

УДК 550.343.4

Т. О. БАБАЯН, Р. С. МИНАСЯН, С. А. ПИРУЗЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ГРУНТОВ гор. ЛЕНИНАКАНА

*Цели, задачи, методика работ.* Город Леникан, второй по величине промышленный и культурный центр Армении, расположен в одной из сейсмоактивных областей республики. В пределах Ширакской межгорной котловины и ее высокогорного обрамления известны разрушительные землетрясения 1046 г., 1131 г., 1132 г., 1319 г., 1926 г. и др.

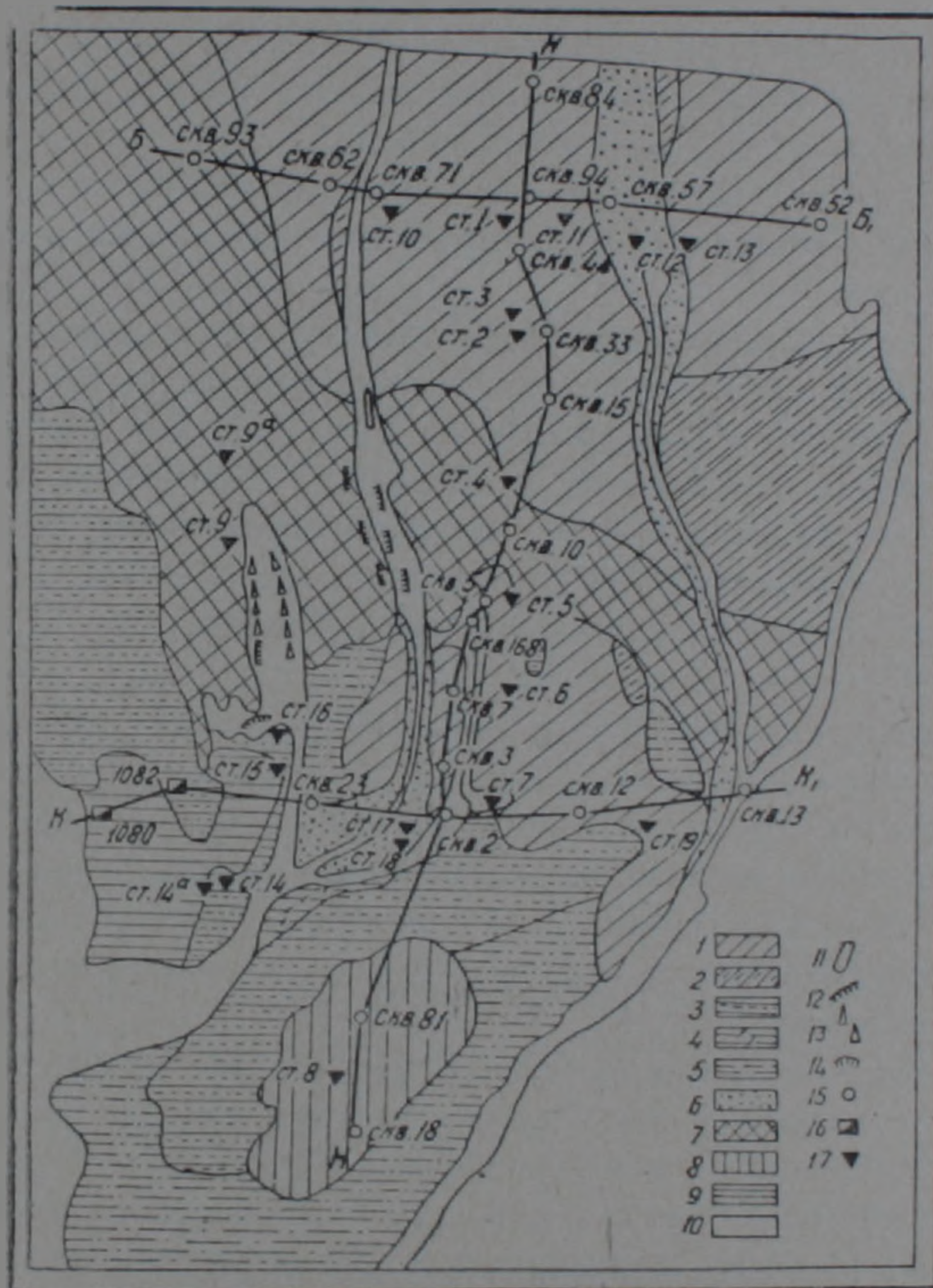
В соответствии с картой сейсмического районирования территории СССР [10] гор. Леникан находится в 8-балльной зоне потенциальной сейсмической опасности. В последние годы город переживает период бурного роста. Вкладываются огромные средства на капитальное строительство. Становится настоятельно необходимым располагать крупномасштабной картой сейсмического микрорайонирования территории города Леникана, крайне важной для правильного размещения объектов капитального строительства, и в конечном счете, составления генплана развития города с учетом сейсмической опасности. Указанная карта позволит получить дифференцированную информацию о величине сейсмической балльности в различных частях города в зависимости от грунтовых, гидрогеологических и других условий.

