

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ БССР
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА
(ГОССТРОЙ БССР)
БЕЛОРУССКИЙ ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(БЕЛДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ
БОЛОТ МЕТОДАМИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Согласованы постановлением Государственного комитета Совета Министров БССР по делам строительства от 2 апреля 1976 г.,
№ II

Минск 1976

"Методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию болот методами сейсморазведки" содержат указания по применению геофизических методов при дорожных изысканиях в заболоченной местности. Предназначены для руководства при зондировании болот и определения физико-механических свойств болотных грунтов инженерам-геологам, знакомым с общими принципами геофизической разведки, и инженерам-геофизикам, работающим в дорожных изыскательских партиях.

"Методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию болот методами сейсморазведки" составлены на основе теоретических исследований и практического опыта геофизических изысканий Белдорнии с учетом действующих методических и нормативных документов в области дорожных инженерно-геологических изысканий и общих геофизических инженерных изысканий.

"Методические рекомендации..." составил инженер В.Б.Сеськов под руководством и при участии канд.техн.наук В.Н.Яромко. Общее редактирование осуществлено канд.техн.наук И.Б.Багиневым.

При составлении "Методических рекомендаций..." учтены замечания Союздорнии, Бюджетного проекта, БелгипроДОРА, БелГИИЗа, Белорусского научно-исследовательского института мелиораций и водного хозяйства и других организаций.

Ошибки и предложения по "Методическим рекомендациям..." просим присыпать по адресу: г. Минск, Типографская, 28; Белдорни.



Белорусский дорожный научно-исследовательский институт, 1976

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. "Методические рекомендации по инженерно-геологическому обследованию болот методами сейсморазведки" содержат указания по определению глубины болотной залежи и физико-механических свойств составляющих ее грунтов методами инженерной сейсморазведки. Они предназначены для практического применения при инженерно-геологическом обследовании болот для целей проектирования новых и реконструкции существующих автомобильных дорог.

I.2. Для определения мощности болотной залежи, а также толщины существующего земляного полотна применяют методы сейсмовондирования и сейсмопрофилирования.

I.3. Физико-механические характеристики болотных грунтов — влажность, коэффициент пористости, объемная масса скелета, сжимаемость, упругие и диссипативные характеристики — определяют методами сейсмического просвечивания и сейсмокартажа с использованием функциональных и корреляционных зависимостей между сейсмическими и физико-механическими свойствами грунтов.

I.4. Аппаратура, используемая при вондировании и определении физико-механических свойств сейсмометодами, описана в приложении I. Предложенные методы разработаны для глубины болотной залежи до 15 м (при ударном возбуждении колебаний грузом массой до 10 кг).

I.5. Основными физическими предпосылками использования методов инженерной сейсморазведки при обследовании болот является: скорость дифференциация распространения упругих волн в болотных грунтах и грунтах минерального дна болота; различие акустических жесткостей болотных грунтов и грунтов минерального дна ($\rho_s \cdot V_s \neq \rho_d \cdot V_d$, где $\rho_s \cdot V_s$ и $\rho_d \cdot V_d$ соответственно плотность и скорость упругих волн в болотных и минеральных грунтах); зависимость скоростей упругих волн от состава и состояния болотных грунтов.

I.6. Методы инженерной сейсморазведки целесообразно применять в комплексе со стандартными методами, что значительно повышает полноту и достоверность получаемых характеристик болотных грунтов. На стадии предварительных изысканий, а также при одноэтапном проектировании дорог Iu-U технических категорий методы сейсморазведки можно применять в качестве основных. Применение методов сейсмовондирования дает наибольший эффект при определении толщины существующей насыпи на болоте, а также при наличии плотного минерального слоя или слоя моражоты на поверхности болота (приложение 5).

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ

2.1. Сейсмические методы определения глубины болотной залежи целесообразно применять на всех этапах инженерно-геологического обследования болот^х.

На первом этапе — рабочие сейсмические — при соответствующем технико-экономическом обосновании (зимние работы, реконструкция дороги и т.п.) сейсмовандирование проводят на коротких локальных поперечниках, выбранных в наиболее характерных местах намеченного перехода через болото.

На втором этапе — подробных изысканий — сейсмопрофилирование служит дополнением к стандартным методам. Получение непрерывного профиля на поперечниках через 25-50 м, а также профиля по оси трассы целесообразно осуществлять сейсмометодами в комплексе со статическим вандированием в 1-2 точках на каждом поперечнике. При наличии существующей насыпи или слоя минерального грунта, либо при изысканиях в зимний период с помощью сейсмовандирования можно сократить трудоемкость работ в 1,5-2 раза за счет уменьшения объема бурения.

2.2. Обследование болот производят методами преломленных волн (МПВ) — продольными K_p и поперечными K_s , поверхностных и отраженных волн. С помощью МПВ можно выделить только те границы между слоями, на которых скорость упругих волн возрастает с глубиной ($K_p > K_s$).

2.3. В особых случаях очертаний слоев могут наблюдаться явления выпадения слоя, акванизации. Во избежание ошибок рекомендуется производить контрольное механическое вандирование в отдельных точках (при однослоином разрезе через 200 м, двухслойном — 100 м и трехслойном и более — через 50 м) с целью проверки строения залежи.

2.4. В ветреную погоду для уменьшения помех сейсмоприемники рекомендуется устанавливать в приемки и присыпать грунтом.

2.5. Возбуждение упругих колебаний при вандировании болот производят ударным способом, который позволяет получать все типы волн.

^хСодержание этапов см. в "Методических указаниях по инженерно-геологическому обследованию болот при изысканиях автомобильных и железных дорог", И., Связдорник, 1973.

При ударном способе продольные волны возбуждаются вертикальными ударами, которые наносят по специальной подставке (удар Z).

Поперечные волны SV возбуждаются или аналогичным вертикальным ударом, или горизонтальным ударом (по направлению сейсмического профиля), который производят по вертикальной стенке специально выкопанной ямики или по вкопанной подставке (удар X).

Поперечные волны SH возбуждаются горизонтальным ударом, но в направлении, перпендикулярном сейсмическому профилю (удар Y).

Регистрация продольных волн производится сейсмоприемниками, расположеннымными вертикально (по направлению Z), поперечных волн SV сейсмоприемниками, расположеннымими горизонтально, по линии профиля (по направлению X), поперечных волн SH — сейсмоприемниками, расположеннымими горизонтально, но перпендикулярно линии профиля (по направлению Y).

2.6. Непрерывные профили рекомендуется разбивать на отдельных поперечниках или, в случае необходимости, через все болото. Длина сейсмического профиля определяется глубиной и строением болота, а также гидрогеологическими условиями и должна быть не меньше установленной глубины болота.

2.7. Сейсмоприемники располагают по профилю с интервалом ΔX (рис. I). Рекомендуются следующие расстояния (в метрах) от сейсмоприемника до пункта возбуждения (ПВ): 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 22, 24, или 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, или 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24.

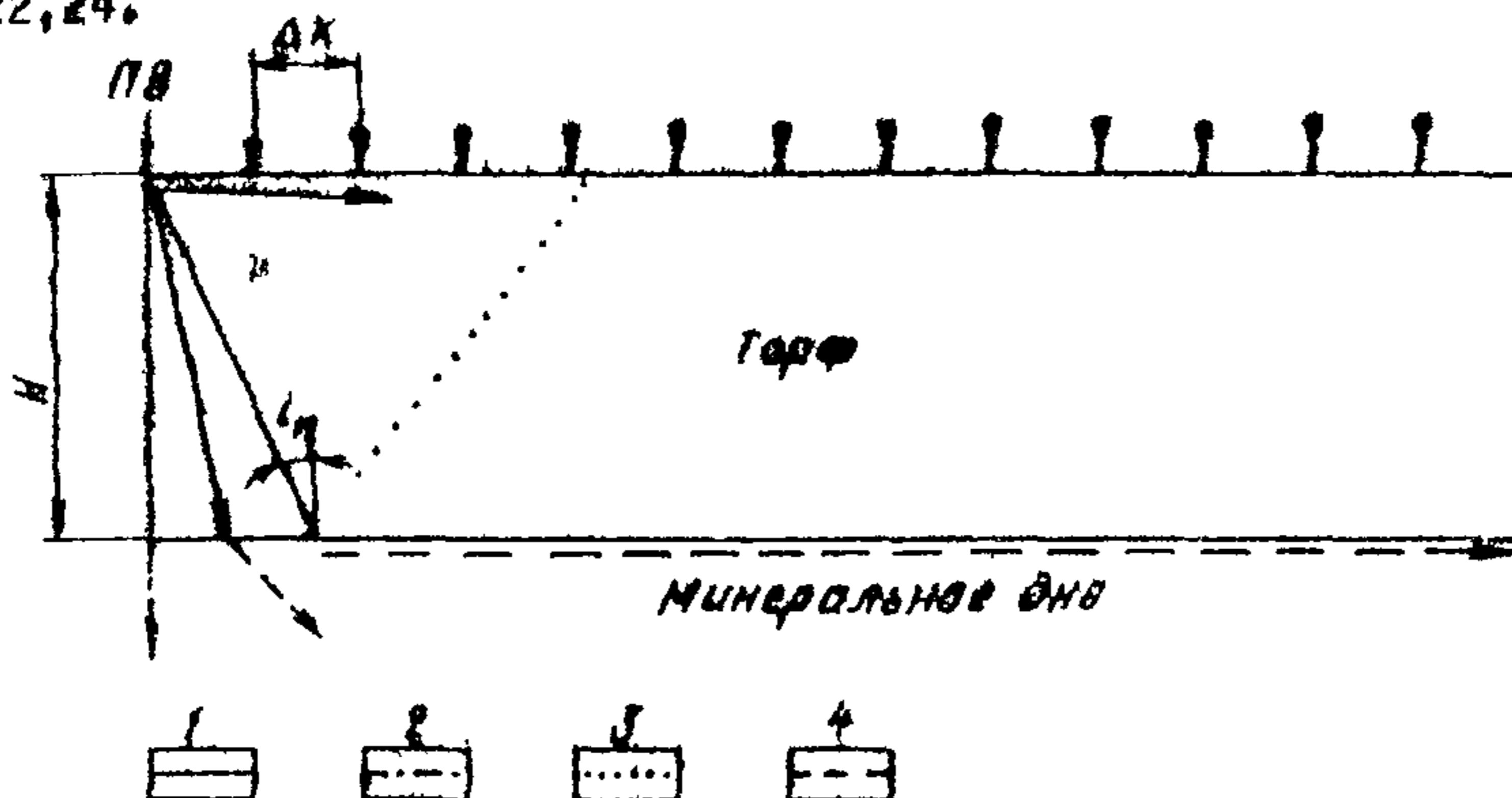


Рис. I. Схема сейсмического профиля:
1 — прямая волна; 2 — проходящая; 3 — преломленная; 4 — скользящая

2.8. Для более точного определения глубины залежи используют встречные и нагоняющие системы (особенно на существующих насыпях).

Встречной системой для некоторой преломленной волны называется система, при которой возбуждение колебаний производят с двух сторон профиля, длина которого обеспечивает приход данной волны в каждый ПВ.

Нагоняющая система для данной волны — это система, при которой два ПВ расположены с одной стороны профиля на некотором расстоянии один от другого.

2.9. Видор системы наблюдений определяется особенностями строения грунтовой толщи:

а) болота I типа с однородным составом торфа и уклоном минерального дна менее 10° . Скорости упругих волн по глубине почти не меняются. Граница торф - минеральное дно обычно является сильной преломляющей границей для поперечных и продольных волн (возрастание скорости больше 1,33).

Для определения общей мощности болотных отложений работы следует проводить по методике продольного или поперечного склоновидирования с использованием схем Z-Z или Y-Y. Встречные системы не применяют. Полоса используемых частот (фильтрация) обычно 25-100 Гц или широкополосная. При использовании поверхностных волн следует применять только широкополосную фильтрацию;

б) болота I типа с однородным составом торфа и уклоном минерального дна более 10° . Для повышения точности определений глубины залежи необходимо применять встречные системы;

в) болота I типа с неднородными слоями, скорости упругих волн возрастают с глубиной. В данном случае может наблюдаться рефракция волн. Системы наблюдения рекомендуется применять встречные по схеме Z-Z;

г) болота II и III типов, где торф подстилается органо-минеральными грунтами различной консистенции. Сильные преломляющие границы отсутствуют. Скорости упругих волн растут с глубиной, в результате наблюдается рефракция волн. Рекомендуется применять продольное профилирование по схеме Z-Z с применением встречных систем;

д) болотный грунт перекрыт минеральной насыпью или естественным слоем минерального грунта;

Граница насыпь - болотный грунт в большинстве случаев является

слабой, и преломленная продольная волна быстро затухает. Преломленные поперечные волны от этой границы не образуются. Граница болотный грунт — минеральное дно может быть сильной (болото наполнено полностью торфом) и олабой (болото с органо-минеральными грунтами). Рекомендуется применять встречные и нагоняющие системы.

2.10. Интерпретация данных сейсмических наблюдений при зондировании болот проводится в два этапа: I — сейсмическая интерпретация, включающая определение времени вступления различных типов волн на сейсмограммах или на экране осцилло-скопа, построение гидографов, вычисление граничных скоростей, построение преломляющих границ; II — геологическая интерпретация, включающая построение геологического профиля по данным границ слоев, полученным на первом этапе.

2.11. Каждый тип волн характеризуется на сейсмограммах следующими параметрами: периодом (T), амплитудой (A) и затуханием (χ). Различные типы волн обычно отделяются друг от друга на сейсмограмме периодами относительного склонения, но иногда они могут и накладываться друг на друга на отдельных трассах сейсмограмм из-за разной скорости распространения, вследствие чего преломленные волны, соответствующие разным границам раздела, сменяют друг друга в первых вступлениях на сейсмограмме. Критериями смены волн являются: изменение каждого склонения, резкое изменение амплитуды волн без значительного изменения ее периода, изменения формы записи на сейсмограмме.

2.12. По времени прихода выделенных волн строят гидографы — графики зависимости времени пробега сейсмической волны от расстояния между источником возбуждения и сейсмоприемником.

Для построения гидографов по полученным сейсмограммам проводится корреляция волн — последовательное прослеживание особенностей прохождения волн от трассы к трассе луча на сейсмограмме. Корреляция проводится по первым вступлениям и фазам волн.

2.13. В зависимости от отравки болотной валежи получаемые при зондировании гидографы имеют три характерные формы строения: прямолинейные (см. п. 2.9, а); криволинейные (см. п. 2.9, г); комбинированное — болотная валежь имеет ярко выраженные градиентные свойства (торф переходит в ил; минеральное дно, как "однородный" слой).

2.14. Скорости волн находят по наклону гидографа, по перегибу, методом разностного гидографа и т.п. (приложение 2).

Построение сейсмических границ для прямолинейных гидографов производят методами средних и пластовых скоростей, а для комбинированных и криволинейных — слабая градиентная среда — методами О.К. Кондратьева, способом и др. (см. приложение 2).

Для определения глубины болота по методу поверхностных волн используется связь между фазовой и групповой скоростью волн и отношением длины волны к толщине слоя λ/h или перисдом, относенным по времени пробега поперечной волны поперек слоя (см. приложение 2).

2.15. Геологическая интерпретация полученных результатов заключается в построении геосейсмических профилей с выделением глубины минерального дна болота. На геологические профили наносят высотные отметки поверхности, дна болота, кровли озера, определенные при геофизической интерпретации и контролльном механическом зондировании. Пример геосейсмической интерпретации дан в приложении 4.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ (СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОСВЕЧИВАНИЕ И СЕЙСМОКАРТАЖ)

3.1. Для определения физико-механических показателей болотных грунтов по сейсмическим характеристикам (скорости упругих волн и их затухание) применяют сейсмическое просвечивание (рис. 2а) или сейсмокартаж (рис. 2б), позволяющие определить фактические скорости в болотной залежи.

Сейсмическое просвечивание и сейсмокартаж применяют на этапе подобных исследований и совмещают со статическим зондированием. Сейсмические методы в отличие от стандартных дают не дискретные (в отдельных точках), а непрерывные характеристики между заданными ПВ и приемниками колебаний. Применение сейсмометодов увеличивает объем информации и повышает достоверность данных о физико-механических свойствах грунтов, позволяет получить ряд характеристик в полевых условиях, без применения лабораторных методов, что снижает стоимость работ в 3-5 раз.

3.2. При определении окрестей и коэффициента затухания упругих волн по вертикали залежи (сейсмокартаж) сейсмопенетрометр при-

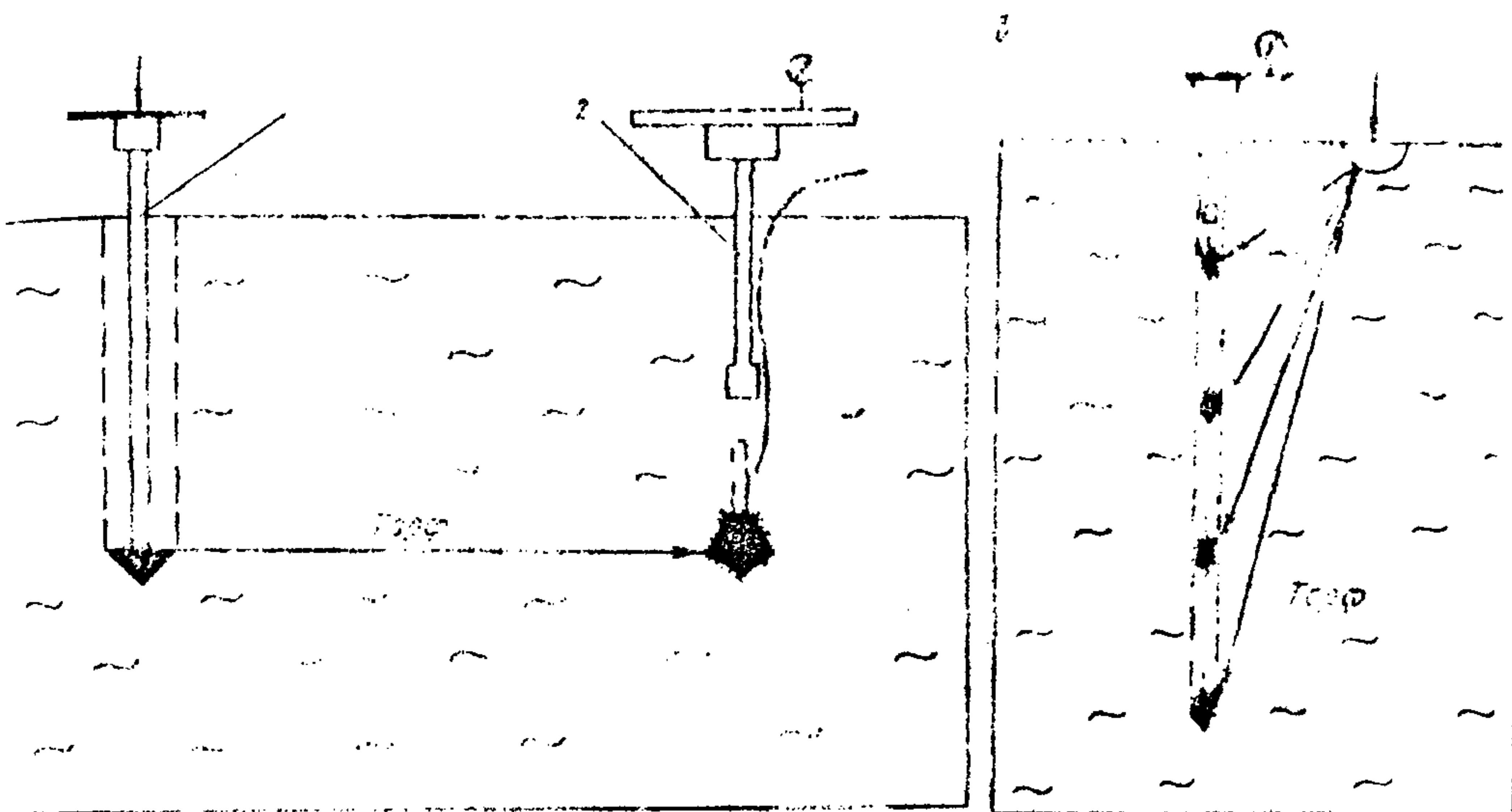


Рис.2. Способы измерения скоростей упругих волн в залежи:
а) схема сейсмопроецивания; 1 — устройство для возбуждения
колебаний; 2 — устройство для приема колебаний; б) схема
сейсмокаротажа

помощи штанг вдавливают на требуемую глубину (приложение I). Во время погружения сейсмопенетрометра через установленные интервалы (0,2-0,5 м) по индикатору регистрируется лобовое усилие вдавливанию конуса. После достижения заданной глубины штангу извлекают и производят возбуждение (из поверхности залежи) и запись колебаний. Возбуждение колебаний осуществляют ударом кувалды по подставке $\sim 0,5 - 1,0$ м от места погружения.

Регистрируется время прихода продольных и поперечных волн; при ударе по схеме X-Z получают продольные, по схеме Y-Y — поперечные волны. После этого извлекают из болотного грунта сейсмопенетрометр, соединяют со штангой и погружают до следующей отметки. Интервал измерений через 1,0 м.

3.3. При измерении скоростей упругих волн и их затухания по горизонтали (сейсмическое проектирование) возбуждение колебаний производят конусным наконечником на расстоянии 1-4 м от сейсмопенетрометра, погруженного на ту же глубину.

Работы производят в следующем порядке.

Навинчивают (рис.7, приложение I) конус 1 и подставку 3 на штангу 2 и погружают на требуемую глубину. Подставка должна возвышаться над поверхностью залежи на 0,3-0,4 м, чтобы не возбуждать колебаний на поверхности залежи. В отверстие 7 вставляют направляющую штангу 4 с грузом 5, зафиксированным в верхнем положении.

Для регистрации волн на расстоянии 1-4 м от пункта возбуждения на эту же глубину погружают сейсмопенетрометр (см. рис.2а), включают регистратор и производят возбуждение колебаний. Таким же образом производят работы по всей глубине залежи, обычно через 1,0 м.

3.4. Поперечные волны на расстоянии двух-трех длин волн от источника возбуждения выделяются четко. Выделение волн S (удар и прием $V-V$) производят по признаку инверсии фаз при переходе знака воздействия, а также интенсивности волн при ориентации сейсмоприемников по линиям X , Y и Z .

