Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 2, 1961 г.

ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ЗАРЯДА

А. А. Иванов

Как известно, при использовании сейсмических методов разведки проблема генерирования упругих волн имеет первостепенное значение. Однако в этой области многие вопросы остаются до сих пор крайне слабо изученными. В частности, отсутствуют сведения о зависимости амплитуды сейсмических колебаний от размера (веса) заряда, хотя данный вопрос имеет теоретическое и практическое значение. В настоящей статье приводятся некоторые сведения об этой зависимости, полученные на основании специальных опытных работ, дополненных результатами обработки обычных сейсмограмм КМПВ и ГСЗ *.

Полевые экспериментальные работы по изучению соотношения между амплитудой сейсмических колебаний и весом заряда при взрывах в водоеме были проведены в Ленинградской области. Разрез в районе представлен песчано-глинистыми отложениями, подстилаемыми докембрийским кристаллическим фундаментом, который залегает на глубине 250 *м* и является хорошим преломляющим горизонтом (граничная скорость $v_г = 6000$ *м/сек*). Кроме того, на глубине 100—150 *м* имеется преломляющая граница с граничной скоростью около 3000 *м/сек*. Мощность зоны малых скоростей не превышает нескольких метров.

Исследования выполнялись с помощью стандартной сейсморазведочной аппаратуры (собственная частота сейсмоприемников 20 *гц*, полоса пропускания усилителей 35—650 *гц*). При работе усиление сохранялось постоянным, так же как и условия установки сейсмоприемников. Амплитудная характеристика усилителей для значений входного напряжения, определяемого уровнем приходящих сигналов, была прямолинейной.

Взрывы производились на расстоянии около 1 *км* от места регистрации в водоеме глубиной около 1,5 *м* и поперечником до 20 *м*. Заряды изометрической формы весом от 0,05 до 41 *кг* помещались примерно на одной глубине, однако при взрывах зарядов более 10 *кг* наблюдалось некоторое понижение уровня воды вследствие значительных выбросов. В процессе работы было сделано несколько повторных контрольных взрывов.

На полученных сейсмограммах зарегистрированы две волны с кажущимися скоростями v *, равными 6000 и 3000 *м/сек* и видимым пе-

* КМПВ — корреляционный метод преломленных волн; ГСЗ — глубинное сейсмическое зондирование.

риодом 0,025 *сек*. Измерению подвергались три первые фазы каждой волны. Полученные значения откладывались в логарифмическом масштабе в системе координат: амплитуда колебаний *[1], вес заряда (рис. 1).

В дополнение к проведенным опытным работам были использованы обычные сейсмограммы КМПВ, полученные в южной части Западно-Сибирской низменности, и сейсмограммы ГСЗ Туймазинской геофизической экспедиции (Ю. Н. Годин, И. В. Померанцева, Н. П. Иванова).

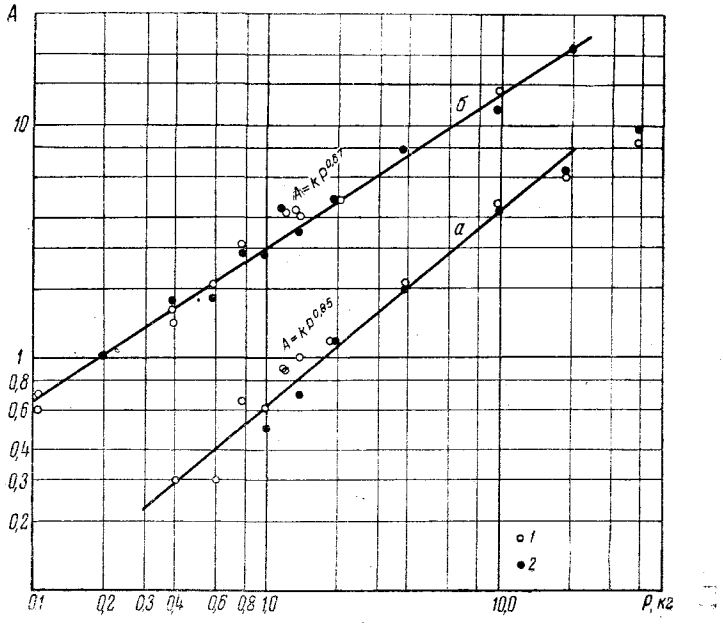


Рис. 1. **Зависимость** амплитуды сейсмических колебаний от веса заряда:

а — **первая фаза** волны, v^*=6000 *м/сек*; *б* — третья фаза волны, v^* = 6000 *м/сек*. Измерения трасс: *1* — с большей амплитудой записи; *2* — с меньшей амплитудой записи

Очевидно, что для сравнения амплитуды записи можно сопоставлять лишь сейсмограммы, полученные на одной стоянке, при различных величинах заряда, но неизменных условиях взрыва и приема. Обычно в пределах одной расстановки сейсмоприемников удается отобрать «серию» из двух, реже трех или четырех сейсмограмм, удовлетворяющих этим условиям. Определить вид зависимости между амплитудой сейсмических колебаний и весом заряда можно лишь путем обобщения результатов обработки целого ряда подобных «серий».

Материалы обобщались разными способами. Прием довольно громоздкий, но позволяющий наиболее наглядно представить результаты обработки, состоит в следующем.

Предположив, что амплитуда записи и заряд связаны зависимостью

$$A = kP^{\alpha}, \qquad (1)$$

где A — амплитуда сейсмических колебаний;

P — вес заряда;

k и α — постоянные коэффициенты,

*[1] Здесь и в дальнейшем под амплитудой сейсмических колебаний понимается амплитуда записи на сейсмограммах, которая в случае использования низкочастотных индукционных сейсмоприемников и широкополосных усилителей пропорциональна скорости смещения частиц почвы.

