких скоростей в районе Еревана прослеживается и по трехмерному полю, хотя нами получены оценки скоростей в более глубокой части земной коры и мантии. Высокие скорости в районе оз. Севан и к северу от г. Тбилиси также выделяются по данным трехмерного поля.

Построены также карты поля скоростей от северных (рис. 3) и южных (рис. 4) очаговых зон, которые заметно отличаются друг от друга.

Можно предположить, что разница в скоростях от разных очаговых зон связана либо с наклоном некоторой скоростной границы, либо с ани-

Значения кажущихся скоростей V^* по трассам

Пары станций	№ центра группы	\bar{V}^* , км/сек	σ	n	$\bar{\Delta}_{min}$, км	$\bar{\Delta}_{max}$, км
1	2	3	4	5	6	7
Крб-Шки	I	7,4	0,1	4	193	260
	VII	7,2	0,13	8	294	385
Крб-Ерв	VI	7,5	0,32	3	180	353
Крб-Врд	VI	7,5	0,1	2	180	258
	VII	7,5	0,08	17	218	295
	VIII	7,4	0,1	12	243	313
Крб-Грс	I	7,8	0,1	17	258	385
	II	7,7	0,09	11	305	425
Крб-Шмх	V	7,3	0,11	6	215	398
Лгд-Крб	II	7,4	0,2	8	185	305
Лгд-Врд	II	7,4	0,05	5	185	342
	VIII	7,5	0,08	5	243	420
Лгд-Шки	II	7,3	0,05	3	185	282
Лгд-Они	VI	7,3	0,06	8	190	430
Тбл-Лни	I	7,4	0,16	7	230	360
	II	7,4	0,1	2	180	302
Тбл-Бгд	I	7,5	0,06	8	234	345
	VI	7,2	0,2	6	305	402
Тбл-Бкр	VI	7,3	0,22	6	308	415
Тбл-Абс	VI	7,4	0,22	5	308	468
Тбл-Грз	VII	7,3	0,1	2	340	530
Тбл-Ггч	VI	7,2	0,18	5	308	520
Врд-Кдж	II	7,7	0,08	5	340	470
Врд-Грс	II	7,7	0,08	7	340	425
	V	7,9	0,05	10	190	280
Врд-Шки	VII	7,5	0,11	9	220	385
Стп-Ерв	II	7,2	0,11	3	195	280
	IV	7,2	0,05	6	180	245
	VII	7,0	0,06	30	180	255
	VIII	7,0	0,07	15	225	320
Стп-Врд	III	7,5	0,1	2	195	320
Стп-Грс	III	7,7	0,08	6	196	415
Стп-Лни	VI	7,4	0,23	3	340	390
Стп-Они	VIII	7,5	0,18	4	315	505
Ерв-Гор	VIII	7,5	0,25	3	225	425
Тбл-Ерв	II	7,3	0,09	9	180	345
	VIII	7,2	0,27	4	225	395

1	2	3	4	5	6	7
Ерв-Душ	VIII	7,5	0,16	5	225	435
Ерв-Лни	III	7,2	0,07	3	205	280
	VIII	7,1	0,08	6	225	305
Лни-Бгд	VIII	7,3	0,28	2	305	360
Лни-Бкр	VIII	7,1	0,14	4	305	410
Лни-Абс	VIII	7,1	0,12	3	305	430
Лни-Гор	II	7,5	0,06	11	180	305
Лни-Они	VII	7,5	0,22	3	210	440
Гор-Бгд	II	7,2	0,1	12	180	265
Гор-Бкр	I	7,6	0,11	11	265	325
Гор-Абс	I	7,8	0,08	15	265	370
Грс-Шмх	VII	7,8	0	1	210	440
	VIII	7,9	0,21	3	200	430
Грс-Нхч	VI	8,1	0,22	4	260	345
Грс-Шки	I	7,6	0,09	8	195	385
	VIII	7,5	0,21	2	200	395
Они-Ггч	I	7,8	0,09	13	295	385
Они-Згд	I	7,5	0,07	7	295	420
Они-Абс	II	7,2	0,1	16	180	265
Тав-Врд	II	7,7	0	1	345	590
Тав-Грс	I	7,5	0,06	5	385	550
	II	7,5	0,35	3	430	590
Эрз-Бгд	I	7,1	0,07	3	340	600
	IV	7,3	0,2	4	190	410
Эрз-Ахл	IV	7,4	0,15	4	185	440

Где V^* —скорость для данной пары станций и соответствующих центров групп; σ —дисперсия среднего значения V^* ; n —число значений V_i^* , использованных при расчете V^* ; $\bar{\Delta}_{\min}$ —эпицентральное расстояние до ближней станции, в паре от центра группы; $\bar{\Delta}_{\max}$ —эпицентральное расстояние от центра группы до дальней станции.

