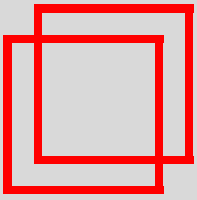
Math-Net.Ru
Общероссийский математический портал

В. Б. Соллогуб, П. Я. Галушко, А. А. Вопилкин, А. М. Патиоха, О некоторых факторах, влияющих на величину скорости распространения упругих колебаний в горных породах,
Докл. АН СССР, 1957, том 113, номер 1, 82–85

https://www.mathnet.ru/dan21686

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
https://www.mathnet.ru/rus/agreement

Параметры загрузки:
IP: 18.97.9.172
20 июля 2025 г., 03:52:40

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОФИЗИКА

В. Б. СОЛЛОГУБ, П. Я. ГАЛУШКО, А. А. ВОПИЛКИН и А. М. ПАТИОХА

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕЛИЧИНУ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 25 IX 1956)

Данные сейсмических измерений в буровых скважинах ([1,7-9]) свидетельствуют о том, что величины пластовой скорости распространения продольных упругих колебаний зависят от многих причин (статистическая нагрузка вышележащих пород, метаморфизм, литологический состав пород и др.), влияние которых на величину пластовой скорости в различных породах и в различных регионах обычно бывает не одинаково. В настоящей статье рассматривается один из основных факторов, влияющих на изменение пластовой скорости — статическая нагрузка вышележащих пород.

Известно, что одни и те же осадочные горные породы, залегающие на различных глубинах, характеризуются различными по величине скоростями, при этом, чем больше глубина залегания рассматриваемых отложений, тем больше в них пластовая скорость.

Для изучения закономерной связи между величиной скорости и статической нагрузкой нами произведены измерения скорости в образцах горных пород, находящихся под различным давлением.

При лабораторных исследованиях для измерения скорости распространения продольных упругих колебаний был применен импульсный ультразвуковой сейсмоскоп, изготовленный по схеме Ю. В. Ризниченко, Б. Н. Ивакина и В. Р. Бугрова ([5]). При этом в качестве датчиков использовались кристаллы сегнетовой соли среза X —45° с частотой собственных колебаний 140 кгц. Исследования производились на образцах горных пород кубической формы со стороной 8—10 см, которые подвергались односторонему сжатию на гидравлическом прессе с интервалами нагрузки в 20 кг/см^2. Принятая нами методика аналогична применявшейся в сейсмической лаборатории Геофизического института АН СССР при подобных исследованиях ([6]). Испытаниям были подвергнуты образцы песчаников и известняков в количестве 24 штук.

В течение опытов с образцами одной и той же породы режим работы сейсмоскопа оставался строго постоянным. Воспроизводимость получаемых данных контролировалась многократным измерением скорости упругих волн перед началом испытания под давлением.

По данным лабораторных исследований построены графики $v_{\text{п}} = f(P)$, где $v_{\text{п}}$ — скорость распространения продольных упругих колебаний в м/сек, измеренная параллельно прилагаемой нагрузке, P — нагрузка в кг/см^2. Типичные кривые зависимости скорости от прилагаемой нагрузки приведены на рис. 1 (кривая *1* для песчаников, кривая *2* для известняков).

Для кривой *1* характерны следующие особенности: при изменении нагрузки от 0 до 120 кг/см^2 скорость прохождения ультразвуковых волн интенсивно увеличивается от 3200 до 3900 м/сек. При увеличении нагрузки от 120 до 420 кг/см^2 увеличение скорости замедляется и составляет только 200 м/сек (4100 м/сек). Дальнейшее увеличение нагрузки приводит уже

к уменьшению скорости, после чего наступает разрушение образца (при давлении 610—620 кг/см²).

Кривая *2* показывает ту же закономерность изменения скорости от давления, что и кривая *1*; различие имеется только в абсолютных значениях величин скоростей и давлений.

Характер полученных кривых физически возможно объяснить следующим образом: образец горной породы в ненагруженном состоянии характеризуется определенной скоростью распространения упругих колебаний. При приложении нагрузки на образец пористость породы уменьшается, мелкие частицы более плотно прилегают друг к другу и, естественно, скорость прохождения упругих волн увеличивается.