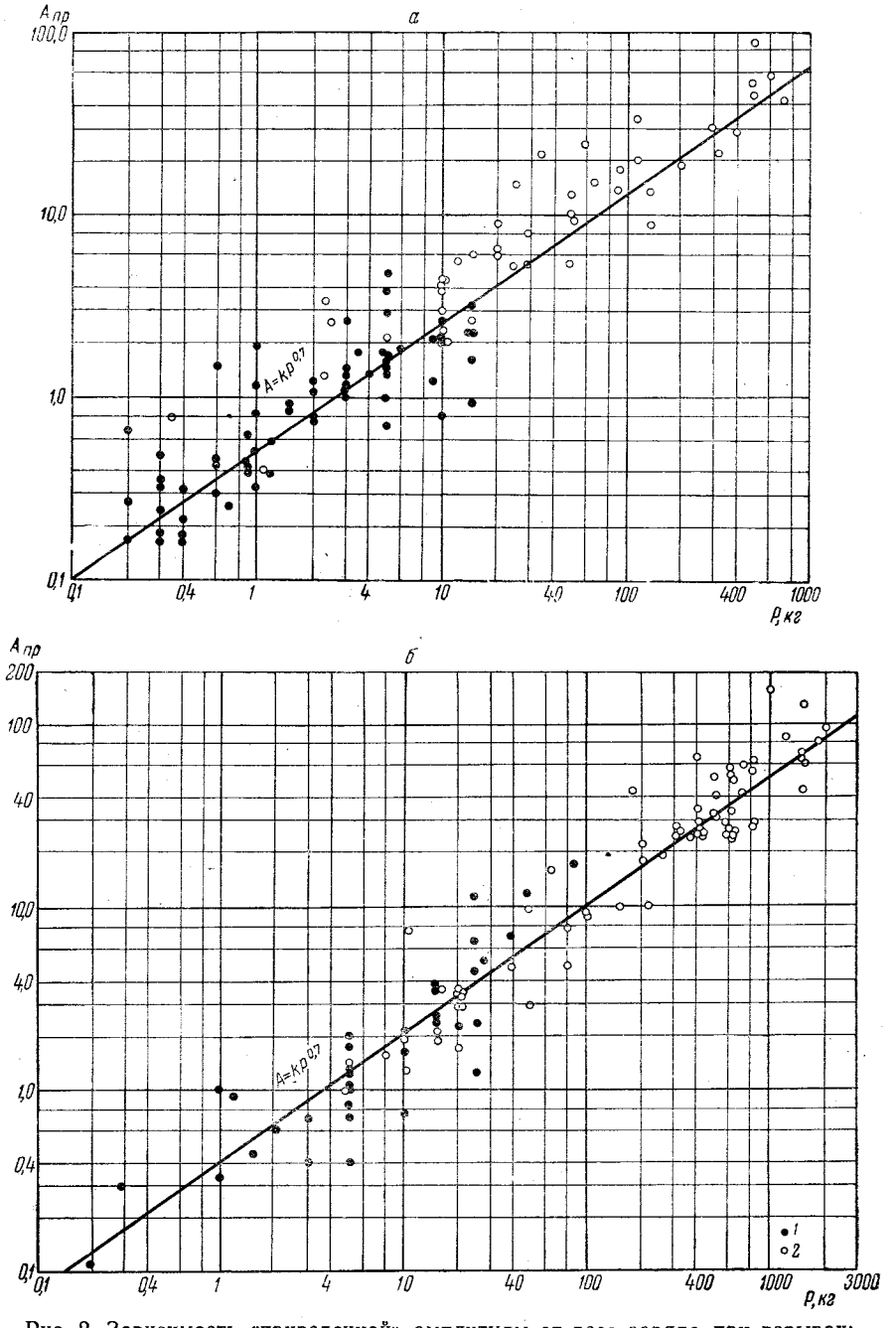


Рис. 2. Зависимость «приведенной» амплитуды от веса заряда при взрывах:
а — в скважинах; *б* — в шурфах и водоемах; *1* — по материалам КМПВ (Западно-Сибирская низменность); *2* — по материалам ГСЗ (Русская платформа)

можно методом подбора определить α. С этой целью для разных значений α строились графики функции $A=kP^{\alpha}$ (в логарифмическом масштабе такие графики являются прямыми линиями). На них наносились измеренные значения амплитуд в масштабе, выбранном для каждой «серии» сейсмограмм таким образом, чтобы одна точка «серии», обычно соответствующая меньшему заряду, совпала с построенным графиком. Выбор масштаба сводился к тому, что по оси ординат откладывалось «приведенное» значение амплитуды, которое вычислялось по формуле

$$A_{\text{пр}}=\frac{A_2}{A_1}A_0,$$

где $A_{\text{пр}}$ — „приведенная" амплитуда;
A_2 и A_1 — амплитуды записи на сопоставляемых сейсмограммах;
A_0 — значение функции $A=kP^{\alpha}$ для $P=P_1$ *1.

Если коэффициент α выбран правильно, все нанесенные точки должны равномерно распределиться по обе стороны исходной кривой (или совпасть с ней при отсутствии случайных погрешностей). В случае неправильного выбора α наблюдалась бы концентрация точек по одну сторону кривой. Равномерное распределение точек (однако со значительным разбросом) служило критерием правильного определения α (рис. 2).

Результаты опытных исследований и обработки обычных сейсмограмм КМПВ и ГСЗ показали, что, как и предполагалось, связь между амплитудой сейсмических колебаний и весом заряда может быть приблизительно выражена соотношением $A=kP^{\alpha}$.

Наиболее точные определения α были произведены по данным опытных работ. В этом случае путем осреднения графиков, примеры которых приведены на рис. 1, удалось определить α для разных волн и фаз. Значения α, полученные путем осреднения графиков (см. рис. 1), следующие:

	1-я фаза	2-я фаза	3-я фаза
Волна с $v^*=6000$ *м/сек*	0,85	0,76	0,67
Волна с $v^*=3000$ *м/сек*	0,61	—	0,63

Величина α варьирует в пределах $\pm 0{,}1$, что лишь частично можно объяснить недостаточной точностью измерений. Нельзя, например, считать случайным расхождение для третьей и первой фаз волны с кажущейся скоростью $v^*=6000$ *м/сек*. Таким образом, при изменении веса заряда наблюдается некоторое изменение формы колебаний.

Для предварительной характеристики изучаемого соотношения указанными различиями, по-видимому, можно пренебречь и считать, что в первом приближении $\alpha=0{,}7$. Тогда зависимость между амплитудой сейсмических колебаний и весом заряда при взрывах в водоемах приобретает вид

$$A=kP^{0,7}. \qquad (2)$$

В результате использования обычных сейсмограмм КМПВ и ГСЗ были получены менее детальные данные о зависимости амплитуды колебаний от веса заряда, но для очень широкого диапазона изменений веса заряда (от 0,05 до 1000—2000 *кг*). Коэффициент α определялся для условий взрывов в скважинах глубиной 15—40 *м*, шурфах глубиной до 1,5 *м* и водоемах глубиной до 4 *м*.

Обобщение данных для слишком большого интервала глубин скважин довольно рискованно, однако попытка дифференцировать материал по небольшим интервалам (15—20, 20—30 *м*) не привела к выявлению

*1 При построении точки, соответствующие наименьшему заряду P_1, на графике рис. 2 не отмечались.

заметных различий между поведением графиков и соответствующими значениями α. Во всех случаях (при взрывах в скважинах, шурфах и водоемах) коэффициент α оказался равным примерно 0,7, что подтверждается графиками (см. рис. 2). Таким образом, можно считать, что и для этих условий закон изменения амплитуды колебаний в зависимости от веса заряда по-прежнему имеет вид выражения (2). Он существенно отличается от приводимых в литературе соотношений между амплитудой сейсмической записи и весом заряда [3, 4].

Полученное соотношение представляет как практический, так и теоретический интерес. Как известно, энергия колебательного процесса пропорциональна квадрату скорости колебательного движения. В рассматриваемом случае измеренная на сейсмограммах амплитуда записи пропорциональна именно скорости смещения частиц почвы (если не учитывать неравномерности частотной характеристики механической части сейсмоприемника и особенно усилителя). Зная зависимость между амплитудой записи и весом заряда, нетрудно установить связь последнего с энергией зарегистрированных упругих колебаний. При неизменной длительности колебательного процесса эта связь выражается формулой

$$E = k_1 P^{1,4}, \qquad (3)$$

где E — энергия сейсмических колебаний;

k_1 — коэффициент пропорциональности.

Неравномерность частотных характеристик механической части сейсмоприемника и усилителя, имеющих завал в области низких частот (меньше 35 *гц*), может привести к погрешностям при определении показателя степени в формуле (3), если частотный спектр колебаний изменяется в зависимости от веса заряда. Однако нет оснований ожидать, что учет таких погрешностей вызовет уменьшение показателя при P, так как частотный спектр в случае увеличения веса заряда, по-видимому, не обогащается высокочастотными составляющими. Непосредственное измерение видимых периодов колебаний на записях, полученных в процессе проведения опытных работ, подтверждает последнее предположение (видимый период несколько увеличивается или остается неизменным при увеличении веса заряда).

Полученное соотношение между энергией сейсмических колебаний и весом заряда означает, что доля общей энергии взрыва, идущая на образование упругих колебаний того диапазона частот, который регистрируется сейсмической аппаратурой, возрастает при увеличении веса заряда. Дать этому соотношению теоретическое обоснование пока не удалось. Возможное объяснение заключается в том, что при увеличении веса заряда изменяется частотный спектр упругого импульса, возбуждаемого взрывом, так что происходит его обогащение низкочастотными составляющими, соответствующими полосе пропускания сейсмической аппаратуры. Решение этого вопроса требует всестороннего изучения механизма образования упругого импульса с помощью взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамбурцев Г. А. Корреляционный метод преломленных волн. Изд-во АН СССР, 1952.
2. Красильников В. А. Звуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. Гостехиздат, 1954.
3. Кириллов Ф. А. Сейсмический эффект взрыва. Труды сейсмологич. ин-та АН СССР, 1947, № 121.
4. Пузырев Н. Н. Интерпретация данных сейсморазведки методом отраженных волн. Гостоптехиздат, 1959.