Целью наших исследований являлось получение новых и дополнительных данных, характеризующих сейсмические свойства отдельных инженерно-геологических зон для уточнения результатов сейсмического микрорайонирования по инженерно-геологическим признакам и сопоставление этих данных с результатами, полученными другими инструментальными методами. В качестве исходного материала была принята карта инженерно-геологического районирования гор. Леникана. Как видно на инженерно-геологической схеме (фиг. 1), основную часть города составляют суглинистые, супесчаные отложения, затем туфы, пески, озерные глины, современный аллювий. Мощности этих отложений колеблются в следующих пределах: для суглинков—до 8—9 м, супесей—до 3 м, песков—3—20 м, туфов—от 0 до 6 м, озерных глин—до 250—300 м. Исследования современного аллювия не проводились вследствие того, что на них строительство не предусмотрено.

К северо-востоку от центральной части города грунтовые воды (надтуфовый горизонт) связаны с пролювиальными отложениями и залегают на глубине 7—9 м. В пониженных частях рельефа, а также пологам рр. Кумайри и Гор-Гоби уровень грунтовых вод расположен высоко—около 0—3 м (иногда заболачивая местность). Мощность этого водоносного горизонта колеблется от 2,5 до 5 м. Границы его распро-

страняются до моста на р. Гюмри в конце улицы Ленинградян, далее по этой же улице до площади Звезды, по территории Лентекстиля к территории ж. д. вокзала и юго-восточнее.

Подтуфовый водоносный горизонт залегает в повышенных частях рельефа на глубине 12 м, а в пониженных частях (в южной части города) — 1—3 м. Иногда эти воды выходят на дневную поверхность в ви-



Фиг. 1. 1. Преобладают плотные суглинки с включением гальки, гравия и прослойков песка. Уровень грунтовых вод ниже 4 м. 2. То же при залегании грунтовых вод выше 4 м. 3. Преобладают плотные супеси, зеркало грунтовых вод залегает на глубине ниже 4 м. 4. То же при залегании уровня грунтовых вод выше 4 м. 5. Преобладают пески, уровень грунтовых вод ниже 4 м. 6. То же при уровне грунтовых вод выше 4 м. 7. Туф с маломощным чехлом наносов (до 2—4 м). 8. Преобладают плотные галечно-гравелистые отложения с уровнем грунтовых вод ниже 4 м. 9. Глина озерная, жирная, плотная. 10. Современный аллювий—рыхлые, несвязанные песчаные грунты—отложения логов р.р. Ахурян, Черкези-дзор, Кумайри, Муртар. Сюда отнесены также отложения в условиях крутых склонов, где имеют место осыпи, подмыв берегов обрушением и участки, где имеются просадочные явления и заболоченности. Эти участки не рекомендуются под строительство. 11. Селевые потоки. 12. Подмыв берегов с обрушением. 13. Осыпи. 14. Просадочные явления. 15. Скважины. 16. Шурфы. 17. Стоянки сейсморазведочных наблюдений.

де восходящих родников, или заболачивают местность (например, у городского стадиона в ущелье р. Черкези-дзор).

В основу наших исследований была поставлена комплексная методика, разработанная в ИГИС АН Арм. ССР при проведении работ в 1960—1966 гг. по сейсмическому микрорайонированию территории гор. Еревана [3, 8]. Она включает этапы исследований по региональной геологии инженерной сейсмологии и направлена на решение двух основных задач:

1. Уточнение исходной сейсмической балльности района гор. Ленинакана (Ширакской котловины и прилегающих районов, привязанной к определенным типам грунтов и сооружений).

2. Определение приращения сейсмической балльности в пределах территории гор. Ленинакана в зависимости от грунтовых и гидрогеологических условий.

Настоящее сообщение посвящено одному из методов комплекса инструментальных наблюдений, призванных решить вторую из указанных задач, а именно: исследованию сейсмических свойств грунтов верхней части разреза и уточнению этого разреза с помощью малоглубинной сейсморазведки [4, 5, 6, 7, 9]. При этом определялись скорости распространения продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) волн, были уточнены глубины залегания отдельных слоев в пределах 10—15 м, а также УГВ.

*Методика и техника полевых работ.* Исследования проводились по трем прерывистым профилям (так как встречались городские сооружения, посевы и т. д.): два в широтном направлении по территории гор. Ленинакана, один в меридиональном—желая охватить все грунтовые разновидности, распространенные на территории города. Инструментальные измерения проводились в 21 пункте на территории города и примыкающих к ней районах.