зотропией скоростей в этом районе. Г. В. Егоркина [4] предпочтение отдает последней.

Сравнивая полученную карту поля скоростей (рис. 2) с геолого-геофизическими данными, можно заметить некоторые закономерности.

Наблюдается связь между аномально повышенной областью значений кажущихся скоростей на юго-востоке изучаемой территории (район Степанакерта) и гравитационным полем и редукцией Буге: область со значениями скоростей 8,0 км/сек совпадает с положительной гравитационной аномалией, не характерной для Антикавказа [6]. По геологическим данным этот район выделяется, как район погружения



Рис. 2. Сводная карта скоростей V_p^* Малого Кавказа и сопредельных районов на глубине 30—60 км.

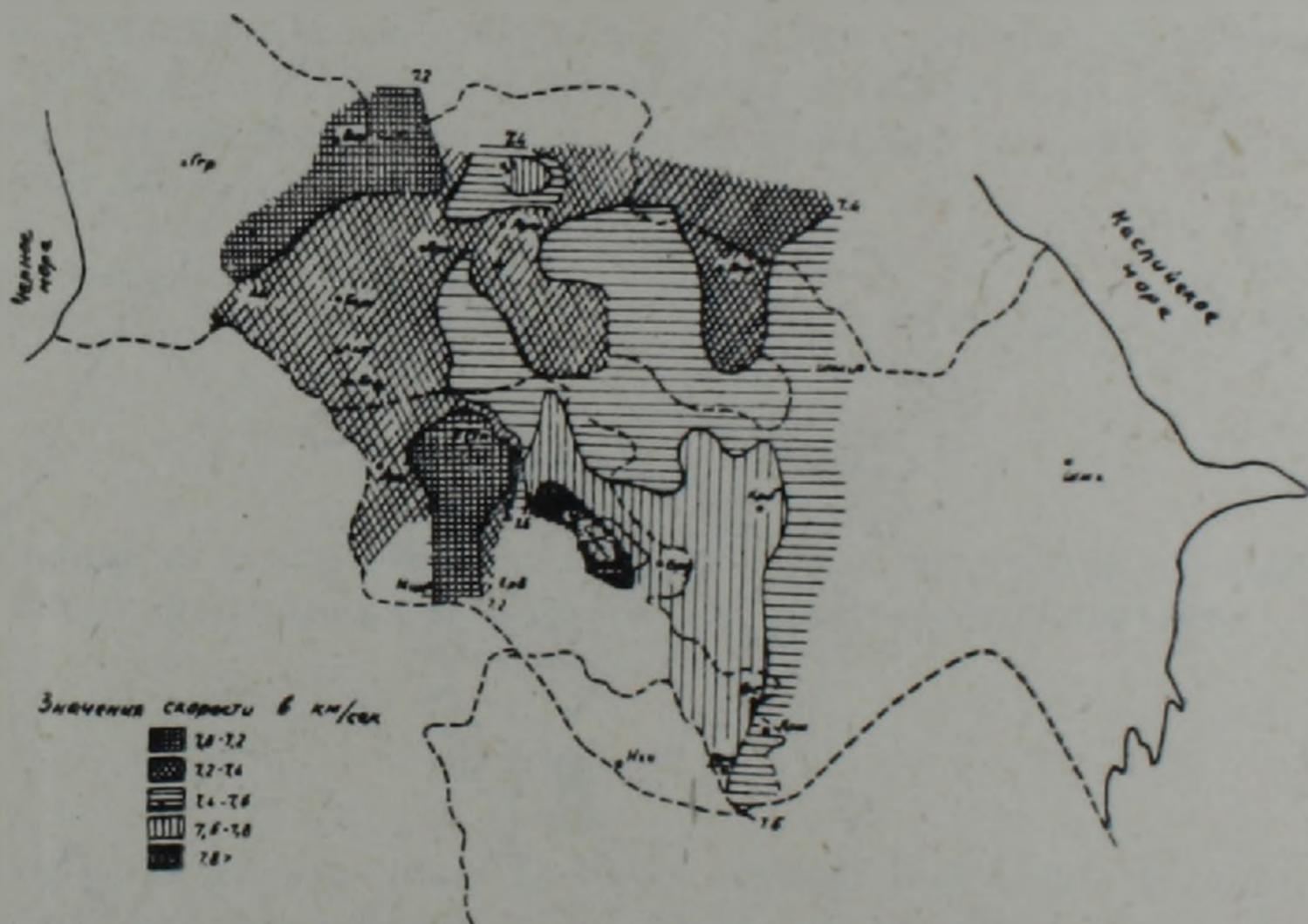


Рис. 3. Карта поля скоростей V_p^* от северных очаговых зон.

поверхности кристаллического фундамента, глубина которого в районе Евлах составляет 10—14 км [3, 9]. В отличие от геологических данных, где впадина имеет северо-западную вытянутость, район аномально высоких скоростей имеет северо-восточное простирание. Надо отметить, что картина поля скоростей больше согласуется с гравитационными данными, чем с геологическими. Наблюдается еще одна важная деталь: с запада область аномально высоких скоростей как будто замыкается зо-



Рис. 4. Карта поля скоростей \bar{V}_p от южных очаговых зон.

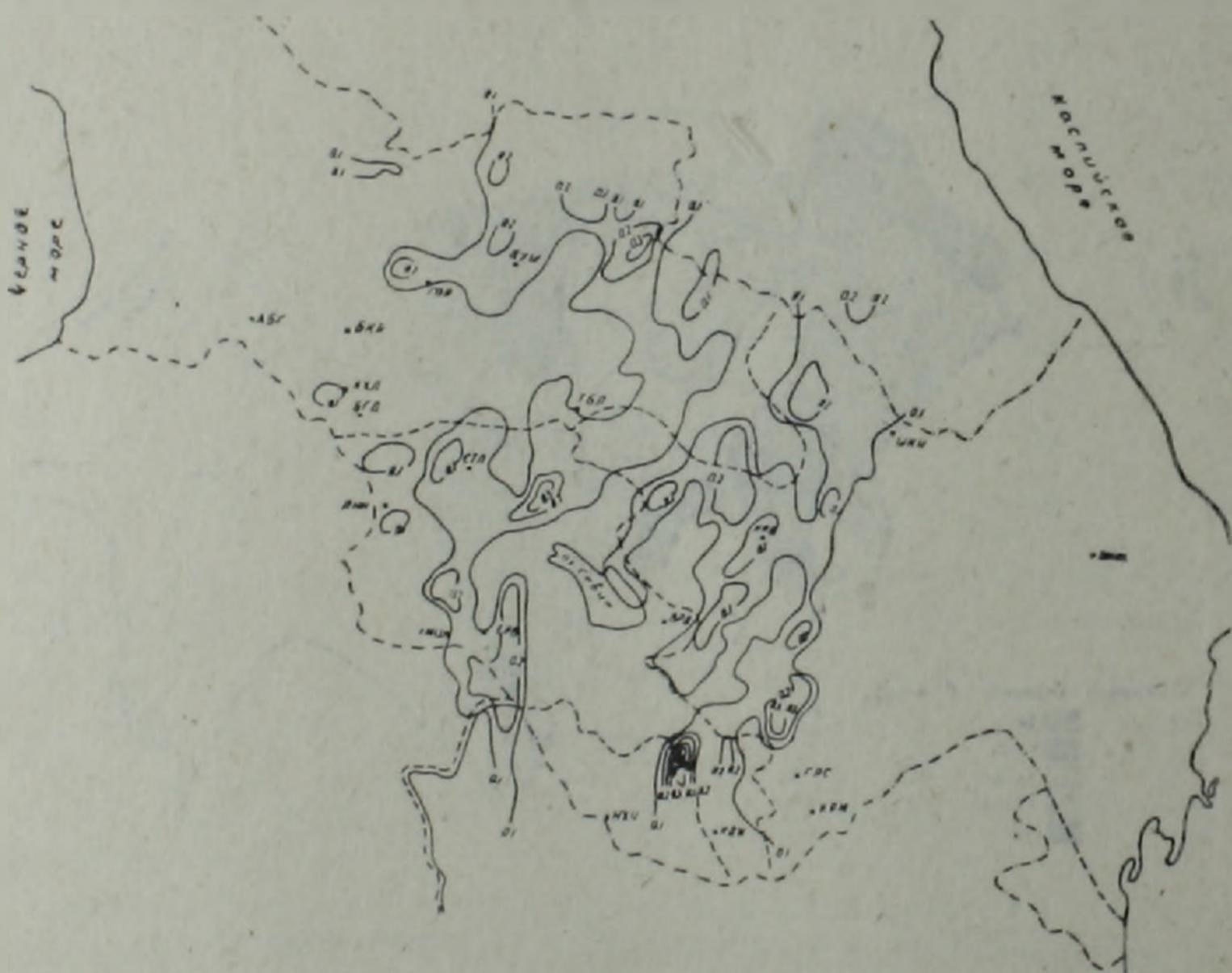


Рис. 5. Карта изолиний среднеквадратичного отклонения оценки скоростей \bar{V}_p .

ной больших гравитационных градиентов регионального характера (горизонтальный градиент составляет 3,5 мгл/км). Обычно такие градиентные зоны Δg интерпретируются как зоны глубинных разломов.

Иная связь между гравитационным полем и областью аномально высоких скоростей наблюдается в районе оз. Севан. Здесь полю высо-

ких скоростей соответствует интенсивный минимум Δg , который по величине является самым низким в пределах изучаемой территории [3, 6]. Северо-восточная граница области совпадает с зоной больших градиентов Δg , протягивающейся вдоль Севанского офиолитового пояса. Юго-западная граница зоны скоростей выделена предположительно, поэтому трудно говорить о совпадении с границей минимума Δg .

С геологической точки зрения эта область высоких скоростей приблизительно совпадает с Ереван-Севанским грабен-синклинорием, являющимся областью интенсивного молодого вулканизма.

Как уже отмечено, западная часть изучаемой территории характеризуется низкими значениями скоростей. Северной части области низких скоростей до Ширакской котловины соответствует интенсивный минимум гравитационного поля, а южной части соответствует поле Δg более сложного характера. Четкую корреляционную связь между характером Δg и областью низких скоростей установить трудно.

Таким образом из приведенных примеров следует, что связь между аномальными областями скоростей, геологией и гравитационным полем имеет сложный характер. Изучение этого вопроса имеет важное значение и заслуживает особого внимания.

Одновременно следует отметить, что полученные нами карты скоростей сглаженные и как следует из рис. 5 приближенные. Увеличение числа исходных данных, более точные расчеты скоростей по отдельным трассам в дальнейшем могут дать более детальные сведения о характере поля скоростей продольных волн.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Арм.ССР

Поступила 9. XII. 1981.

Լ. Ր. ՍԱՎԻՆԱ, Մ. Բ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ՓՈՔՐ ԿՈՎԿԱՍԻ ԵՐԿՐԱԿԵՂԵՎԻ ՍՏՈՐԻՆ ՄԱՍԵՐՈՒՄ ԵՐԿԱՅՆԱԿԻ ԱՎԻՔՆԵՐԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՆ ԸՕՏ ՍԵՅՍՄԻԿ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում թվացող արագությունների մեթոդով գնահատված են երկայնակի ալիքների արագությունները 30—60 կմ/վրկ խորությունների վրա ըստ 27 սեյսմիկ կայանների տվյալների:

Ուսումնասիրությունների տվյալներով կազմված է արագությունների դաշտի քարտեզը, բացահայտված է արագությունների փոփոխման բնույթը:

Երկայնակի ալիքների արագությունների դաշտը հետազոտվող շրջանում փոփոխվում է բարդ ձևով՝ 7,2 կմ/վրկ մինչև 8,0 կմ/վրկ սահմաններում:

LONGITUDINAL WAVES VELOCITIES IN THE MINOR CAUCASUS
EARTH'S CRUST LOWER PARTS ACCORDING TO SEISMIC
STATIONS DATA

Abstract

By the method of apparent velocities the longitudinal waves (P) velocities are estimated according to 27 seismic stations data. The map of velocities field is drawn up for depths of 30–60 km, the velocities changing character as well as their connection with the other geophysical fields are ascertained. The longitudinal waves velocities field has a complicated structure and changes in a large diapason: from 7,2 km/sec in the west to 8,0 km/sec in the south-east.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа за 1971 по 1976 гг. Изд. «Мецнереба», Тбилиси. 1971—1976 г.г.
2. Винник Л. И., Годзиковская А. А., Латарая Е. И., Сихрулидзе Д. И., Баграмян А. Х. Скоростные аномалии верхней мантии Кавказа. Известия АН СССР, Физика Земли, № 7, 1978.
3. Глубинное строение Кавказа. Наука, 1966.
4. Егоркина Г. В., Ракитов В. А., Гаретовская И. В., Егорова Л. М. Напряженное состояние земной коры на территории Армении по сейсмическим данным. Известия АН СССР, Геотектоника, № 2, 1977.
5. Краснопевцева Г. В. Глубинное строение Кавказа. В кн. «Строение земной коры и верхней мантии центральной и восточной Европы». Изд. «Наукова думка», Киев, 1978.
6. Оганисян Ш. С. Гравитационное поле и его геологическое истолкование В кн.: «Геология Арм. ССР», т. X, «Геофизика», Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1972.
7. Славина Л. Б., Пивоварова Н. Б. Методика расчета и построение трехмерных полей скоростей в фокальных зонах по сейсмологическим данным (на примере Кавказа). В сб. «Интерпретация сейсмических наблюдений», «Радио», М., 1982.
8. Славина Л. Б., Федотов С. А. Скорости продольных волн в верхней мантии под Камчаткой. В кн.: «Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке». Наука, Новосибирск, 1974.
9. Тектоническая карта Кавказа М 1 : 1000000. гл. редактор Гамкредидзе П. Д., МТК, 1974.