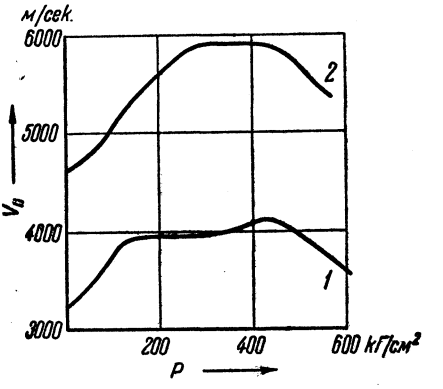

Рис. 1

Увеличение скорости продолжается до определенного момента, когда пористость породы уменьшается до предела и процесс уплотнения резко замедляется. Дальнейшее увеличение нагрузки, по-видимому, влияет на уплотнение и перераспределение самих элементарных частиц. Могут быть случаи, когда скорость практически остается постоянной. Периоду уменьшения скорости при дальнейшем увеличении нагрузки, по-видимому, соответствует появление микро-, а затем макротрещиноватости, который заканчивается полным разрушением образца породы. Такое явление наблюдается при одностороннем сжатии образца. При всестороннем давлении, как показал Д. Н. Балашов ([2]), в первой стадии нагрузки картина будет аналогичной приведенной выше, но при значительном увеличении давления скорость распространения упругих волн остается примерно постоянной.

В природных условиях, в процессе осадконакопления пласты горных пород в зависимости от глубины их залегания оказываются в различных условиях нагруженности. Следовательно, степень уплотнения одних и тех же пород на различных глубинах будет неодинаковой, а поэтому зависимость увеличения скорости от нагрузки на разных глубинах — различной. Например, в отложениях сармата и верхнего тортона Предкарпатского прогиба на глубине 250—750 м вертикальный градиент равен 60 м/сек на 100 м глубины, а для глубин 1500—2000 м он равен всего 30 м/сек. В районе Прикубанской впадины в майкопских отложениях для глубин 250—270 м градиент равен 30—40 м/сек на 100 м, а в интервале 1500—2000 м 20 м/сек.

Кроме описанных выше лабораторных опытов были проведены на ряде образцов исследования по определению зависимости скорости упругих волн от давления при повторных нагрузках и разгрузках образца. Для этих целей образец горной породы нагружался до 40—50% разрушающей нагрузки, ступенями в 20 кг/см², затем разгружался такими же ступенями и повторно нагружался. На всех ступенях нагрузки и разгрузки измерялись скорости продольных упругих волн.

На рис. 2 сплошной линией показано изменение скорости при первом цикле нагрузки, пунктирная линия характеризует уменьшение скорости в процессе разгрузки и, наконец, штрихпунктирная линия характеризует изменение скорости в образце при повторной нагрузке.

Кривая *1*, полученная при испытании образца песчаника, показывает, что изменения величины скорости при нагрузке, разгрузке и повторной нагрузке весьма сходны. Это свидетельствует о том, что исследуемый образец по своему поведению приближается к идеальной упругой среде, т. е. остаточная деформация не наблюдается.

Кривая 2 (для более рыхлого песчаника) имеет несколько иную характеристику. При первом цикле — нагрузке — происходит увеличение скорости. При разгрузке скорость в образце уменьшается, с другой закономерностью, нежели в первом цикле. Абсолютные значения скорости при разгрузке несколько больше, чем при нагрузке. Следовательно, в данном случае имеет место явление остаточной деформации в образце. Повторная нагрузка вызывает увеличение скорости в образце, причем характер из-

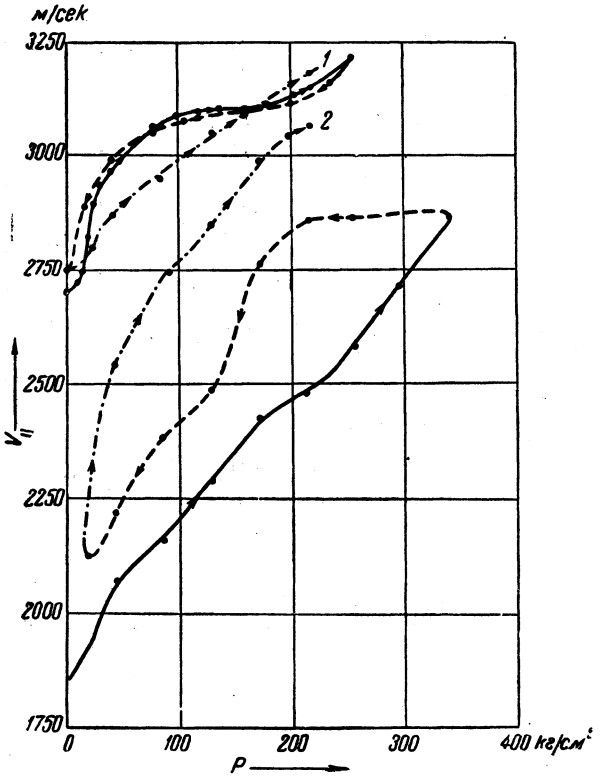

Рис. 2

менения последней остается примерно такой же, что и в первом цикле, но абсолютные значения скорости значительно больше.