3.5. По полученным записи — осциллограммам — (рис.3) определяют скорости упругих волн и их затухание в залежи.

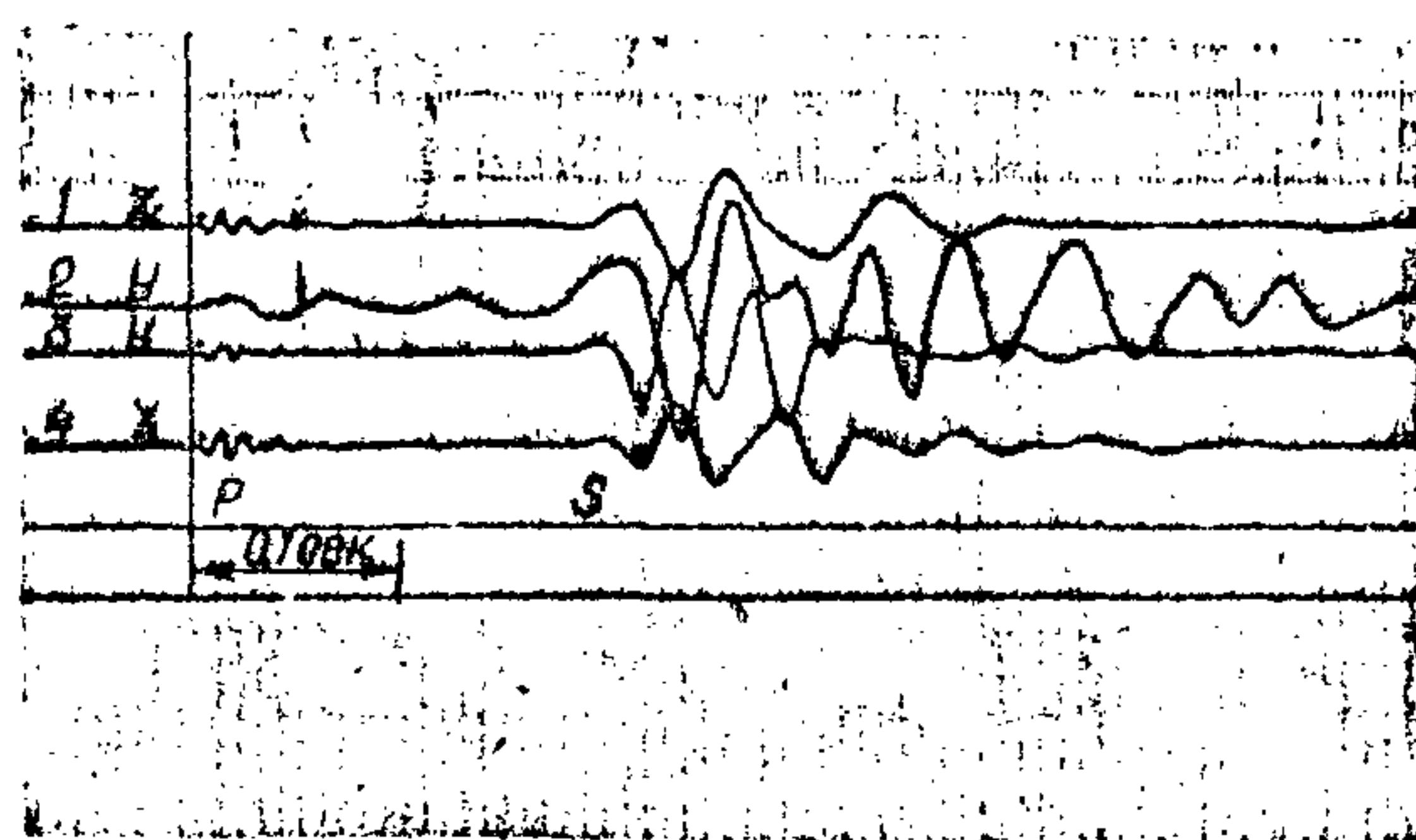


Рис.3. Осциллограмма профилирования болотной залежи при $X = 3$ м. 1-2 — сейсмоприемники расположены на поверхности залежи на расстоянии $l = 3$ м от ПВ; 3-4 — сейсмоприемники расположены в сейсмопенетрометре на глубине $l = 3$ м и на расстоянии $x = 3$ м от ПВ.

В случае измерения скоростей упругих волн по вертикали (сейсмокаротаж) составляют сводную осциллограмму (рис. 4а), по которой строят годографы (рис. 4б). По годографам определяют скорости упругих волн в залежи по формуле $V = \frac{h}{\Delta t}$ (Δh — расстояние от ПВ до сейсмопенетрометра, Δt — время прохождения волной расстояния Δh), а также среднюю скорость в залежи по формуле $\bar{V} = \frac{h}{t}$ (h — мощность залежи, t — время прохождения волны через залежь).

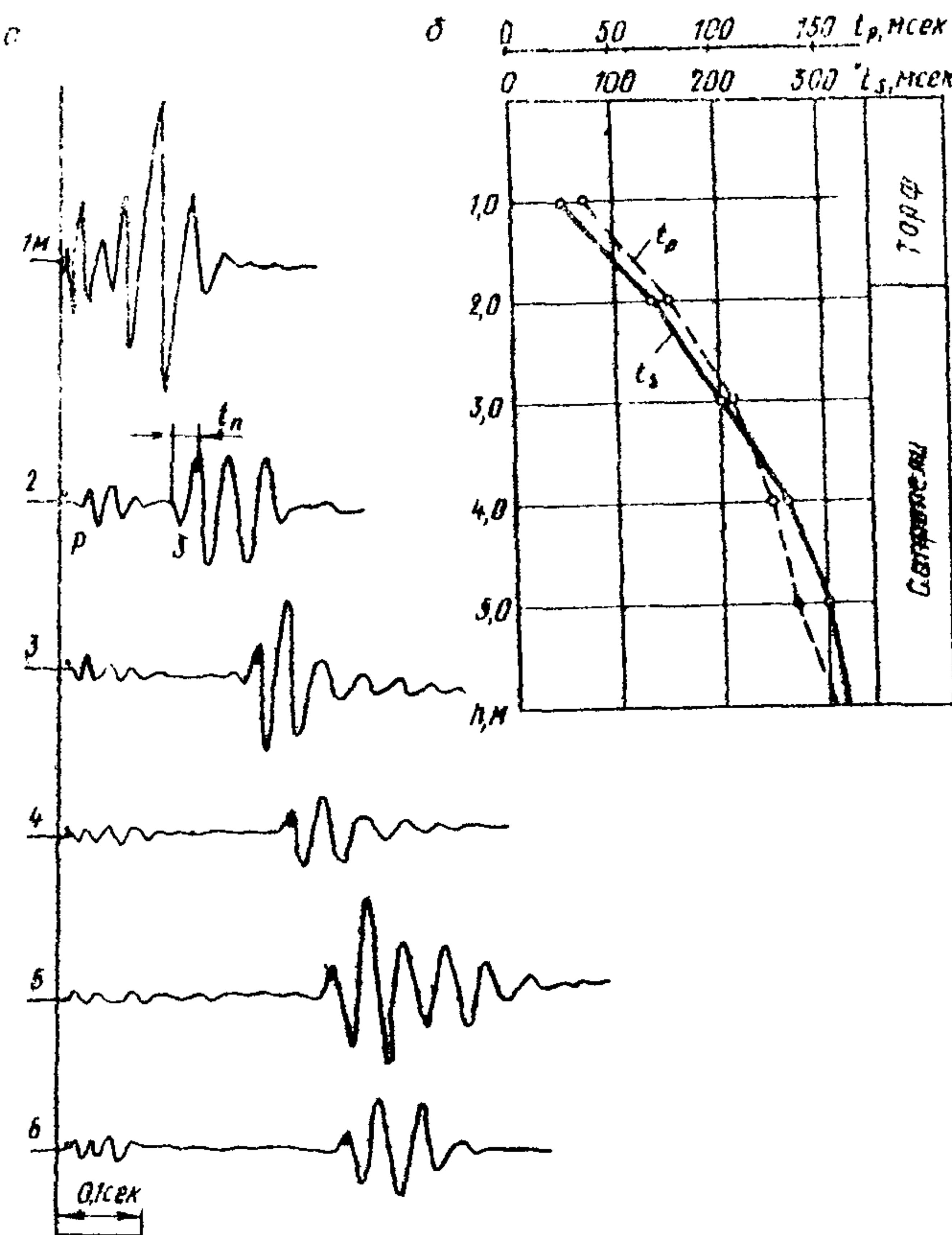


Рис. 4. Результаты измерения скоростей упругих волн по вертикали болотной залежи:
а) сводная осциллограмма по результатам сейсмокаротажа болотной залежи; б) вертикальные годографы и геологическая колонка

При измерении скоростей упругих волн по горизонтали (сейсмическое просвечивание) по полученным осциллограммам (см. рис. 3) определяют время прихода колебаний и по формуле $V_p = \frac{2s}{t}$ (s — расстояние от ПВ до приемника; t — время прихода колебаний) находят скорость упругих волн на данной глубине.

По результатам испытаний строят графики изменения скоростей продольных и поперечных волн, усилий вдавливания конуса по глубине болотной валежки (рис. 5). Далее по функциональным и корреляционным зависимостям (приложение 3) находят физико-механические характеристики болотных грунтов.

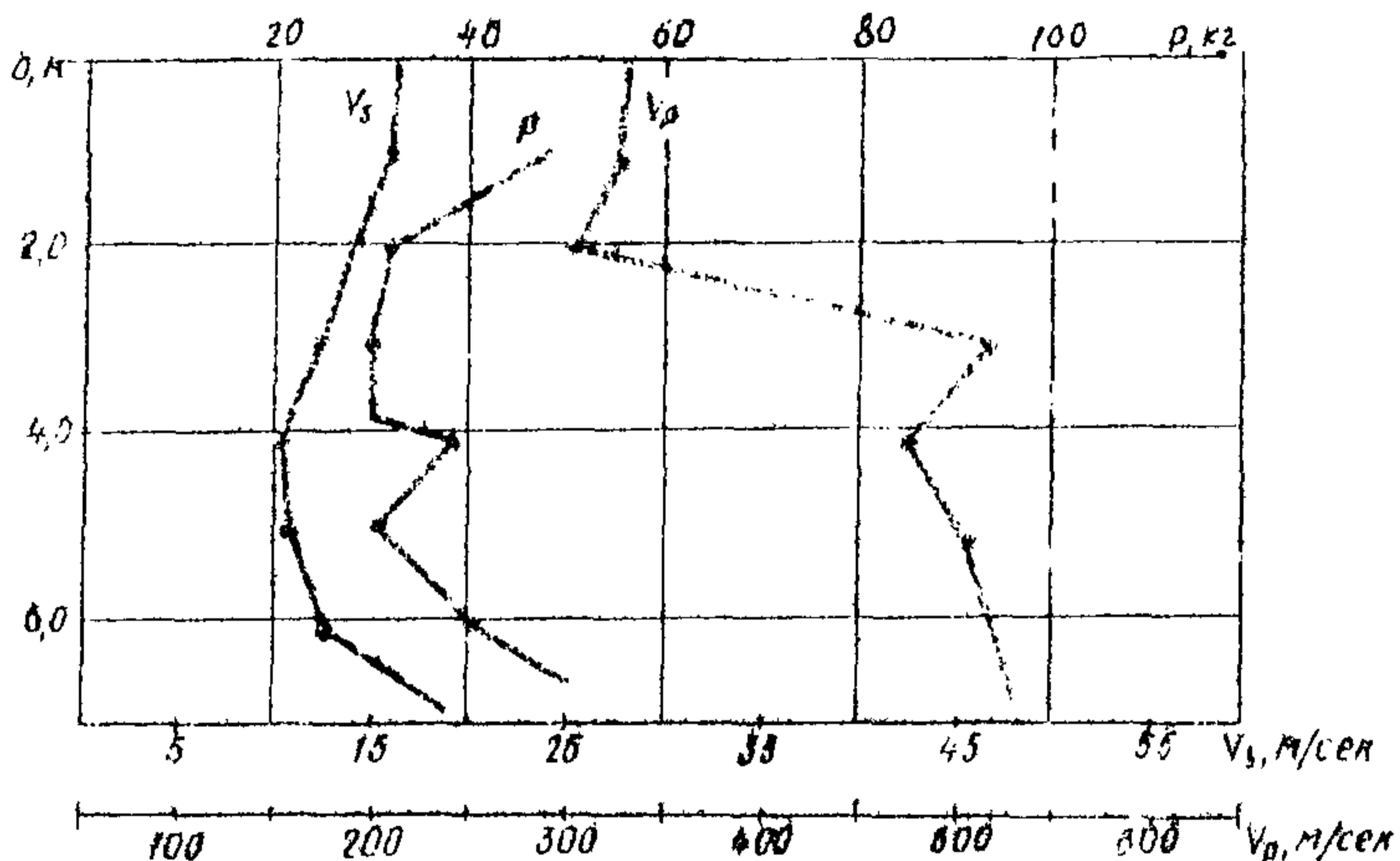


Рис. 5. Графики, построенные по результатам сейсмопросвечивания

Приложение I. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ АППАРАТУРА

При зондировании болотной валежки рекомендуется применять два вида аппаратуры: многоканальные установки (при обследовании реконструируемых дорог и соущенных болот) и одно-, трехканальные (при обследовании новых трасс на несущенных болотах). В качестве многоканальных установок можно использовать серийно выпускаемую сейсмостанцию "Поиск-1-6/12-АСМ", которая имеет фотобиосиллографическую и магнитную записи. Станция монтируется на автомобиле ГАЗ-69, но в случае необходимости ее можно переборудовать в переносную.

В качестве одноканальных установок рекомендуется использовать серийно выпускаемые установки ООУ-2, ДОСУ-1 и регистратор вхолостя ВП-1. Для этих установок сконструирован специальный пульт управления, что позволяет использовать ходу с 12-16 сейсмоприемниками, а также осуществлять фильтрацию в диапазоне частот 0-150 Гц.

Комплекс аппарата, применяемой при выкабировании болотной залежи, представлен на рис.6.

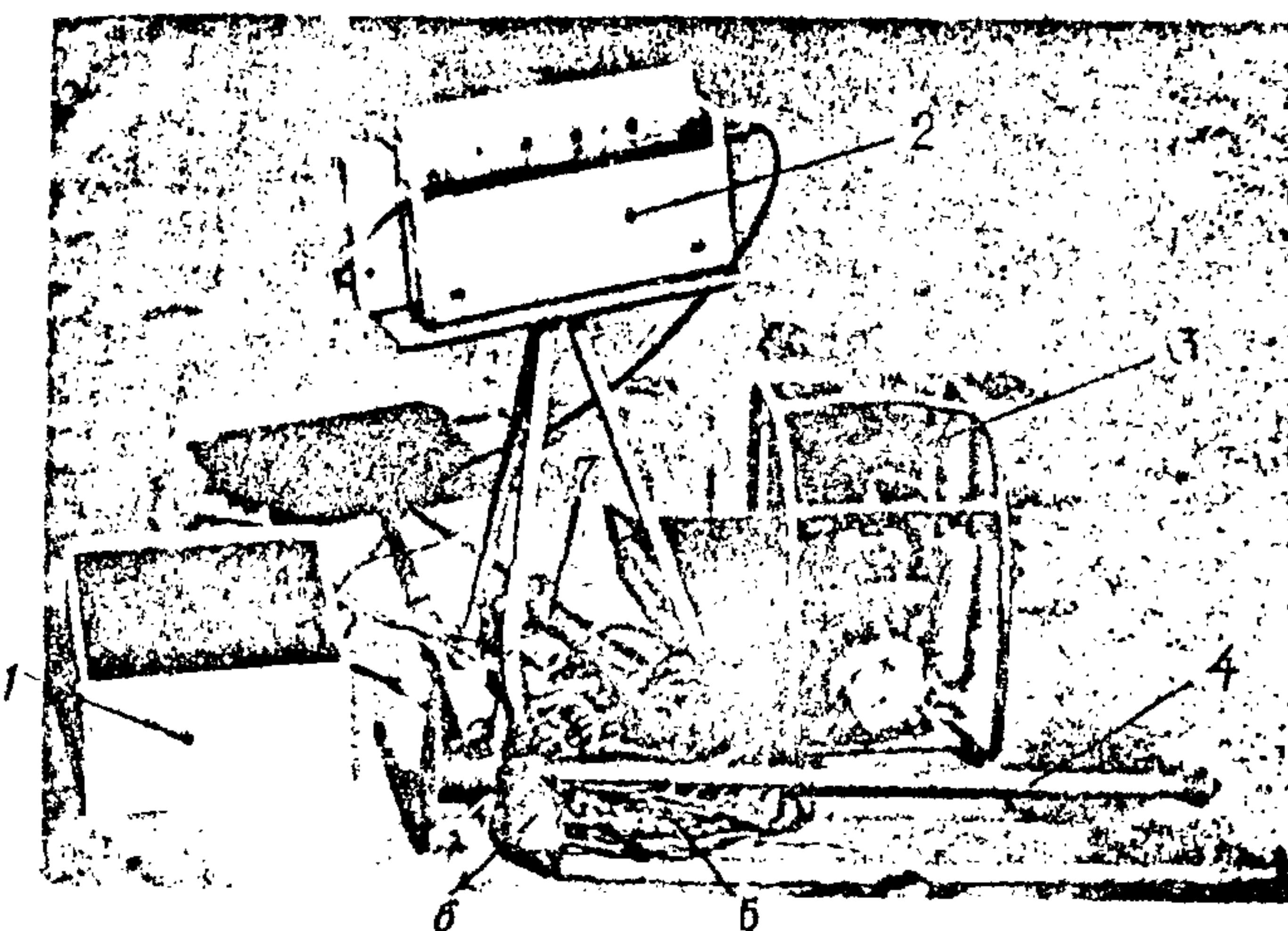


Рис.6. Комплекс аппаратуры и оборудования:
1 — пульт управления; 2 — регистратор колебаний;
3 — переносная электростанция; 4 — устройство для возбуждения колебаний внутри болотной
залихи; 5 — кабель для подключения сейсмоприем-
ников в регистратору (коса); 6 — конусный вонд
сейсмометрометра; 7 — держатель

Масса регистратора вхолостя ВП-1 8 кг, запись ведется чернилами, что позволяет сразу контролировать качество осциллограмм.

В качестве трехканальных установок можно использовать осциллограф Н-700 с трехканальным усилителем и регистратор Н-327-3.

Питание переносной аппаратуры осуществляется от электростанции мощностью 0,5 кВт, напряжением 24 или 220 В, массой 20 кг.

При сейсмоведении используются сейсмоприемники: СПЭД-56, СВ-10, СВ-20, СГ-1-10 и СГ-1-20. Для установки сейсмоприемников используют специальные держатели (см. рис. 6), позволяющие ориентировать сейсмоприемники в трех плоскостях (X , Y , Z). Держатели погружают в торф на 30–40 см, что обеспечивает хороший контакт сейсмоприемников с болотным грунтом. Для соединения сейсмоприемников с регистрирующей аппаратурой используют коны на 6, 12 и 16 сейсмоприемников. Всаждение колебаний осуществляют ударом кувалды (масса 10 кг) по металлической или деревянной подставке.

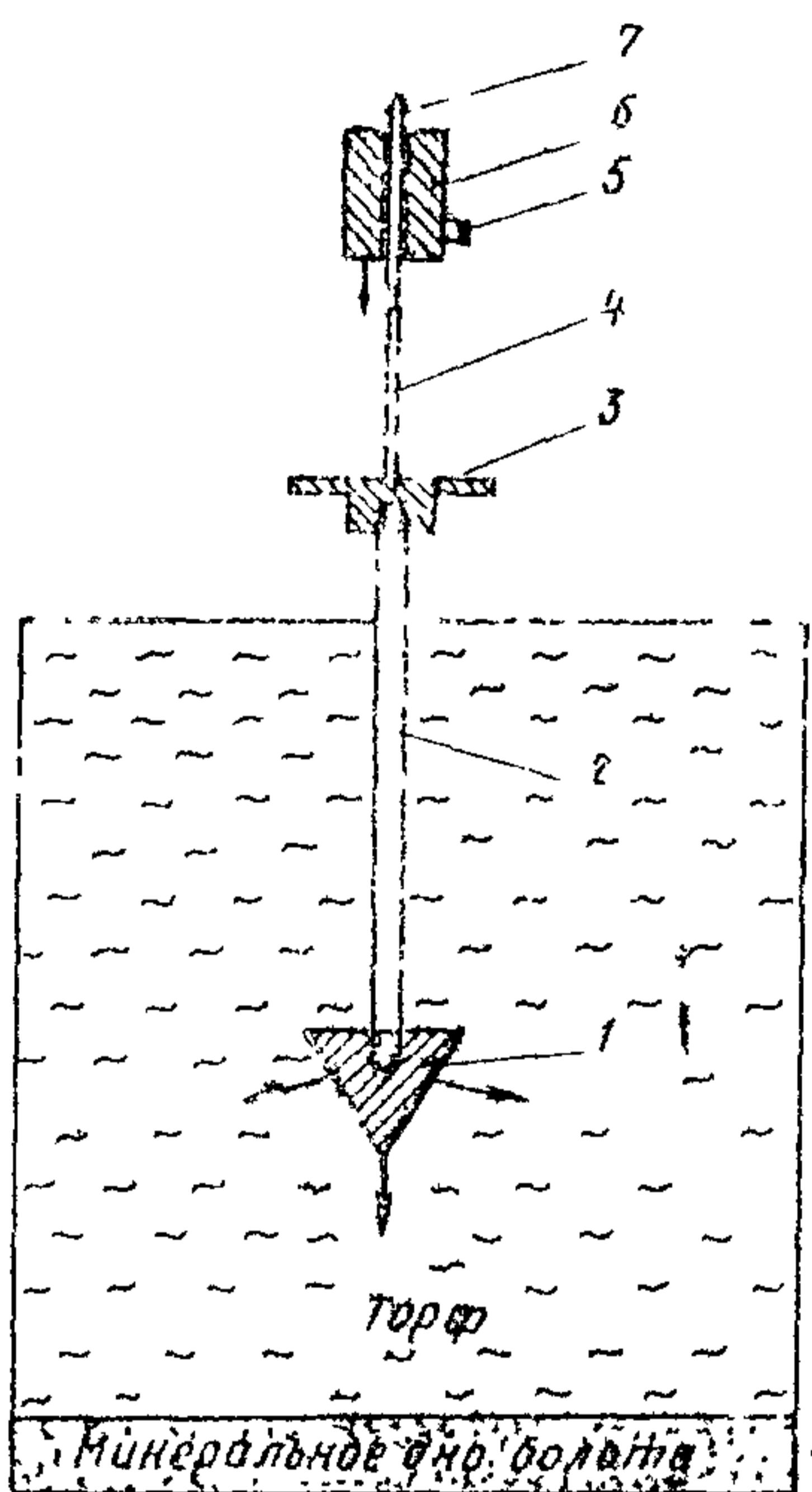


Рис. 7. Устройство для возбуждения колебаний внутри болотной залежи

продольные и поперечные волны. При помощи этого устройства можно возбуждать колебания в различных слоях болотной залежи и на любой глубине.

