

*Геология*

УДК 552.08:53(03)

Г. М. АВЧЯН, Г. В. МАРКОСЯН

ВЛИЯНИЕ ГИГРОСКОПИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА  
ПРОЧНОСТЬ ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ  
ПО ШТАМПУ

Экспериментально установлено влияние гигроскопичной влажности на прочность фельзитовых туфов по штампу. Гигроскопичная влажность снижает как скорость распространения ультразвуковых продольных волн, так и прочность по штампу. Понижение прочности предопределяется влиянием адсорбционной влаги на характер распределения напряжения в концах трещин или в зонах стыковой воды. С уменьшением напряжения увеличивается сжимаемость трещин, приводящая к уменьшению прочности и скорости продольных волн.

Объемно-напряженное состояние горных пород является одной из основных отличительных особенностей разрушения пород в различных технологических процессах. Разработанный Шрейнером и его учениками [1—5] метод определения механических свойств горных пород при помощи вдавливания в породу цилиндрического штампа  $P_{ш}$  с плоским основанием широко применяется при массовых испытаниях горных пород. Этому способствует то обстоятельство, что напряженное состояние при вдавливании является объемным. В связи с этим данные испытаний могут служить для сравнительной предварительной оценки различных деформационных процессов, протекающих в условиях всестороннего сжатия. В настоящее время имеется достаточно представительный материал по изучению зависимости прочности от литолого-петрофизических особенностей пород, проведена их классификация по прочности и т. д. [2, 3, 6, 7]. Однако при рассмотрении влияния влажности на прочность пород испытания проводились только при предельных состояниях, т. е. в абсолютно сухом состоянии (высушенных при  $105^{\circ}\text{C}$  до постоянного веса) и при 100% насыщении пород различными флюидами.

Между тем породы в естественном залегании не всегда находятся в предельных состояниях насыщения, а в лабораторных условиях измерения петрофизических параметров ведутся в воздушно-сухом состоянии, т. е. без количественных показателей адсорбционной влаги, тогда как степень адсорбции влаги зависит от состава породы, влажности воздуха, времени, температуры и т. д.

Известно, что горные породы гигроскопичны, т. е. способны сорбировать воду из воздуха [8]. Интенсивность сорбции пара зависит от литологического состава породы, удельной поверхности частиц, относительной упругости водяного пара. Вода, которая образуется на поверхности твердой среды (прочно-связанная или адсорбированная вода), несомненно должна влиять на физико-механические свойства пород. При воздушно-сухом состоянии наряду с прочно связанной (адсорбированной) водой в породе присутствует также некоторое количество стыковой воды, обусловленной максимальной гигроскопичностью.

С целью исследования влияния гигроскопичной влажности пород на прочность по внедрению штампа  $P_{ш}$  была разработана установка и проведена серия экспериментальных определений для различных вулканогенно-осадочных пород с различной гигроскопичной влажностью.

На рис. 1 приведена схема установки для определения  $P_{ш}$ . Дина-

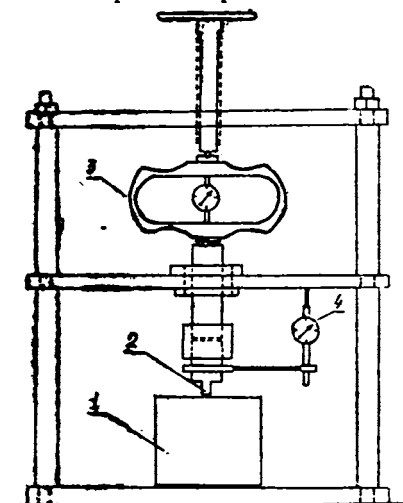


Рис. 1. Схема установки для измерения прочности по внедрению штампа. 1—образец; 2—штамп; 3—динамометр; 4—часовой индикатор.

мометр марки ДОСМ-3/1 (рис. 1—3) позволяет регистрировать напряжение до 10 000 Н с ошибкой не более 0,5%. Деформация породы определяется часовым индикатором (рис. 1—4) с ошибкой не более 10 микрон. Возможность регистрации напряжения и деформации с указанной точностью позволяет при внедрении штампа с основанием  $S_{ш} = 3—5 \text{ мм}^2$  определить  $P_{ш}$  с максимальной ошибкой не более 1%.

На рис. 2 приведены диаграммы деформации для различных типов пород. Прочность горной породы  $P_{ш}$  в МПа вычисляли по формуле

$$P_{ш} = \frac{P}{S_{ш}},$$

где  $p$ —нагрузка, соответствующая пределу прочности на вдавливание

в ньютонах;  $s_{ш}$ —площадь штампа в  $\text{мм}^2$ .

Стрелками отмечены напряжения  $P_{500}$  и  $P_{1000}$  на уровнях деформации 500 и 1000 микрон.