Измерения в основном выполнены на участках, инженерно-геологический разрез которых можно было бы документировать: у обрывов, логов, протоков, ущелий, а также у скважин.

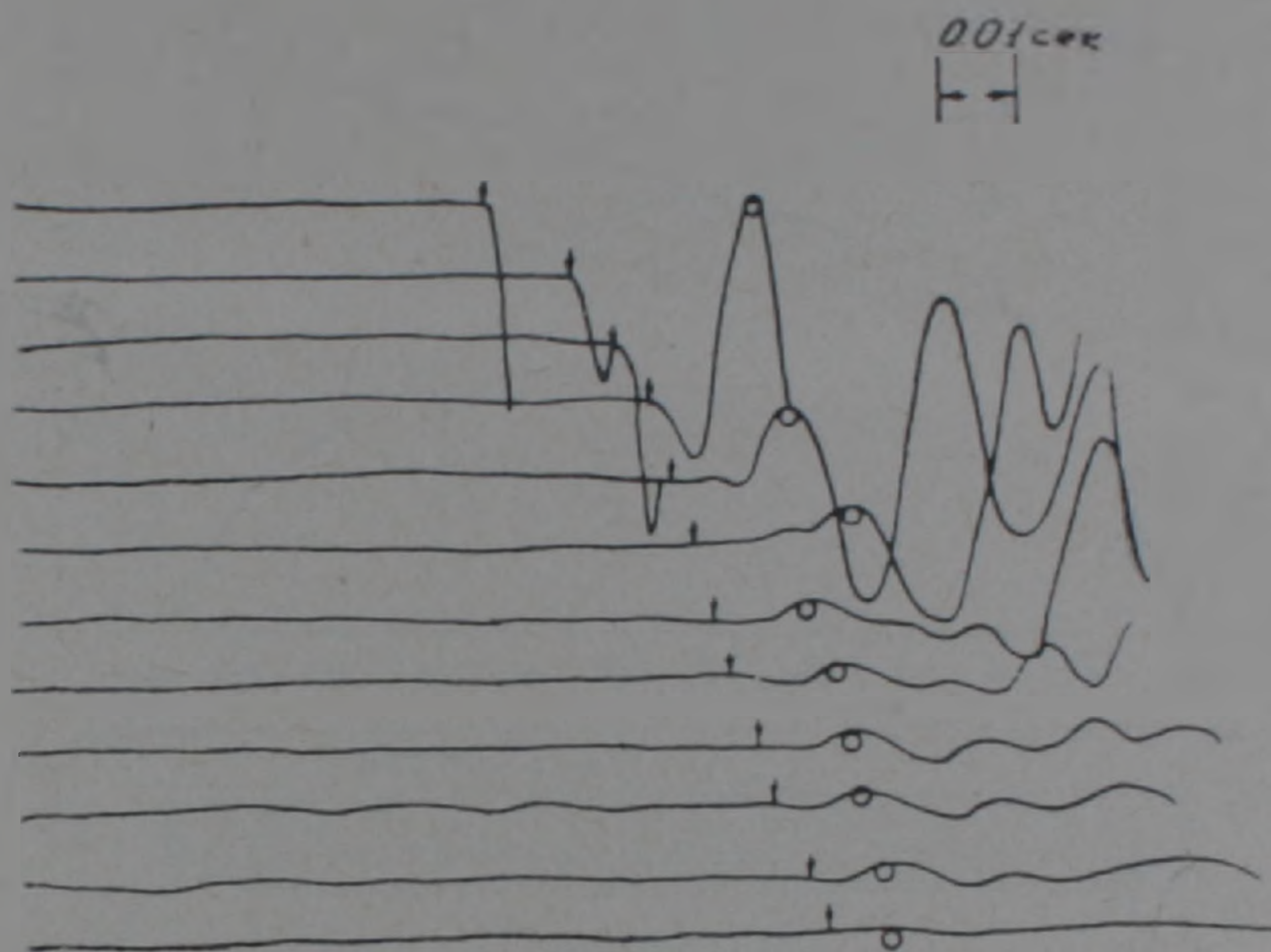
Наблюдения проводились корреляционным методом преломленных волн (КМПВ) [1, 2, 3] по продольной системе профилирования. Была применена изолированная система встречных ходов, упругие колебания возбуждались у конечных сейсмоприемников. Съемка проводилась во время минимального уровня действия помех, и в основном, в ночное время.

Длина профиля выбиралась в зависимости от глубинности исследования: 36 м при расстоянии между сейсмоприемниками  $\Delta X = 3$  м и 60 м при  $\Delta X = 5$  м, охватывая исследованием глубины до 10—15 м.