Данные исследований показывают, что в горных породах наряду с явлениями резко выраженной остаточной деформации может наблюдаться почти полное ее отсутствие, причем на образцах одного и того же литологического состава. По-видимому, явление остаточной деформации зависит от структурных особенностей исследуемых образцов.

Сопоставим наши лабораторные исследования с некоторыми процессами, происходящими в осадочных отложениях земной коры. Формирование осадков того или иного региона является довольно сложным процессом, состоящим из многочисленных циклов осадконакопления и денудации. При анализе ряда последовательных циклов можно придти к выводу, что один и тот же пласт горной породы в процессе формирования региона подвергался многократным циклам нагрузки и разгрузки. В период осадконакопления, когда происходило увеличение мощности вышележащих отложений, пласт испытывал непрерывное увеличение нагрузки и его пластовая скорость изменялась в сторону увеличения. В период денудации этот пласт подвергался разгрузке вследствие сноса вышележащих отложений, и скорость в нем уменьшалась. Эти процессы неоднократно повторялись, так как после процессов размыва могли возникнуть процессы осадконакопления и т. д.

Из всего сказанного видно, что проведенные нами лабораторные исследования с нагрузкой образца горной породы, разгрузкой и повторной нагрузкой его могут быть с некоторыми допущениями (без учета явления релаксации) сопоставлены с процессами, протекающими в период геологической истории того или иного региона (тектонические процессы, как было уже указано, не рассматриваются).

Таким образом, характеристика упругих свойств горных пород и, в частности, скорость прохождения продольных колебаний в них зависит во многом от геологической истории рассматриваемого региона и от свойств самой горной породы.

Для горной породы, которой, как бы присущи свойства идеально упругой среды, скорость не зависит от количества повторяющихся процессов осадконакопления и размыва вышележащих пород, а зависит только от глубины залегания породы в настоящее время (факторы литологии и динамометаморфизма в данном случае не принимаются во внимание).

В случае, если горная порода по своим свойствам заметно отличается от идеально упругого тела, величина скорости распространения упругих колебаний в ней будет зависеть не только от глубины залегания последней, но и от геологической истории рассматриваемого региона. В этом случае будет играть роль остаточная упругая деформация, и чем большее число циклов осадконакопления и денудации имело место, тем заметнее различие в закономерности изменения скорости от глубины по различным регионам.

Из приведенных лабораторных исследований и результатов сейсмических наблюдений в буровых скважинах можно сделать следующие выводы.

1. Статическая нагрузка вышележащих пластов оказывает значительное влияние на упругие свойства тех или иных отложений, а именно, чем больше указанная нагрузка, тем больше величина скорости распространения упругих колебаний в однотипных породах.

2. В том случае, если горная порода приближается к идеально упругому телу, скорость в ней зависит только от статической нагрузки и не зависит от геологических процессов (осадконакопления и денудации), происходивших в рассматриваемом регионе.

3. Горные породы, которые отличаются от идеально упругих тел, имеют остаточную деформацию, благодаря чему наблюдаемая в настоящее время скорость распространения упругих волн в них зависит не только от глубины залегания, но и от геологических процессов, которые происходили в исследуемом районе. Поэтому одновозрастные породы в различных регионах могут отличаться по величине скорости даже в том случае, если они залегают на одной и той же глубине.

4. Детальный анализ величин пластовых скоростей в горных породах может дать некоторые данные для суждения и формирования изучаемого региона и выявления крупных перерывов в осадконакоплении.

Геологический институт
Академии наук УССР

Поступило
11 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Ф. Берг, Дж. Шерер, Г. Спайсер, Справочники для геологов по физическим константам, 1949. [2] Д. Б. Балашов, Диссертация, Геофиз. инст. АН СССР, 1955. [3] А. М. Епинатьева, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., № 1, 63 (1948). [4] Ю. В. Ризниченко, О. И. Силаева, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 3, 93 (1955). [5] Ю. В. Ризниченко, Б. Н. Ивакин, В. Р. Бугров, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1, 26 (1953). [6] Ю. В. Ризниченко, О. И. Силаева и др., Тр. Геофиз. инст. АН СССР, 35 (1956). [7] В. Б. Соллогуб, Геологич. журн., **14**, 1, 71 (1954). [8] В. Б. Соллогуб, ДАН, № 3, 545 (1954). [9] S. W. Faust, Geophysics, **16**, 2, 192 (1951).