Нагрузка на каждой ступени выдерживается до прекращения визуально заметной деформации, регистрируемой индикатором 4 (рис. 1). При значительных упругих последствиях время выдержки на каждой ступени для всего диапазона исследований выбиралось постоянным от 1 до 5 минут.

Гигроскопичная влажность определялась после сушки образца до постоянного веса при температуре  $105^\circ\text{C}$  и последующего помещения об-

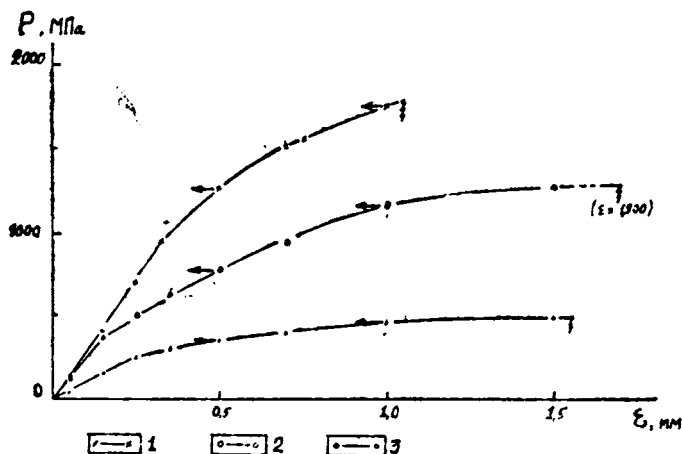


Рис. 2. Зависимость деформации от напряжения. 1—базальт; 2—фельзитовый туф Ф4-1; 3—песчаник.

разца в эксикатор с относительной влажностью воздуха—98%. Влажность определялась относительно объема пор породы, т. е.

$$W = \frac{P_a - P_{ac}}{V_n},$$

где  $P_a$ —вес образца после адсорбции воды;  $P_{ac}$ —вес абсолютно сухого образца;  $V_n$ —объем пор образца.

Разные значения  $W$  были получены путем регулировки времени выдержки в эксикаторе над водяным паром.

Исследования проводились на фельзитовых туфах Ноемберянского района Армянской ССР. Из фельзитовых туфов изготавливаются эталоны для оценки эффективности прострелочно-взрывной аппаратуры в нефтяной геологии. Поэтому знание прочности эталонов как функции влажности имеет большое практическое и научное значение. В условиях промышленного применения туфы всегда содержат адсорбированную влагу. Их гигроскопичная влажность по объему пор достигает до 10%.

Образцы изготавливались в виде кубиков с ребром 5 см. Все поверхности шлифовались абразивом № 12 и микропорошком № 20, непараллельность поверхности не превышала 0,002 мм на 1 см.

Поскольку образец с заданной влажностью  $W$  после испытания под штампом разрушается, то для следующих значений  $W$  использовались новые образцы с аналогичными петрофизическими характеристиками. С этой целью из одного относительно однородного блока было изготовлено более 20 образцов, а для эксперимента были отобраны образцы, имеющие наиболее близкие значения пористости, плотности и скорости распространения упругих волн. Во всех испытанных образцах из одного блока указанные параметры отличались не более 0,5%. Общее количество составляло 52 образца.

На рис. 3 и в табл. 1 приведены значения  $P_{ш}$ ,  $P_{1000}$  для фельзитовых туфов в зависимости от влажности. Как видно, с увеличением влажности наблюдается закономерное уменьшение всех параметров, снимаемых с диаграмм деформаций. При увеличении гигроскопичной влажности  $W$  до 8% (пористость  $K_n=28,5\%$ )  $P_{ш}$  уменьшается от 1925 до 1075 МПа, а для образца с  $K_n=37,0\%$  при повышении  $W$  до 10% разрушающее напряжение снижается от 925 при абсолютно сухом состоянии до 525 МПа. Соответственно  $P_{500}$  и  $P_{1000}$  уменьшались от 325 до 225 и от 450 до 300 МПа. Чем меньше пористость, тем больше влияния влажности на  $P_{ш}$ .

С увеличением гигроскопичной влажности наблюдается также уменьшение скорости распространения продольной волны  $v_p$ . Известно, что при увеличении влажности почти для всех пород наблюдается увеличение скорости [9—11]. Однако для туфов и особенно для фельзитовых туфов имеет место уменьшение скорости [11], что обусловлено изменением плотности от насыщения. Для идеально упругих сред, когда модуль упругости с увеличением плотности изменяется незначительно,  $v_p$  с ростом плотности уменьшается. Увеличение  $v_p$  обычно имеет место вследствие резкого роста модуля упругости среды при насыщении трещинной пористости. При низких значениях  $K_n$  уменьшение скорости, по всей вероятности, связано с увеличением сжимаемости трещин: когда адсорбированная вода скапливается на концах трещин, образуется стыковая вода, приводящая к увеличению сжимаемости пор и уменьшению прочности.