При регистрации продольных волн применялась система наблюдений  $Z-Z$ , а при регистрации поперечных волн—система  $Y-Y$ . При производстве полевых измерений была использована сейсмическая аппаратура типа АСМ-2, имеющая 12 рабочих каналов и один канал для регистра-

ции отметки момента удара. Возбуждение колебаний производилось кувалдой весом 8—10 кг.

По полученным осциллограммам определены времена вступлений продольных и поперечных волн, построены годографы, вычислены  $V_p$  и  $V_s$ , построены преломляющие границы, а также сейсмогеологические разрезы—по соответствующим граничным скоростям (фиг. 2, 3, 4).



Фиг. 2. Осциллограмма, полученная на стоянке 14 (система наблюдений Z—Z)

Для построения преломляющих границ была использована система встречных годографов, причем был применен метод  $t_0$ . Были рассчитаны:

$$\bar{V} = \frac{x_{\text{тп}}}{t_{\text{тп}}}$$

где:  $x_{\text{тп}}$  и  $t_{\text{тп}}$  — координаты точек пересечения годографа, соответствующего границе, до которой определялась средняя скорость.

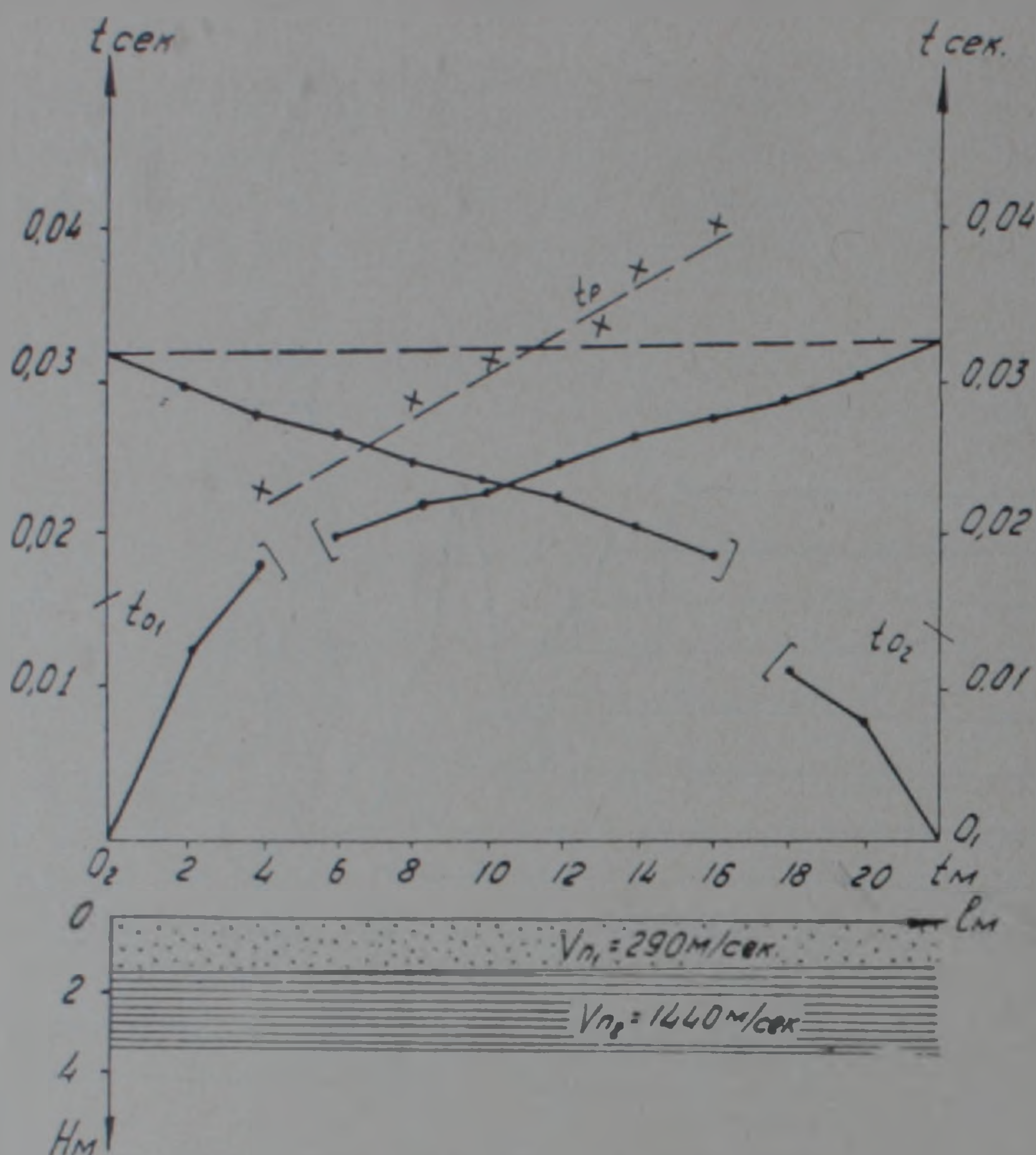
Определив величину  $\bar{V}$ , граничную скорость  $V_r$  и величину  $t_0$ , определены глубины залегания границ по формуле [3]:

$$H_k = \frac{\bar{V}_k \cdot t_{0k}}{2 \sqrt{1 - \frac{\bar{V}_k}{V_{rk}}}}$$

где:  $\bar{V}_k$  — средняя скорость  $k$ -го слоя;

$V_{rk}$  — граничная скорость вдоль этой границы;

$t_{0k}$  — значение  $t_0$  для  $k$ -й границы в данной точке.