Для измерения скоростей прямых волн в болотной залежи разработаны специальные устройства для возбуждения и приема колебаний (способ конуса, сейсмопенетрометр, держатели).

Возбуждение упругих волн внутри озера осуществляли устройством (рис. 7), которое состоит из конусного наконечника 1 с углом $\alpha = 60-90^\circ$ и сечением 20 см²; штанги для погружения конуса 2; металлической подставки 3, по которой производится удар падающим грузом; направляющей 4; контактов, замыкающихся во время удара 5; грува массой 5 кг 6; фиксатора высоты падения грува 7.

Возбуждение колебаний производится конусным наконечником, на который через соединительные штанги передается удар падающего груза. Под воздействием удара конус создает импульсное усилие по вертикали Z и горизонтальным X и Y , возбуждая

Для приема упругих волн используют специально разработанный прибор — сейсмопенетрометр (рис.8), который позволяет проводить статическое зондирование слоистых болотных грунтов с измерением по глубине сопротивления давлению конуса и скоростей упругих волн.

Сейсмопенетрометр состоит из следующих основных частей (см. рис.8): конусного наконечника с углом $\alpha = 90^\circ$ и сечением 40 см^2 1, в котором помещены три сейсмоприемника, расположенные в трех плоскостях (λ , γ , Z) 2; увостовика 3 с отверстием для кабеля 9 и переходником для соединения со штангами; штанг для задавливания 4 с рукояткой 5 и механического измерительного устройства 7 конструкции Л.С.Амаряна; приспособления для извлечения сейсмопенетрометра 6; регистрирующей аппаратуры 8.

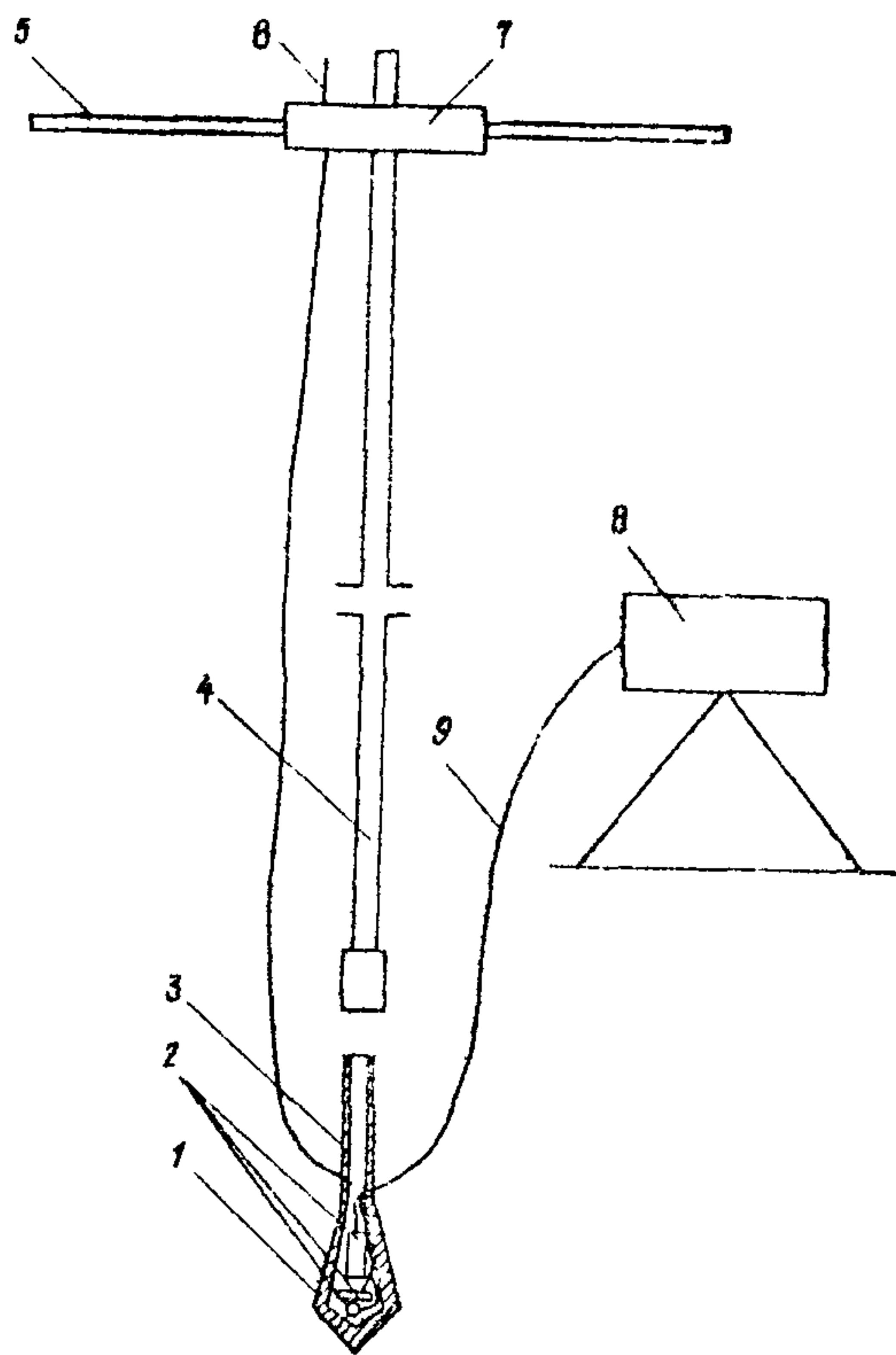


Рис.8. Схема сейсмопенетрометра
при способления для извлечения сейсмопенетрометра 6; регистрирующей аппаратуры 8.

Приложение 2. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛЕВЫХ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

I. Определение скоростей по гидографам преломленных волн (прямолинейные гидографы)

Для двухслойной среды с горизонтальной границей раздела (однородный торф) характерны прямолинейные гидографы (рис.9). В этом

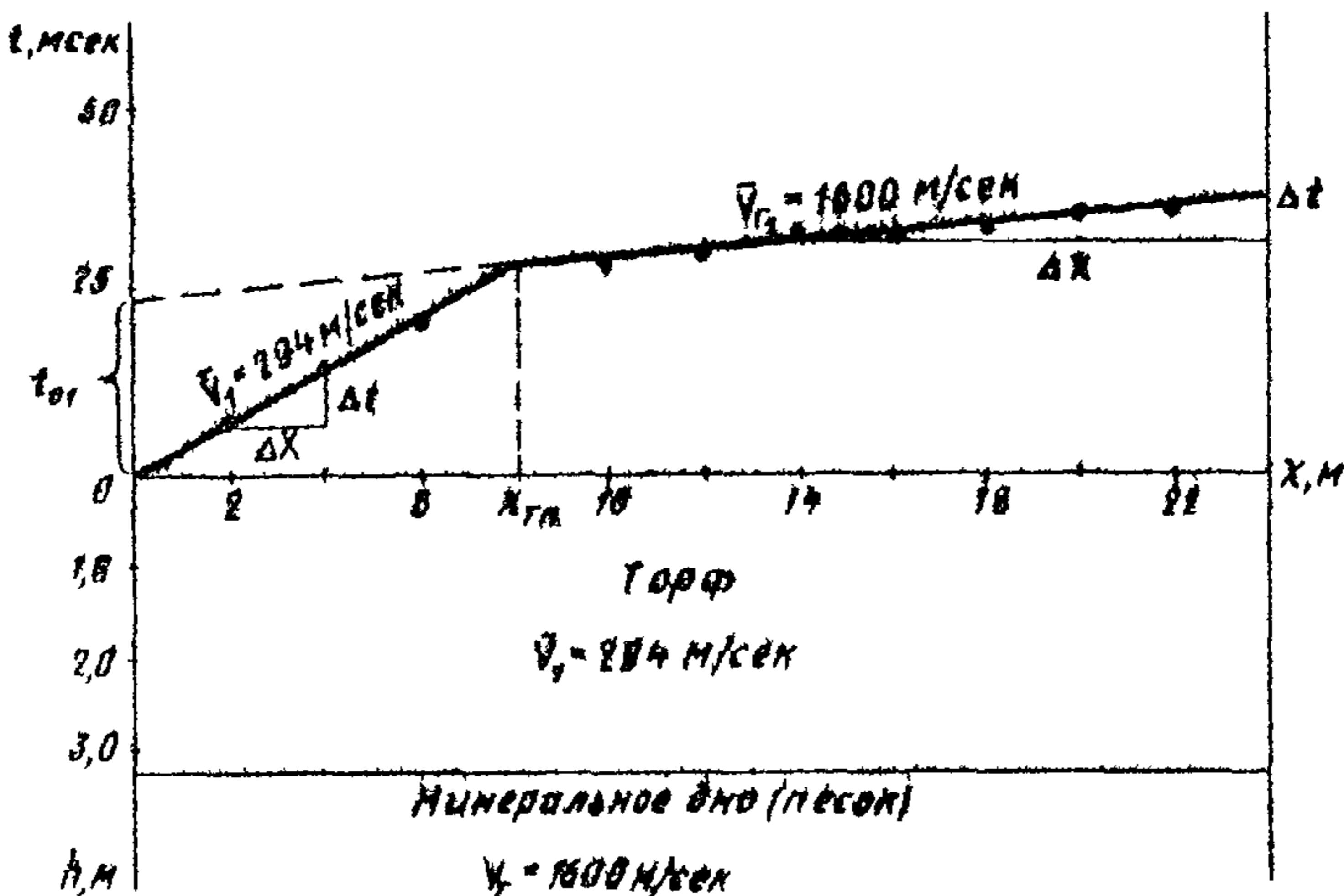


Рис.9. Определение скоростей и V' по прямолинейному годографу первых вступлений продольной волны

в случае гравиационных склонов можно определять по наклону отрезков с помощью формулы

$$V' = \frac{\Delta X}{\Delta t},$$

где ΔX — расстояние по годографу; Δt — время по годографу.

Здесь кажущаяся скорость V' равна граничной скорости V_r . Вообще же кажущаяся скорость равна $V' = \frac{V_r}{\cos \psi}$, где ψ — угол между касательной к фронту волны и поверхностью земли.

Среднюю скорость прямой волны определяют по перегибу годографа,

В случае наклонных границ для определения гравиационных скоростей применяют два основных способа: точный метод полей времени и приближенный метод разностного годографа /1,2,18/. Обычно в инженерно-геодезических изысканиях пользуют более простой метод разностного годографа, который обеспечивает достаточную точность при малом угле наклона границы ψ . Метод требует встречной системы наблюдений с увязанными во взаимных точках годографами; причем разностный годограф строят лишь на участке перекрытия встречных

годографов (рис. 10).

Положение любой точки с координатой x , лежащей на линии разностного годографа, определяется равенством

$$t_{\text{раз}} = t_{(1)} - t_{(2)} + \Gamma,$$

где $t_{(1)}$ и $t_{(2)}$ — время по двум встречным годографам;

Γ — время прихода волны во взаимных точках.

Разностный

годограф строят следующим образом (см. рис. 10).

Измеряют отрезок Δt от одного из встречных годографов до горизонтальной прямой, соединяющей взаимные точки, и откладывают этот отрезок по ординате от другого годографа. В результате получают точку, принадлежащую разностному годографу. Таким же образом получают и другие точки.

Границную скорость определяют по формуле

$$V_r = 2 V_{\text{раз}} \cdot \cos \varphi,$$

где $V_{\text{раз}}$ — скорость по разностному годографу;

φ — угол наклона границы. При малых наклонах границы им можно пренебречь.

В случае отсутствия перекрытого участка у встречных годографов значение V_r приближенно вычисляют по следующей формуле:

$$\frac{V_r}{V} = \frac{V_1}{V_2} + \frac{V_2}{V_1},$$

где V_1 и V_2 — значения кампенсированной скорости по встречным годографам.

В случае наличия перекрытого участка, но неувязанной системы годографов (для волны t_1) скорость $V_{\text{раз}}$ находят по рис. II. Для оп-

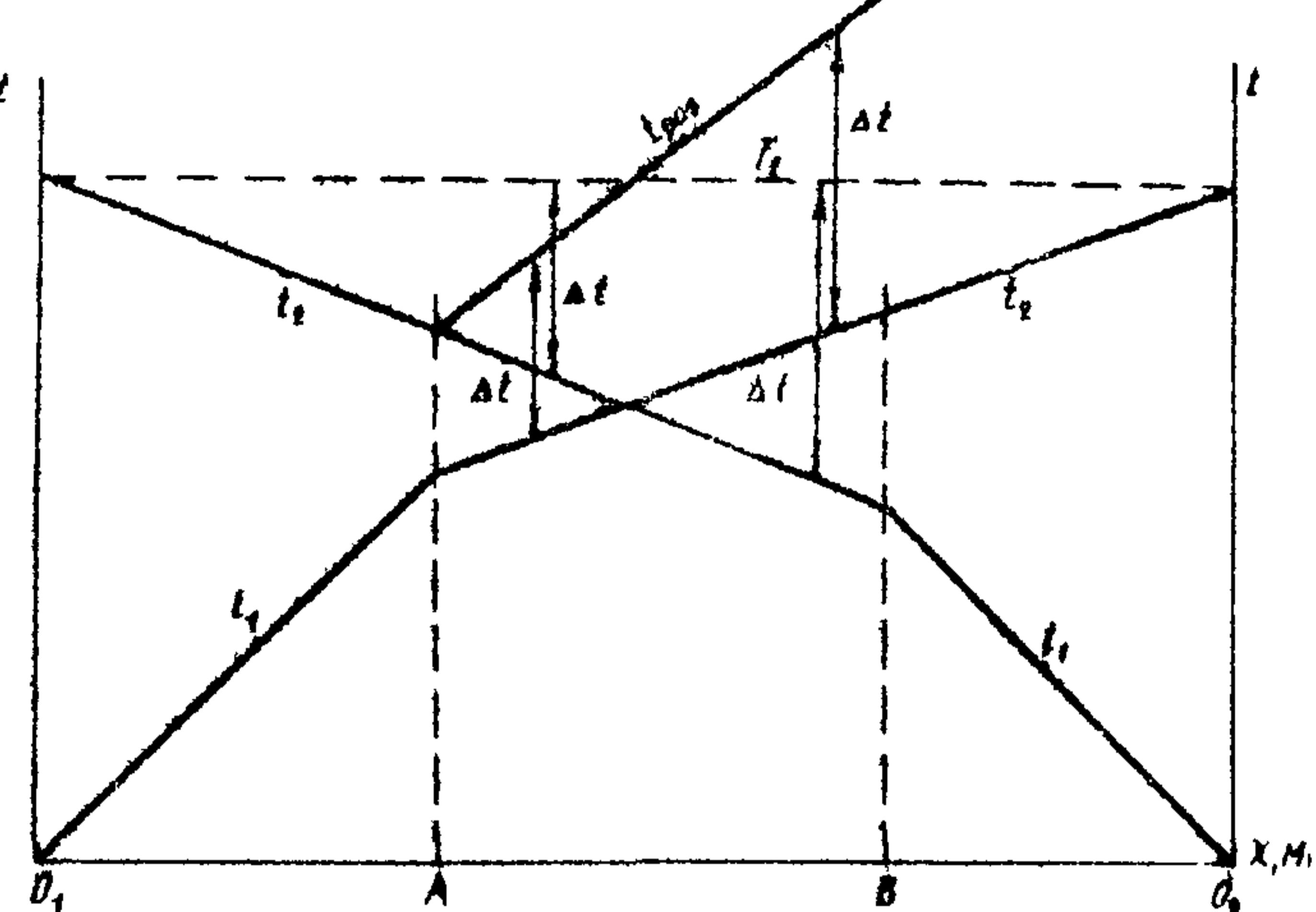


Рис. 10. Построение разностного годографа $t_{\text{раз}}$

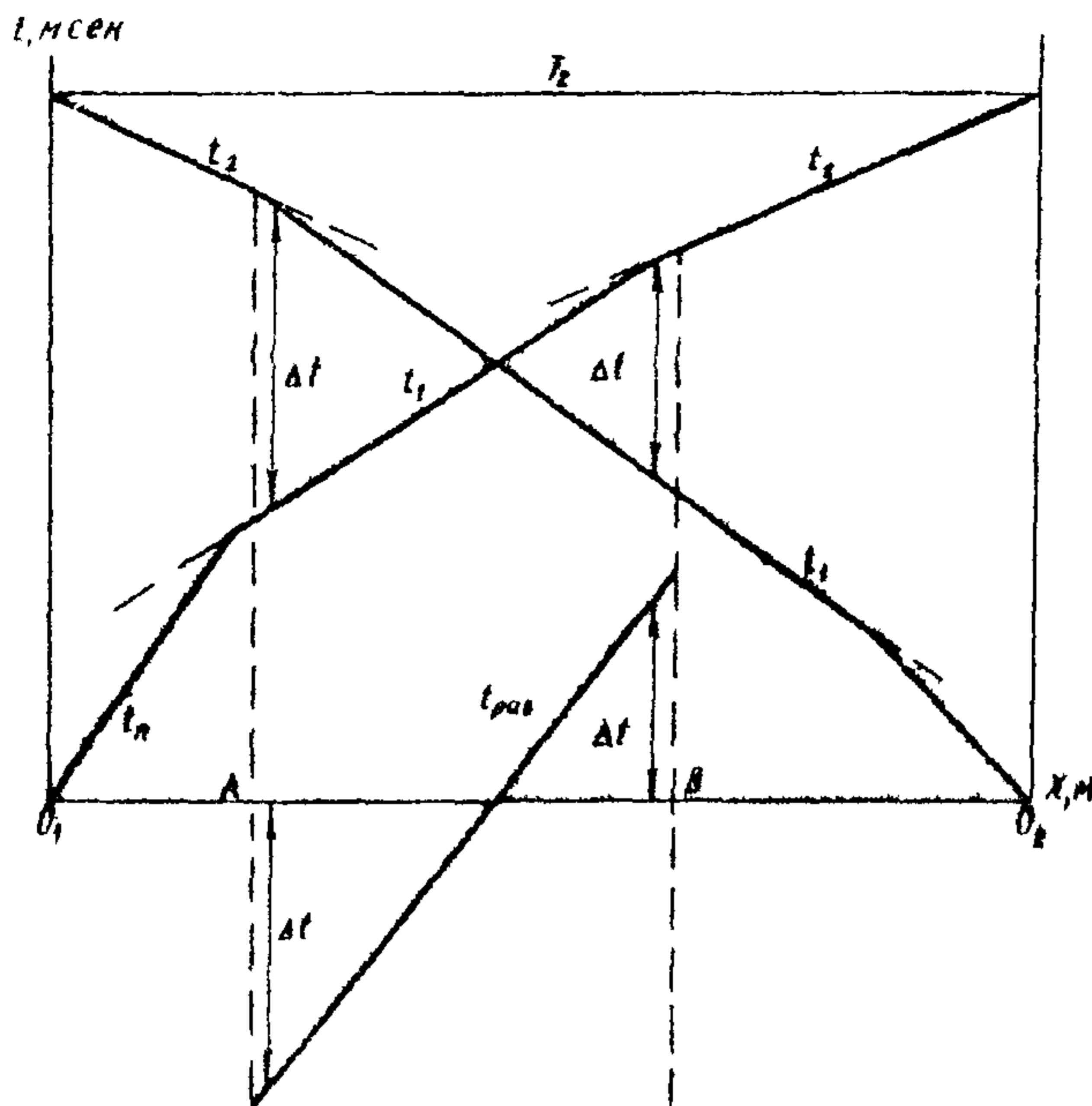


Рис. II. Построение разностного годографа t_{diff} (для волны l_1) в случае неувязанной системы годографов

При простом строении (двухслойная среда, горизонтальная граница) залежи можно применять и другие упрощенные способы, основанные на ряде допущений /3/.

Способ средних скоростей /1,2,3/

Все слои, лежащие выше каких-либо преломляющих границ, рассматривают как один однородный слой с постоянной скоростью распространения погруженных волн. Для построения границ необходимо иметь значения V_r , \bar{V} и t_0 .

V_r находит по одному из способов, описанных выше; \bar{V} — по перегибу годографа (точка пересечения прямой и преломленной волны) и t_0 — продолжением годографа преломленной волны на ось времени (рис. I2a).

пределения t_{diff} измеряют величину $t_{(x)} - t_{(y)}$ и откладывают ее от любой линии, параллельной оси абсцисс.

2. Построение преломляющих границ

Глубины преломляющих границ можно определить двумя способами: менее точным, но более быстрым способом средних скоростей (\bar{V}) и более точным, но более громоздким способом пластовых скоростей (V_p). Оба эти способа являются упрощенными модификациями точного способа полей времени /2/.

Для n -го слоя границу находят по формуле

$$h_n = \frac{\bar{V}_n \cdot t_{0n}}{2\sqrt{1 - (\bar{V}_n/V_{en})^2}},$$

где \bar{V}_n — средняя скорость до n -й границы;

$$\bar{V}_n = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{h_1/V_1 + h_2/V_2 + \dots + h_n/V_n},$$

V_{en} — граничная скорость вдоль этой границы;

t_{0n} — значение t_0 для n -й границы.

Для первой границы раздела

$$h_1 = \frac{\bar{V}_1 \cdot t_{01}}{2\sqrt{1 - (V_1/V_{e1})^2}}.$$

Для первой границы можно использовать также формулу

$$h_1 = \frac{x_{T,n}}{2} \sqrt{\frac{V_{e1} - V_1}{V_{e1} + V_1}},$$

где $x_{T,n}$ — точка пересечения годографа прямой и преломленной волны.

Приближенно глубину можно определить (горизонтальная граница, двухслойная среда) по положению точки перегиба ($x_{T,n}$), как $h = (0,33+0,4) \cdot x_{T,n}/3$.

Если имеется система встречных годографов, связанных во взаимных точках, то глубину задели в любой точке профиля (имеющего перекрытий участок) можно определить по построенной линии $t_{0(x)}$, которую находят из соотношения

$$t_{0(x)} = \bar{t}_{(x)} + \bar{t}_{(x)} - T.$$

Построение показано на рис. I2б.

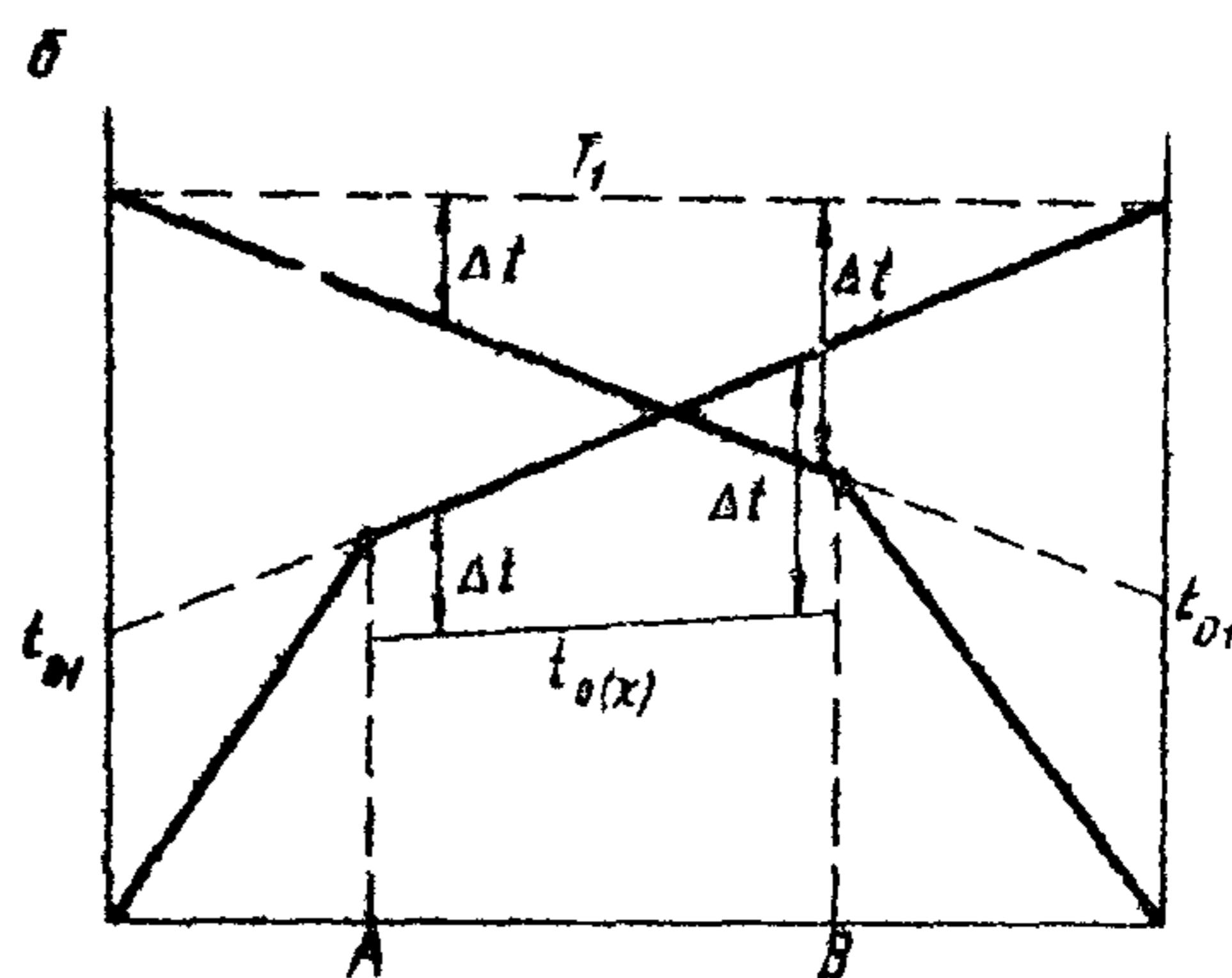
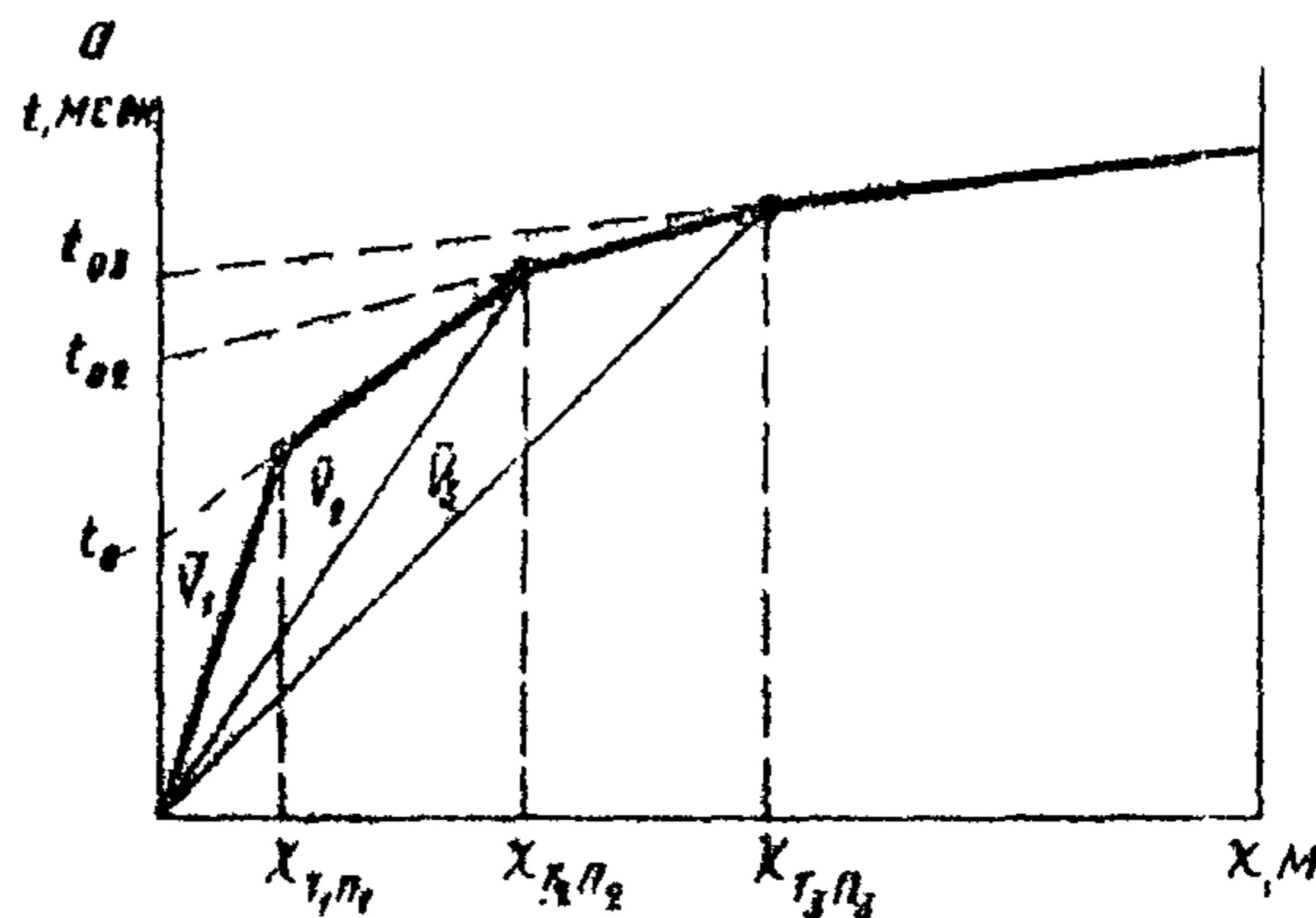


Рис. I2. Определение средних скоростей \bar{V}_n и t_0 для многослойного разреза (а) и построение линии $t_{0(x)}$ при встречной съемке с перекрытием участками (б)

Способ пластовых скоростей /I, 2, 3/

Для определения мощности каждого слоя необходимо знать t_0 и V_i для каждой границы.

Мощность первого слоя определяют способом, описанным выше.

Мощность второго слоя

$$h_2 = \frac{V_i}{2 \cos i_{20}} \cdot \left(t_{02} - \frac{\cos i_{20}}{\cos i_{21}} - t_{01} \right),$$

где $i_{20} = \arcsin \frac{V_i/V_1}{\cos i_{21}}$; $i_{21} = \arcsin \frac{V_i/V_2}{\cos i_{22}}$; $i_{22} = \arcsin \frac{V_i/V_3}{\cos i_{23}}$.

Мощность третьего слоя

$$h_3 = \frac{V_i}{2 \cos i_{30}} \cdot \left[t_{03} - t_{02} \frac{\cos i_{20}}{\cos i_{31}} - \left(t_{02} - \frac{\cos i_{21}}{\cos i_{22}} \cdot t_{01} \right) \frac{\cos i_{20}}{\cos i_{31}} \right],$$

где $i_{30} = \arcsin \frac{V_i/V_3}{\cos i_{31}}$; $i_{31} = \arcsin \frac{V_i/V_4}{\cos i_{32}}$; $i_{32} = \arcsin \frac{V_i/V_5}{\cos i_{33}}$.

t_{01} , t_{02} , t_{03} — соответственно время, отсекаемое на оси времени продолжениями первого, второго и последнего отрезков гидографов преломленных волн.

Аналогичные формулы выводят и для следующих слоев.

Глубины преломляющих границ находят суммированием мощностей залегающих выше слоев.

Для приближенного определения V_i в методе пластовых скоростей можно использовать формулу /15/

$$V_{re} \approx \left(\frac{2V^* \cdot V^*}{V^* + V^*} \right) c$$

где V^* и V^* — кажущиеся скорости преломленных волн от одной и той же границы, зарегистрированные по подъему и падению ее.

При использовании одноканальных установок (при двухходовой схеме) целесообразно определять положение наклонной границы по гидографам из одной точки пункта возбуждения по способу расстояний (рис. I3) /4/.

Наклон границы определяют по формуле

$$\sin \varphi = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где

$$a = \frac{\chi_1^\delta \cdot \chi_2^\delta}{\chi_2^\delta - \chi_1^n}, \quad b = - \left(\frac{\chi_1^\delta \cdot \chi_1^n}{\chi_1^n - \chi_1^\delta} + \frac{\chi_1^\delta \cdot \chi_1^n}{\chi_2^\delta - \chi_1^n} \right);$$

$$c = \frac{\chi_1^\delta}{2},$$

а ее глубину — по формуле $h = \frac{\chi_1^\delta \cdot \chi_1^n}{\chi_1^n - \chi_1^\delta} \cdot \sin \varphi$, или как показано на рис. I4.

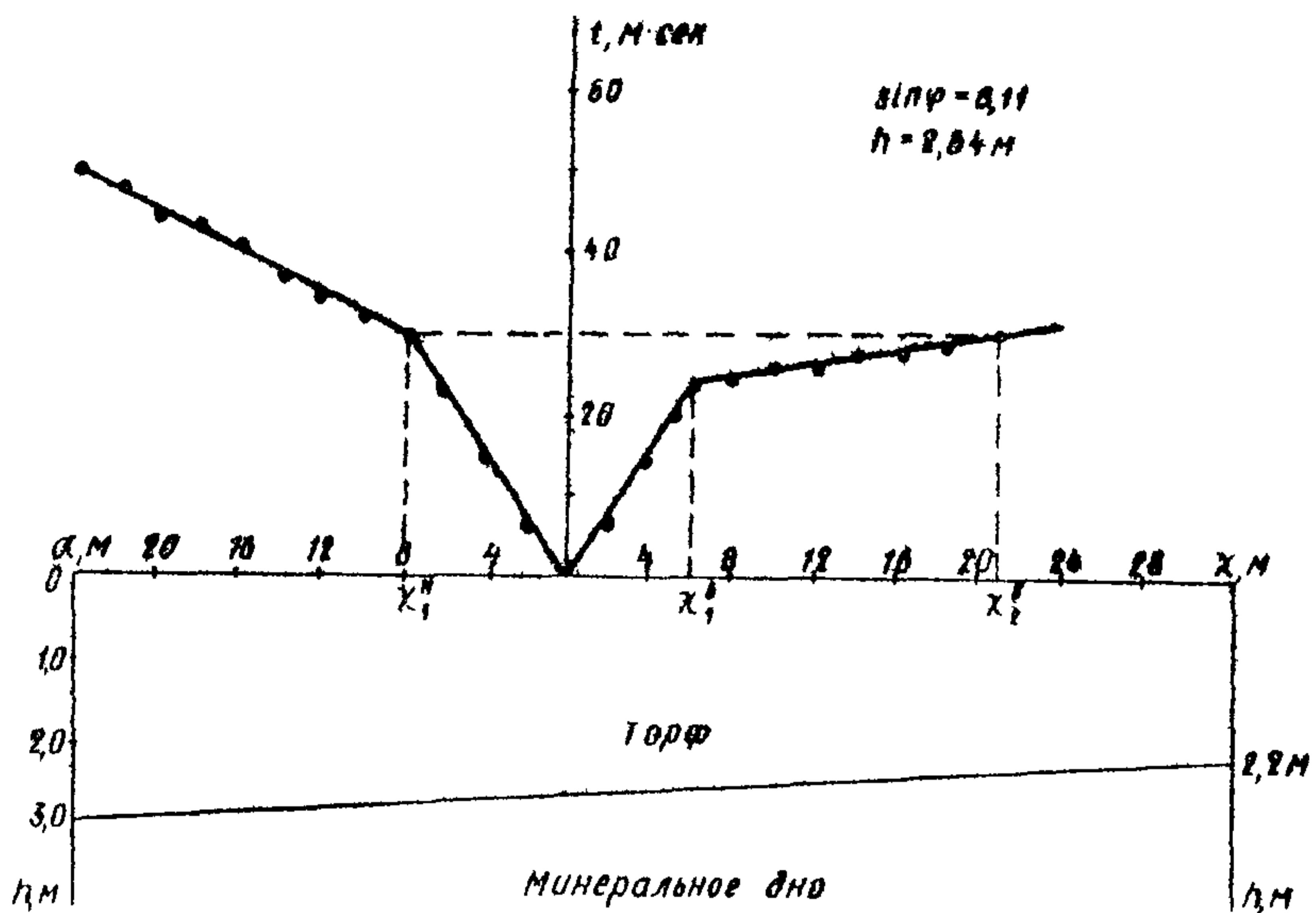


Рис. 13. Определение угла наклона и глубины залежи из одной точки пункта возбуждения

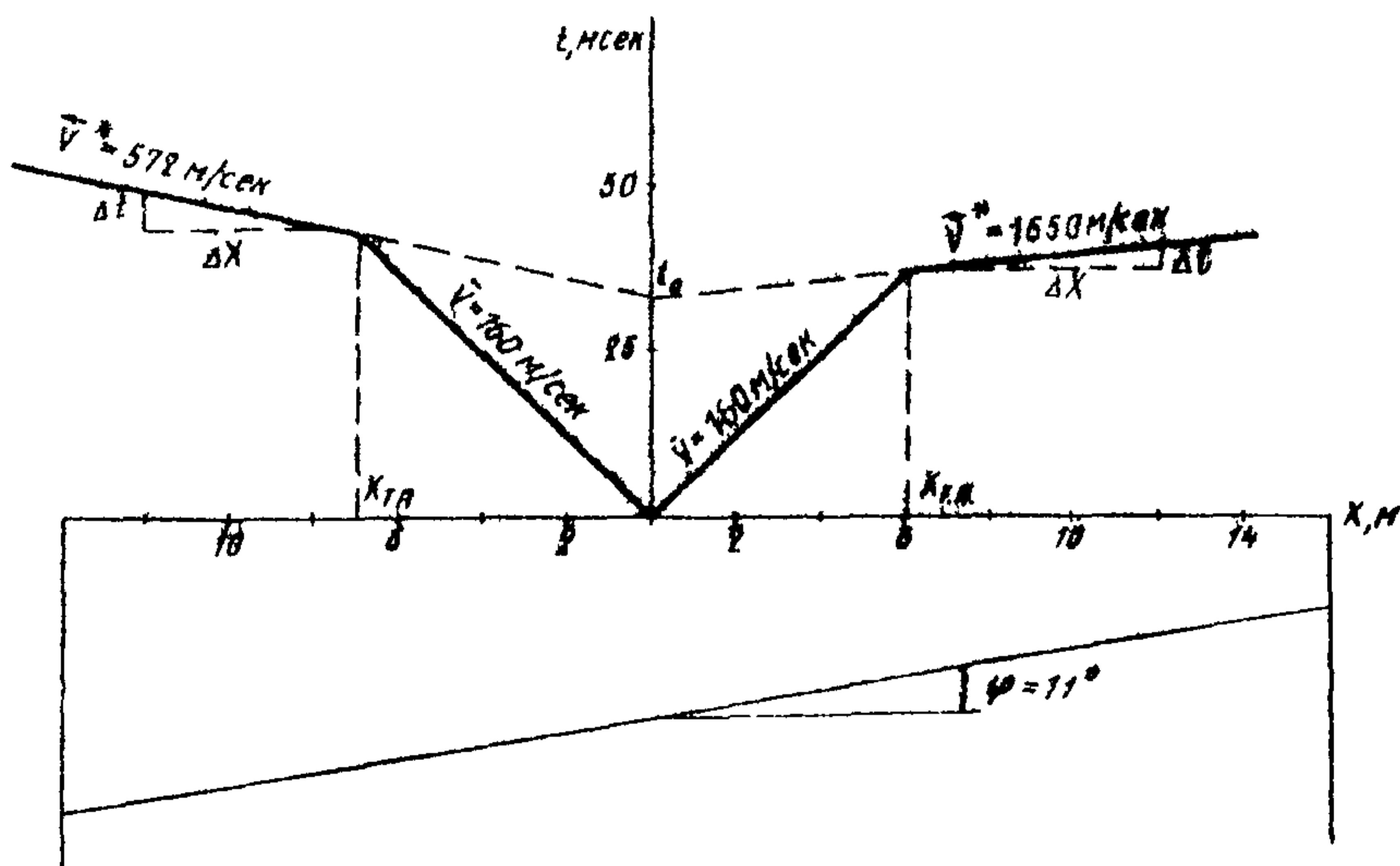


Рис. 14. Упрощенный аналитический способ определения скоростей и глубины залегания с центральным пунктом возбуждения

$$V = \frac{x_{T,0}}{t_{T,0}} = 160 \text{ м/сек}; \quad V' = \frac{\Delta x}{\Delta t} = 1650 \text{ м/сек};$$

$$\bar{V}' = \frac{\Delta x}{\Delta t} = 572 \text{ м/сек};$$

$$\varphi = \frac{1}{2} (\arcsin \bar{V}' - \arcsin \bar{V}) = \frac{1}{2} (\arcsin \frac{160}{572} - \arcsin \frac{160}{1650}) = 11^\circ;$$

$$i = \frac{1}{2} (\arcsin \bar{V}' + \arcsin \bar{V}) = 21^\circ 40'.$$

3. Интерпретация годографов рефрагированных волн

В случае градиентной среды (нарастание скоростей упругих волн по глубине валежи или частичное нарастание в первом слое) получают комбинированные, или криволинейные, годографы.

На годографах рефрагированных волн можно определять скоростное строение валежи и t_{Dy} по схеме, показанной на рис. 15.

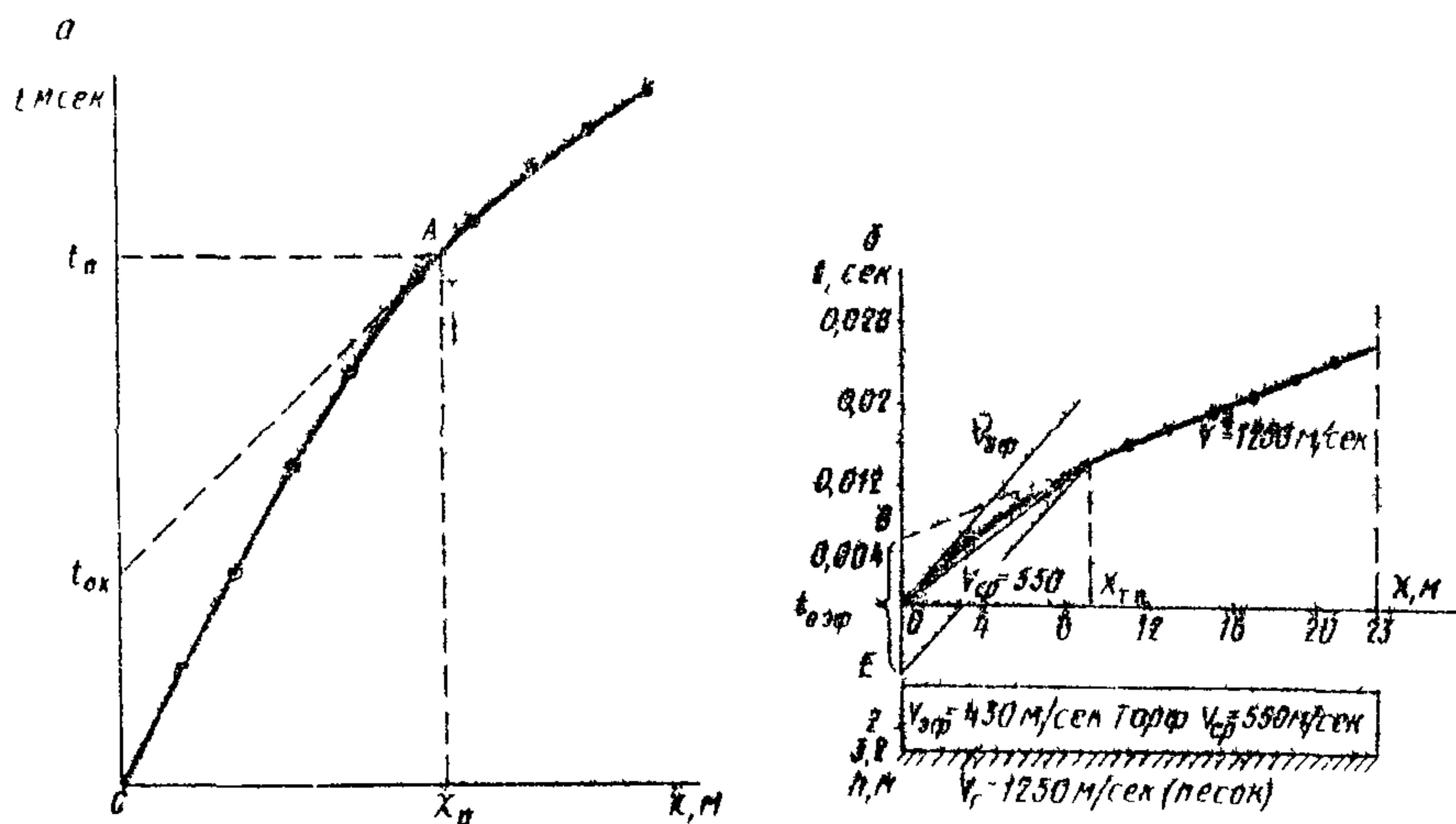


Рис. 15. Способы обработки криволинейных (а) и комбинированных (б) годографов

Глубину определяют по формулам /5,6/:

$$h = K(\bar{V}_n) \cdot t_0 = \frac{\bar{V}_n \cdot t_{01}}{2 \cos i}, \quad i = \arcsin \frac{\bar{V}_n}{V^*}; \quad K = \frac{1}{2} \cos i.$$

Вдоль

$$\bar{V}_n = \frac{1}{2} \left(\frac{x_a}{t_a} + \sqrt{V^* \cdot \frac{x_a}{t_a}} \right),$$

где x_a и t_a — координаты точки на гидографе рефрагированной волны; \bar{V}_n и V^* — пластовая и кажущаяся скорости.

За величину V^* принимают значение кажущейся скорости в точке наблюдения (в точке x_a), за величину t_{01} — значение времени, отсекаемое на оси t касательной к криволинейному гидографу в данной точке (см. рис. I5a). Для сильноградиентной среды более точные результаты дает формула Н.И.Павленковой и Т.В.Смелянокой:

$$\bar{V}_n = \frac{2x_a/t_a + \sqrt{t_{01}/t_a \cdot V^*}}{3},$$

Может быть использован также способ, основанный на аппроксимации криволинейного гидографа отрезками прямых линий /15,16/. Гидограф разбивают на ряд участков. По заданным координатам x_n , t_n вычисляют пластовую скорость

$$V_n = \frac{x_n - x_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

и значения t_{0n} , отсекаемые продолжением соответствующих линейных отрезков на оси времен:

$$t_{0n} = t_n - \frac{x_{n-1}}{V_n}.$$

По значениям V_1 , V_2 и t_{01} находят мощность первого слоя:

$$h_1 = \frac{V_1 \cdot t_{01}}{2 \sqrt{1 - (V_1/V_2)^2}},$$

Мощность последующих слоев находят из выражения

$$h_{n-1} = \frac{t_{n-1} \cdot V_{n-1}}{2 \sqrt{1 - (V_{n-1}/V_n)^2}},$$

где

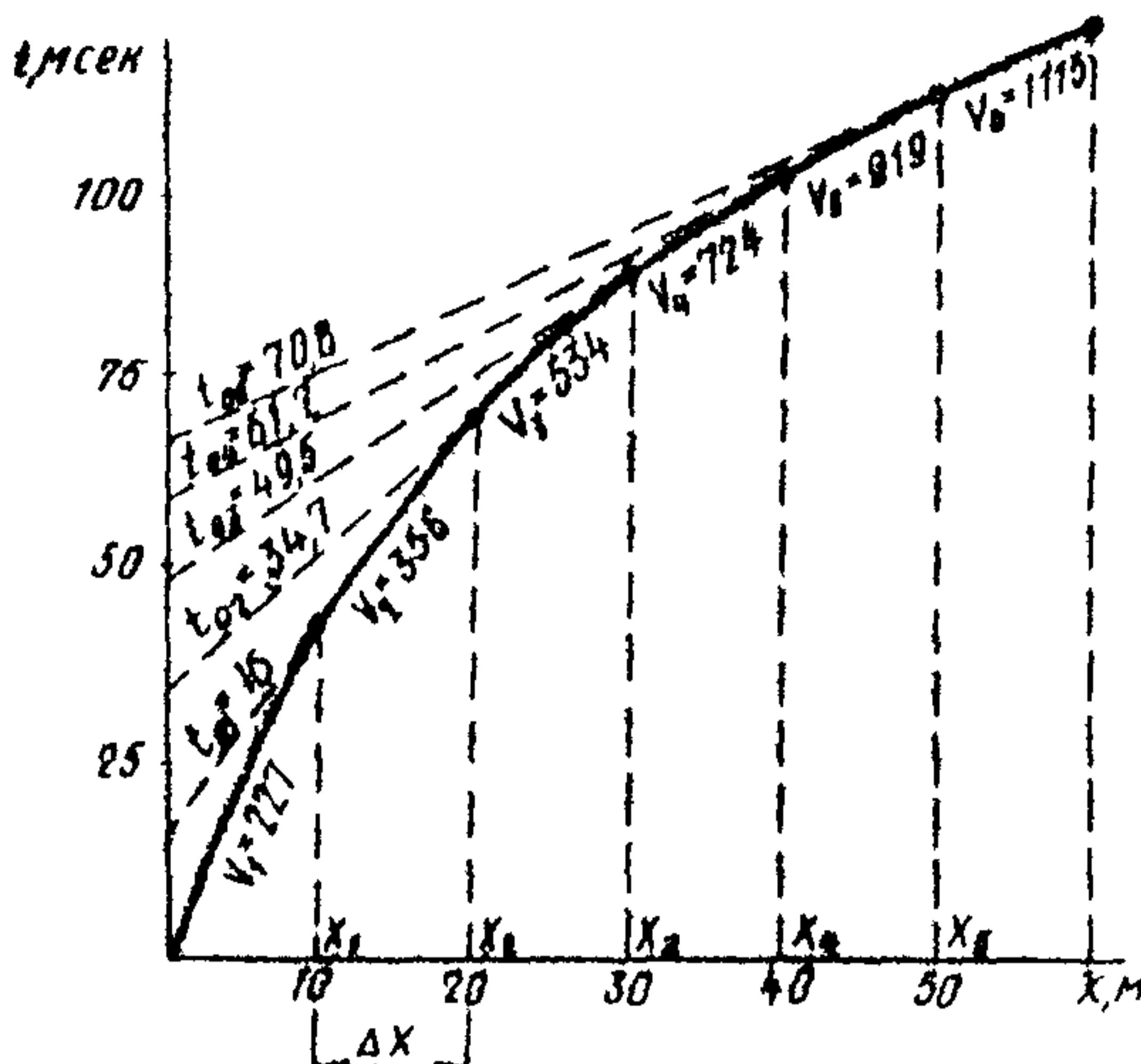
$$t_{n-1} = t_{0n} - \sum_{k=1}^{n-2} \tau_{kn} = t_{01} - \sum_{i=1}^{n-2} \frac{2h_i}{V_i} \cdot \sqrt{1 - (V_i/V_n)^2}.$$

Пример расчета по этому способу показан на рис. I6. Расстояние ΔX между выбранными точками следует выбирать из условия

$$\Delta X \leq 2x \cdot \sqrt{\frac{V^* \cdot \Delta t}{V^* \cdot t - x}},$$

где Δt — среднеквадратическая ошибка измерения времени ($\Delta t = 0,001\text{--}0,003$ сек);

V^* — кажущаяся скорость по гидографу в точке X .



1	2	3	4	5	6
$V_1 = 227$	$V_2 = 356$	$V_3 = 534$	$V_4 = 724$	$V_5 = 919$	$V_6 = 1115$
$t_{01} = 10$	$t_{02} = 14,7$	$t_{03} = 19,5$	$t_{04} = 24,2$	$t_{05} = 28,8$	
$\tau_1 = 2,4$	$\tau_{12} = -18$	$\tau_{14} = -19,9$	$\tau_{15} = -20,3$	$\tau_{16} = -20,5$	
		$\tau_2 = 15,7$	$\tau_{24} = 17,8$	$\tau_{25} = -19,1$	$\tau_{26} = -19,6$
		$\tau_3 = 3,7$	$\tau_4 = 11,0$	$\tau_{35} = -14,2$	$\tau_{36} = -15,3$
			$\tau_4 = 4,8$	$\tau_5 = 7,7$	$\tau_{45} = 9,5$
				$\tau_4 = 4,8$	$\tau_5 = 6,0$
					$\tau_6 = 5,0$

$$V_1 = \frac{x_1}{t_1} = \frac{10}{0,0441} = 227 \text{ м/сек}; \quad V_2 = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{20 - 10}{0,0722 - 0,0441} = 356 \text{ м/сек};$$

$$t_{01} = t_1 - \frac{x_1}{V_1} = 0,0441 - \frac{10}{356} = 0,016 \text{ сек}; \quad h_1 = \frac{V_1 \cdot t_{01}}{2\sqrt{1 - (\frac{V_1}{V_2})^2}} = \frac{227 \cdot 0,016}{2\sqrt{1 - (\frac{227}{356})^2}} = 2,4 \text{ м};$$

$$V_3 = \frac{x_3 - x_2}{t_3 - t_2} = \frac{30 - 20}{0,0909 - 0,0722} = 534 \text{ м/сек};$$

$$t_{02} = t_2 - \frac{x_2}{V_2} = 0,0722 - \frac{20}{356} = 0,0347 \text{ сек};$$

$$\tau_{12} = \frac{2h_1}{V_1} \sqrt{1 - (\frac{V_1}{V_2})^2} = \frac{2 \cdot 2,4}{227} \sqrt{1 - (\frac{227}{356})^2} = 0,019 \text{ сек};$$

$$\epsilon_2 = t_{02} - \tau_{12} = 0,0347 - 0,019 = 0,0157 \text{ сек};$$

$$h_2 = \frac{\epsilon_2 \cdot V_2}{2\sqrt{1 - (\frac{V_1}{V_2})^2}} = \frac{0,0157 \cdot 356}{2\sqrt{1 - (\frac{227}{356})^2}} = 3,7 \text{ м} \text{ и т.д. Результаты см. в таблице.}$$

Рис. I.6. Пример расчета определения скоростей, t_{0i} и глубины залежи по криволинейному годографу (по В.Н.Бондареву)

Удовлетворительные результаты также дают формулы с использованием средних скоростей.

В случае комбинированного годографа рекомендуется положение минерального дна ("однородный" слой) определять методом $t_{0\text{эф}} / ? /$.

Для этого через точку X_{pp} (начало прямолинейного участка) проводят прямую под наклоном $\sqrt{V_{\phi}}$ до пересечения с осью ординат в точке В. V_{ϕ} равна наклону начальной части гидографа рефрактированной волны (см. рис. 15б). Величина ВЕ в масштабе оси времени является эффективной величиной $t_{\text{действ}}$. Далее определяют мощность слоя по формуле

$$h = \frac{V_{\phi} \cdot t_{\text{действ}}}{2\sqrt{1 - (V_{\phi}/V_r)^2}}.$$

4. Интерпретация поверхностных волн

Применяется как вспомогательный метод для уточнения границы минерального дна или толщины насыпи.

При интерпретации поверхностных поперечных волн для определения толщины слоя болотной насыпи или толщины всплывшего полотна на болоте обычно имеем два случая: а) поверхностный слой расположен на слое с большей скоростью распространения поперечных волн $\mathcal{S}H$; б) поверхностный слой расположен на слое с меньшей скоростью распространения $\mathcal{S}H$.

В первом случае используют формулу /8/

$$t_g \left[\frac{2\pi}{T \cdot V_{\phi}} \cdot h \sqrt{\left(\frac{V_{\phi}}{V_1}\right)^2 - 1} \right] = \frac{\sqrt{1 - (\frac{V_{\phi}}{V_2})^2}}{\left(\frac{V_{\phi}}{V_2}\right)^2 \frac{P_1}{P_2} \sqrt{\left(\frac{V_{\phi}}{V_1}\right)^2 - 1}},$$

где T — квазипериод;

V_{ϕ} — фазовая скорость;

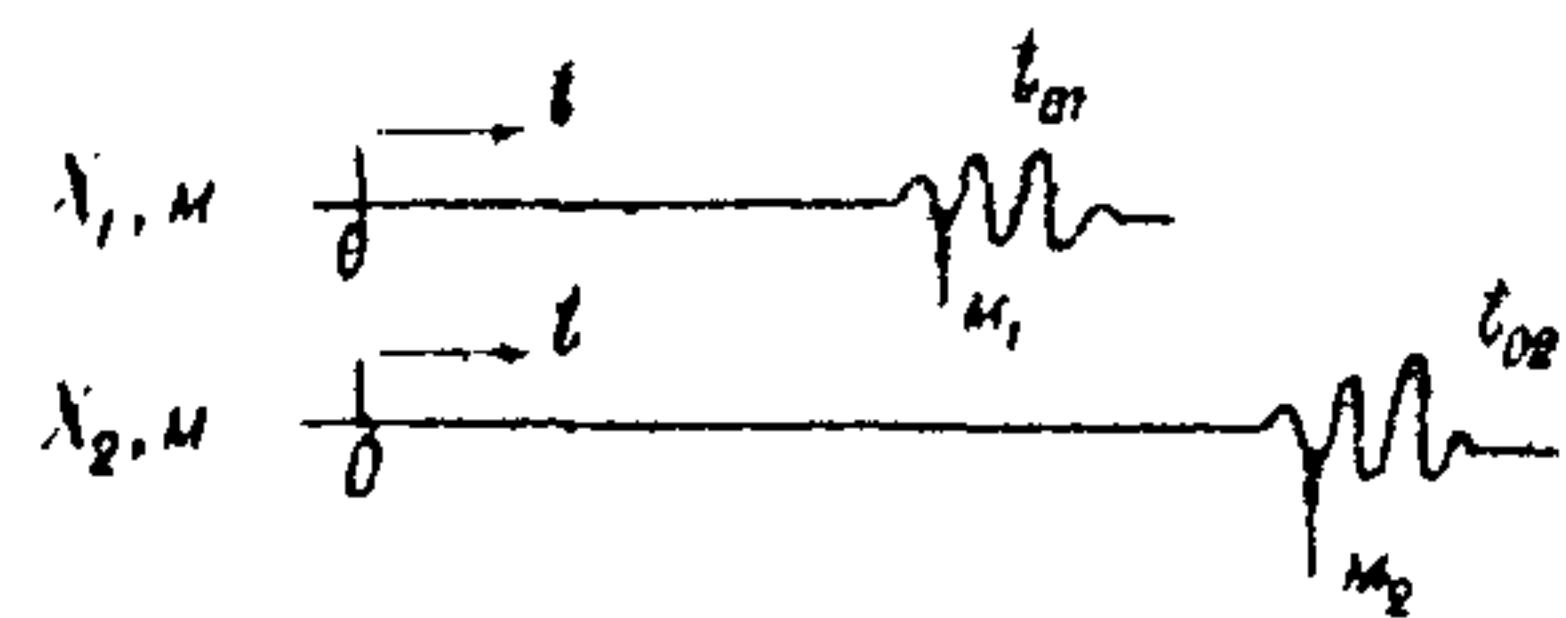
V_2 — скорость во втором слое.

Во втором случае для определения толщины насыпи (поверхностный слой) на болоте используют формулы /8, 17/, справедливые в том случае, когда подстилающий слой по своим свойствам близок к жидкости:

$$h = \frac{T \cdot V_1}{4\sqrt{1 - V_{\phi}^2/V_1^2}}; \quad V = \sqrt{V_{\phi} \cdot V_1},$$

где V_{ϕ} — групповая скорость.

Простейший способ определения фазовой скорости состоит в том, что определяют разность времен ($t_{02} - t_{01}$) появления одной и той же фазы, M_1 и M_2 на сейсмограмме. На эту разность делят разность расстояний ($X_2 - X_1$) между сейсмоприемниками (рис. 17).



$$v_\phi = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{t_{02} - t_{01}}.$$

Рис.17. Схема определения фазовой скорости

Групповая скорость — скорость движения всей группы волн (волнового пакета, цуга), определяемая по движению середины всей группы волн.

Точность определения глубины и толщины насыпи поверхностью волнами ниже, чем преломленными. Погрешность этого метода составляет 10–20% по сравнению с бурением.

5. Отраженные волны

Часто на сейсмограммах, полученных на болотах I типа (осушенных и неосушенных), в последующих всплесках хорошо выделяются отраженные волны (рис.18).

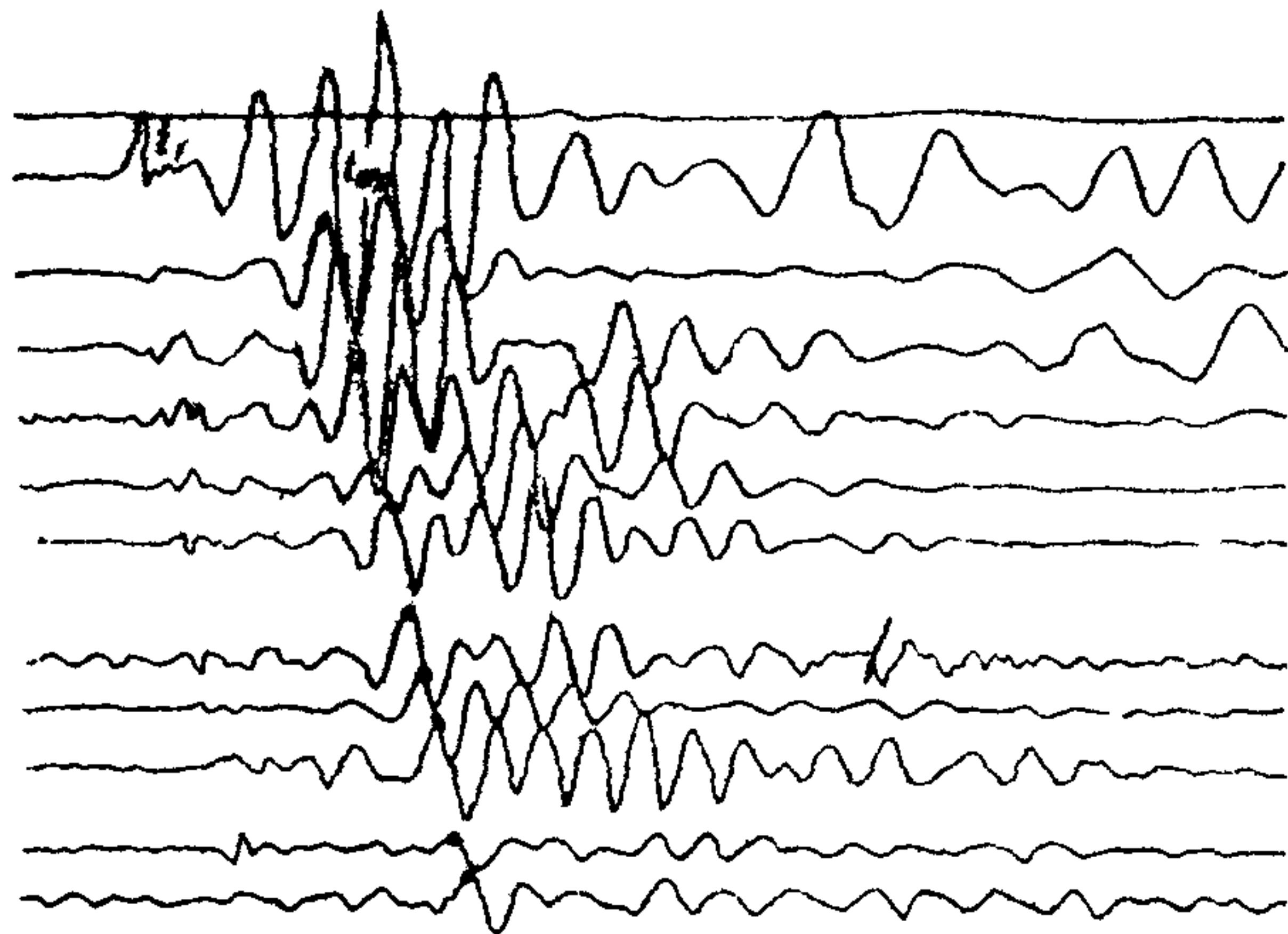


Рис.18. Характерная сейсмограмма на осушенному болоте (уровень грунтовых вод ниже границы "минеральное дно")

При определении мощности торфа метод отраженных волн является вспомогательным — применяя его совместно с методом преломленных волн, получают наиболее точные данные.

Годографы отраженных волн в основном имеют прямолинейный вид:

$$t_x^2 = t_0^2 - \frac{x^2}{V^2}$$

с углом наклона

$$\varphi = \arctg \frac{1}{V},$$

где t_x — время прихода волны, отраженной от контакта между слоями;

t_0 — время прихода отраженной волны в случае, когда сейсмоприводник разположен в непосредственной близости от точки удара ($X=0$);

V — скорость упругой волны (P) в торфе.

Определение t_0 производится обычно по величине отрезка, отсекаемого продолжением годографа на оси t в точке $\lambda=0$, а V по $\varphi = \arctg \cdot \frac{1}{V}^2$.

Глубину залежи находят по формуле

$$h = 0,5 \cdot t_{xy} \cdot V.$$

В случае, когда скорость упругих волн в верхнем слое (торф) изменяется с глубиной, годограф отраженной волны имеет некоторую кривизну. Для определения средней скорости волны в данном случае необходимо построить касательную к кривой годографа в средней точке криволинейного отрезка и определить скорость этой касательной по формуле $V = \frac{4x}{3t}$.

Приложение 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ ПО СКОРОСТИ И ЗАТУХАНИЮ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН

В результате статистической обработки экспериментальных материалов получены зависимости сейсмоакустических характеристик от показателей состава и состояния торфяного грунта (рис. 19-23, табл. I, 2).

Для удобства определения ряда физических характеристик и сжимаемости торфа по скорости V_s составлена номограмма (рис. 23).

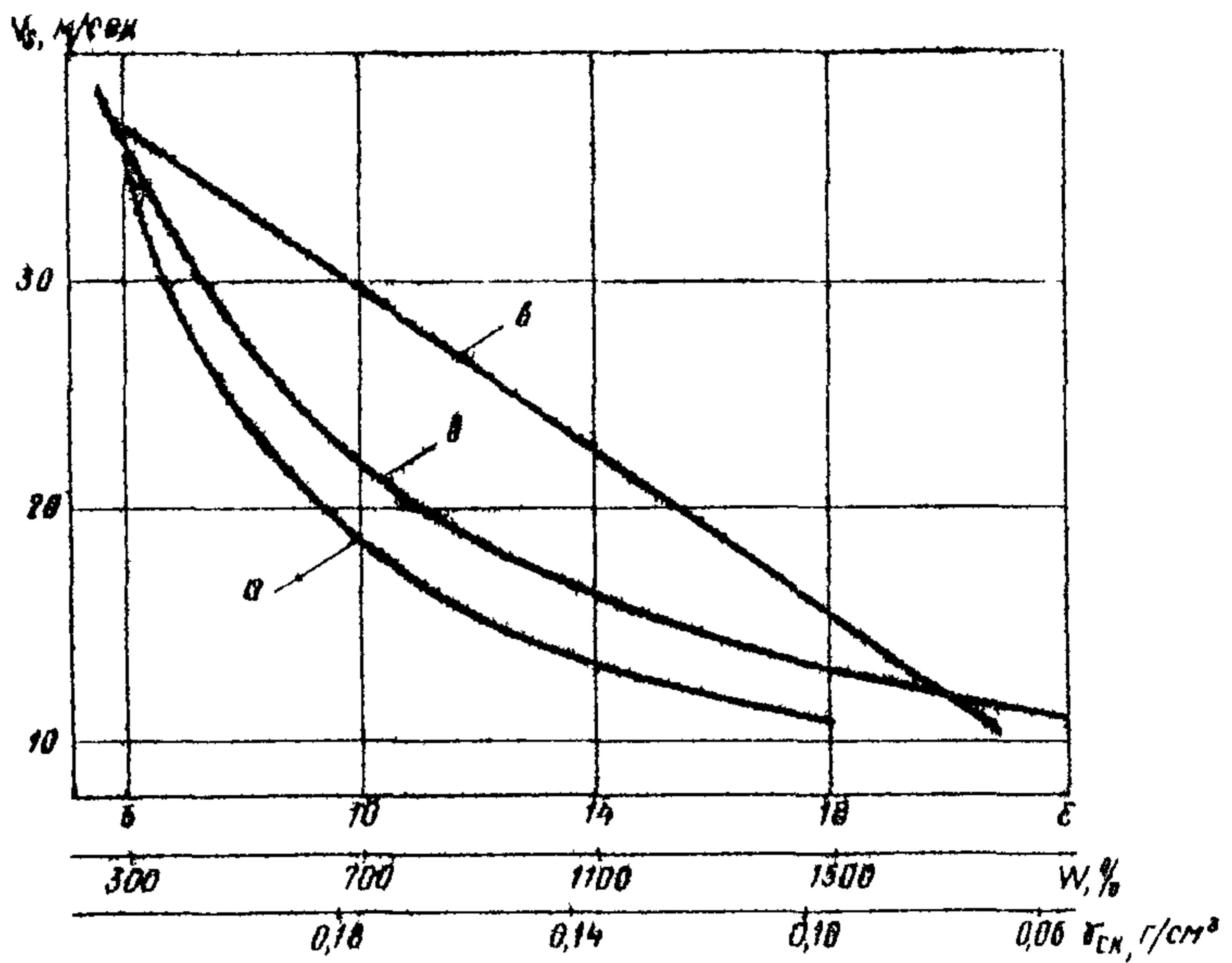


Рис. 19. Зависимости скорости поперечной волны V_s от влажности W , коэффициента пористости ϕ и объемной массы скелета торфа ρ_{sk}
 а - W , б - ϕ , в - V_s

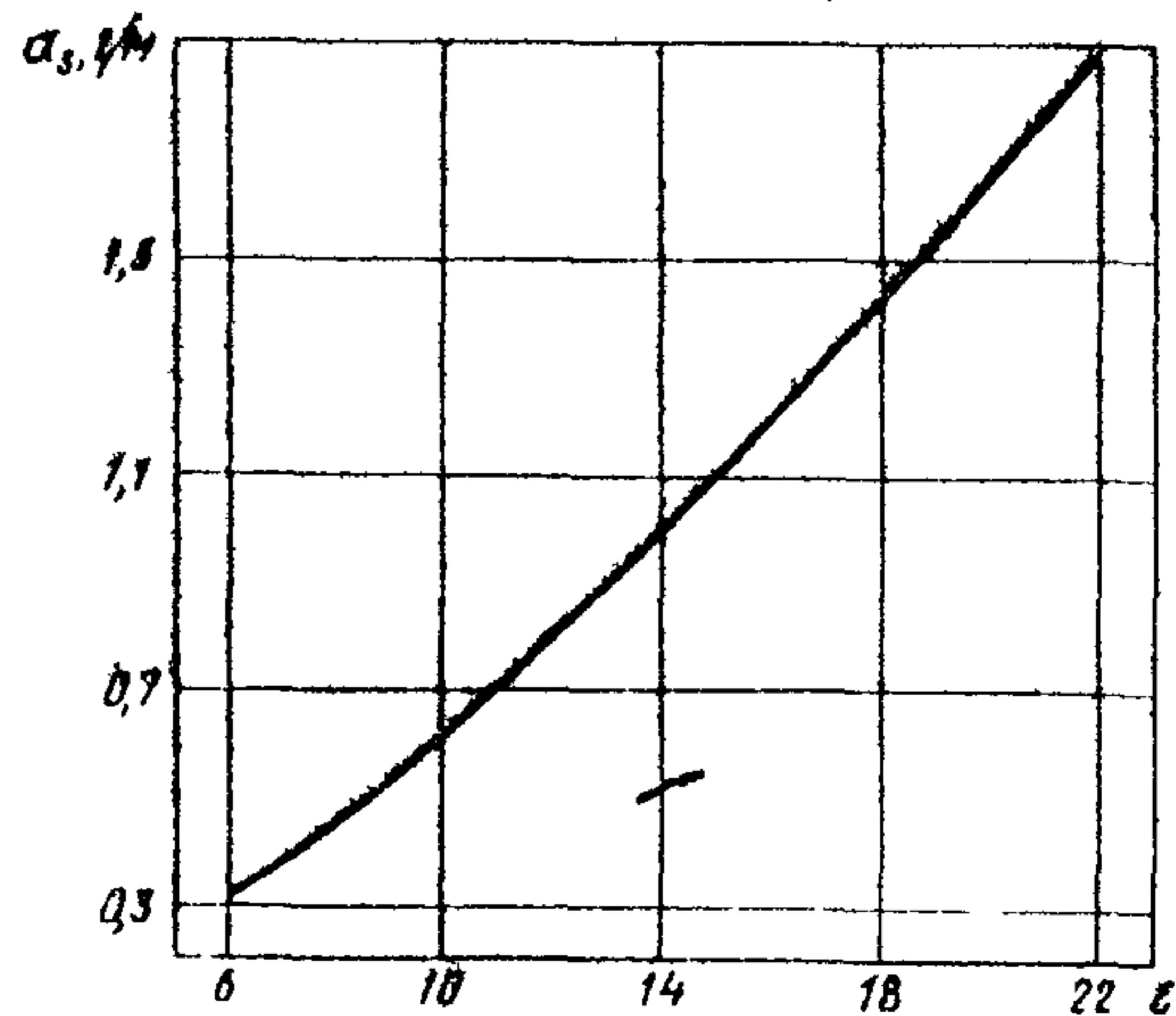


Рис. 20. Зависимость коэффициента затухания поперечной волны α_s от коэффициента пористости торфа $\alpha_s = f(\epsilon)$

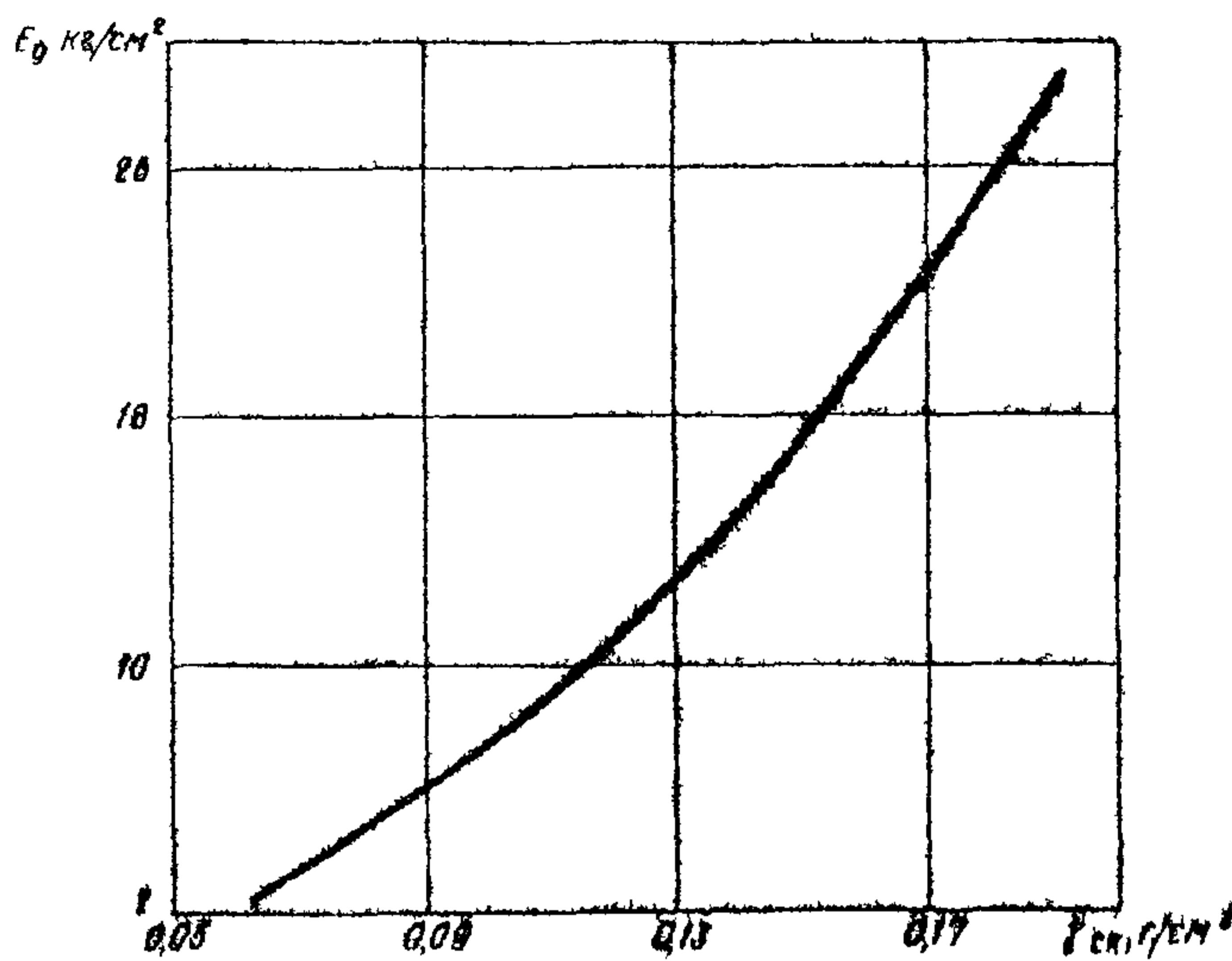


Рис. 21. Зависимость динамического модуля упругости E_d от объемной массы сухолиста торфа $E_d = f(\rho_{dry})$

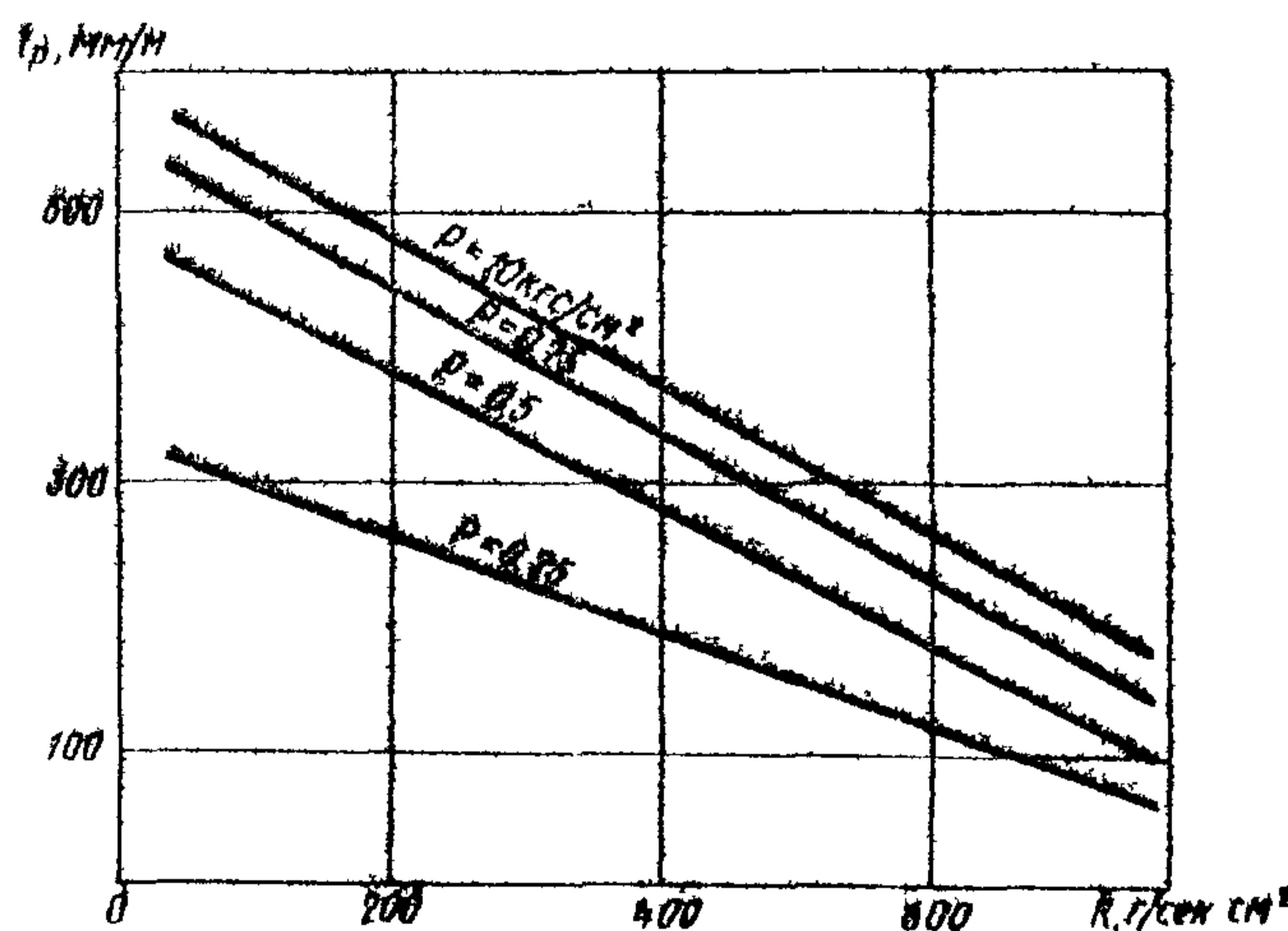


Рис. 22. Зависимости модуля сжатия l_p от акустической жесткости K_d торфа при нагрузках $P=0,25; 0,5;$
 $0,75; 1,0 \text{ kг/см}^2$

Таблица I

Физико-механические показатели торфа	Число измерений	Пределы измерений	Корреляционные уравнения	Среднеквадратичное отклонение функции	Корреляционный коэффициент корреляции
W , % влажность	647	300-1500	$V_s = 5,2 + \frac{9000}{W}$	$0,06 \cdot V_s$	0,88
ϵ , коэффициент пористости	366	6-22	$V_s = 1,8 + \frac{204}{\epsilon}$	$0,058 \cdot V_s$	0,95
		121	$\alpha_s = 0,025 \cdot \epsilon^{1,4}$	0,06	0,89
γ_{OK} , г/см ³ -объемная масса скелета	494	0,06-0,21	$V_s = 178 \cdot \gamma_{OK} - 1,5$	1,34	0,97
	110	0,06-0,20	$E_d = 1000 \cdot \gamma_{OK}^{2,14}$	0,95	0,91
Модуль осадки l_p , мм/м					
l при $P=0,25 \text{ кгс}/\text{см}^2$	55	-	$l_p = 330 - 0,35 \cdot R_a$	12	0,98
$P=0,5$	135	-	$l_p = 482 - 0,50 \cdot R_a$	20	0,95
$P=0,75$	53	-	$l_p = 547 - 0,53 \cdot R_a$	15	0,986
$P=1,0$	68	-	$l_p = 590 - 0,55 \cdot R_a$	25	0,97

Примечание. V_s — скорость поперечной волны; R_a — акустическая жесткость ($R_a = \gamma_{OK} \cdot V_s^2$); α_s — коэффициент затухания поперечной волны.

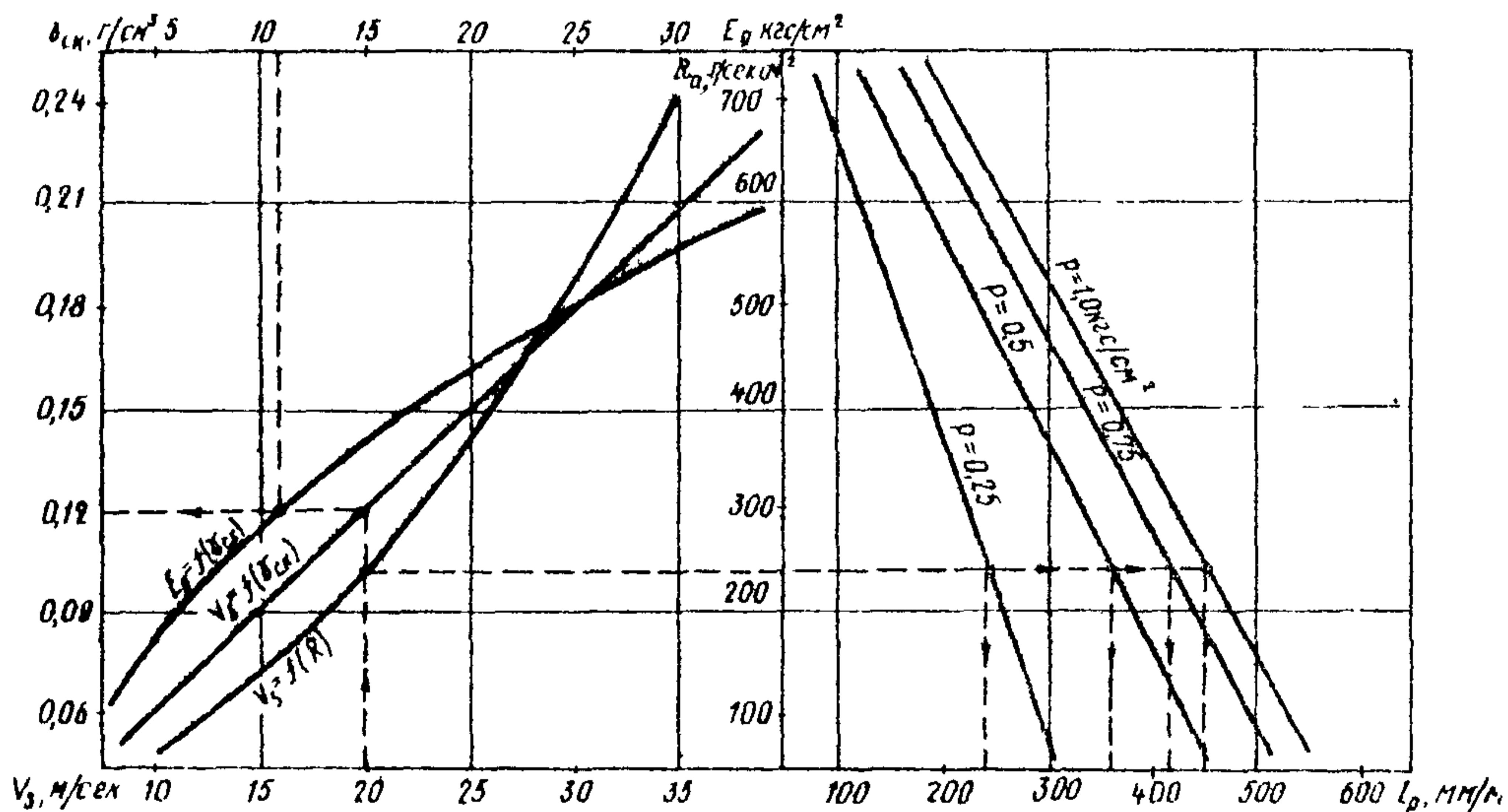


Рис. 23. Номограмма для определения по скорости поперечной волны E_d , γ_{OK} , R_a и l_p

Исследования скоростей V_s в органо-минеральных болотных отложениях (сапропелях и болотных илах) позволили получить эмпирические зависимости (см. рис. 24 и табл. 2).

Полученные зависимости выведены в основном по результатам исследований на низинных, верховых и переходных болотах (для верховых торфов при определении V и S по приведенным зависимостям вводится коэффициент 1,2). Они получены по результатам исследований болотных массивов на территории Белоруссии и Прибалтики. Проведенный анализ болотных отложений других районов СССР (Европейская часть РСФСР, Урал, Сибирь) позволяет предположить, что полученные зависимости пригодны и для этих районов.

При вероятностно-статистическом анализе взаимосвязи между сейсмическими и физико-механическими свойствами за основу брали поперечные волны SV и их затухание, регистрируемые сейсмоприемником по линии V . Погрешность измерений (ϵ , W , J_{sk}) методами сейсмопросвещивания не превышает 10% по сравнению со стандартными методами (рис. 25).

Анализ табл. 1 и 2 показывает, что значения скоростей V_s зависят от физических характеристик болотных грунтов. Корреляционные уравнения между V_s и J_{sk} болотных грунтов показывают, что

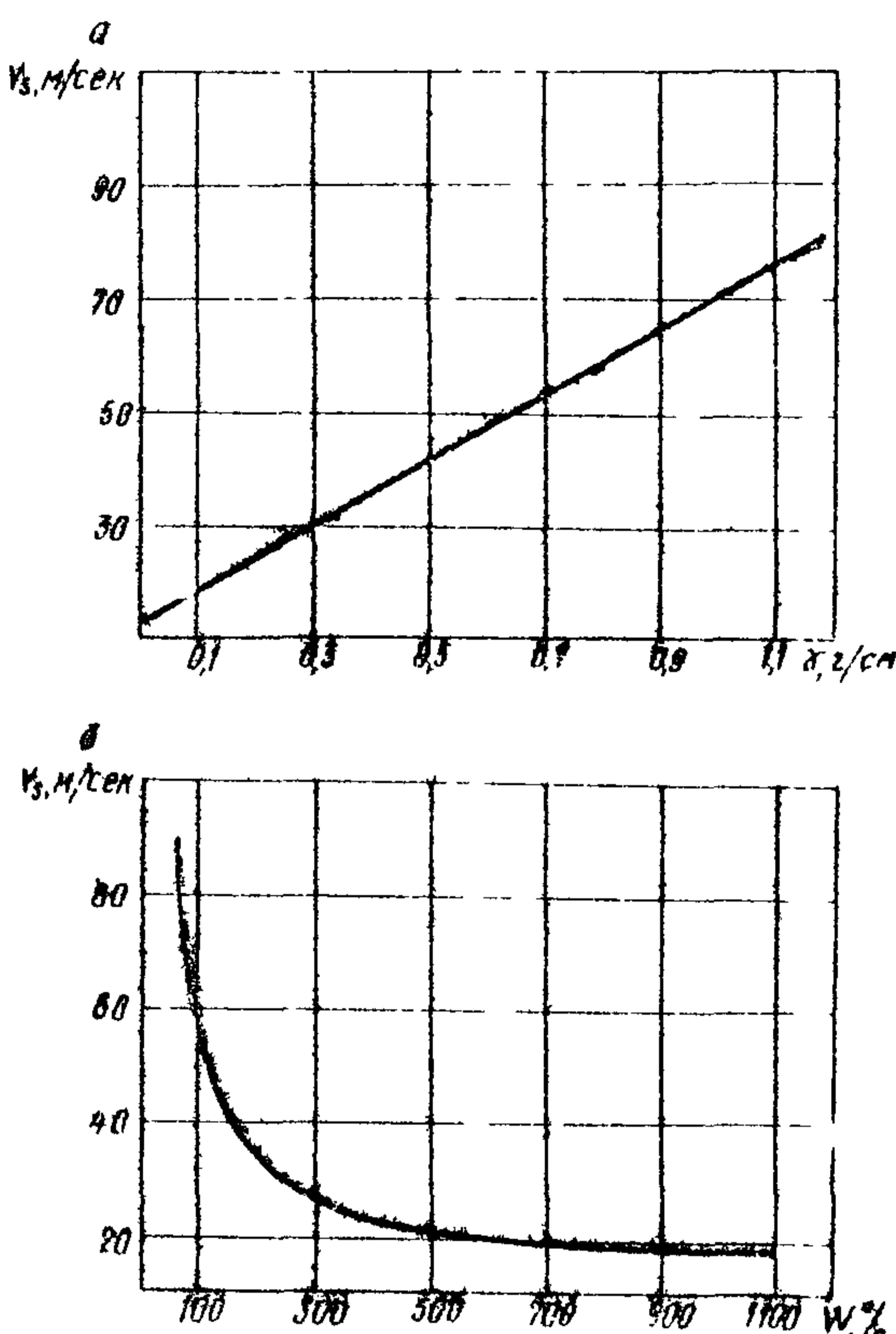


Рис. 24. Зависимость скорости поперечной волны от объемной массы скелета (а) и влажности (б) органо-минеральных болотных грунтов

Таблица 2

Физические параметры органо-минеральных отложений	Число измерений	Пределы измерений	Корреляционные уравнения	Среднеквадратичное отклонение функции	Корреляционное отношение и коэффициент корреляции
W , %, влажность	256	50-1100	$V_s = 15,1 + \frac{1700}{W}$	0,07 $\cdot V_s$	0,86
γ_{CK} , г/см ³ , объемная масса скелета	148	0,08-1,2	$V_s = 60 \cdot \gamma_{CK} + 12$	1,40	0,89
ε , коэффициент пористости	256	1,5-20	$V_s = 12,66 + \frac{103}{\varepsilon}$	0,065 $\cdot V_s$	0,88

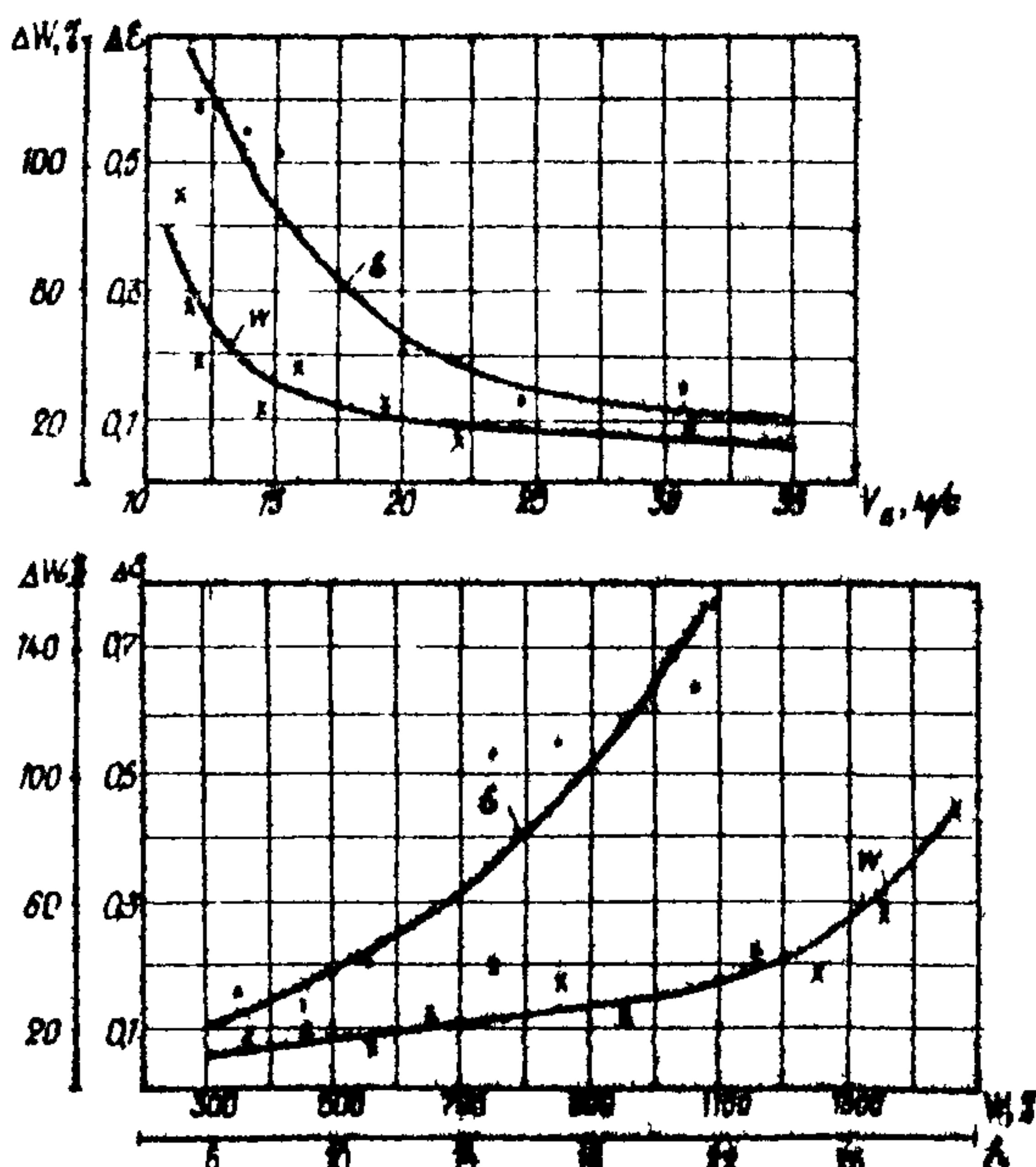


Рис.25. Погрешность измерений

дее прочной коагуляционной структуры (затвердение коллоидов) при этих влажностях, поэтому происходит упрочнение (уплотнение), что вызывает резкое увеличение скоростей V_s .

скорости V_s находятся в прямой зависимости от количества частиц в единице объема, т.е. о увеличении частиц в объеме (уменьшается W) увеличивается количество контактов между упругими пленками воды, окружающими частицы, плотность упаковки, а следовательно, увеличивается и скорость V_s .

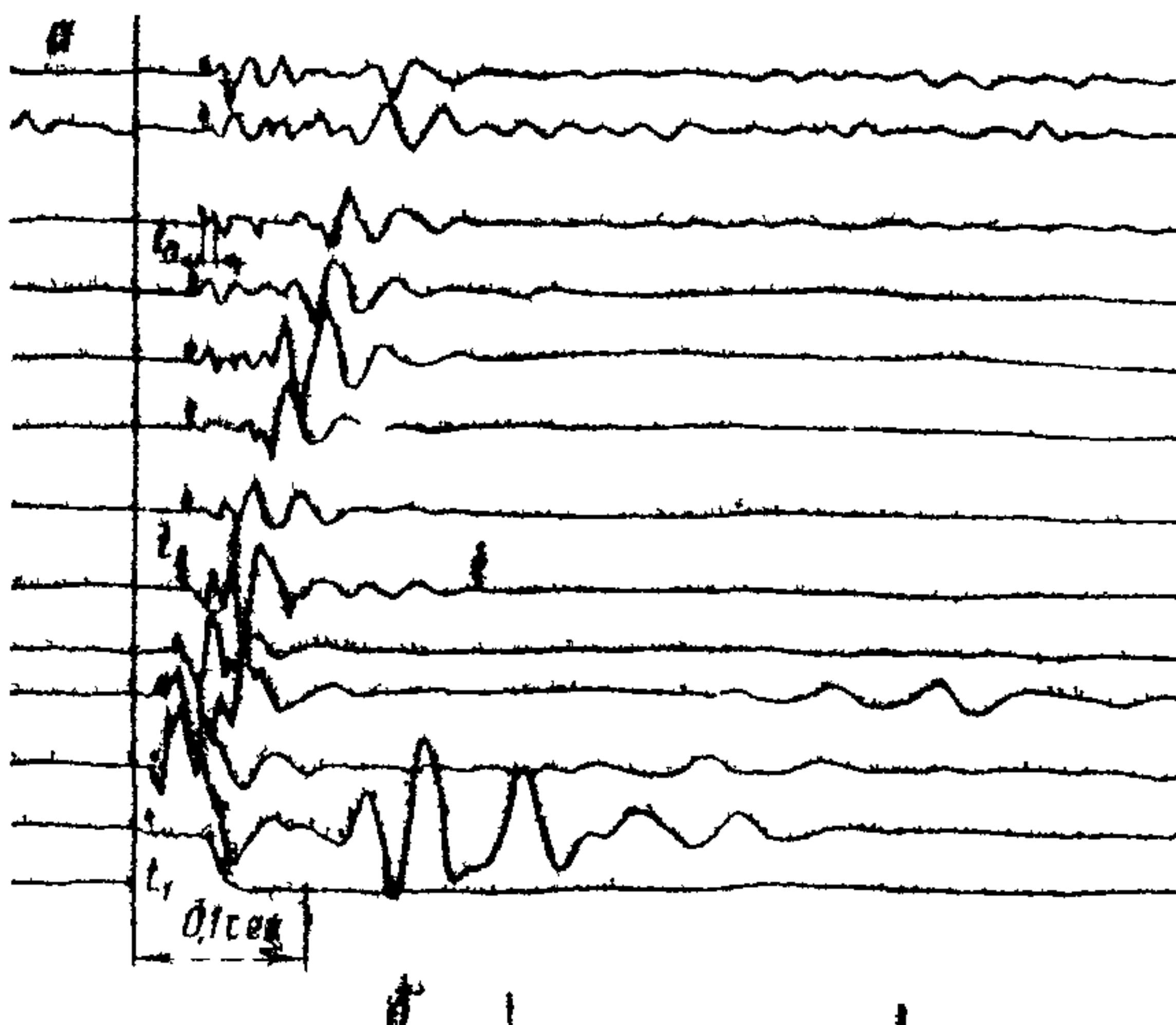
Для органо-минеральных грунтов наблюдается резкое увеличение скорости V_s в естественной влажности, начиная с $W=150-200\%$. По нашему мнению, это связано с образованием более прочной коагуляционной структуры (затвердение коллоидов) при этих влажностях, поэтому происходит упрочнение (уплотнение), что вызывает

Приложение 4. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОЛОТНЫХ ГРУНТОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

I. Исходные данные

По результатам рекогносцировочных изысканий на автодороге Минск-Гродно намечены расчетные поперечники. Глубина болота не превышает 4 м.

В результате измерений на расчетном поперечнике в полевых условиях получены сейсмограммы: по результатам сейсмовондирования (фильтрация 25 — 100 Гц, длина профилля 24 м, сейсмоприемники расставлены через 2 м) (рис. 26а) и по результатам сейсмического просвечивания залежи при $X = 2,5$ и $3,5$ м (рис. 26б).



2. Построение геосейсмического профляя

На сейсмограмме замеряют времена первых вступлений волн (рис. 26а). Если вступления волн нечетки, замеры берут по фазам колебаний, произведя поправку на фазу по четкому вступлению на одной из трасс сейсмограммы ($t_m - t_g = t_h$) (рис. 27).

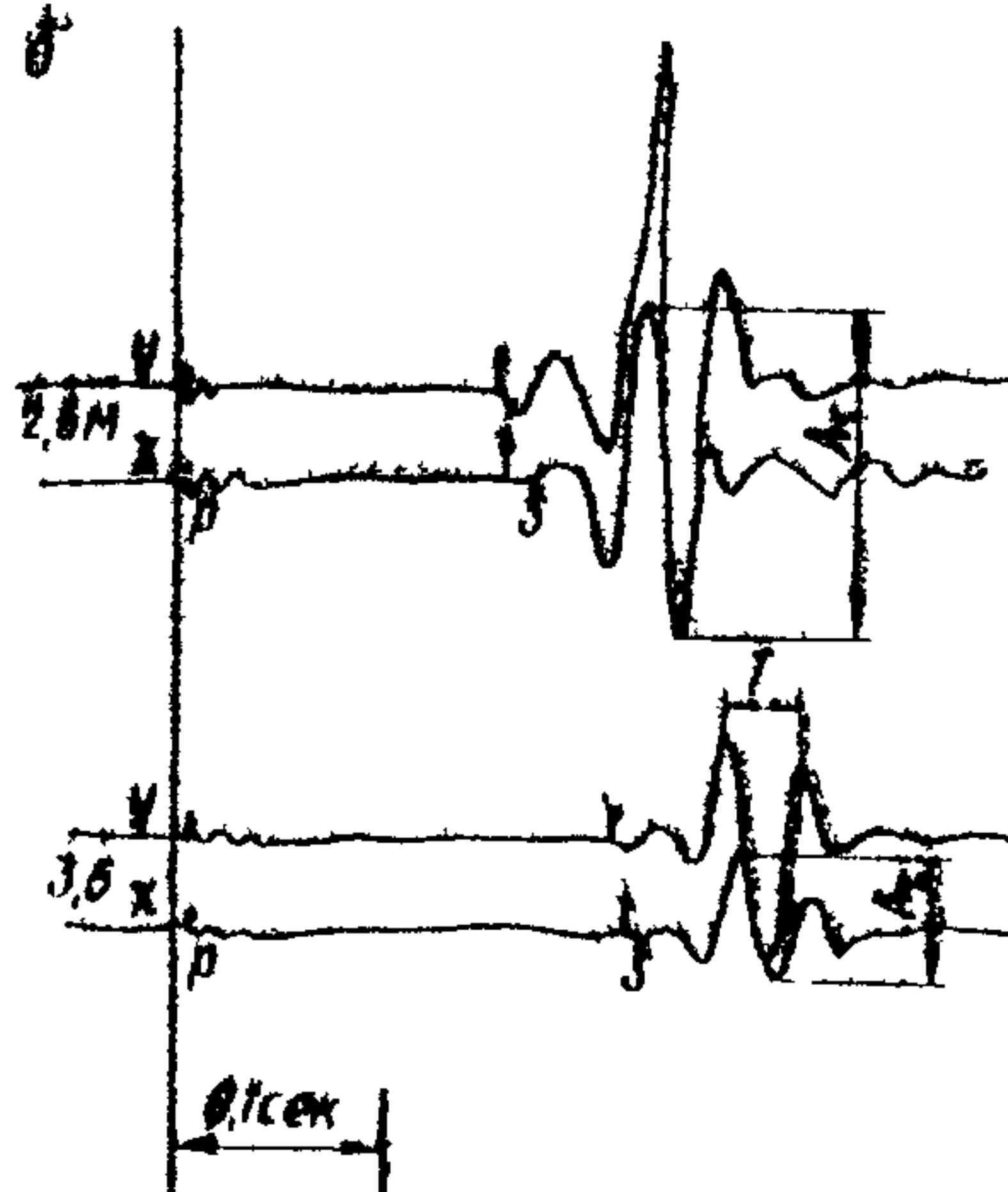


Рис. 26. Сейсмограммы, полученные по результатам измерений на расчетном поперечнике

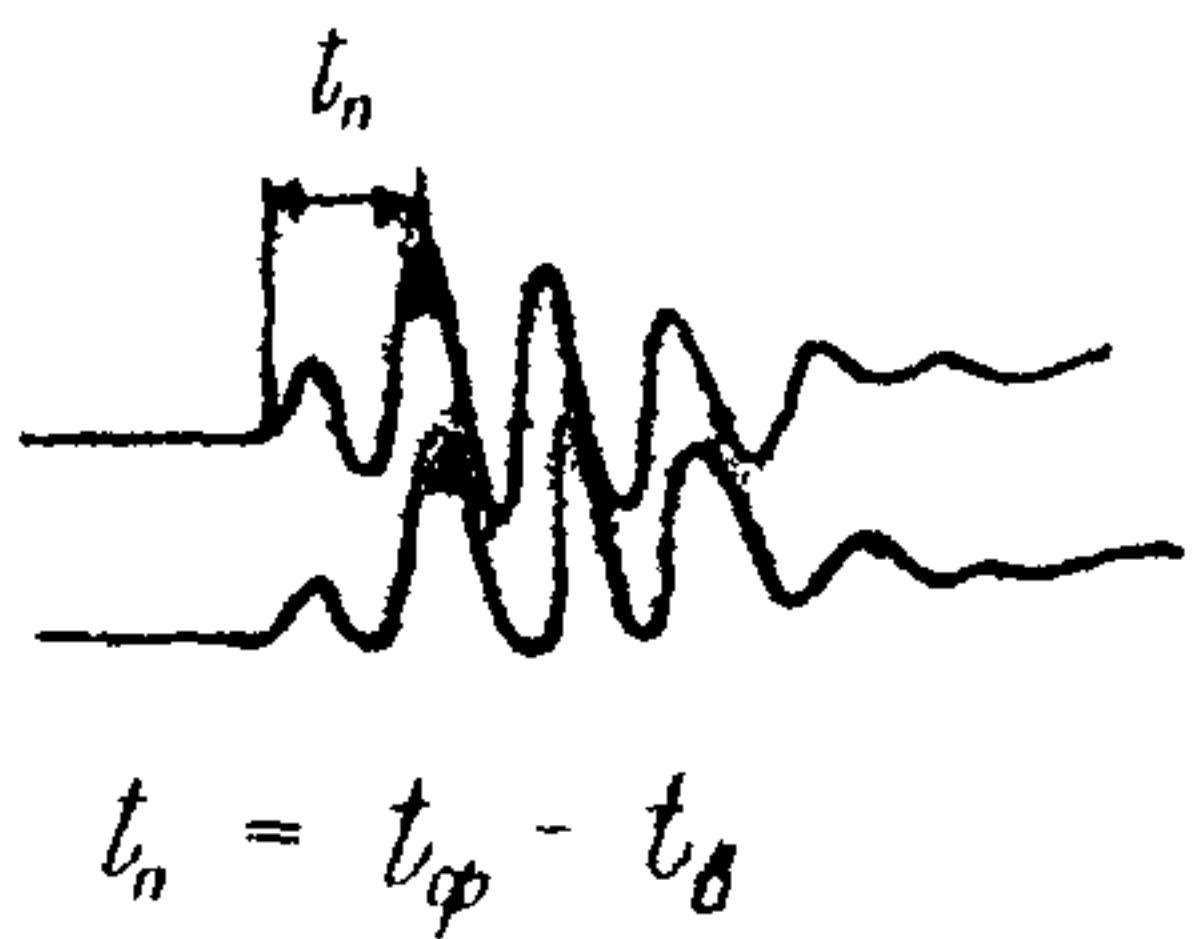


Рис.27. Введение поправки за фазу t_n

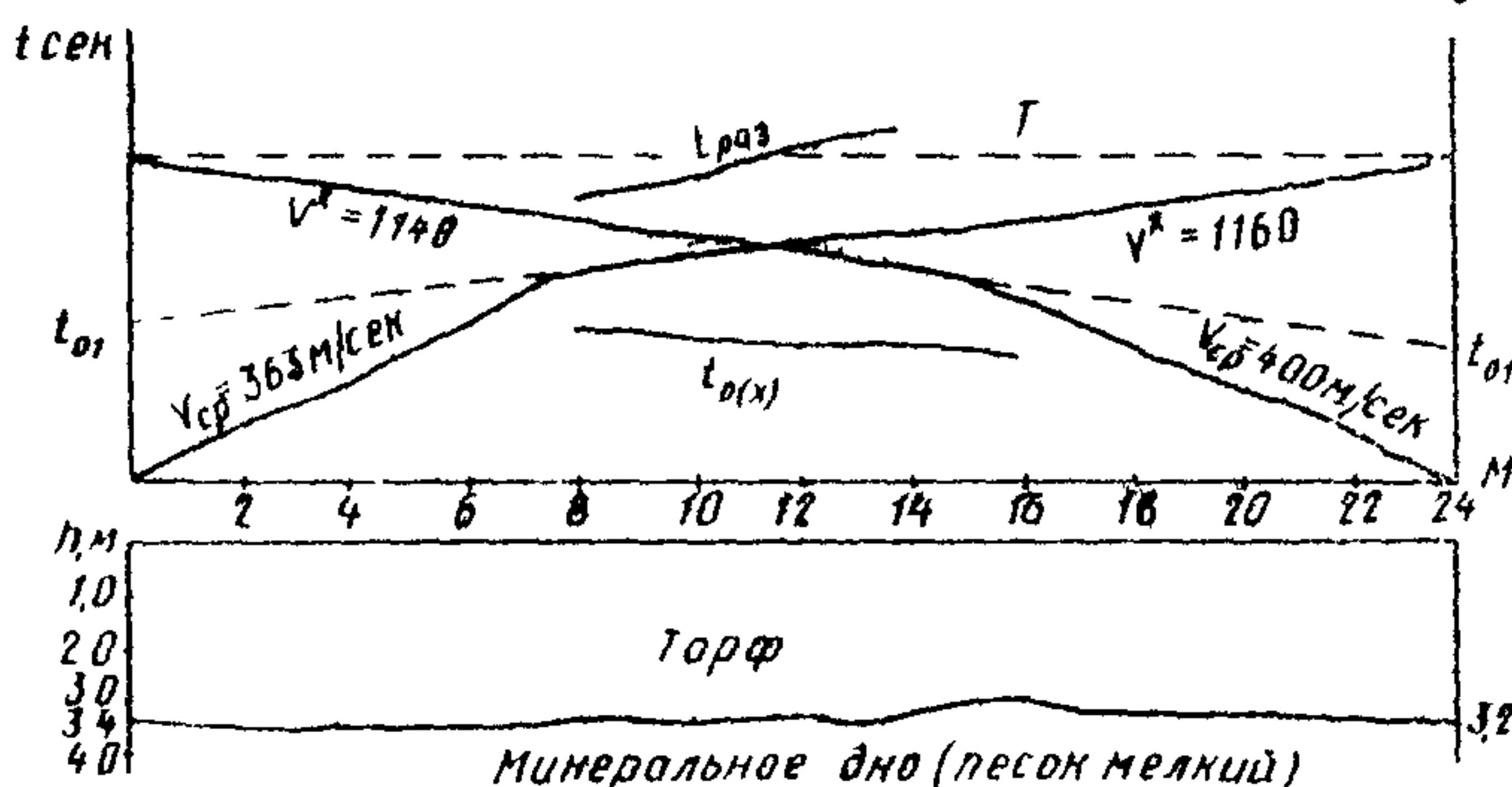


Рис.28. Годографы первых вступлений продольных волн и геосейсмический разрез

По результатам замеров строят годографы (рис.28). Для этого по оси ординат откладывают время вступления, а по оси абсцисс — расстояния. Таким же образом строится встречный годограф.

По построенным годографам (см. рис.28) определяют кажущуюся V^* , пластовую среднюю \bar{V}_p и граничную скорости методом равноотногого годографа. Глубину залежи определяют методом t_0 (см. приложение 2),

для чего используют отрезки времени, отсекаемые на оси ординат продолжением годографов (t_{01}), а также по кривой $t_{0(x)}$, построенной на перекрытых участках встречных годографов. По полученным результатам строят геосейсмический разрез и геологический профиль (см. рис.28).

3. Определение V_p и V_s по результатам сейсмического просвечивания

На осциллограмме колебаний (см. рис.26 б) отмечают моменты первых вступлений продольных и поперечных волн, а если первые вступления нечетки, то по фазам вступления колебаний, делая поправку на фазу. Далее, пользуясь отметками времени, определяют время прихода волн и по формуле $V = \frac{X}{t}$ скорости V_p и V_s (t — время пробега волной расстояния X от ПВ до сейсмопенетрометра). $V_p = 795$ м/сек, $V_s = 16,5$ м/сек.

4. Определение упругих характеристик

Для расчета упругих параметров используют следующие зависимости /1/:

$$E_A = C \cdot \frac{\rho}{\mu} \cdot (1 + \mu_A); \quad G_A = \rho \cdot V_g^2 = \frac{E_A}{2(1 + \mu_A)};$$

$$\mu_A = \frac{1}{2} - \frac{2V_g^2}{C \cdot \rho^2}; \quad V_g = \frac{V_p}{\rho},$$

где μ_A — динамический коэффициент Пуассона; G_A — динамический модульдвига; E_A — динамический модуль упругости; ρ — плотность (χ_v — объемная масса; V — ускорение силы тяжести).

Для расчета необходимо знать скорость V_p и V_g , а также объемную массу грунта или объемную массу скелета грунта. Если имеется величина объемной массы скелета χ_{sk} , то G_A определяют по корреляционной зависимости $G_A = 1000 \cdot \chi_{sk}^{2,14}$ или по $G_A = 1000 \cdot (\frac{V_g}{V_p})^{1,5} \cdot 1,14$. По данным примера $\rho_v = 0,95 \text{ г/см}^3$; $E_A = 7,83 \text{ кгс/см}^2$ по эмпирической формуле — $G_A = 7,95 \text{ кг/см}^2$; $\mu_A = 0,499$; $f = 0,02$; $G_g = 2,65 \text{ кг/см}^2$.

5. Определение диссипативных характеристик

На осциллограммах, полученных на одной фазе грунта, но на разных расстояниях (2,5 и 3,5 м от ПП, при одном и том же землемерном) замеряют максимальный размер амплитуды, и время периода колебаний (см. рис. 280), для чего выделяют участок в очертанной выпуклой и большим числом периодов колебаний.

Коэффициент затухания определяют по формуле

$$\alpha_g = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{A_x}{A_y} = 1,06 \text{ л/м},$$

где A_x — расстояние между точками наблюдения;

A_x и A_y — амплитуды в наблюдаемых точках.

Для определения ω_g необходимо выбрать фазу колебаний, наиболее избавленную ошибок. Если наблюдается диодерная показания, находят среднеарифметическую величину.

Частота колебаний

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega_g \pi}{g} = \frac{160}{5,3} \approx 30 \text{ Гц},$$

где T — период колебаний, сок;

ω_g — скорость движения бумаги в осциллографе, см/сек;

S — длина участка осциллограммы, поддерживаемого N периодов колебаний, м.

Логарифмический декремент Δ_s определяют из соотношения /19/

$$\Delta_s = \lambda_s \cdot \alpha_s \approx 0,58 ,$$

λ_s — длина волны, определяемая по формуле $\lambda_s = V_s \cdot T = \frac{V_s}{f} = 0,55\text{ м}$.

Коэффициент демпфирования находят по формуле

$$D = \frac{\Delta_s}{\sqrt{4\pi^2 + \lambda_s^2}} = \frac{0,58}{\sqrt{4 \cdot 3,14^2 + 0,55^2}} = 0,157.$$

Коэффициент вязкости /II/

$$\eta = \frac{1 \cdot \rho \cdot K_s^2}{2f \cdot \Delta_s} = \frac{96 \cdot 16,5^2}{2 \cdot 0,58} \approx 2,25 \text{ кг/сек} \cdot \text{см}^2.$$

(f принимается равной 1 Гц).

6. Определение физических характеристик

По полученным скороствам K_s и их затуханию, используя корреляционные уравнения (см. приложение 3), определяют $W = 802\%$; $\delta = 13,8$; $\rho_x = 0,101 \text{ г/см}^3$.

По nomogramme определяют модули осадки для нагрузок 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 kgs/cm^2 , которые соответственно равны 265, 395, 452 и 490 $\text{мм}/\text{м}$. Чтобы получить модули осадки для других нагрузок отроят зависимость $l_p = f(P)$ (рис. 29).

$l_p, \text{мм}/\text{м}$

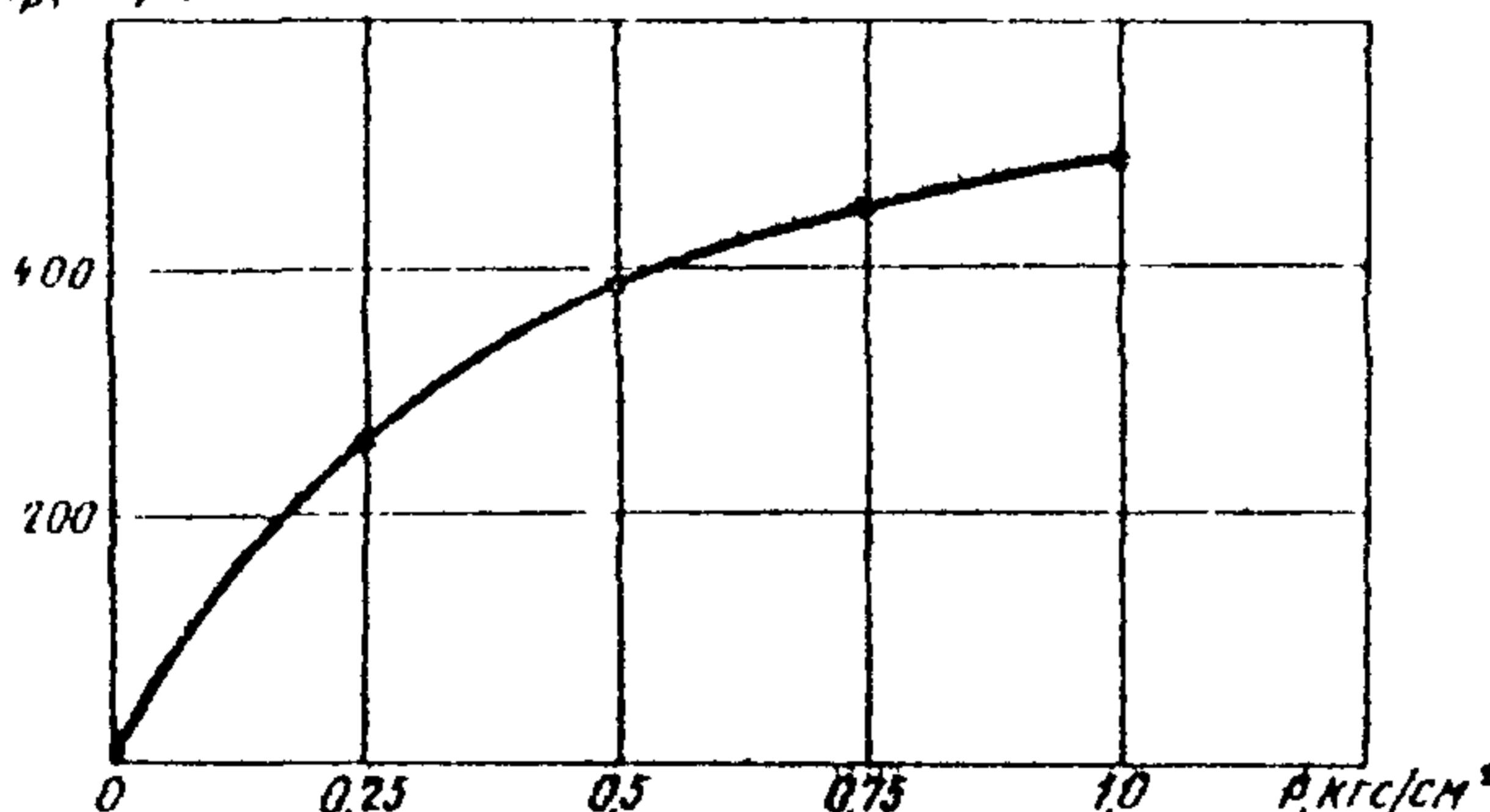


Рис. 29. Построение зависимости $l_p = f(P)$

Параллельно можно проконтролировать l_p по зависимостям для торфа /12, 13/:

$$l_p = \frac{360(\varepsilon_p - 0,36)^{1,1}}{1 + \varepsilon_p} \cdot l_G(3,12 \cdot P \sqrt{\varepsilon_p}),$$

для органо-минеральных грунтов до 1,0 $\text{kgo}/\text{см}^2$:

$$l_p = \frac{360(\varepsilon_p - 0,36)^{1,33}}{1 + \varepsilon_p} \cdot l_G(3,12 \cdot P \sqrt{\varepsilon_p}).$$

При определении коэффициента пористости по ν_g и α_s для получения более точного результата берется среднеарифметическая величина. По ν_g б = 14,5, по ν_g б = 13,8.

$$\bar{\nu} = \frac{14,5 + 13,8}{2} = 14,1.$$

7. Определение прочностных характеристик

Для получения прочностных характеристик используют корреляционные уравнения, связывающие сопротивление сдвигу по кирпичке с влажностью W и пористостью ϵ /14/:

$$c_{\text{удл}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0,515 \cdot \epsilon - 0,75} + \frac{1}{0,007 \cdot W + 1,10} \right) = 0,137 \text{ (нг/ом}^2\text{)}.$$

Приложение 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАЖЕНИЕ

В зависимости от условий и технических задач стоимость различных методов изысканий и их технические показатели могут изменяться, поэтому выбор методов должен быть обоснован технико-экономическими расчетами.

Стоимость работ стандартных методов (бурение) оценивалась по ЕНВ — Единым нормам временным расценкам на проектные и изыскательские работы (М., Стройиздат, 1972), стоимость обсемораведки — по ЕНВ (сейсмозондирование и профилирование) и опыту Белдорнии и других организаций (сейсмическое просвечивание, изротах).

Проведенные расчеты не предназначены для составления норм выработки, но могут быть использованы для сравнительных расчетов.

За исходные данные при расчете стоимости работ взяты следующие показатели:

для определения толщины насыпи и болотного грунта под неё взят участок 100 м, толщина насыпи 2 м, болотного грунта 2 м;

для определения влажности и мощности болотной залежи — участок болота длиной 100 м и глубиной 4 м²;

для определения показателей ϵ , $\lambda_{\text{ж}}$ в δ_p — точка на глубине 2 м. На этой глубине отбирают пробы и монолит и производят измерение скоростей упругих волн.

Результаты сведены в табл. 3.

*Объем работ и методы см. в "Методических указаниях по гидрогеологическому обследованию борта при изысканиях автомобильных и железных дорог". М., Стандарт, 1973.

Таблица 3

Показатель	Состав работ		Стоймость, руб.	Возможность оценки по сред- нему с бурением и лабораторными испытаниями, %	
	стандартные методы	методы сейсмо- акустики			
W , %, влажность	помечные работы по зондированию с отбором проб; лабораторные испытания; оформление результатов	измерение скоростей упругих волн; обработка и оформление результатов измерений	18,5	9,00	5-10
ϵ , коэффициент пористости	помечные работы с бурением и отбором проб или монолита; лабораторные испытания: влажность, плотность, объемная масса; вычисления и оформление результатов	то же	4-20	0-92	2-8
ρ_{ck} , объемная масса скважины	помечные работы с бурением и отбором проб или монолита; лабораторные испытания: влажность, объемная масса; вычисления и оформление	—	3-90	0-92	2-5
Сжимаемость (модуль осадки)	помечные работы: бурение с обсадкой, отбор монолита; лабораторные испытания; вычисления и оформление	—	5-24	1-60	5-10
Определение глубины болотной залежи	зондирование болотной залежи; оформление результатов	сейсмопрофилирование, обработка и оформление результатов установками: одноканальными	2-60	5-70	2-15
Определение толщины насыпи и мощности болотных грунтов под неей	ручное бурение с отбором проб шахтное бурение с отбором проб (УГБ-504)	сейсмопрофил., обработка и оформление результатов установками: одноканальными многоканальными	3-65 7-12 (23-58 с обсадкой) 10-00-18-10 (с обсадкой)	7-00 5-70 7-00	2-15

**Приложение 6. ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА "К"
В МЕТОДЕ " t_b "**

V/V_r	$\frac{1}{2} \cos i$	\bar{V}/V_r	$\frac{1}{2} \cos i$	\bar{V}/V_r	$\frac{1}{2} \cos i$
0,01	0,500	0,24	0,515	0,47	0,566
0,02	0,500	0,25	0,516	0,48	0,569
0,03	0,500	0,26	0,518	0,49	0,573
0,04	0,500	0,27	0,519	0,50	0,577
0,05	0,501	0,28	0,521	0,51	0,582
0,06	0,501	0,29	0,522	0,52	0,586
0,07	0,501	0,30	0,524	0,53	0,590
0,08	0,502	0,31	0,526	0,54	0,595
0,09	0,502	0,32	0,528	0,55	0,599
0,10	0,503	0,33	0,530	0,56	0,604
0,11	0,503	0,34	0,532	0,57	0,609
0,12	0,504	0,35	0,534	0,58	0,614
0,13	0,504	0,36	0,536	0,59	0,619
0,14	0,505	0,37	0,539	0,60	0,625
0,15	0,505	0,38	0,541	0,61	0,631
0,16	0,506	0,39	0,543	0,62	0,637
0,17	0,507	0,40	0,546	0,63	0,643
0,18	0,508	0,41	0,548	0,64	0,650
0,19	0,509	0,42	0,551	0,65	0,658
0,20	0,510	0,43	0,554	0,66	0,666
0,21	0,511	0,44	0,557	0,67	0,674
0,22	0,512	0,45	0,560	0,68	0,682
0,23	0,513	0,46	0,563	0,69	0,691
0,70	0,700	0,79	0,816	0,88	1,051
0,71	0,710	0,80	0,834	0,89	1,096
0,72	0,721	0,81	0,854	0,90	1,148
0,73	0,732	0,82	0,875	0,91	1,208
0,74	0,744	0,83	0,898	0,92	1,278
0,75	0,756	0,84	0,923	0,93	1,362
0,76	0,769	0,85	0,950	0,94	1,468
0,77	0,784	0,86	0,980	0,97	2,075
0,78	0,800	0,87	1,013	0,98	2,510
				0,99	3,620

Приложение 7. НАХОЖДЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЯ СДВИГА G_d
(в кг/см²) ПРИ ВЕЛИЧИНЕ ОБЪЕМНОЙ МАССЫ $\rho = 1,0$ г/см³

V_s , м/сек	\bar{G}_d , кг/см ²	V_s , м/сек	\bar{G}_d , кг/см ²	V_s , м/сек	\bar{G}_d , кг/см ²	V_s , м/сек	\bar{G}_d , кг/см ²
8	0,65	24	5,88	40	16,33	56	32,00
9	0,83	25	6,38	41	17,15	57	33,15
10	1,02	26	6,90	42	18,00	58	34,33
11	1,23	27	7,44	43	18,87	59	35,52
12	1,47	28	8,00	44	19,75	60	36,73
13	1,72	29	8,58	45	20,66	61	37,97
14	1,99	30	9,10	46	21,59	62	39,22
15	2,29	31	9,61	47	22,54	63	40,50
16	2,61	32	10,43	48	23,51	64	40,80
17	2,95	33	11,11	49	24,50	65	43,11
18	3,31	34	11,79	50	25,51	66	44,45
19	3,68	35	12,50	51	26,54	67	45,81
20	4,08	36	13,22	52	27,59	68	47,18
21	4,50	37	13,97	53	28,66	69	48,58
22	4,94	38	14,73	54	29,75	70	49,99
23	5,40	39	15,52	55	30,87	71	51,44
72	52,89	82	68,61	92	86,37	102	106,16
73	54,39	83	70,29	93	88,25	103	108,25
74	55,88	84	72,00	94	90,16	104	110,37
75	57,40	85	73,72	95	92,09	105	112,50
76	58,94	86	75,47	96	94,04	106	114,65
77	60,50	87	77,23	97	96,01	107	116,82
78	62,08	88	79,02	98	98,00	108	119,02
79	63,68	89	80,83	99	100,01	109	121,23
80	65,31	90	82,65	100	102,04	110	123,47
81	66,95	91	84,50	101	104,09		

Примечание. Модуль динамической упругости E_d для болотных грунтов естественной залежи можно приблизительно находить по формуле $E_d \approx 3G_d$.

Л и т е р а т у р а

1. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка. М., "Недра", 1970.
2. Горяинов Н.Н. Сейсморазведка при инженерно-геологических исследованиях рыхлых пород. М., ВсегипГЕО, 1971.
3. Шамшурин В.А. Рекомендации по комплексному применению геофизических методов при инженерно-строительных изысканиях. М., ЦТИСИЗ, 1972.
4. Горшенин О.В. Способ определения угла наклона и глубины залегания плоской наклонной преломляющей границы. Сб."Вопросы инженерной геологии и геофизики при изысканиях железных и автомобильных дорог". М., 1972.
5. Чибисов О.В. Обработка криволинейного гидографа упругих волн. Ж.геофиз., т.4, вып.2, 1934.
6. Кондратьев О.К., Гамбурцев А.Г. Сейсмические исследования в прибрежной части Восточной Антарктиды. М., Изд. АН СССР, 1963.
7. Ляховичский Ф.М. Об определении мощности градиентного слоя, лежащего на однородном полупространстве. Сер."Физика Земли", Изд. АН СССР, 1965, № 9.
8. Оверов Д.К., Волин А.П. Теоретико-экспериментальное исследование воли Лява. "Вопросы динам. теор. распределения сейсмических волн", об.П. Л.. Изд. ЛГУ, 1959.
9. Кмитовенко А.Т., Бондарев В.И. и др. Опыт использования сейсмического метода разведки для определения глубины торфяной залежи. "Торфяная промышленность", №8, 1972.
10. Ржевский В.В., Ящиков В.Е. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. М., "Наука", 1973.
11. Миндель И.Г. Изучение физико-механических свойств лесовых пород сейсмоакустическими методами. М., ПНИИС, т.4, 1970.
12. Дровд П.А. Сельскохозяйственная дорога на болотах. Минск, "Урожай", 1965.
13. Евгеньев И.Е., Яромко В.Н., Осьминов В.Е. Сжимаемость и прочность органо-минеральных болотных грунтов. М., Стройдоргиз, №90, 1976.

14. Яромко В.Н., Сеьков В.Е. Исследование прочностных характеристик болотных грунтов в полевых условиях. М., Тр. Союздорнии, вып. 64, 1973.
15. Бондарев В.Н. Рекомендации по применению сейсмической разведки для изучения физико-механических свойств рыхлых грунтов в естественном залегании для строительных целей. М., 1974.
16. Пузырев Н.Н., Мишенькина З.Р. Приближенные способы интерпретации гидографов рефрактированных волн. Методика сейсмических исследований. М., "Наука", 1969.
17. Сеьков В.Е. Применение методов сейсморазведки для исследования земляного полотна автомобильных дорог на болотах. Сб. "Вопросы повышения технического уровня дорожного строительства БССР". Минск, 1974.
18. Справочник геофизика. Т. IУ, "Сейсморазведка". М., "Недра", 1966.
19. Барзон И.С., Епинатьева А.М. и др. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. М., Изд. АН СССР, 1962.