На рис. 4 приведена связь  $P_{ш}$  с  $v_p$  для фельзитов. По данным [7, 12], связь прочности со скоростью  $v_p$  обусловлена пористостью пород, т. е. с увеличением пористости уменьшается как  $P_{ш}$ , так и  $v_p$ . Уменьшение пористости обуславливает улучшение контактов между зернами, что, естественно, приводит к увеличению прочности.

Таблица 1

## Физико-механические параметры туфов

№ п. п.	№ образца	Название породы, месторождение	Состояние породы	Плотность, $g/cm^3$	Пористость, $k_p$ , %	Ось нагружения	Скорость, $км/с$	Напряжен. при $\epsilon = 0,5$ мм, МПа	Напряжен. при $\epsilon = 1,0$ мм, МПа	Прочность по штампу, МПа	Предел упругости, МПа
1	Ф4-1 (1)	Фельзитовый туф «Октембер» Ноемберянского р-на	сухой	1,807	30,5	z	3174	675	1000	1400	275
2	Ф-4-1(11)	—	W = 8,2% сухой	1,814	30,3	z	2820	600	825	1025	275
3	Ф-1-1(4)	—	W = 7,9% сухой	1,898	27,4	y	3076	750	1125	1700	300
4	Ф-1-1(12)	—	сухой	1,877	27,8	y	2673	575	800	1075	275
5	Ф-ор(1)	—	W = 10% сухой	1,634	37,4	z	2616	325	475	900	150
6	Ф-ор(7)	—	W = 10% сухой	1,626	37,7	z	2188	225	300	500	100

В нашем случае увеличение скорости  $v_p$  не связано с изменением пористости или плотности упаковки среды. В связи с этим рассмотренные рассуждения не приемлемы для объяснения установленной связи.

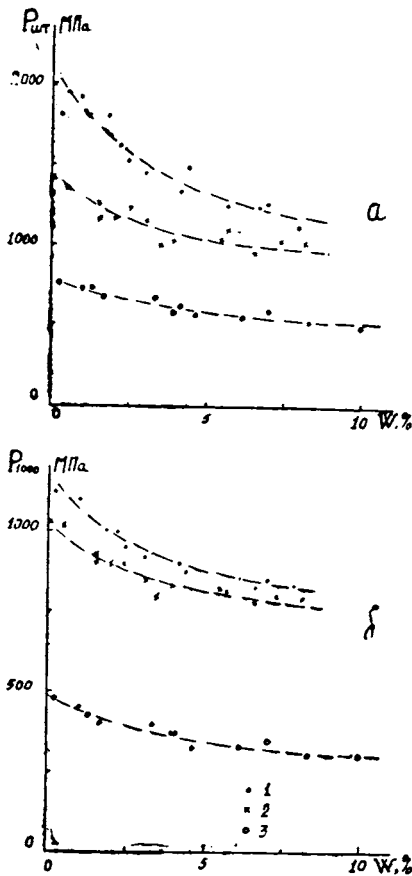


Рис. 3. Зависимости  $P_{шт}$  (а) и  $P_{1000}$  при напряжении на уровне деформации  $\epsilon=1$  мм (б) от гигроскопичной влажности  $W$  для фельзитовых туфов. 1.— $\Phi$ -1-1; 2.— $\Phi$ -4-1; 3.— $\Phi$ -ор.

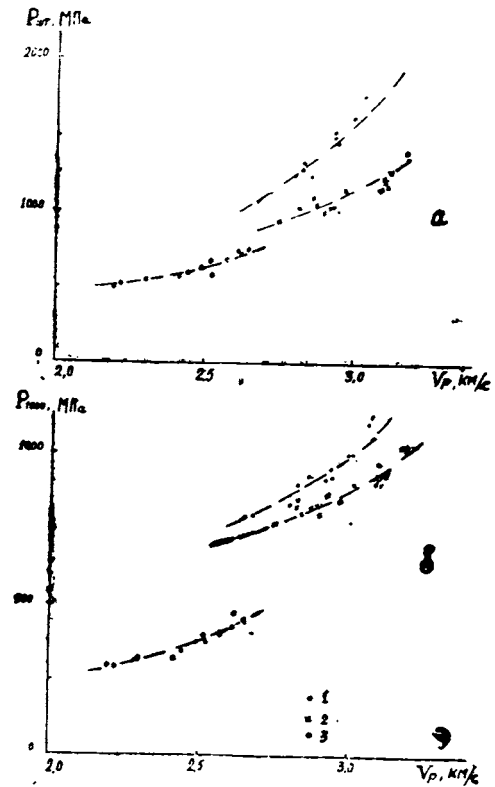


Рис. 4. Связь между  $P_{шт}$  (а) и  $P_{1000}$  при напряжении на уровне деформации  $\epsilon=1$  мм (б) и скоростью  $v_p$  для фельзитовых туфов. 1.— $\Phi$ -1-1; 2.— $\Phi$ -4-1; 3.— $\Phi$ -ор.