Фиг. 3. Составление годографа, определение  $V_p$  и построение преломляющих границ на стоянке 14 профиля КК<sub>1</sub> (система наблюдений Z—Z).

В случае одиночного годографа или встречных годографов, не имеющих перекрытия (когда  $t_0$  можно определить лишь приближенно), была использована другая формула [10]:

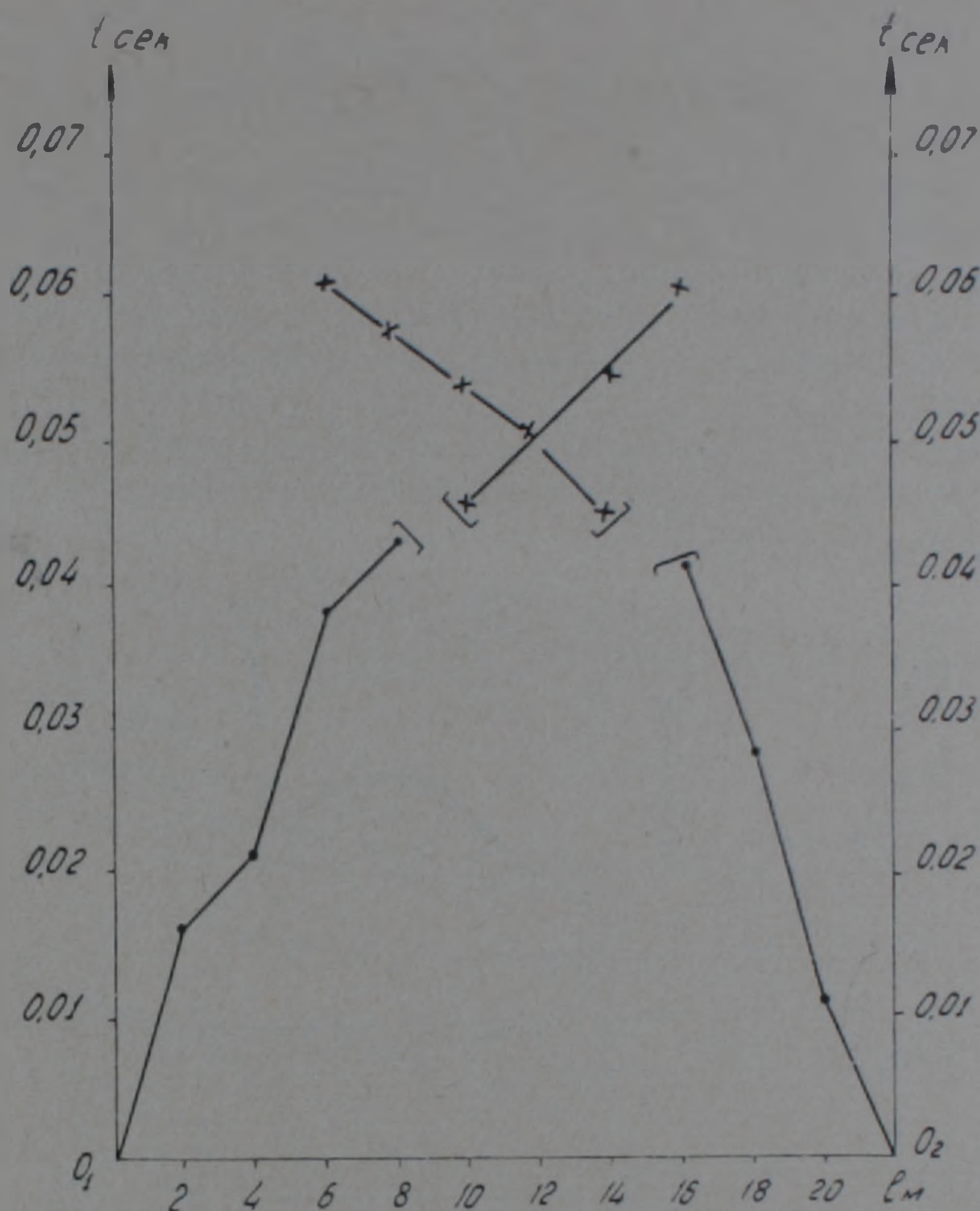
$$H_r = \frac{x_{\text{тп}}}{2} \sqrt{\frac{\bar{V}_{k+1} - V_k}{\bar{V}_{k+1} + V_k}},$$

где  $V_k = \frac{x_{\text{тп}}}{t_{\text{тп}}}$  — средняя скорость продольных волн выше изучаемой преломляющей границы;

$\bar{V}_{k+1} = \frac{x_n - x_{\text{тп}}}{t_n - t_{\text{тп}}}$  — средняя скорость (эффективная) продольных волн ниже преломляющей границы;

$x_n$  и  $t_n$  — абсцисса и ордината произвольной точки на продолжении прямолинейного участка годографа, следующего за точкой перелома.

При наличии УГВ годографы преломленной волны  $t_y$ , связанной с УГВ, получались прямолинейные, кажущиеся скорости  $V_k$  вычисленные



Фиг. 4. Составление годографа и определение  $V_s$  на стоянке 14 профиля  $KK_1$  (система наблюдений  $Y-Y$ ).  $V_{s,1} = 165 \text{ м/сек}$ ,  $V_{s,2} = 450 \text{ м/сек}$ .

по встречным годографам, были близки между собой. Граничная скорость волны  $t_y$  при  $H \leq 5 \text{ м}$ , колебалась в пределах от 1500 до 2150 м/сек в зависимости от литологического состава и пористости водоносного слоя. Если мощность водоносного слоя уменьшалась, то затухание волны  $t_y$  усиливалось.

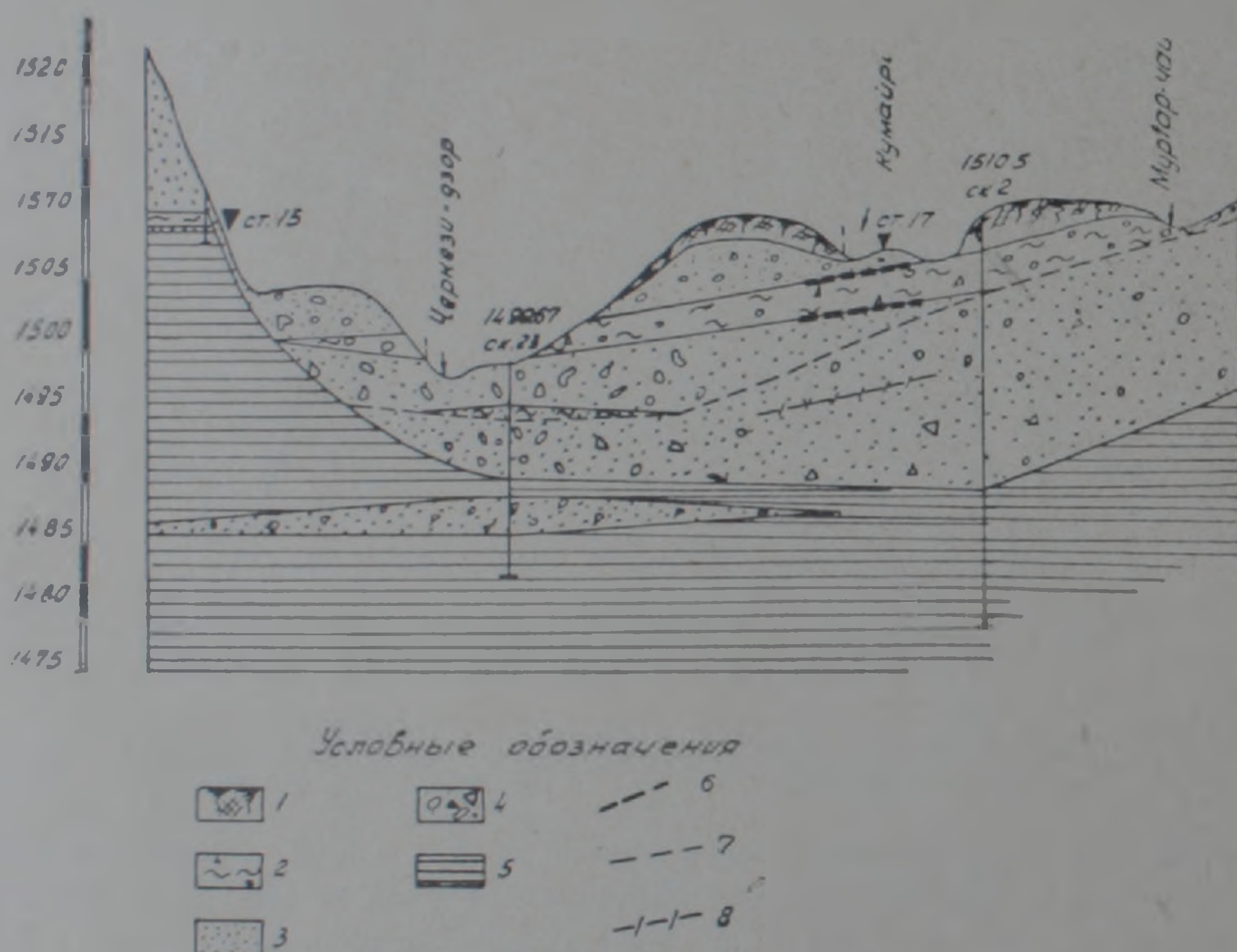
**Результаты работ.** После обработки полевого материала были уточнены инженерно-геологические разрезы до глубин 10—15 м, глубины УГВ и определены направления движения грунтовых вод.

На профилях  $NN_1$ ,  $BB_1$  и  $KK_1$  уточнены инженерно-геологические разрезы на участках стоянок 5, 10, 19. На стоянке 5 вместо известной по инженерно-геологическим данным пачки гравийно-галечников ( $H=2\text{—}2.5 \text{ м}$ ), супесей ( $H=1.5 \text{ м}$ ), суглинков ( $H=1 \text{ м}$ ) и песков большой мощности, установлен мощный, сравнительно однородный слой суглинков (стоянка 5 находится на 100 м восточнее скв. № 5). На участке стоянки 10 обнаружена линза песков мощностью до 3 м, что не было фиксиро-

вано на инженерно-геологическом разрезе. Это можно объяснить вероятным выклиниванием песков на участке между скважинами. На разрезе, полученном для участка стоянки 19, отсутствует 1-метровый слой суглинков.

На участках стоянок 6, 7, 12, 13, 14, 15, 17 отсутствуют инженерно-геологические данные (не охвачены разведочными выработками), поэтому при дальнейших исследованиях в качестве основы следует брать данные сейсморазведки. Сейсмогеологические разрезы, полученные для стоянок 1, 2, 3, 4, 8, 9, 11, 17 и 18 совпадают с инженерно-геологическими разрезами.

На фиг. 5 приведены результаты уточнения инженерно-геологического разреза по данным сейсморазведки на одном из участков профиля КК<sub>1</sub>.



Фиг. 5. Участок разреза по профилю КК<sub>1</sub>. 1 Почвенно-растительный слой. 2. Суглинки 3 Пески 4. Галечно-гравийные отложения 5. Глина озерная, жирная, зеленоватая 6. Границы слоя, не обнаруженного сейсморазведкой 7. УГВ по данным буровых скважин. 8 УГВ, установленный сейсморазведочным методом.

На основании сейсмогеологических исследований составлена сводная таблица скоростей распространения продольных и поперечных волн для разновидностей грунтов, прослеживающихся на территории гор. Ленинакана (в верхней части разреза) и вычислены отношения  $V_s/V_p$ .

Как видно из таблицы, наблюдается большой диапазон изменения величин скоростей продольных волн—от 270 м/сек до 2150 м/сек. В скоростях поперечных волн изменений меньше—от 160 м/сек до 1000 м/сек.

## Величины скоростей распространения упругих волн в грунтах гор. Ленинакана

| № стоянок                       | Виды грунтов                     | Скорость<br>продольных<br>волн<br>$V_p$ , м/сек | Скорость<br>поперечных<br>волн<br>$V_s$ , м/сек | $V_s/V_p$ | УГВ<br>$h$ , м |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|----------------|
| 9, 9a                           | Туф плотный                      | 1600—1800                                       | 720                                             | 0,43      |                |
| 9a                              | Туф выветрелый                   | 530                                             | 163                                             | 0,30      |                |
| 14a, 15, 16                     | Глина озерная коренная           | 1440—1760                                       | 450                                             | 0,28      |                |
| 14                              | Глина озерная зоны аэрации       | 680                                             | 390                                             | 0,57      |                |
| 13                              | Суглинок плотный                 | 830                                             | —                                               | —         |                |
| 1, 2, 3 4, 6, 7, 10, 11, 12, 13 | Суглинок зоны аэрации            | 300—500                                         | 145—340                                         | 0,60      | 6,5—7,5        |
| 3                               | Суглинок водоносный              | 2150                                            | —                                               | —         | 12,5           |
| 1                               |                                  | 2100                                            | —                                               | —         |                |
| 19                              | Супесь плотная                   | 735                                             | —                                               | —         |                |
| 5, 14a, 15, 16                  | Супесь зоны аэрации              | 290—560                                         | 165                                             | 0,38      |                |
| 19                              | Супесь водоносная                | 1500                                            | —                                               | —         | 6,2—6,5        |
| 5                               |                                  | 1650                                            | —                                               | —         | 10—11          |
| 4, 8, 18                        | Песок плотный сухой              | 660—700                                         | 280                                             | 0,41      |                |
| 17, 18                          | Песок рыхлый                     | 360                                             | —                                               | —         |                |
| 6                               |                                  | 1800                                            | 380                                             | 0,21      | 3,2—4          |
| 7                               |                                  | 1600                                            | —                                               | —         | 5              |
| 12                              |                                  | 1500                                            | 460                                             | 0,31      | 6,4—7          |
| 14                              | Песок водоносный                 | 1350                                            | 450                                             | 0,33      | 7,5—8,3        |
| 10                              |                                  | 1500                                            | —                                               | —         | 10—10,8        |
| 17                              |                                  | 1500                                            | —                                               | —         | 10—11,5        |
| 11                              | Гравийно-галечные отложения      | 1500—1520                                       | 1000                                            | 0,66      |                |
| 2, 6, 14a                       | Почвенный слой и насыпные грунты | 270                                             | 160—170                                         | 0,54      |                |

Основные грунты, имеющие наибольшее распространение на территории гор. Ленинакана,—это суглинки зоны аэрации с  $V_p = 300—500$  м/сек, суглинки плотные с  $V_p = 830$  м/сек, суглинки водоносные с  $V_p = 2150$  м/сек. Следующими грунтами по величине площади распространения являются супеси с соответствующими величинами  $V_p$ , равными 290—560 м/сек, 735 м/сек и 1500 м/сек. Далее идут пески, туфы, насыпи, гравийно-галечники.

Таблица показывает, что  $V_p$  для плотных, сухих грунтов в 1,8—4,5 раза больше, чем для тех же грунтов зоны аэрации.

$V_p$  для водоносных грунтов получены в 2—2,5 раза больше, чем для тех же грунтов, но в плотном сухом состоянии. А  $V_s$  для водоносных грунтов получены приблизительно такие, как  $V_s$  для тех же грунтов при отсутствии воды.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии  
АН Армянской ССР

Поступила 9.VII.1973.

Ի. Ն. ԲԱԲԱՅԱՆ, Ռ. Ս. ԽՆԴԱՍՅԱՆ, Ս. Ա. ՓԻՐՈՒՋՅԱՆ

## ԼՆՆԻՆԱԿԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ԳՐՈՒՆՏՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԻԿ ԷԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

### Ա մ փ ո փ ո լ մ

Լննինական քաղաքը, հանդիսանալով Հայկական ՍՍՀ երկրորդ խոշոր արդյունաբերական և մշակույթային կենտրոնը և սեյսմիկ վտանգավորության տեսակետից գտնվելով 8 բալային ղոնայում, սեյսմիկ միկրոշրջանացման բարտեզ ունենալու խիստ կարիք է զգում:

Այդպիսի բարտեզ կազմելու համար անհրաժեշտ է կիրառել մի շարք մեթոդներ: Այդ մեթոդներից է Լննինական քաղաքին բնորոշ գրունտների սեյսմիկ հատկությունների որոշումը գործիքային եղանակով:

Այս խնդիրն իրագործելու նպատակով կատարվել են փոքր խորությունների սեյսմահետախուզության աշխատանքներ, որոնք հնարավորություն են տվել ճշտելու ինժեներա-երկրաբանական և հիդրոերկրաբանական կտրվածքի վերին մասը (մինչև 10—15 մետր խորությունը), ինչպես նաև որոշելու երկայնակի և լայնակի ալիքների տարածման արագությունները գրունտներում:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Строительство в сейсмических районах СНиПП—А, 12—69, М., 1969.
2. Пирюзян С. А. О сейсмическом микрорайонировании на основе инструментальных наблюдений. Известия АН Арм. ССР, серия техн. наук, т. XV, № 4, 1962.
3. Кац А. З. Сейсмическое микрорайонирование на основе дифференциации грунтов по деформациям, вызываемым прохождением сейсмических волн. Тр. ИФЗ АН СССР, № 16 (188), М., 1961.
4. Лямзина Г. А. Об изучении сейсмических свойств грунтов для сейсмомикрорайонирования. Тр. ИФЗ АН СССР, вып. 7, № 22 (189), М., 1962.

5. *Ляховицкий Ф. М.* Методика и интерпретация данных сейсморазведки при инженерно-геологическом картировании ВИЭМС, 14, 1970.
6. *Назаров Г. Н.* Методические указания по комплексным сейсмогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям с применением портативных сейсморазведочных установок. М., 1969.
7. Справочник геофизика. Т. 4, Сейсморазведка, 14, «Недра», 1966.
8. *Гамбурцев Г. А.* Корреляционный метод преломленных волн. Изд. АН СССР, М., 1952.
9. *Гурвич И. И.* Сейсморазведка. Гостопотехиздат, М., 1960.
10. Инструкция по сейсморазведке. М., 1952.