Здесь имеет место, по-видимому, вышерассмотренный механизм, т. е. гигроскопичная влажность снижает  $v_p$  вследствие увеличения сжимаемости трещин. Последнее связано с уменьшением напряжения на концах микротрещин. Ослабление трещин, естественно, должно понижать прочность системы и увеличить возможную деформацию при заданных напряжениях.

Таким образом, процесс влияния насыщения на  $v_p$  и  $P_{шт}$  можно делить на 3 стадии. На первой стадии при адсорбции воды на концах трещин увеличивается их сжимаемость, приводящая к уменьшению прочности и скорости распространения волн. На второй—при постепенном насыщении гранулярных пор жидкостью увеличивается плотность и соответственно уменьшается скорость. На заключительной стадии при полном насыщении трещин происходит резкое увеличение модуля упругости и скорости  $v_p$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Байдюк Б. В., Павлова Н. Н. О механизме деформации и разрушения горных пород при вдавливании в различных условиях.—Сб.: Механические свойства горных пород при вдавливании и их практическое применение. ВНИИОЭНГ, 1966.
2. Павлова Н. Н., Шрейнер Л. А. Механизм разрушения горных пород и некоторые вопросы проектирования долот для твердых, хрупких и пластично-хрупких пород.—Тр. Института нефти АН СССР, Изд-во АН СССР, т. XI, 1958.
3. Павлова Н. Н., Шрейнер Л. А., Портнова А. Т. Экспериментальные исследования механических свойств горных пород при динамическом вдавливании.—Сб.: Вопросы деформации и разрушения горных пород при бурении. ГОСИНТИ, 1961.
4. Шрейнер Л. А. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. М.: Гостоптехиздат, 1958, с. 158.
5. Шрейнер Л. А. и др. Применение метода вдавливания для установления сопротивления горных пород разрушению при бурении и качественной оценки пластичности горных пород.—Сб.: Экспериментальные исследования в области разработки глубоких нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 1964.
6. Беликов Б. П. Упругие и прочностные свойства горных пород.—Тр. Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР, вып. 43. Изд-во АН СССР, 1961.
7. Ляховицкий Ф. М., Полтева М. Н. Экспериментальные исследования по определению предела прочности горных пород на сжатие по упругим характеристикам. Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М.: Наука, 1968, с. 211—215.
8. Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. М.: Недра, 1967, с. 438.
9. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкевич З. Б. Петрофизика осадочных пород в глубинных условиях. М.: Недра, 1978.
10. Авчян Г. М. Физические свойства осадочных горных пород при высоких давлениях и температурах. М.: Недра, 1972.
11. Авчян Г. М., Арутюнян Р. А., Манукян А. В., Маркосян Г. В., Татевосян Л. К. Влияние флюида на скорость  $v_p$  и  $v_s$  фельзитовых туфов Армении.—Изд. АН Арм. ССР: Наука о земле, 1985, № 5.
12. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. (Петрофизика). Справочник геофизика. Под ред. Н. Б. Доргман, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1964, с. 455.

## Հ. Մ. ԱՎՉՅԱՆ, Գ. Վ. ՄԱՐԿՍՅԱՆ

**ՀԻԳՐՈՍԿՈՊԻԿ ԽՈՆԱՎՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՖԵԼՍԻՏԱՅԻՆ  
ՏՈՒՖՆԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԸՍՏ ՇՏԱՄՊԻ**

## Ա մ փ ո փ ո մ

Փորձնականորեն հաստատված է, որ հիգրոսկոպիկ խոնավությունը ազդում է ֆելզիտային տուֆերի ամրության վրա՝ որոշված շտամպի ներդրման մեթոդով: Հիգրոսկոպիկ խոնավությունը փոքրացնում է ինչպես ամրությունը, այնպես էլ ուլտրաձայնային ալիքների տարածման արագությունը: Հիգրոսկոպիկ խոնավության ազդեցությունը միկրոճեղքերի վերջավորություններում կամ կապակցված (ՏՄԿՈՎՅԱ) ջրի գոտիններում լարումների բաշխման բնույթի վրա կանխորոշում է ամրության փոքրացումը:

Լարումների փոքրացումը հանգեցնում է միկրոճեղքերի սեղմելիության մեծացման, որի հետևանքով փոքրանում է ինչպես ապարի ամրությունը, այնպես էլ երկայնական ալիքների տարածման արագությունը: