

СПРАВОЧНИК
ПО ФИЗИЧЕСКИМ
СВОЙСТВАМ
МИНЕРАЛОВ
И ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРАХ

СПРАВОЧНИК
ПО ФИЗИЧЕСКИМ
СВОЙСТВАМ
МИНЕРАЛОВ
И ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРАХ

Под редакцией доктора физ.-мат. наук
М. П. ВОЛАРОВИЧА



МОСКВА «НЕДРА» 1978



0750

Справочник по физическим свойствам минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах. М., «Недра», 1978, 237 с.

Представлены результаты измерений физических свойств горных пород и породообразующих минералов при высоких давлениях и температурах, полученные в ряде лабораторий Советского Союза для образцов, отобранных в различных регионах СССР. Приведены данные о плотностных, упругих, электрических, тепловых, деформационных и прочностных свойствах изверженных и метаморфических горных пород, минералов разного состава, а также осадочных пород — коллекторов нефти и газа.

Справочник предназначен для геофизиков, геологов, геохимиков, специалистов горного дела и может быть полезен преподавателям и студентам высших учебных заведений геофизических, геологических и горных специальностей.

Табл. 49, ил. 34, список литературы — 118 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для решения многих проблем в геофизике, геологии, геохимии, горном деле и других областях наук о Земле необходимо знание физических свойств горных пород в различных интервалах высоких давлений и температур. Результаты опытов, выполненных в лаборатории, позволяют при интерпретации данных полевых наблюдений, проведенных вблизи поверхности земли, решать ряд задач строения и состава земных недр, недоступных прямому наблюдению, и пролить свет на те процессы, которые протекают в глубинах Земли.

Наблюдения естественных геофизических полей с привлечением экспериментальных работ в области физики Земли, проведенных в полевых условиях различными методами (сейсмология, гравиметрия, магнитометрия, электрометрия и геотермика, а также методы геофизической разведки), с учетом данных геологии дают возможность с различной точностью сделать заключение о свойствах горных пород в земной коре и верхней мантии Земли. Однако для того, чтобы высказать соображения о том, какие реальные горные породы и минеральные ассоциации залегают в слоях и блоках недр Земли в определенных регионах, необходимо знать закономерности изменения физических свойств горных пород и минералов в глубинах. С этой целью в лабораториях с помощью установок высокого давления определяют их упругие, плотностные, электрические и другие свойства в тех термодинамических условиях, которые существуют на разных глубинах в земной коре и мантии. В зависимости от того, какие глубины Земли изучаются, следует применять различные лабораторные методы и исследовать различные типы минерального вещества. При изучении самого верхнего слоя земной коры надо исследовать осадочные породы при давлениях до 2 кбар и температуре до 100°C и выше. При определении состава гранитного и базальтового слоев коры Земли используются данные для кислых, основных изверженных и метаморфических пород при давлениях до 15 кбар и температурах до 800°C , а при интерпретации верхней мантии — для ультраосновных пород (перидотитов и пироксенитов, мантийных эклогитов) и ряда минералов при давлениях 40—50 кбар и выше и температурах 1000°C и выше.

В настоящее время справочная литература по физическим свойствам горных пород при высоких термодинамических параметрах необходима широкому кругу специалистов, работающих в области наук о Земле, при выполнении научных работ в лабораторных и полевых условиях, при интерпретации полевых

наблюдений естественных явлений природы, при геолого-геофизических разведочных региональных работах и при поисках полезных ископаемых, в промысловой геофизике, в частности при бурении сверхглубоких скважин.

История возникновения и развития исследований физических свойств минерального вещества Земли при высоких термодинамических параметрах изложена в книге [89]. В пятидесятых годах экспериментальные работы по изучению упругих, плотностных, электрических, деформационных и прочностных свойств горных пород при высоких термодинамических параметрах стали развиваться в СССР и получили дальнейшее развитие в США, а в шестидесятых годах появились в ряде других стран: Англии, ГДР, ЧССР, ФРГ, Франции, Японии и других.

Результаты измерений физических свойств горных пород, проведенных в атмосферных условиях, хорошо представлены в ряде справочников, изданных в СССР и за рубежом [17, 68, 69, 93]. Однако в справочниках [17, 69] приведено мало данных советских авторов, а в справочнике [93] недостаточно сведений о физических свойствах горных пород и минералов при высоких термодинамических параметрах. Поэтому возникла необходимость опубликования настоящего справочника.

Наибольшее число данных получено в различных интервалах давлений для упругих, электрических и деформационно-прочностных свойств изверженных и метаморфических пород, а также для осадочных пород — коллекторов нефти и газа. Глава, посвященная тепловым свойствам горных пород, имеет небольшой объем из-за недостатка экспериментальных данных. Мало данных пока о магнитных свойствах горных пород и минералов, хотя они имеют важное значение для геомагнетизма и магниторазведки. Обобщение этих данных в качестве справочного материала весьма затруднительно, поэтому они не отражены в справочнике.

В справочнике приведены только физические параметры горных пород и минералов и не помещены материалы, характеризующие физико-химические свойства минерального вещества Земли. Параметры полиморфных превращений в минералах и плавления минералов и горных пород в условиях высоких давлений, а также характеристики вязкости и плотности их в расплавленном состоянии, полученные нами до 1941 г., не приведены. Соответствующие данные имеются в справочниках [17, 69].

**ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ
В СПРАВОЧНИКЕ, И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕВОДА ИХ В СИСТЕМУ СИ**

Величина	Единицы, используемые в справочнике	Система СИ	Переводный множитель*
Температура	°C	К	+ 273,16
Скорость	км/с	м/с	10^{-3}
Плотность	г/см ³	кг/м ³	10^3
Давление, напряжение	кбар	Па	10^8
Удельная теплоемкость	Дж/(кг · К)	Дж/(кг · К)	1
Теплопроводность	Вт/(м · К)	Вт/(м · К)	1
Температуропроводность	м ² /с	м ² /с	1
Коэффициент проницаемости	мД	м ²	$1,02 \cdot 10^{-15}$
Удельное электрическое сопротивление	Ом · м	Ом · м	1
Модуль Юнга, модуль сдвига	Мбар	Па	10^{11}
Коэффициент сжимаемости	Мбар ⁻¹	Па ⁻¹	10^{-11}
Энергия активации	эВ	Дж	$1,602 \cdot 10^{-19}$
Коэффициент пористости	%	%	1
Коэффициент поглощения	см ⁻¹	м ⁻¹	10^{-2}

* За исключением температуры, где К=°C+273,16.

Глава I

ПЛОТНОСТЬ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

Под плотностью горных пород и породообразующих минералов следует понимать объемную плотность, т. е. величину массы на единицу объема, который включает поры и микротрещины. Минеральная плотность отражает плотность минерального вещества, слагающего горную породу. По разности между объемной и минеральной плотностями определяют пористость горной породы (в %):

$$k_p = [1 - (\delta/\delta_m)] \cdot 100,$$

δ — объемная плотность, δ_m — минеральная плотность.

С повышением давления за счет уменьшения объема плотность увеличивается согласно соотношению

$$\delta = \delta_0 / (1 - \Delta V/V_0),$$

где δ_0 и V_0 — соответственно плотность и объем при атмосферном давлении; ΔV — изменение объема с увеличением давления.

В условиях высокого давления плотность образцов горных пород определяют статическим методом (например, метод смещения поршня [89, 104]) или рассчитывают на основании данных о начальной плотности и сжимаемости, вычисленной по значениям скоростей распространения продольных и поперечных волн (динамический метод). В табл. 1 и 2 приведены данные о плотности, полученные статическим методом, в табл. 3 — вычисленные значения плотности с использованием данных динамического метода.

Таблица 1

Плотность δ минералов (в г/см³) при различных давлениях p [19]

Порода	Место отбора образца	δ при p , кбар				
		0,001	1	5	10	15
Ангидрит (поликристалл)	—	2,41	2,430	2,456	2,490	2,510
Арагонит (поликристалл)	—	2,91	2,920	2,952	2,982	2,996
Бронзит (поликристалл)	Кольский полуостров	3,24	3,244	3,256	3,270	3,290
Бронзит (монокристалл)	—	3,24	—	3,255	3,268	3,282
Галит (поликристалл)	БССР, Припятская впадина	2,10	2,120	2,168	2,228	2,285
		2,11	2,140	2,180	2,235	2,292
		2,08	2,090	2,115	2,148	2,180
		2,16	2,170	2,203	2,245	2,285

Порода	Место отбора образца	δ при p, кбар				
		0,001	1	5	10	15
Геденбергит	Урал	3,51	3,520	3,539	3,565	3,578
		3,39	3,400	3,418	3,436	3,442
Диопсид	Кольский полуостров	3,22	3,230	3,250	3,268	—
		3,19	3,202	3,223	3,241	—
Жадеит (поликристалл)	КиргССР	3,22	3,239	3,259	3,270	3,272
		3,21	3,231	3,251	3,263	3,267
Кальцит	КазССР, Саяк	2,50	2,535	2,570	2,590	2,600
		2,70	2,715	2,740	2,752	2,767
		2,67	2,674	2,687	2,706	2,722
Кварц искусственный	—	2,47	2,476	2,503	2,543	2,562
		2,65	2,655	2,678	2,723	2,735
		2,58	2,588	2,613	2,625	2,637
		2,58	2,594	2,608	2,630	2,639
		2,63	2,638	2,660	2,693	2,708
Кварц	Приполярный Урал	2,63	2,638	2,660	2,693	2,708
		2,69	2,697	2,721	2,759	2,795
Кварц (монокристалл)	—	2,65	—	2,68	2,72	2,75
Нефелин	Урал, Вишневые горы	2,60	2,615	2,625	2,660	2,675
		2,62	2,625	2,647	2,675	2,688
Оливин (поликристалл)	Кольский полуостров	3,28	3,284	3,295	3,318	3,324
Оливин (монокристалл)	—	3,32	—	3,34	3,35	3,36
Оливин (поликристалл)	Полярный Урал	3,27	3,287	3,303	3,329	3,350
Пирит	—	4,76	4,764	4,792	4,835	4,853
Полевые шпаты						
Лабрадор* (монокристалл)	Кольский полуостров	2,68	—	2,70	2,71	2,73
Микроклин* (монокристалл)	То же	2,56	—	2,58	2,61	2,62
Олигоклаз* (монокристалл)	»	2,63	—	2,65	2,67	2,69
Роговая обманка	Урал, Первоуральский карьер	3,06	3,078	3,090	3,093	3,095
		3,08	3,101	3,120	3,127	3,133
Сильвин (поликристалл)	Прикаспийская впадина	1,97	2,040	2,065	2,167	2,220
Сподумен	Канада	3,09	3,103	3,118	3,132	3,131
Эгирин	Кольский полуостров, Хибиньы	3,53	3,560	3,591	3,613	3,628

* Приведены усредненные значения для монокристалла.

Таблица 2

Плотность δ горных пород (в г/см³) при различных давлениях p

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ при p , кбар					Источник
			0,001	1	5	10	15	
			Амфиболит	1760	Центральный Казахстан	3,150	3,171	
»	1831	То же	3,016	3,039	3,052	3,056	3,060	[87]
»	—	»	3,011	3,016	3,036	3,059	3,072	[89]
Габбро	—	»	3,010	3,049	3,091	3,098	3,101	[87]
»	—	»	2,910	2,933	2,954	2,956	2,957	[87]
Габбро-долерит	3030/20	Воронежский кристаллический массив (ВКМ)	3,030	3,030	3,050	3,070	3,090	[15]
Габбро-норит	3030/34	То же	2,930	2,950	2,975	3,010	3,250	[15]
То же	2910/3	»	2,870	2,950	2,970	3,000	3,025	[15]
»	2908/2	»	3,410	3,420	3,445	3,470	3,495	[15]
»	7101/365	»	2,920	2,930	2,940	2,960	2,980	[15]
»	7101/346	»	2,940	2,950	2,970	2,990	3,015	[15]
Гнейс	1835	Центральный Казахстан	2,660	2,708	2,724	2,728	2,730	[87]
»	1833	То же	2,780	2,841	2,879	2,901	2,914	[87]
»	461	»	2,910	2,945	2,971	2,982	2,987	[87]
Горнблендит	—	»	3,340	3,377	3,414	3,417	3,419	[87]
Гранит	1774	»	2,620	2,649	2,675	2,684	2,692	[87]
Гранит лейкократовый	1776	»	2,620	2,658	2,674	2,689	2,701	[87]
Гранит (пегматит)	—	»	2,620	2,643	2,667	2,675	2,680	[87]
Гранит (аплит)	—	»	2,590	2,618	2,637	2,641	2,644	[87]
Гранит	1163	»	2,590	2,620	2,636	2,644	2,650	[87]
»	14	ВКМ	2,650	2,650	2,680	2,700	2,720	[89]
»	1160	Центральный Казахстан	2,600	2,630	2,656	2,665	2,675	[87]
Гранит биотитовый	1775	То же	2,650	2,662	2,682	2,694	2,702	[87]
Гранит-порфир	1786	»	2,580	2,613	2,615	2,619	—	[87]
Гранит аплитовый	1782	»	2,550	2,600	2,627	2,640	2,648	[87]
Гранодиорит	1164	»	2,780	2,812	2,829	2,834	2,838	[87]
Гранодиоритогнейс	16 ^a	ВКМ	2,670	2,670	2,690	2,710	2,730	ИФЗ
Диорит (банатит)	1819	Центральный Казахстан	2,900	2,924	2,940	2,943	2,944	[87]

Продолжение табл. 2

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ при p , кбар					Источник
			0,001	1	5	10	15	
			Диорит кварцевый	1771	Центральный Казахстан	2,820	2,837	
Диорит	1773	То же	2,710	2,750	2,754	2,756	2,757	[87]
Сланец карбонат-кварц-хлоритовый	1754	»	2,790	2,832	2,861	2,870	2,874	[87]
Сланец-кварц-гранат-слюдистый	1845	»	2,850	2,881	2,902	2,907	2,910	[87]
Сланец кварц-эпидот-хлоритовый	1761	»	2,890	2,925	2,948	—	—	[87]
Сланец мусковит-кварцевый	—	»	2,730	2,832	2,852	2,859	2,863	[87]
Сланец хлорит-кварцевый	—	»	2,890	2,939	2,975	2,989	2,995	[87]
Сланец двуслюдистый	1757	»	2,650	2,685	2,724	2,738	2,751	[37]
Сланец дистенослюдистый	—	»	2,771	2,777	2,785	2,833	2,856	[89]
Сланец кварц-гранат-слюдистый	—	»	2,850	2,872	2,903	2,907	—	[89]
Сланец кварц-мусковитовый	—	»	2,710	2,760	2,790	2,807	2,816	[89]
Сланец кварц-слюдяной	—	»	2,760	2,765	2,789	2,820	2,840	[89]
Сланец полевошпатовый	—	»	2,650	2,687	2,717	2,720	2,721	[37]
Перидотит	1790	»	3,110	3,122	3,156	3,160	3,163	[87]
»	1791	»	3,050	3,105	3,135	3,137	3,138	[87]
Пироксенит	1137	»	3,250	3,273	3,295	3,299	3,302	[87]
»	606	ВКМ	3,256	3,250	3,265	3,280	3,290	[15]
»	509	»	3,200	3,210	3,220	3,230	3,230	[15]
Пироксенит слюдистый	4158	Юг Сибирской платформы	3,100	3,102	3,126	3,130	—	ИФЗ
Плагиогнейс	4256	Прибайкалье	2,66	2,70	2,73	2,76	2,77	ИФЗ

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ при p , кбар					Источник
			0,001	1	5	10	15	
Эклогит	1592	Южный Урал	3,225	3,233	3,248	3,263	3,276	[21]
То же	1594	То же	3,349	3,357	3,373	3,386	3,399	[21]
»	1600	»	3,388	—	3,396	3,414	3,426	[21]
»	1602	»	3,261	3,268	3,278	3,290	3,297	[21]
»	1596	»	3,034	—	3,066	3,106	3,173	[21]

Степень возрастания плотности с увеличением давления зависит от минерального состава и начальной пористости пород. Однако влияние структурных неоднородностей (микрощелевых пор и т. п.) на изменение плотности под давлением незначительно.

Как видно из табл. 1, диапазон значений плотности минералов очень велик, для изверженных и метаморфических пород (табл. 2 и 3) он существенно меньше. Как правило, плотность минералов мало изменяется с увеличением давления, а среди горных пород наибольшее изменение плотности наблюдается для метаморфических и кислых изверженных пород. При повышении давления до 20 кбар возрастание плотности для них составляет 2—5%, для габбро — 2—3%, для ультраосновных пород — от долей процента до 2% [89].

Таблица 3

Плотность δ горных пород (в г/см³) Украинского щита при различных квазигидростатических давлениях p (ИГАН УССР)

Порода	Место отбора образца	k_p , %	δ при p , кбар				
			0,001	0,5	1	2	5
Гранит осницкий	Клесово	1,3	2,740	2,742	2,743	2,746	2,756
Гранит порфири- видный	Кировоград	—	2,640	2,642	2,645	2,650	2,664
То же	Пугачевка	—	2,631	2,633	2,636	2,641	2,656
Гранит рапакиви	Корсунь- Шевчен- ковский	0,3	2,661	2,663	2,666	2,673	2,690
Гранит среднезерни- стый	Богуслав	1,4	2,641	2,642	2,644	2,648	2,659
Диабаз	Клесово	—	3,016	3,018	3,021	3,026	3,037
Диорит	Ракитное	0,2	2,850	2,851	2,854	2,857	2,868
»	Тригурье	0,3	2,779	2,781	2,784	2,788	2,801
Кварцит	Овруч	—	2,650	2,653	2,657	2,663	2,681
Лабрадорит	Слипчинцы	0,2	2,760	2,761	2,763	2,767	2,777
Собит среднезернистый	Калинино	1,4	2,720	2,722	2,725	2,729	2,743
Чарнокит	Хошеватое	0,5	2,720	2,722	2,724	2,728	2,739
Чарнокит среднезер- нистый	Черневы	1,5	2,640	2,642	2,645	2,648	2,661
Эклогитоподобная по- рода	Хошеватое	1,3	3,660	3,661	3,663	3,666	3,673

Глава II

УПРУГИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

Горные породы как твердые тела обладают способностью сопротивляться изменению формы и объема под действием механических напряжений, т. е. они обладают упругостью. Основными характеристиками упругих свойств тел являются модуль Юнга E , модуль сдвига G , коэффициент сжимаемости β , коэффициент Пуассона ν , скорости распространения упругих продольных v_p и поперечных v_s волн. На величины упругих характеристик и особенно на их изменение с увеличением давления оказывает влияние пористость.

Упругие характеристики твердых тел определяют статическими и динамическими методами. Статические методы основаны на измерении деформаций под влиянием напряжений при различных видах нагружения образцов. Динамические методы служат для непосредственного измерения скоростей распространения упругих волн в образцах.

§ 1. КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ

Коэффициент сжимаемости определяет изменение объема горной породы под влиянием давления. Изотермическую объемную сжимаемость β рассчитывают по отношению $\beta = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$. Метод смещения поршня (статический) [89, 104] позволяет определять декремент объема $\Delta V/V_0$ на каждом этапе повышения давления. В этом случае β получают в результате графического дифференцирования кривой зависимости декремента объема от давления. В табл. 4 и 5 приведены данные, полученные этим методом.

Коэффициент сжимаемости можно рассчитать по значениям скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн (динамический метод). Результаты такого расчета приведены в табл. 6 и 7.

Декремент объема $\Delta V/V_0$ и коэффициент сжимаемости β (в Мбар⁻¹) изверженных, метаморфических пород и минералов при различных давлениях p

Порода	Номер образца	Место отбора образца	Параметр	$\Delta V/V_0$ и β при p , кбар								Источник
				0,3	0,5	1	5	10	15	20	25	
Амфиболит	341	Урал	$\Delta V/V_0$	0,0003	0,001	0,003	0,006	0,012	0,015	0,021	0,025	[89]
	—		β	2,91	1,85	1,43	1,03	0,91	0,89	0,87	0,85	[89]
Галит	—	Прикаспийская впадина	$\Delta V/V_0$	—	—	0,010	0,011	0,025	—	—	—	[19]
Гранит	112	Урал	$\Delta V/V_0$	0,002	0,003	0,004	0,011	0,022	0,030	0,041	0,048	[89]
			β	4,31	2,76	2,51	2,25	2,06	1,99	1,91	1,89	[89]
Пироксенит оливковый	469	Кольский полуостров	$\Delta V/V_0$	0,0005	0,0009	0,0012	0,003	0,007	0,0095	0,013	0,016	[89]
			β	1,35	0,99	0,80	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60	[89]
Сильвин	—	Прикаспийская впадина	$\Delta V/V_0$	0,005	0,011	0,015	0,045	0,081	—	—	—	[19]

Коэффициент сжимаемости β (в Мбар⁻¹) метаморфических
и магматических пород
при различных давлениях p

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	β при p , кбар					Источник
			0,05	0,1	0,2	0,5	1	
Амфиболит	Кольский полу- остров, Широкая гора	2,03	7,0	5,5	4,2	3,0	2,1	[58]
Гнейс биотитовый	Кольский полу- остров, Алларе- ченский	1,06	8,0	7,5	6,5	4,3	2,6	[58]
Гнейс амфибол- биотитовый	Кольский полу- остров, Партер	0,83	7,6	7,0	5,2	3,7	3,0	[58]
Гнейс биотитовый с гранатом	Кольский полу- остров, гора Ши- рокая	0,55	11,2	8,5	5,2	3,6	2,9	[58]
Гранито-гнейс	Кольский полу- остров, Партер	1,20	13,5	7,0	5,7	4,0	2,0	[58]
Гнейс амфибол- биотитовый	Татария, Минни- баево	2,2	14,4	10,2	9,5	8,0	—	ИГиРГИ
Гнейс гранат-био- титовый	То же	1,3	20,0	15,0	12,0	10,0	—	»
То же	»		20,0	17,0	13,0	6,5	—	»
Гнейс биотит-амфи- боловый	»	2,2	14,4	10,2	9,0	6,0	—	»
Гранодиорит	»	3,5	9,8	3,5	4,4	2,0	—	»
Гранит плагиокла- зовый	Кольский полу- остров, гора Ши- рокая	2,2	9,0	8,8	8,5	4,5	2,8	»
Диабаз	Татария, Минни- баево	3,45	35,0	25,0	21,0	9,8	5,3	»
Пироксенит оливи- новый	Кольский полу- остров, Райсойви	0,99	9,7	6,5	3,6	2,9	2,2	[58]

Скорости распространения продольных v_p и поперечных v_s волн (в км/с), модуль Юнга E (в Мбар), модуль сдвига G (в Мбар), коэффициент Пуассона ν , коэффициент сжимаемости β (в Мбар⁻¹) горных пород при различных давлениях p

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	Параметр	v_p, v_s, E, G, ν и β при p , кбар							Источник	
					0,001	0,5	1	2	5	10	15		
Кислые и средние породы													
Гранит	14	ВКМ	2,65	v_p	5,24	5,80	6,00	6,18	6,32	6,42	6,56	[89]	
					v_s	3,32	3,66	3,70	3,70	3,71	3,73		3,78
					E	0,680	0,830	0,866	0,885	0,903	0,918		0,950
					G	0,292	0,360	0,363	0,363	0,365	0,369		0,379
					ν	0,16	0,18	0,19	0,22	0,24	0,25		0,25
					β	2,96	2,41	2,12	1,91	1,75	1,67		1,58
То же	16	»	2,67	v_p	5,40	6,10	6,33	6,50	6,62	6,73	6,83	[89]	
					v_s	3,27	3,54	3,622	3,63	3,63	3,66		3,69
					E	0,694	0,832	0,876	0,896	0,905	0,924		0,942
					G	0,286	0,335	0,350	0,352	0,352	0,358		0,363
					ν	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13		0,13
					β	2,50	1,83	1,66	1,52	1,43	1,36		1,32
»	535	Северный Кавказ, Садон	2,63	v_p	3,96	5,13	5,48	5,94	6,07	—	—	[14]	
					v_s	2,55	3,20	3,42	3,74	3,82	—		—
					E	0,390	0,637	0,726	0,862	0,901	—		—
					G	0,171	0,269	0,307	0,368	0,384	—		—
					ν	0,14	0,18	0,18	0,17	0,17	—		—
					β	5,45	3,00	2,63	2,29	2,20	—		—
Гранит порфири- видный	530	Северный Кавказ, Кассарское ущелье	2,68	v_p	4,43	5,00	5,42	5,79	5,93	—	—	[14]	
					v_s	2,73	3,08	3,34	3,56	3,61	—		—
					E	0,479	0,604	0,718	0,812	0,841	—		—
					G	0,200	0,254	0,299	0,340	0,348	—		—
					ν	—	—	—	—	—	—		—
					β	—	—	—	—	—	—		—

Гранодиорит	248	Украина, г. Хмельницкий	2,73	ν	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20	—	—	[14]	
					β	3,85	3,03	2,56	2,24	2,10	—		—
					v_p	5,30	5,80	5,86	5,91	5,98	—		—
					v_s	3,41	3,55	3,65	3,68	3,71	—		—
					E	0,725	0,826	0,854	0,873	0,894	—		—
					G	0,317	0,344	0,364	0,370	0,376	—		—
Сиенит	31	Урал, гора Благодать	2,71	ν	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	—	—	[14]	
					β	2,91	2,29	2,22	2,17	2,10	—		—
					v_p	5,05	5,52	5,74	5,88	5,97	—		—
					v_s	3,02	3,27	3,40	3,49	3,54	—		—
					E	0,600	0,717	0,768	0,810	0,837	—		—
					G	0,247	0,290	0,313	0,330	0,340	—		—
Чарнокит	249	Украина, г. Виров	2,69	ν	0,22	0,24	0,23	0,23	0,23	—	—	[14]	
					β	2,78	2,27	2,11	2,01	1,95	—		—
					v_p	5,55	5,93	6,12	6,12	6,12	—		—
					v_s	3,61	3,72	3,78	3,78	3,78	—		—
					E	0,794	0,877	0,914	0,914	0,914	—		—
					G	0,351	0,372	0,384	0,384	0,384	—		—

Основные породы

Габбро	252	Северная Карелия, Шаршутиха	3,09	v_p	6,30	6,52	6,65	6,82	6,92	—	—	[14]	
					v_s	3,70	3,84	4,00	4,02	4,05	—		—
					E	1,047	1,128	1,205	1,229	1,255	—		—
					G	0,423	0,456	0,494	0,499	0,507	—		—
					ν	0,24	0,24	0,22	0,23	0,24	—		—
					β	1,51	1,42	1,38	1,30	1,24	—		—
Габбро амфиболо- вое	—	Кольский полуостров, Луостари	3,04	v_p	5,80	6,40	6,75	6,94	7,08	—	—	[29]	
					v_s	3,60	3,77	3,80	3,85	3,93	—		—
					E	0,931	1,069	1,111	1,151	1,200	—		—
					G	0,394	0,432	0,439	0,451	0,470	—		—

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	Пара-метр	v_p, v_s, E, G, ν и β при p , кбар						Источ-ник	
					0,001	0,5	1	2	5	10		15
Габбро амфиболо-вое	—	Кольский полу-остров, Луостари	3,04	ν β	0,18	0,24	0,27	0,28	0,28	—	—	[29]
					2,01	1,49	1,25	1,16	1,11	—	—	
Габбро-долерит	3030/20	ВКМ	3,03	v_p v_s E G ν β	6,43	6,64	6,70	6,72	6,77	6,85	6,97	[89]
					3,70	3,72	3,74	3,76	3,78	3,81	3,85	
					1,039	1,065	1,080	1,089	1,098	1,123	1,150	
					0,415	0,419	0,424	0,428	0,433	0,440	0,449	
					0,25	0,27	0,27	0,27	0,26	0,27	0,28	
					1,43	1,29	1,26	1,22	1,19	1,16	1,14	
Габбро-норит	2910/3	»	2,87	v_p v_s E G ν β	6,24	6,82	7,07	7,09	7,24	7,40	7,56	[89]
					3,70	4,01	4,10	4,15	4,21	4,26	4,29	
					0,966	1,14	1,20	1,22	1,27	1,30	1,33	
					0,393	0,461	0,482	0,494	0,508	0,521	0,528	
					0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,26	
					1,68	1,39	1,33	1,28	1,21	1,14	1,10	
То же	2908/2	»	3,41	v_p v_s E G ν β	5,78	6,42	6,65	6,70	6,76	6,85	6,94	[89]
					3,50	3,68	3,75	3,76	3,78	3,82	3,85	
					1,012	1,159	1,223	1,225	1,239	1,269	1,269	
					0,418	0,462	0,479	0,482	0,487	0,498	0,505	
					0,21	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	
					1,72	1,25	1,14	1,13	1,10	1,07	1,05	
»	3/97	Кольский полу-остров, Панский массив	2,96	v_p v_s E G ν β	7,05	7,13	7,18	7,25	7,35	7,42	7,48	[56]
					3,84	3,86	3,88	3,92	4,00	4,04	4,08	
					0,954	1,141	1,157	1,178	1,223	1,249	1,271	
					0,436	0,441	0,446	0,455	0,474	0,483	0,493	
					0,29	0,29	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	
					1,33	1,09	1,07	1,05	1,03	1,01	1,00	

2750

Габбро-норит	3/60	Кольский полу-остров, Панский массив	2,96	v_p v_s E G ν β	6,67	6,75	6,80	6,88	7,00	7,10	7,18	[56]
					3,70	3,74	3,76	3,78	3,82	3,91	3,96	
					1,036	1,058	1,070	1,087	1,110	1,161	1,188	
					0,405	0,414	0,418	0,423	0,432	0,453	0,468	
					0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	
					1,29	1,26	1,23	1,20	1,15	1,12	1,10	
То же	3/291	То же	2,96	v_p v_s E G ν β	6,87	6,94	6,98	7,03	7,13	7,26	7,32	[56]
					3,84	3,85	3,87	3,90	3,96	4,02	4,07	
					1,109	1,120	1,133	1,151	1,188	1,226	1,251	
					0,436	0,439	0,443	0,450	0,464	0,478	0,490	
					0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	
					1,23	1,19	1,18	1,16	1,13	1,08	1,08	
»	3/10	»	2,91	v_p v_s E G ν β	5,92	6,60	6,82	6,95	7,06	7,18	7,30	[56]
					3,53	3,65	3,79	3,81	3,84	3,90	3,96	
					0,889	0,939	1,067	1,085	1,107	1,144	1,178	
					0,363	0,367	0,418	0,422	0,429	0,443	0,456	
					0,22	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	
					1,86	1,41	1,25	1,19	1,14	1,10	1,06	
»	3/40	»	2,94	v_p v_s E G ν β	5,90	6,35	6,65	6,80	6,92	7,05	7,18	[56]
					3,40	3,61	3,72	3,78	3,85	3,94	4,02	
					0,852	0,966	1,036	1,072	1,112	1,161	1,208	
					0,340	0,383	0,407	0,420	0,436	0,456	0,475	
					0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	
					1,75	1,48	1,32	1,25	1,21	1,17	1,13	
»	3/321	»	2,88	v_p v_s E G ν β	6,32	6,80	7,02	7,12	7,22	7,30	7,36	[56]
					3,76	3,82	3,93	4,00	4,05	4,09	4,12	
					0,998	1,066	1,130	1,171	1,199	1,226	1,244	
					0,407	0,420	0,445	0,461	0,472	0,482	0,489	
					0,22	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	
					1,65	1,30	1,22	1,18	1,15	1,12	1,10	



Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	Параметр	v_p, v_s, E, G, ν и β при p , кбар						Источник	
					0,001	0,5	1	2	5	10		15
Габбро-норит	3/164	Кольский полуостров, Панский массив	2,90	v_p	6,50	6,70	6,80	6,90	7,00	7,12	7,22	[56]
				v_s	3,70	3,71	3,72	3,76	3,80	3,86	3,90	
				E	1,001	1,021	1,032	1,057	1,079	1,116	1,141	
				G	0,397	0,399	0,401	0,410	0,418	0,432	0,441	
				ν	0,26	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	
				β	1,44	1,30	1,24	1,20	1,16	1,12	1,08	
Норит	468	Кольский полуостров, г. Нюд	3,15	v_p	6,75	6,96	7,04	7,05	7,05	—	—	[14]
				v_s	3,52	3,58	3,60	3,65	3,65	—	—	
				E	1,024	1,067	1,079	1,103	1,125	—	—	
				G	0,390	0,404	0,408	0,419	0,429	—	—	
				ν	0,31	0,32	0,32	0,31	0,31	—	—	
				β	1,09	1,01	0,98	0,98	0,98	—	—	
То же	40	Кольский полуостров, Сопча	2,94	v_p	5,80	6,30	6,55	6,68	6,80	—	—	[29]
				v_s	3,40	3,54	3,64	3,73	3,80	—	—	
				E	0,839	0,934	0,993	1,042	1,079	—	—	
				G	0,339	0,368	0,389	0,409	0,424	—	—	
				ν	0,23	0,26	0,27	0,27	0,27	—	—	
				β	1,87	1,48	1,35	1,30	1,26	—	—	
»	41	То же	2,94	v_p	6,10	6,50	6,63	6,72	6,83	—	—	[29]
				v_s	3,50	3,60	3,67	3,70	3,76	—	—	
				E	0,903	0,974	1,013	1,031	1,064	—	—	
				G	0,360	0,381	0,396	0,402	0,415	—	—	
				ν	0,25	0,27	0,27	0,28	0,28	—	—	
				β	1,63	1,36	1,31	1,26	1,22	—	—	
»	42	»	2,96	v_p	6,65	7,00	7,12	7,18	7,25	—	—	[29]
				v_s	3,85	3,95	4,00	4,00	4,05	—	—	
				E	1,096	1,168	1,203	1,212	1,236	—	—	
				G	0,439	0,462	0,474	0,475	4,486	—	—	
				ν	0,25	0,26	0,27	0,28	0,27	—	—	
				β	1,38	1,20	1,15	1,12	1,10	—	—	
»	43	»	2,96	v_p	6,40	6,90	7,05	7,10	7,18	—	—	[29]
				v_s	3,70	3,90	3,94	3,96	4,00	—	—	
				E	1,010	1,136	1,168	1,186	1,212	—	—	
				G	0,405	0,450	0,459	0,464	0,474	—	—	
				ν	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	—	—	
				β	1,49	1,24	1,17	1,15	1,12	—	—	
»	44	»	2,95	v_p	6,24	6,67	6,84	6,92	7,00	—	—	[29]
				v_s	3,61	3,75	3,81	3,85	3,91	—	—	
				E	0,960	1,056	1,095	1,117	1,145	—	—	
				G	0,384	0,415	0,428	0,437	0,451	—	—	
				ν	0,25	0,27	0,28	0,28	0,28	—	—	
				β	1,57	1,32	1,23	1,20	1,19	—	—	

Ультрасонозные породы

Бронзитит	—	Кольский полуостров, Ниттис-Кумужья	3,20	v_p	7,20	7,40	7,50	7,65	7,80	7,93	8,03	[29]
				v_s	4,30	4,40	4,45	4,50	4,57	4,63	4,73	
				E	1,448	1,518	1,557	1,601	1,654	1,703	1,767	
				G	0,592	0,619	0,634	0,648	0,668	0,686	0,716	
				ν	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,23	
				β	1,15	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,90	
»	»	То же	3,31	v_p	7,40	7,75	7,90	8,02	8,14	8,26	8,34	[29]
				v_s	4,30	4,45	4,55	4,65	4,70	4,77	4,82	
				E	1,524	1,642	1,715	1,786	1,827	1,882	1,922	
				G	0,612	0,655	0,685	0,716	0,731	0,753	0,769	
				ν	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
				β	1,00	0,89	0,87	0,85	0,82	0,79	0,78	

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	Параметр	v_p, v_s, E, G, ν и β при μ , кбар						Источник		
					0,001	0,5	1	2	5	10		15	
Оливинит	22	Кольский полуостров, Сопча	3,29	v_p	7,30	8,00	8,20	8,32	8,45	8,55	8,61	[29]	
					v_s	4,30	4,50	4,55	4,69	4,70	4,80		4,85
					E	1,501	1,689	1,740	1,835	1,853	1,925		1,962
					G	0,608	0,666	0,681	0,724	0,726	0,758		0,774
					ν	0,23	0,26	0,28	0,27	0,27	0,27		0,27
					β	1,06	0,82	0,77	0,76	0,72	0,72		0,71
Оливинит	24	Кольский полуостров, Сопча	3,28	v_p	7,50	7,90	8,12	8,24	8,35	8,47	8,51	[29]	
					v_s	4,30	4,40	4,57	4,64	4,70	4,78		4,80
					E	1,521	1,619	1,737	1,790	1,836	1,897		1,915
					G	0,606	0,635	0,685	0,706	0,724	0,749		0,756
					ν	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27		0,27
					β	0,96	0,83	0,80	0,79	0,76	0,74		0,73
»	26	То же	3,28	v_p	7,48	7,87	8,05	8,16	8,28	8,38	8,43	[29]	
					v_s	4,20	4,41	4,50	4,56	4,63	4,70		4,72
					E	1,464	1,622	1,691	1,736	1,789	1,839		1,859
					G	0,578	0,638	0,664	0,682	0,703	0,724		0,731
					ν	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27		0,27
					β	0,94	0,84	0,81	0,78	0,76	0,75		0,74
Перидотит	26	Кольский полуостров, Ниттис-Кумужья	3,29	v_p	7,30	7,75	7,80	7,91	8,02	8,11	8,16	[29]	
					v_s	4,30	4,40	4,50	4,54	4,57	4,62		4,65
					E	1,500	1,608	1,666	1,701	1,731	1,769		1,791
					G	0,608	0,637	0,666	0,678	0,687	0,702		0,711
					ν	0,23	0,26	0,25	0,25	0,26	0,26		0,26
					β	1,06	0,90	0,89	0,87	0,83	0,81		0,81

»	37	То же	3,29	v_p	7,34	7,70	7,86	7,95	8,07	8,17	8,22	[29]	
					v_s	4,34	4,42	4,48	4,53	4,58	4,64		4,66
					E	1,524	1,613	1,662	1,700	1,742	1,786		1,803
					G	0,619	0,643	0,660	0,675	0,690	0,708		0,714
					ν	0,23	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26		0,26
					β	1,06	0,91	0,87	0,85	0,82	0,80		0,79
Пироксенит оливковый	31	Кольский полуостров, Ниттис-Кумужья	3,22	v_p	7,25	7,38	7,45	7,54	7,70	7,83	7,92	[29]	
					v_s	4,25	4,30	4,35	4,40	4,45	4,52		4,56
					E	1,442	1,479	1,512	1,547	1,591	1,645		1,675
					G	0,582	0,595	0,609	0,623	0,637	0,658		0,669
					ν	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25		0,25
					β	1,09	1,04	1,03	1,00	0,94	0,91		0,89
То же	32	То же	3,24	v_p	7,33	7,50	7,56	7,68	7,81	7,93	8,01	[29]	
					v_s	4,28	4,34	4,38	4,43	4,50	4,57		4,60
					E	1,472	1,523	1,549	1,591	1,642	1,692		1,718
					G	0,593	0,610	0,621	0,636	0,656	0,676		0,685
					ν	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25
					β	1,05	0,99	0,98	0,94	0,91	0,88		0,86
»	39	»	3,28	v_p	7,70	7,75	7,78	7,84	7,93	—	—	[29]	
					v_s	4,54	4,54	4,56	4,60	4,63	—		—
					E	1,668	1,674	1,689	1,718	1,745	—		—
					G	0,676	0,676	0,682	0,694	0,703	—		—
					ν	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	—		—
					β	0,96	0,94	0,93	0,92	0,89	—		—

Скорости распространения продольных v_P и поперечных v_S волн (в км/с), модуль Юнга E (в Мбар), модуль сдвига G (в Мбар), коэффициент Пуассона ν , коэффициент сжимаемости β (в Мбар⁻¹) горных пород Украинского щита при различных квазигидростатических давлениях p [41,42]

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	Параметр	$v_P, v_S, E, G, \nu, \beta$ при p , кбар				
				0,001	0,5	1	2	5
Габбро-норит	Головино	2,977	v_P	6,91	7,18	7,32	7,48	7,74
			v_S	3,75	3,78	3,80	3,81	3,83
			E	1,08	1,11	1,13	1,15	1,17
			G	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44
			ν	0,29	0,31	0,32	0,32	0,34
			β	1,16	1,04	0,98	0,92	0,83
Гнейс амфиболо-пироксено-плагиоклазовый	Завалье	2,736	v_P	5,51	6,11	6,35	6,65	7,17
			v_S	3,11	3,20	3,28	3,37	3,49
			E	0,67	0,74	0,77	0,82	0,90
			G	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33
			ν	0,27	0,31	0,32	0,32	0,34
			β	2,09	1,54	1,40	1,26	1,04
Гранит порфири-видный	Пугачевка	2,629	v_P	5,88	6,19	6,26	6,32	6,49
			v_S	3,66	3,78	3,86	3,94	4,04
			E	0,77	0,89	0,93	0,96	1,02
			G	0,32	0,37	0,39	0,41	0,43
			ν	0,19	0,21	0,20	0,18	0,18
			β	2,44	1,98	1,97	1,95	1,87
То же	Кировоград	2,645	v_P	5,44	5,80	5,91	5,99	6,13
			v_S	3,21	3,34	3,40	3,47	3,58
			E	0,67	0,74	0,77	0,79	0,84
			G	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34
			ν	0,23	0,25	0,25	0,25	0,24
			β	2,38	2,01	1,94	1,91	1,84
Гранит чудново-бердичевский	Жежелево	2,777	v_P	5,56	6,10	6,22	6,31	6,38
			v_S	3,28	3,54	3,61	3,65	3,71
			E	0,74	0,87	0,90	0,92	0,95
			G	0,30	0,35	0,36	0,37	0,38
			ν	0,23	0,25	0,25	0,25	0,24
			β	2,17	1,76	1,69	1,63	1,61
Гранит рапакиви	Корсунь-Шевченковский	2,636	v_P	5,24	5,64	5,76	5,85	6,04
			v_S	3,35	3,61	3,68	3,73	3,85
			E	0,68	0,79	0,82	0,85	0,90
			G	0,30	0,34	0,36	0,37	0,39
			ν	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
			β	3,04	2,63	2,51	2,42	2,27
То же	Пенизевичи	2,660	v_P	6,04	6,30	6,38	6,42	6,51
			v_S	3,40	3,55	3,56	3,57	3,59
			E	0,76	0,82	0,84	0,85	0,86
			G	0,30	0,32	0,33	0,33	0,33
			ν	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28
			β	1,82	1,69	1,62	1,58	1,52
Гранит среднезернистый	Житомир	2,639	v_P	5,53	6,17	6,30	6,44	6,52
			v_S	3,30	3,46	3,53	3,58	3,66
			E	0,70	0,79	0,84	0,86	0,90
			G	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35
			ν	0,22	0,27	0,27	0,28	0,27
			β	2,36	1,71	1,64	1,55	1,54

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	Параметр	$v_p, v_s, E, G, \nu, \beta$ при ρ , кбар				
				0,001	0,5	1	2	5
То же	Богуслав	2,643	v_p	5,39	6,26	6,44	6,56	6,72
			v_s	3,17	3,61	3,69	3,74	3,78
			E	0,66	0,86	0,90	0,93	0,96
			G	0,27	0,34	0,36	0,37	0,38
			ν	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27
			β	2,42	1,74	1,62	1,55	1,46
Гранит осницкий	Клесово	2,719	v_p	5,69	6,38	6,63	6,85	6,98
			v_s	3,07	3,42	3,52	3,61	3,69
			E	0,66	0,82	0,88	0,93	0,97
			G	0,26	0,32	0,34	0,35	0,37
			ν	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31
			β	1,86	1,48	1,34	1,24	1,20
Гранодиорит	Шелетовка	2,756	v_p	5,58	6,06	6,15	6,29	6,33
			v_s	3,38	3,54	3,58	3,62	3,65
			E	0,76	0,85	0,88	0,90	0,91
			G	0,31	0,34	0,36	0,36	0,37
			ν	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
			β	2,29	1,81	1,75	1,73	1,72
Диорит	Тригурье	2,744	v_p	5,53	6,21	6,33	6,40	6,47
			v_s	3,22	3,52	3,60	3,68	3,72
			E	0,71	0,86	0,90	0,93	0,95
			G	0,28	0,34	0,36	0,37	0,38
			ν	0,24	0,26	0,26	0,25	0,25
			β	2,17	1,65	1,60	1,59	1,56

	Ракитное	2,860	v_p	6,10	6,47	6,56	6,59	6,64
			v_s	3,45	3,53	3,57	3,59	3,61
			E	0,81	0,91	0,94	0,95	0,96
			G	0,33	0,35	0,36	0,37	0,37
			ν	0,23	0,29	0,29	0,29	0,29
			β	1,99	1,41	1,35	1,34	1,31
Кварцит	Овруч	2,650	v_p	5,91	6,01	6,08	6,12	6,23
			v_s	3,93	4,01	4,04	4,07	4,10
			E	0,90	0,93	0,96	0,97	1,00
			G	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45
			ν	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
			β	2,63	2,57	2,49	2,45	2,31
Лабрадорит	Каменка	2,817	v_p	6,18	6,48	6,65	6,82	6,94
			v_s	3,38	3,54	3,61	3,71	3,88
			E	0,83	0,90	0,95	1,00	1,08
			G	0,32	0,35	0,37	0,39	0,42
			ν	0,29	0,29	0,29	0,29	0,27
			β	1,54	1,39	1,32	1,26	1,26
	Спличинцы	2,761	v_p	6,40	6,62	6,68	6,73	6,81
			v_s	3,59	3,66	3,69	3,72	3,78
			E	0,90	0,95	0,96	0,98	1,01
			G	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39
			ν	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28
			β	1,52	1,39	1,36	1,35	1,33

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	Параметр	$v_p, v_s, E, G, \nu, \beta$ при p , кбар				
				0,001	0,5	1	2	5
Пироксенит	Фастов	3,273	v_p	6,55	7,02	7,18	7,29	7,42
			v_s	3,76	3,88	3,94	3,99	4,03
			E	1,16	1,26	1,30	1,34	1,37
			G	0,46	0,49	0,51	0,52	0,53
			ν	0,25	0,28	0,28	0,29	0,29
			β	1,27	1,03	0,99	0,96	0,92
Порфирит клесовский	Томашгород	2,859	v_p	5,74	6,06	6,18	6,28	6,41
			v_s	3,45	3,70	3,77	3,85	3,98
			E	0,80	0,91	0,94	0,98	1,04
			G	0,33	0,38	0,39	0,41	0,44
			ν	0,22	0,20	0,20	0,20	0,19
			β	2,12	1,96	1,88	1,84	1,81
Собит	Калинино	2,733	v_p	5,63	5,98	6,12	6,26	6,48
			v_s	3,30	3,46	3,53	3,63	3,92
			E	0,74	0,82	0,85	0,90	1,02
			G	0,30	0,32	0,34	0,36	0,42
			ν	0,24	0,25	0,25	0,25	0,22
			β	2,13	1,85	1,76	1,69	1,60
Чарнокит	Черновцы	2,649	v_p	5,86	6,08	6,17	6,37	6,50
			v_s	3,52	3,62	3,66	3,69	3,73
			E	0,80	0,85	0,87	0,90	0,92
			G	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37
			ν	0,22	0,23	0,23	0,25	0,25
			β	2,12	1,92	1,87	1,68	1,59

»	Завалье	2,865	v_p	6,24	6,42	6,52	6,61	6,66
			v_s	3,51	3,57	3,60	3,64	3,68
			E	0,90	0,93	0,95	0,97	0,99
			G	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
			ν	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
			β	1,55	1,44	1,39	1,34	1,33
»	Хошеватое	2,756	v_p	6,35	6,51	6,60	6,68	6,78
			v_s	3,82	3,88	3,92	3,94	3,97
			E	0,98	1,02	1,04	1,05	1,08
			G	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43
			ν	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
			β	1,74	1,63	1,57	1,52	1,46
Эклогитоподобная порода	Завалье	3,172	v_p	6,77	6,97	7,06	7,18	7,46
			v_s	3,72	3,76	3,80	3,86	3,94
			E	1,13	1,17	1,19	1,23	1,29
			G	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49
			ν	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31
			β	1,15	1,06	1,03	0,99	0,90
То же	Хошеватое	3,151	v_p	6,57	7,52	7,73	7,92	8,10
			v_s	3,85	4,08	4,12	4,15	4,18
			E	1,16	1,36	1,39	1,42	1,45
			G	0,47	0,52	0,54	0,54	0,55
			ν	0,24	0,29	0,30	0,31	0,32
			β	1,36	0,92	0,86	0,80	0,75

Примечание. В дальнейшем рассматривается только скорость продольных волн, поэтому будем обозначать ее v .

Коэффициент сжимаемости горных пород (рис. 1) имеет большую величину при малых давлениях и очень резко уменьшается с повышением давления. Такое уменьшение коэффициента сжимаемости обусловлено закрытием пор, в основном микротрещин у горных пород при давлении до 1,5 кбар. При малых давлениях наблюдается некоторый разброс величин коэффициента сжимаемости, особенно для метаморфических пород (см. табл. 5). В области высоких давлений β изменяется очень мало и, как правило, имеет близкие величины для горных пород одного минерального состава и пористости. Коэффициент сжимаемости гранита больше, чем основных и ультраосновных пород.

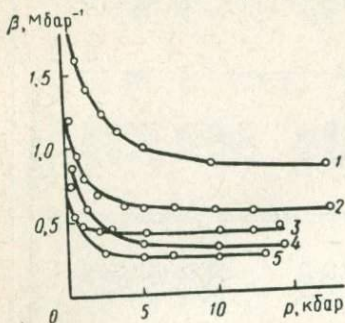


Рис. 1. Зависимость коэффициента сжимаемости β минералов и горных пород от давления p . 1 — амфиболит; 2 — пироксенит; 3 — кварц; 4 — роговая обманка; 5 — эгирин

§ 2. МОДУЛИ ЮНГА, СДВИГА И КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА

Упругие характеристики горных пород при высоких давлениях и температурах чаще всего изучают динамическим методом, который позволяет вычислять модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона и сжимаемость по данным непосредственных измерений скорости упругих волн. Как известно, в этом случае, кроме величины плотности, требуется знание скоростей волн: продольной v_p и поперечной v_s , либо продольной v_p и релеевской v_R , либо двух продольных — в стержне $v_{p_{ст}}$ и в массиве v_{p_M} [13, 89]. Формулы для расчета упругих характеристик имеются во многих книгах и справочниках, например [69, 89, 93].

В табл. 6 и 7 приведены значения модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента Пуассона и коэффициента сжимаемости горных пород при разных давлениях, полученных на основании зависимости скоростей распространения продольных и поперечных волн от давления. В случаях, когда одновременно с измерением скоростей измерялся декремент объема, при расчетах учитывалось изменение плотности с увеличением давления.

Статический метод определения упругих характеристик горных пород в условиях высоких всесторонних давлений применяется значительно реже, чем динамический. Модуль Юнга определяют при испытании пород на сжатие и изгиб (рис. 2), а модуль сдвига — при испытании пород на кручение (рис. 3).

Сопоставление результатов, полученных динамическим и статическим методами, показывает, что наблюдается некоторое

различие величин модулей [89]. Так, модуль Юнга, полученный динамическим методом, всегда выше модуля, полученного статическим методом. При динамических воздействиях на образец упругих ультразвуковых импульсов величины возникающих при этом напряжений очень малы, причем воздействия эти кратковременны и практически не вызывают никаких необратимых, неупругих процессов. При статических испытаниях величины

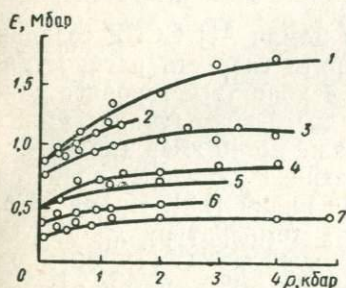


Рис. 2. Зависимость модуля Юнга E , полученная при испытании образца на изгиб, от давления p для горных пород.

1 — габбро; 2 — лабрадорит; 3—5 — различные образцы базальта; 6 — песчаник; 7 — мрамор

Рис. 3. Кривые зависимостей модулей Юнга E и сдвига G от давления p , полученных динамическим (сплошная линия) и статическим (пунктир) методами.

1 — кривые E для базальта; 2 — кривые G для габбро-диабазы

воздействующих напряжений значительно больше и всегда при любом виде напряженного состояния можно выделить обратимую часть деформации. Отметим еще, что имеется несколько видов статических определений упругих параметров, и модули, рассчитанные для каждого из них, могут отличаться друг от друга.

Несколько иные данные получены при сопоставлении модулей сдвига, определенных динамическим способом и из статических испытаний на кручение. Во всех случаях модуль сдвига $G_{ст}$ выше $G_{д}$. Можно предположить, что модули $G_{ст}$ оказываются выше модулей $G_{д}$, потому что при измерениях методом кручения отсчеты производятся не по первому нагружению, а после трех-четырех нагружений, поэтому и наблюдается, по видимому, уплотнение породы (рис. 3).

Точность определения упругих характеристик, приведенных в табл. 6 и 7, зависит от точности измерения скоростей распространения упругих волн. Импульсно-ультразвуковой метод позволяет измерять скорость распространения продольных и поперечных волн с относительной погрешностью 0,5—2% [86, 89].

§ 3. СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН

Скорости распространения упругих продольных и поперечных волн в горных породах являются наиболее важными для геофизики характеристиками. Поэтому необходимо знать основные закономерности изменения этих параметров для различных типов горных пород при разных термодинамических условиях по данным лабораторных исследований.

С этой целью в Институте физики Земли АН СССР создана аппаратура, которая позволяет измерять скорость распространения упругих волн при давлении до 4 кбар (всестороннее давление, создаваемое в газовой среде), до 10 кбар (гидростатическое давление) и до 15—20 кбар и даже до 40 кбар (квазигидростатическое), когда средой, передающей давление, является пластичное твердое тело — свинец или индий [89]. Кроме того, в газовой установке можно повышать температуру до 350° С, а в установке типа цилиндр — поршень до 600° С [16, 89].

В Институте геофизики АН УССР (Киев) сконструированы и эксплуатируются установки, позволяющие исследовать упругие свойства горных пород в условиях воздействия высоких гидростатических и квазигидростатических давлений (6 и 15 кбар), причем в установке до 6 кбар можно повышать температуру до 350° С [40, 42, 43, 86].

В табл. 8 приведены величины скоростей распространения продольных волн в минералах; иногда использовались поликристаллические агрегаты минералов, но чаще монокристаллы. В последнем случае измерения проводились в определенных кристаллографических направлениях. Почти все породообразующие минералы имеют разные скорости распространения упругих волн в основных кристаллографических направлениях (см. табл. 8), т. е. имеют анизотропию скоростей. Различие в скоростях для одного и того же направления в нескольких одноименных минералах, а также для поликристаллических агрегатов одного минерала объясняется несовпадением химического состава.

Анизотропия скорости в минералах оказывает влияние на свойства горных пород в том случае, если под действием тектонических напряжений минералы получили определенную ориентировку в породах. В работе [67] описаны методы оценки поля напряжений в естественных условиях на основе пространственного изучения скорости распространения упругих волн. Анизотропия скорости в амфиболитах с ориентированным расположением в породе роговой обманки может достигать 20%. При этом коэффициент анизотропии скорости сохраняет такую большую величину и при высоких давлениях. Это связано с большим различием скорости в разных направлениях в минерале даже при давлениях до 15 кбар (см. табл. 8).

В метаморфических породах (амфиболитах, сланцах, гнейсах) скорость распространения продольных волн измерялась в двух или трех направлениях, поэтому для одного и того же образца даны две или три строки в табл. 9 и 10. Первая строка относится к направлению вдоль слоистости, вторая и третья — к направлению, перпендикулярному к слоистости. С увеличением давления до 1—2 кбар коэффициент анизотропии скорости в большинстве метаморфических пород, особенно в сланцах, резко уменьшается. В таких породах анизотропия скорости обусловлена слоистой структурой минералов (слюда, хлорит и др.). Под влиянием давления пористость (микрощелевая) резко сокращается и анизотропия скорости в породе оказывается обусловленной лишь анизотропией скорости породообразующих минералов. Однако некоторые минералы практически изотропны и в горных породах, состоящих из них, не замечено анизотропии скорости, по крайней мере, при высоком давлении. Таким минералом является гранат, поэтому скорость в эклогитах, если только они не содержат ориентированных пироксенов, роговой обманки и других минералов, почти одинакова во всех направлениях.

Известно [13, 15, 40, 41, 86, 89, 116, 118], что изменение скорости при увеличении давления определяется в основном минеральным составом и структурно-текстурными особенностями породы. Скорости распространения упругих волн в основных породах выше, чем в кислых, но ниже, чем в ультраосновных. Получены общие уравнения, с помощью которых можно описать кривые зависимости скорости распространения продольных волн от давления (до 4 кбар) для трех указанных типов пород.

Для кислых пород

$$v = v_4 - 0,6 \exp\left(\frac{3}{16} \frac{p}{p-4}\right),$$

для основных пород

$$v = v_4 - 0,4 \exp\left(\frac{6p}{p-4}\right),$$

для ультраосновных пород

$$v = v_4 - 0,5 \exp\left(\frac{48p}{p-4}\right),$$

где v_4 — скорость при давлении 4 кбар.

Эти уравнения несомненно будут уточняться с увеличением числа испытанных образцов и повышением давлений, при которых проводятся опыты.

Исследования при давлениях выше 4 кбар показывают, что для горных пород скорость распространения продольных волн в области высоких давлений возрастает почти линейно и может быть приближенно выражена функцией $v = v_2 + ap$, где v_2 — значение скорости при давлении 2 кбар.

Скорость распространения продольных волн ϕ (в км/с) в минералах при различных давлениях p [19]

Минерал	Место отбора образца	Направление оптических осей	ϕ при p , кбар							
			0,001	0,5	1	2	5	10	15	20
Ангидрит, превращенный в гипс (поликристалл)	—	—	4,40	4,75	4,93	5,11	5,37	5,51	5,63	—
Арагонит (поликристалл)	Северный Кавказ	—	5,05	5,14	5,22	5,34	5,56	5,63	5,71	—
Галит (поликристалл)	Прикаспийская впадина	—	4,07 4,13	4,17 4,30	4,19 4,38	4,20 4,48	4,23 4,63	4,33 4,80	4,44 4,87	4,58 5,01
Галит (поликристалл)	Припятская впадина	—	4,48 4,29 4,22 4,41 4,25 4,50	4,50 4,46 4,23 4,47 4,25 4,54	4,52 4,49 4,24 4,51 4,24 4,56	4,55 4,51 4,26 4,57 4,24 4,62	4,60 4,56 4,22 4,57 4,22 —	4,72 4,73 4,22 4,65 4,22 —	4,82 4,70 4,43 4,69 4,34 —	— — — — 4,39 —
Геденбергит	Урал	[001] [010]	6,55 6,26	7,00 6,32	7,14 6,37	7,19 6,44	7,24 6,56	7,36 6,67	7,43 6,74	— 6,81
Гранат	—	[001] [001]	8,30 7,90	8,55 8,17	8,63 8,26	8,77 8,39	8,97 8,80	9,10 8,91	9,19 9,05	9,25 9,12
Диопсид	Кольский полуостров	[001] [010]	8,48 7,00	8,89 7,38	8,91 7,51	8,88 7,62	8,82 7,64	8,94 7,65	— —	— —
Дистен (поликристалл)	—	—	8,90	—	—	—	11,75	12,00	—	12,30
Дистен	—	[001] [100]	9,05 8,10	— —	— —	— —	12,00 11,10	12,20 11,30	— —	12,35 11,65
Жадеит (поликристалл) с ориентированным расположением зерен	КиргССР	[001] [010]	8,44 8,40	8,76 8,48	8,83 8,54	8,89 8,72	9,09 8,80	9,24 8,99	9,53 9,17	— —

Кальцит	КазССР, Саяк	[1210] [1011] [0001]	7,99 6,34 5,54	8,19 6,64 5,68	8,30 6,74 5,78	8,41 6,98 5,81	8,45 7,27 5,89	8,46 7,47 5,71	8,46 7,51 —	— — —
Кварц	Кольский полуостров	[001] [001]	6,36 5,78	6,37 5,82	6,39 5,85	6,41 5,89	6,47 5,98	6,55 6,10	6,63 6,21	6,71 6,30
Кварц (поликристалл)	Кольский полуостров	[001] [100]	6,40 5,75	— —	— —	6,46 5,80	6,55 5,87	6,69 6,00	6,74 6,12	6,76 6,25
Кварц	Приполярный Урал	[001]	5,46	—	—	—	6,08	6,26	6,38	6,50
Магнетит (руда, 80% магнетита)	Урал	—	4,20	5,95	6,60	6,70	6,84	6,94	—	—
Нефелин	Азовский кристаллический массив	[0001] ⊥ [0001]	6,85 5,50	6,90 5,60	7,05 5,62	7,30 5,65	7,40 5,70	7,45 5,75	— —	— —
»	Урал, Вишневые горы	[0001] [1220]	6,70 8,50	7,05 9,50	7,25 10,40	7,47 10,90	7,85 11,35	8,40 12,00	8,72 12,55	— 12,75
Дунит (99% оливина)	—	[1100] ⊥ [0001]	5,17 6,67	5,22 6,90	5,25 7,20	5,31 7,45	5,42 7,80	5,53 8,25	5,59 8,65	— —
Оливин	—	[100]	8,05	—	—	—	8,70	8,90	9,00	9,10
Оливин*, близкий к форстериту	—	—	8,40	—	—	8,43	8,47	8,52	8,57	8,62
Оливин (поликристалл)	Полярный Урал	—	7,00	7,14	7,23	7,26	7,32	7,56	7,65	7,74
То же	Кольский полуостров	—	7,48	—	8,05	8,16	8,28	8,38	8,42	8,47

Минерал	Место отбора образца	Направление оптических осей	и при p , кбар							
			0,001	0,5	1	2	5	10	15	20
Пирит	—	⊥ грани куба	8,02	8,12	8,21	8,36	8,66	8,80	9,02	—
Пирит (поликристалл)	Урал	—	6,17	6,79	7,36	7,56	7,96	—	—	—
Полевые шпаты							(при $p = 4$ кбар)			
Анортоклаз	»	[010] ⊥ [001]	7,30 6,70	7,55 7,00	7,70 7,30	7,93 7,43	8,25 7,60	8,35 7,67	8,40 7,70	8,45 7,70
Лабрадор*	УССР	—	6,55	6,65	6,71	6,76	6,85	6,90	6,99	—
»	Кольский полуостров	—	6,68	—	—	6,73	6,80	6,87	6,96	7,05
Микроклин*	То же	—	6,03	—	—	6,10	6,18	6,27	6,35	6,42
»	»	[010] [001] [100] [001] [010] ⊥ [010]	7,68 5,60 4,65 6,80 8,00 5,05	7,93 6,55 4,90 6,90 8,20 5,22	8,03 6,75 5,05 6,95 8,28 5,32	8,10 6,85 5,12 7,05 8,33 5,38	8,15 6,92 5,19 7,20 8,40 5,42	8,25 7,01 5,25 7,25 8,50 5,50	8,32 7,08 5,33 7,25 8,57 5,58	8,39 7,12 5,40 7,25 8,62 5,62
»	—	[010]	7,30	—	—	—	8,30	8,40	8,47	8,55
»	Карелия, Черная Салма	[010] ⊥ [010]	7,30 5,40	7,70 6,10	7,90 6,18	8,15 6,22	8,28 6,25	8,40 6,30	—	—
Олигоклаз	То же	⊥ [001]	5,57	7,00	7,40	7,60	7,96	8,14	8,27	8,43
»	Карелия, Беломорит	⊥ [001] ⊥ [010]	4,41 5,08	7,74 6,30	7,85 6,84	7,95 7,05	8,16 7,44	8,27 7,77	8,37 8,04	8,46 8,27
»	Кольский полуостров	—	6,25	—	—	6,32	6,41	6,50	6,55	6,60

Олигоклаз	Кольский полуостров	[010] [001] [100]	7,20 6,70 5,00	7,58 7,10 5,55	7,73 7,28 5,70	7,80 7,32 5,80	7,85 7,42 5,88	7,95 7,54 5,93	8,03 7,66 6,00	8,12 7,78 6,07
Роговая обманка	Урал, Первоуральский карьер	[001] [010] [100] [110]	6,80 6,22 5,52 5,30	7,35 6,78 6,00 5,72	7,92 7,02 6,28 6,08	8,25 7,07 6,40 6,50	8,50 7,12 6,55 6,75	8,57 7,17 6,57 6,90	8,70 7,20 6,60 7,07	— — — —
То же	—	[001] ⊥ [001]	6,40 5,12	6,84 5,27	7,28 5,34	7,50 5,36	7,62 5,38	7,72 5,44	7,80 5,53	— —
»	Якутия	[001] [110] [110]	8,10 6,70 6,10	8,21 6,72 6,60	8,25 6,75 6,88	8,25 6,78 6,93	8,22 6,88 7,01	8,38 6,97 7,10	8,57 7,06 7,19	— — —
Серпентин антигоритовый (поликристалл)	ВКМ	—	6,08 6,47	— —	— —	6,25 6,57	6,32 6,57	6,33 6,62	6,38 6,82	6,55 6,95
Серпентин лизардитовый (поликристалл)	То же	—	4,50 4,50	— —	— —	4,85 4,65	5,10 4,82	5,32 5,05	5,50 5,27	5,65 5,47
Сильвин (поликристалл)	Прикаспийская впадина	—	4,01	4,05	4,07	4,08	4,12	4,20	4,28	4,47
Сильвин искусственный (поликристалл)	—	—	3,91	3,93	3,94	3,97	4,04	4,15	4,24	4,44
Сподумен	Канада	[001]	9,86	9,92	9,97	10,00	10,01	10,11	10,29	—
Топаз	—	[011]	8,77	—	—	—	9,19	9,26	9,37	9,48
Флогопит	—	[001]	7,56	—	—	—	7,95	8,00	8,05	8,09
Эгирия	Кольский полуостров, Хибинь	[001]	7,62	8,00	8,10	8,08	8,13	8,22	8,37	—

* Усредненные значения для монокристалла.

Скорость распространения продольных волн v (в км/с) в интрузивных горных породах при различных давлениях p

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	v при p , кбар						Источник	
				0,001	0,5	1	2	5	10		15
Кислые и средние породы											
Гранит лейкокраговый	1774	Центральный Каяхстан	2,62	5,00	6,05	6,14	6,24	6,38	6,52	6,60	[87]
То же	1776	То же	2,62	5,00	6,30	6,33	6,38	6,53	6,64	6,71	[87]
Гранит (дегматит)	1828	»	2,62	3,60	5,78	5,90	6,10	6,38	6,59	6,62	[87]
Гранит (эплит)	Б-347	»	2,59	5,00	5,88	6,07	6,20	6,33	6,42	6,50	[87]
Гранит биотитовый	1775	»	2,65	4,05	5,95	6,04	6,10	6,31	6,57	6,66	[87]
То же	1165	»	2,67	5,73	5,82	5,93	6,00	6,37	6,54	6,65	[87]
»	1166	»	2,58	5,24	5,34	5,44	5,59	5,95	6,02	—	[87]
Гранит аплитовый	1782	»	2,55	5,03	5,69	5,80	5,82	6,04	6,15	6,20	[87]
Гранит мусковитовый	1779	»	2,60	5,05	5,95	6,08	6,29	6,45	6,60	6,66	[87]
Гранит	1613	Кольский полуостров	2,63	4,80	5,52	5,85	6,01	6,19	6,28	6,32	[15]
»	1309	То же	2,62	4,50	5,51	5,79	5,90	6,00	6,11	6,20	[15]
»	1612	»	2,61	4,48	5,51	5,85	5,94	6,05	6,14	6,23	[15]
»	732	»	2,58	4,20	5,50	5,90	6,09	6,27	6,38	6,45	[14]
»	1613	»	2,64	4,50	5,26	5,87	6,02	6,11	—	—	[14]
»	—	»	2,64	4,80	5,52	5,85	6,01	6,19	6,28	6,32	[15]
»	1308	»	2,63	5,73	5,91	6,02	6,10	6,17	—	—	[15]
»	1625	»	2,62	5,50	5,78	5,96	6,06	6,17	—	—	[15]
»	2919	ВКМ	2,67	5,40	5,61	5,74	5,82	5,97	6,11	6,24	ИФЗ
»	2910	»	2,58	5,50	5,80	5,96	6,09	6,27	6,44	6,61	»
»	3496	»	5,70	5,80	5,89	5,94	5,97	6,00	6,08	»	»
»	2407	Урал	2,57	5,29	5,71	5,93	5,98	6,01	—	—	[55]
»	2678	»	2,62	5,30	5,66	5,84	5,99	6,10	—	—	[55]

Гранит	2680	Урал	2,65	5,21	5,50	5,78	6,04	6,15	6,24	6,32	[55]
»	2679	»	2,65	5,50	5,71	5,90	6,10	6,18	6,23	6,30	[55]
»	2401	»	2,63	5,50	5,64	5,76	5,81	5,84	5,90	5,96	[55]
»	2400	»	2,68	5,74	6,06	6,24	6,34	6,41	—	—	[55]
»	2676	»	2,83	5,69	5,85	6,01	6,11	6,19	—	—	[55]
»	2397	»	2,70	5,85	5,94	6,03	6,15	6,24	6,32	6,38	[55]
»	434	Северная Карелия	2,70	5,45	5,70	5,83	5,85	5,85	—	—	[14]
»	2628	Северная Осетия	2,68	4,30	4,58	5,17	5,56	5,87	6,08	6,12	[16]
»	2625	»	2,61	4,90	5,44	6,02	6,28	6,43	—	—	[16]
»	2625	»	2,61	4,40	5,45	6,10	6,19	6,42	—	—	[16]
»	2626	»	2,63	5,01	5,35	5,65	5,86	6,00	—	—	[16]
»	2627	»	2,64	4,00	4,68	5,16	5,64	5,93	6,08	6,12	[15]
»	2628	»	2,64	4,70	5,33	5,90	6,24	6,30	6,33	—	[15]
»	2628	»	2,64	4,35	5,30	6,08	6,20	6,28	6,31	—	[15]
»	2025	Кавказ	2,66	5,46	5,75	5,87	6,09	6,12	6,25	6,30	[16]
»	2628	»	2,65	4,31	4,62	5,19	5,50	5,94	6,12	6,22	[16]
»	2643	Кавказ, Дзиркульский массив	2,60	5,47	5,73	5,90	5,96	6,01	6,08	6,14	[15]
»	2644	То же	2,63	5,40	5,63	5,83	5,95	6,03	—	—	[15]
»	2644	»	2,63	5,58	5,67	5,76	5,91	5,97	—	—	[15]
»	1576	Кавказ, Дашкесан	2,63	5,54	5,73	5,90	6,07	6,21	6,28	6,31	[15]
»	2025	Кавказ, Эльджурта	2,60	3,75	5,08	5,70	6,03	6,24	6,28	6,35	[15]
»	1739	Кавказ, р. Улл-Уком	2,70	3,90	5,40	5,95	6,10	6,22	6,31	6,37	[15]
»	»	То же	2,70	3,90	5,86	6,24	6,38	6,46	6,49	6,51	[15]
»	2019	Кавказ, р. Мары	2,69	4,95	5,77	6,10	6,28	6,36	6,38	6,40	[15]
»	2019	То же	2,69	5,10	5,60	5,88	6,05	6,17	6,20	6,22	[15]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	v при ρ , кбер						Источник	
				0,001	0,5	1	2	5	10		15
Гранит	727	Кавказ, р. Чегем	2,67	4,28	4,85	5,18	5,60	5,76	—	—	[15]
»	5387	Кавказ, Садон	2,63	3,96	5,10	5,48	5,95	6,10	—	—	[14]
»	5390	Кавказ, р. Ардон	2,67	4,43	4,96	5,40	5,62	5,92	—	—	[14]
»	2031	Кавказ, р. Лаба	2,68	3,66	5,58	5,85	5,99	6,05	6,11	6,15	[15]
»	2020	Кавказ, р. Эшкакон	2,67	5,40	5,69	5,86	6,03	6,12	6,15	6,18	[15]
»	29С9	Приазовье, с. Анодоль	2,60	5,25	5,62	5,96	6,27	6,38	6,43	6,46	ИФЗ
»	2908a	Приазовье, с. Розовка	2,60	5,60	5,87	6,14	6,26	6,44	6,65	6,84	»
»	795	Болгария, Родопская обл.	2,61	4,59	5,68	6,00	6,17	6,32	6,42	—	[26]
Гранит мелкозернистый		То же	2,61	5,47	5,63	5,73	5,81	5,92	6,05	6,18	[26]
Гранито-гнейс	2637	Кавказ, Хам- ский массив	2,64	5,10	5,49	5,77	5,99	6,11	—	—	[15]
»	740	Кольский полу- остров, р-н Мончегорска	2,68	5,25	6,10	6,20	6,23	6,45	6,50	6,60	[45]
Гранодиорит	2406	Урал	2,67	5,68	5,83	5,94	5,99	6,02	—	—	[55]
»	2682	»	2,69	5,65	5,82	6,00	6,21	6,30	6,39	6,43	[55]
»	2395	»	2,77	6,29	6,44	6,57	6,64	6,67	—	—	[55]
»	2398	»	2,77	6,03	6,10	6,16	6,27	6,32	—	—	[55]
»	2683	»	2,78	5,38	6,11	6,24	6,28	6,31	6,38	6,40	[55]

Гранодиорит	2399	Урал	2,80	5,67	5,96	6,20	6,46	6,54	6,56	6,58	[55]
»	2681	»	2,89	5,86	6,24	6,39	6,46	6,51	6,52	6,54	[55]
»	2204	ВКМ	2,74	5,96	6,22	6,36	6,45	6,51	6,52	6,55	ИФЗ
»	6312	Северный Кавказ, Ессентуки	2,77	5,68	5,85	6,03	6,10	6,14	—	—	[15]
»	1164	Центральный Казахстан	2,78	5,60	5,92	6,07	6,20	6,33	6,41	6,45	[87]
»	1161	То же	2,77	4,62	5,40	5,66	5,86	6,13	—	—	[87]
»	1162	»	2,80	6,04	6,14	6,26	6,48	6,58	6,69	6,71	[87]
»	2039	Кавказ, Даховский массив	2,74	5,25	5,96	6,32	6,43	6,51	—	—	[15]
»	2636	Кавказ, Храмский массив	2,74 2,68	5,05 5,67	6,00 6,10	6,22 6,32	6,36 6,46	6,47 6,58	—	—	[15] [15]
Гранодиорит-порфир	1123	Центральный Казахстан	2,71	5,30	5,80	5,90	6,05	6,29	—	—	[87]
Гранодиорит роговооб- манковый	1740	Северный Кавказ, р. Дауг	2,85	6,44	6,62	6,70	6,76	6,81	—	—	[15]
Диорит (банатит)	1819	Центральный Казахстан	2,90	6,20	6,52	6,68	6,90	7,06	7,20	7,25	[87]
То же	1814	То же	2,84	6,50	6,57	6,68	6,84	7,02	—	—	[87]
Диорит	1820	»	2,81	4,90	5,50	5,97	6,45	6,94	—	—	[87]
Диорит роговообманко- вый	1129	»	2,87	6,54	6,71	6,76	6,84	7,05	—	—	[87]
Диорит кварцевый	251-23	»	2,76	5,50	5,70	6,00	6,27	6,65	—	—	[87]
То же	1771	»	2,82	5,70	6,37	6,50	6,63	6,79	6,91	6,93	[87]
»	1773	»	2,71	5,97	6,39	6,49	6,62	6,82	6,99	7,08	[87]
Диорит порфирит	2789	ВКМ	2,78	6,42	6,54	6,63	6,71	6,82	—	—	ИФЗ
Диорит пироксеновый	39	Северный Кавказ, р. Зеленчук	2,93	6,22	6,85	7,04	7,11	7,15	—	—	[14]
»	39	То же	2,92	6,10	6,65	6,93	7,06	7,10	—	—	[14]
»		»	2,90	6,05	6,70	6,92	6,98	7,02	—	—	[14]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	v при p , кбар							Источник
				0,001	0,5	1	2	5	10	15	
Основные породы											
Габбро-диабаз	898	Кольский полуостров, Коммикиви	3,01	6,50	6,53	6,56	6,62	6,71	6,75	6,78	[29]
Габбро роговообманковое	2385	Малый Кузбасс	2,89	6,43	6,46	6,52	6,64	6,76	—	—	[55]
То же	2386	То же	2,97	5,50	6,30	6,60	6,71	6,86	—	—	[55]
»	2387	»	3,01	6,70	6,82	6,92	7,03	7,18	—	—	[55]
»	2388	»	2,89	6,27	6,43	6,52	6,61	6,72	—	—	[55]
Габбро	916	Кольский полуостров, Пильгуярви	3,24	6,0	6,82	6,93	7,01	7,12	7,21	7,26	[29]
»	913	То же	3,20	6,50	6,74	6,91	7,02	7,10	7,19	7,23	[29]
»	2641	Кавказ, Дзиркульский массив	2,86	5,70	6,40	6,70	6,76	6,82	—	—	[14]
»	991	Кольский полуостров, Пильгуярви	3,02	6,15	6,42	6,52	6,57	6,68	6,77	6,83	[29]
»	1136	Центральный Казахстан	2,96	6,41	6,51	6,58	6,71	6,96	7,04	—	[87]
»	257	То же	2,95	6,82	7,04	7,12	7,16	7,22	7,26	7,31	
»	1778	»	2,91	5,70	6,72	6,88	6,93	6,97	7,01	—	[87]
»	1839	»	2,91	6,67	6,70	6,82	6,98	7,21	7,31	7,36	[87]
»	1831a	»	3,01	6,82	7,04	7,12	7,20	7,23	7,26	7,30	[87]
»	1788	»	2,91	6,60	6,60	6,72	6,80	7,12	7,23	7,28	[87]
Габбро пироксеновое, амфиболовое	2608	ВКМ	2,97	6,50	6,98	7,10	7,23	7,39	—	—	[14]

Габбро амфиболовое	2621	ВКМ	3,13	7,18	7,23	7,28	7,40	7,59	—	—	[14]
То же	2618	»	2,88	6,45	6,54	6,60	6,69	6,82	6,86	6,90	[14]
»	2613	»	3,10	7,23	7,32	7,38	7,46	7,56	—	—	[14]
Габбро-диабаз	2617	»	2,71	4,90	5,60	5,84	6,04	6,22	—	—	[14]
Габбро-норит	2616	»	2,73	6,46	6,65	6,80	6,93	7,06	7,08	7,12	[14]
»	2609	»	3,20	6,98	7,02	7,06	7,17	7,38	—	—	[14]
Габбро кварцевое	2602	»	2,94	5,32	5,64	5,78	5,91	6,01	—	—	[14]
Габбро	3548	Приазовье, с. Розовка	2,80	6,80	7,08	7,16	7,21	7,33	7,46	7,58	[14]
Габбро-норит (лабрадорит)	3550	То же	2,83	6,68	6,79	6,88	6,96	7,08	7,24	—	[14]
Габбро-норит	470-1	Кольский полуостров, г. Сопча	3,00	5,22	5,90	6,34	6,72	6,91	7,09	—	[15]
То же	466	Кольский полуостров	2,95	6,30	6,70	6,95	6,99	7,00	7,20	—	[14]
Диабаз	3	Район Онежского озера	3,08	6,40	6,56	6,70	6,85	7,03	7,13	7,17	[14]
Диабаз авгитовый	889	Кольский полуостров, Коммикиви	3,06	6,97	7,04	7,09	7,14	7,22	7,29	7,34	[15]
То же	1726	Кольский полуостров	2,99	6,85	6,91	6,95	7,00	7,10	7,17	—	[15]
»	1658	То же	2,98	6,67	6,74	6,77	6,80	6,86	6,95	—	[15]
»	882	»	3,05	6,90	6,93	6,95	6,99	7,08	7,16	7,20	[15]
»	886	»	3,04	7,10	7,13	7,15	7,18	7,26	7,35	7,43	[15]
Диабаз	607	»	3,05	6,55	6,82	6,95	7,05	7,17	7,28	7,37	[15]
»	1291	»	3,04	6,40	6,48	6,51	6,56	6,64	6,72	6,77	[13]
»	1304	»	3,04	6,57	6,62	6,66	6,70	6,78	6,88	6,96	[13]
»	454	Кольский полуостров, Мончегорск	3,02	6,80	7,00	7,08	7,13	7,23	7,35	7,46	[13]
»	890	Кольский полуостров, Коммикиви	3,02	6,50	6,64	6,70	6,74	6,82	6,91	6,96	[29]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	σ при p , кбар							Источник
				0,001	0,5	1	2	5	10	15	
Диабаз	899	Кольский полуостров, Коммикиви	2,98	6,56	6,76	6,81	6,85	6,90	6,97	7,00	[29]
»	887	То же	2,99	6,67	6,69	6,72	6,75	6,84	6,93	7,01	[29]
»	1297	Кольский полуостров	2,98	6,45	6,53	6,58	6,62	6,70	6,79	6,85	[29]
»	3521	ВКМ	2,81	6,65	6,87	6,93	6,98	7,08	7,15	7,16	ИФЗ
»	3552	»	2,98	6,60	6,81	6,87	6,92	7,04	7,10	—	»
»	2389	Малый Кузбасс	2,88	6,23	6,46	6,56	6,63	6,72	—	—	»
»	2390	То же	2,90	6,24	6,42	6,52	6,61	6,73	—	—	»
»	2391	»	2,92	5,73	6,14	6,35	6,53	6,76	—	—	»
»	2392	»	2,90	5,68	6,00	6,16	6,42	6,79	—	—	»
Диабаз рогово-обманковый	2642	Кавказ, Дзиркульский массив	2,91	6,53	6,70	6,80	6,96	7,03	—	—	[15]
Диабаз амфиболовый	3530	ВКМ	3,01	6,57	6,70	6,77	6,82	6,85	6,90	6,91	ИФЗ
То же	3518	»	3,05	7,00	7,19	7,29	7,40	7,41	7,42	7,42	»
Диабаз оливниновый	2923	»	2,90	6,12	6,50	6,54	6,57	6,66	6,79	6,92	»
То же	3547	»	3,03	6,83	7,00	7,08	7,14	7,25	7,34	—	»
»	2923	г. Богучар	2,90	6,12	6,47	6,54	6,58	6,66	6,79	6,92	»
Диабаз порфиновый	1657	Центральный Казахстан	3,04	6,97	7,01	7,05	7,08	7,17	7,26	—	[87]
Ультраосновные породы											
Дунит		Центральный Казахстан	3,38	8,05	8,14	8,23	8,38	8,70	8,90	9,02	[13]
Дунит серпентинизированный	337	Урал, Уктус	3,02	6,62	7,10	7,23	7,34	7,34	—	—	[15]

Оливинит	21	Кольский полуостров, Сопча	3,28	7,30	7,52	7,60	7,69	7,80	7,89	—	[29]
Перидотит	609	Кольский полуостров	3,34	7,75	7,83	7,90	8,01	8,22	8,41	8,55	[15]
»	606	То же	3,28	7,50	7,65	7,72	7,79	7,95	8,15	8,32	[15]
»	462	»	3,22	6,97	7,65	7,83	8,00	8,03	—	—	[15]
»	455	Кольский полуостров, Ниттис-Кумужья	3,28	7,55	7,72	7,90	7,98	8,08	—	—	[13]
			3,27	6,90	7,20	7,40	7,52	7,78	8,05	8,20	[13]
»	1790	Центральный Казахстан	3,11	6,71	6,96	7,06	7,17	7,29	7,44	7,57	[87]
»	1791	То же	3,05	6,60	6,97	7,12	7,28	7,34	7,38	7,41	[87]
»	1789	»	2,95	6,60	6,96	7,08	7,22	7,35	7,39	7,42	[87]
Перидотит пироксеновый	1128	Южный Урал, Мугоджары	3,12	6,32	7,10	7,30	7,52	7,86	8,06	—	[87]
То же	583	Кольский полуостров	3,29	6,70	7,00	7,25	7,50	7,96	8,23	8,35	[13]
»	609	То же	3,33	7,87	8,01	8,10	8,19	8,33	8,44	8,50	[29]
»			3,33	7,80	7,91	8,00	8,17	8,45	8,60	8,65	ИФЗ
»	1381	Камчатка, вулкан Авача	3,19	3,50	4,80	5,05	5,40	5,82	6,08	6,23	»
			3,18	3,90	4,95	5,20	5,47	5,83	6,11	6,30	[46]
			3,19	3,90	4,95	5,20	5,47	5,83	6,11	6,30	[46]
»	1381	То же	3,17	4,70	5,80	6,20	6,65	7,32	7,59	7,75	[46]
			3,19	5,10	6,40	6,70	7,05	7,59	7,89	8,05	[46]
Перидотит серпентинизированный	3н	ВКМ	2,77	5,70	5,78	5,83	5,89	6,02	6,17	6,34	[27]
То же			2,77	5,92	6,00	6,04	6,09	6,20	6,34	6,44	[27]
»	5н	»	2,78	6,09	5,27	6,34	6,42	6,49	6,59	6,68	[27]
»			2,79	5,91	6,05	6,10	6,23	6,34	6,40	6,52	[27]
»	4н	»	3,05	6,12	6,55	6,72	6,88	7,12	7,25	7,33	[27]
			3,00	6,04	6,41	6,50	6,57	6,70	6,85	6,95	[27]
Перидотит плагиоклазовый	587	Кольский полуостров	3,32	7,13	7,60	7,80	8,25	8,44	8,65	8,80	[15]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	σ при p , кбар							Источник
				0,001	0,5	1	2	5	10	15	
Пироксенит	1381	Камчатка, вулкан Авача	3,21	4,50	5,30	5,70	6,19	6,77	7,05	7,20	[46]
			3,21	4,50	5,55	6,00	6,45	6,85	7,17	7,35	[46]
»	1004	Дальний Восток	3,33	6,90	7,40	7,50	7,57	7,60	—	—	[15]
»	1056	Малый Кавказ	3,29	6,90	7,17	7,30	7,42	7,63	—	—	[15]
»	926	Кольский полуостров	3,31	7,60	7,71	7,79	7,86	7,96	8,02	8,02	[15]
»	599	То же	3,26	7,00	7,50	7,70	7,90	8,14	8,26	8,30	[15]
»	908	Кольский полуостров, Коммикиви	3,22	7,05	7,14	7,19	7,24	7,30	7,37	7,45	ИФЗ
»	590	ВКМ	3,20	6,63	7,18	7,42	7,58	7,68	7,79	7,93	»
Пироксенит амфиболовый	1133	Центральный Казахстан	3,19	6,61	7,12	7,26	7,38	7,54	7,61	—	[87]
То же	1137	То же	3,25	6,52	7,10	7,22	7,29	7,38	—	—	[87]
»	606	ВКМ	3,25	6,00	7,59	7,65	7,73	7,87	8,03	8,15	ИФЗ
»			3,25	6,56	7,40	8,10	8,26	8,38	8,51	8,70	»
Пироксенит оливниновый	469	Кольский полуостров, Сопча	3,29	7,62	7,75	7,87	7,97	8,02	—	—	[13]
То же	472	Кольский полуостров, Ниятис-Кумужья	3,30	7,00	7,46	7,67	7,70	7,70	—	—	[13]
»	469	Кольский полуостров	3,29	6,70	7,00	7,10	7,32	7,53	7,59	7,62	[13]
»	457	То же	3,24	7,14	7,32	7,40	7,40	7,40	—	—	[13]
Метаморфические породы											
Амфиболит гранат-пироксеновый	974	Кольский полуостров	3,31	6,76	7,05	7,21	7,32	7,48	7,58	7,64	[15]
Амфиболит	976	То же	3,19	5,02	6,00	6,31	6,53	6,85	6,92	6,98	[15]
			3,18	5,57	6,20	6,75	6,92	7,03	7,07	7,09	[15]
»	977	»	2,94	6,08	6,50	6,70	6,88	6,92	—	—	[13]
»	573	Северный Кавказ	3,15	6,40	6,67	6,75	6,89	7,11	7,31	7,38	[87]
»	1760	Центральный Казахстан	3,00	6,18	6,30	6,43	6,54	6,81	7,06	7,10	[87]
»	1831	То же	3,02	5,30	5,78	6,34	6,64	6,77	6,90	6,96	[13]
»	2034	Кавказ, р. Ганачхир	6,00	6,45	6,75	6,86	6,94	7,06	7,11	7,11	[13]
»			6,40	6,90	6,95	6,99	7,07	7,11	7,24	7,24	[13]
»		Казахстан, Кокчетавское поднятие	3,01	6,27	6,32	6,36	6,41	6,57	6,76	6,86	[87]
»	3371	ВКМ	2,98	6,54	6,59	6,64	6,72	6,96	7,05	7,11	[27]
»	3527	»	2,92	6,69	6,83	6,96	7,02	7,04	7,08	—	[27]
»	3530	»	3,01	6,58	6,70	6,78	6,81	6,86	6,92	6,93	[27]
»		»	3,27	5,82	7,25	7,36	7,44	7,54	7,62	7,70	[15]
Амфиболит гранатовый	975	Кольский полуостров									
То же	722	Северный Кавказ, р. Малая Лаба	3,20	7,04	7,30	7,56	7,73	7,94	—	—	[13]
Амфиболит кварцевый	2035	Северный Кавказ, р. Кубань	3,03	6,67	7,10	7,28	7,36	7,41	—	—	[13]
			3,03	6,78	7,15	7,44	7,62	7,72	—	—	[13]
То же	1117	Центральный Казахстан	3,01	6,22	6,76	6,90	6,96	7,09	7,28	—	[37]
Амфиболит с гранатом	3948	Приполярный Урал	3,28	4,95	7,25	7,67	7,92	8,33	8,67	8,70	[28]
			3,22	4,71	6,42	6,92	7,17	7,50	7,87	8,17	[28]
Горнблендит		То же	3,34	5,94	6,36	6,44	6,60	6,83	6,98	7,07	[19]
Гнейс гранат-биотит-амфиболовый	939	Кольский полуостров	3,06	6,31	7,04	7,26	7,32	7,42	7,50	7,53	[15]
			4,75	5,90	6,4	6,58	6,73	6,83	6,86	[15]	
			3,50	4,70	5,50	5,76	5,92	6,02	6,07	[15]	

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	σ при p , кбар						Источник		
				0,001	0,5	1	2	5	10		15	
Гнейс-кварц-гранат-эпидот-амфиболовый	869	Кольский полуостров	2,96	5,90	6,73	6,92	7,02	7,12	7,16	7,18	[15]	
				4,95	6,20	6,40	6,46	6,52	6,58	6,60	[15]	
				4,72	5,60	6,20	6,28	6,39	6,51	6,58	[15]	
Гнейс кианит-гранатовый	728	То же	2,86	3,84	5,82	6,08	6,20	6,32	—	—	[15]	
				2,85	3,80	5,80	6,06	6,12	6,14	—	—	[15]
Гнейс кварц-биотит-амфибол-полевошпатовый	972	»	2,83	5,24	6,24	6,35	6,43	6,60	6,82	6,98	[15]	
				4,50	5,40	5,80	5,99	6,25	6,41	6,48	[15]	
				3,59	4,50	5,00	5,30	5,65	5,76	5,84	[15]	
Гнейс биотит-кварц-плагиоклазовый	460	»	2,84	6,03	6,40	6,50	6,60	6,65	6,80	—	[15]	
Гнейс кианит-биотит-амфиболовый	968	»	2,82	5,93	6,66	6,95	7,10	7,30	7,45	7,52	[15]	
				4,10	5,58	5,98	6,14	6,30	6,48	6,60	[15]	
				3,30	4,60	5,25	5,55	5,79	6,00	6,17	[15]	
Гнейс олигоклазовый	864	Северный Кавказ, р. Малая Лаба	2,72	3,70	4,90	5,30	5,85	6,04	—	—	[15]	
Гнейс аплитовый	1052	Северный Кавказ, р. Моцеевая	2,71	6,13	6,17	6,20	6,25	6,31	—	—	[15]	
Гнейс плейчатый	1744	Северный Кавказ, р. Махер	2,65	3,93	4,90	5,76	6,05	6,27	—	—	[15]	
				2,64	3,95	4,96	5,60	5,94	6,22	6,34	6,39	[15]
				4,85	5,44	5,72	5,87	6,04	6,16	6,25	[15]	
Гнейс хлоритизированный	1741	Северный Кавказ	2,67	3,00	4,80	5,55	5,81	6,05	—	—	[15]	
Гнейс	1835	Центральный Казахстан	2,66	4,53	6,18	6,30	6,39	6,50	6,57	6,3	[87]	
	2608	То же	2,81	5,20	5,62	5,76	5,92	6,18	6,37	6,44	ИФЗ	

Гнейс пироксен-рогово-обманковый	2900	Центральный Казахстан	3,16	6,42	6,50	6,54	6,57	6,61	6,66	6,71	ИФЗ
				5,60	6,20	6,28	6,32	6,42	6,50	6,60	»
Гнейс гранат-амфиболовый	3946	Приполярный Урал	2,94	4,54	6,17	6,42	6,83	7,17	7,25	7,33	»
Гранито-гнейс биотитовый	2030	Северный Кавказ	2,77	5,16	5,90	6,08	6,24	6,36	—	—	[15]
				4,75	5,40	5,90	6,14	6,33	—	—	[15]
Гранито-гнейс	263	Северная Карелия	2,61	4,70	5,15	5,50	5,68	5,85	6,02	6,17	[13]
				3,30	4,16	4,60	4,78	5,08	5,33	5,53	[13]
Гранито-гнейс	740	То же	2,68	5,20	5,96	6,10	6,18	6,33	6,46	6,60	[13]
				4,80	5,60	5,95	6,10	6,22	—	—	[15]
То же	966	Кольский полуостров	2,66	4,02	5,00	5,73	5,88	6,02	6,16	6,25	[15]
				4,47	5,60	5,76	5,91	6,10	6,22	6,26	»
				4,57	5,64	5,88	6,03	6,19	6,30	6,32	»
»	967	То же	2,65	3,50	4,80	5,76	5,93	6,10	6,21	6,25	ИФЗ
				4,02	5,00	6,00	6,12	6,24	6,32	6,36	»
				4,06	4,98	6,03	6,16	6,29	6,35	6,38	»
Мигматит биотит-амфиболовый	2907	ВКМ	2,65	5,80	6,38	6,44	6,49	6,56	6,58	6,60	»
				5,38	5,82	5,96	6,08	6,16	6,23	6,27	»
Мигматит	2908	»	2,62	5,80	6,29	6,34	6,38	6,46	6,54	6,58	»
				3409	2,63	5,90	6,04	6,10	6,12	6,22	6,29
»	3481	»	2,70	5,70	5,80	5,88	5,94	5,98	6,00	6,08	»
»	728	Северный Кавказ, р. Уруштен	2,85	5,76	6,25	6,39	6,52	6,52	—	—	[14]
				5,75	6,15	6,45	6,49	6,55	—	—	[14]
Плагиогнейс	947	Кольский полуостров	2,84	4,25	5,12	5,49	5,65	5,85	6,00	6,03	[15]
				5,50	6,04	6,18	6,28	6,43	6,48	6,52	[15]
				4,90	5,84	5,91	5,94	5,98	5,99	6,03	[15]
»	1627	То же	2,71	5,60	5,74	5,85	6,04	6,43	—	—	[15]
				2,70	5,07	5,86	6,17	6,28	6,42	—	—
»	1631	»	2,67	5,90	6,02	6,04	6,06	6,14	6,18	6,23	[15]
				2913	ВКМ	2,83	4,94	5,22	5,48	5,72	6,00
»	862	Северный Кавказ	2,83	4,94	5,22	5,48	5,72	6,00	—	—	[15]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	в при р, кбар							Источник
				0,001	0,5	1	2	5	10	15	
Серпентинит с рудной вкрапленностью	919	Кольский полуостров	3,56	6,18	6,29	6,37	6,44	6,56	6,63	6,65	ИФЗ
Серпентинит	928	То же	2,92	6,20	6,28	6,33	6,35	6,40	6,48	6,51	» [14]
»	240	Урал, карьер Серебры	2,66	5,70	6,06	6,20	6,29	6,40	—	—	
»	1057	Северный Кавказ	2,61	5,10	5,40	5,60	5,74	5,92	—	—	[15]
»	212	Малый Кавказ	2,53	4,48	4,90	5,05	5,14	5,29	5,47	5,60	[13]
»	214	То же	2,65	5,55	6,08	6,18	6,24	6,40	6,62	6,78	[13]
»	137	»	2,70	5,55	6,05	6,28	6,60	6,92	6,97	7,00	[13]
Серпентинит бастит-хри- зотиловый	5	»	2,38	3,02	3,40	3,78	4,14	4,60	4,76	5,13	[27]
Серпентинит апонеридо- титовый	1я	ВКМ	2,60	4,25	4,67	4,73	4,80	4,91	5,10	5,26	[27]
То же	2я	»	2,62	5,00	5,44	5,49	5,53	5,61	5,77	5,87	[27]
Серпентинит антигори- товый	10Ш	»	2,81	6,61	6,66	6,68	6,70	6,75	6,86	6,94	[27]
То же	8Ш	»	2,81	6,10	6,11	6,12	6,18	6,31	6,50	6,54	[27]
Серпентинит окремнен- ный	6380	Северный Кавказ, р. Уруштен	2,84	6,47	6,87	7,08	7,18	7,18	—	—	[15]
Серпентинизированный дунит	27	Малый Кавказ	2,62	5,81	5,88	5,92	6,00	6,10	6,42	6,61	[45]
Серпентинизированный перidotит		То же	2,77	5,96	6,12	6,25	6,41	6,67	6,93	7,16	[45]
Сланец хлорито-амфибо- ловый	1101	Центральный Казахстан	3,11	6,30	6,45	6,56	6,69	6,88	7,42	—	[37]
Сланец кварц-гранато- амфиболовый	1844	То же	3,08	6,83	6,86	6,94	6,95	6,96	6,99	7,02	[37]
Сланец хлорито-амфибо- ловый	1102	»	3,05	6,03	6,18	6,33	6,45	6,82	7,30	—	[37]
То же	1101	»	3,11	6,30	6,45	6,56	6,69	6,88	7,42	—	[37]
»	1102	»	3,05	6,03	6,18	6,30	6,45	6,82	7,30	—	[37]
Сланец кварц-гранато- амфиболовый	1844	»	3,08	6,83	6,86	6,94	6,95	6,96	6,99	7,02	[37]
Сланец хлорито-кварце- вый	23—1970	»	2,89	6,14	6,40	6,53	6,64	6,77	6,85	6,90	[37]
Сланец кварц-биотитовый	2606	»	2,81	5,20	5,62	5,76	5,91	6,18	6,37	6,44	[37]
Сланец кварц-гранато- сланцевый	1845	»	2,85	6,20	6,68	6,83	6,95	7,11	7,22	7,30	[37]
Сланец двуслоистый	1757	»	2,65	5,40	5,67	5,71	5,81	6,08	6,20	6,30	[37]
Сланец гнейс-кварц-био- титовый	1834	»	2,80	5,20	5,54	5,76	5,94	6,16	6,32	6,44	[37]
Сланец амфиболитовый	935	Кольский полуостров	3,12 3,14	5,80 7,04	6,42 7,28	6,61 7,39	6,70 7,45	6,76 7,50	6,84 7,58	6,92 7,66	[15]
Сланец кварц-хлорито- амфиболовый	934	То же	3,04 3,02	5,82 7,10	6,28 7,21	6,43 7,27	6,51 7,33	6,60 7,42	6,68 7,48	6,71 7,51	[15]
Сланец хлоритовый	516	о. Сахалин	3,01 3,01 3,01	7,28 6,57 7,30	7,33 6,72 7,35	7,37 6,86 7,40	7,43 7,00 7,46	7,47 7,08 7,52	— — —	— — —	[25]
Сланец кварц-мускови- товый с гранатом	2032	Кавказ	2,96	5,76	6,10	6,30	6,51	6,62	—	—	[15]
Сланец амфиболовый	2038	»	2,92	5,45	6,09	6,26	6,42	6,56	—	—	[15]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	v при p , кбар						Источник	
				0,001	0,5	1	2	5	10		15
Сланец зеленый	2022	Кавказ	2,91	4,20	5,48	6,09	6,37	6,56	—	—	[15]
			2,91	6,35	6,51	6,60	6,69	6,76	—	—	
Сланец филлитовидный	894	Кольский полуостров	2,80	5,95	6,10	6,19	6,29	6,40	6,48	6,51	[15] ИФЗ
			2,80	6,41	6,44	6,46	6,50	6,55	6,59	6,60	
Сланец кварц-мусковитовый	2033	Кавказ	2,67	5,76	6,07	6,22	6,40	6,50	—	—	[15] ИФЗ ,
			2,67	5,55	5,88	6,12	6,29	6,40	—	—	
			2,67	5,40	5,91	6,20	6,35	6,44	—	—	
Сланец яшмовидный	576	Северный Кавказ, г. Дженту	2,76	5,80	6,10	6,26	6,40	6,46	6,60	6,64	[15]
Сланец хлорит-биотит-карбонатный	—	То же	2,76	5,30	6,25	6,32	6,36	6,43	6,55	6,60	[15]
			2,76	5,12	5,50	5,60	5,67	5,83	6,07	6,27	
Сланец дистено-слюдистый	—	Казахстан, Кокчетавское поднятие	2,78	5,92	6,12	6,26	6,47	6,70	6,72	6,76	[98]
Сланец кварц-слюдистый	—	То же	2,76	5,74	5,81	5,85	5,94	6,07	6,18	6,27	[98]
Сланец метаморфизованный	6319	Северный Кавказ, р. Малая Лаба	2,80	5,40	6,05	6,20	6,40	6,48	6,49	6,51	[15]

Сланец хлорит-серицит-кварцевый	3556	ВКМ	2,77	6,55	6,83	6,90	6,98	7,08	7,14	7,17	ИФЗ
Сланец биотит-кварцевый	3536	»	2,65	5,70	5,76	5,80	5,85	5,93	6,00	6,03	»
Эклогит	1592	Южный Урал	3,23	7,13	7,37	7,55	7,62	7,75	7,84	7,93	[21]
	1593	То же	3,27	6,66	7,5	7,8	7,87	7,98	8,12	8,22	[21]
»			3,28	6,82	7,19	7,4	7,52	7,69	7,84	7,89	[21]
»	1599	»	2,82	6,50	6,74	7,04	7,44	7,97	8,20	8,20	[21]
»		»	3,27	5,90	7,6	8,03	8,03	8,05	8,12	8,40	[21]
»		»	3,35	5,8	6,78	7,48	7,94	8,27	8,28	8,28	[21]
»	1594	»	3,31	6,64	7,14	7,57	7,75	8,12	8,15	8,15	[21]
»	1600	»	3,13	6,25	6,95	7,22	7,33	7,50	7,58	7,60	[21]
»	1601	»	3,08	6,45	6,90	7,08	7,17	7,30	7,33	7,38	[21]
»	1602	»	3,17	7,36	7,74	7,90	7,96	8,09	8,28	8,52	ИФЗ
»		»	3,26	7,48	7,82	7,97	8,01	8,12	8,26	8,54	[21]
»	1603	»	3,12	6,84	6,37	7,61	7,62	7,68	7,73	7,78	
»	1590	»	3,24	8,00	8,12	8,18	8,23	8,30	8,32	8,35	ИФЗ
»	—	Казахстан, Кокчетавское поднятие	3,31	6,42	6,63	6,84	7,21	7,66	7,89	8,02	[98]

Скорость распространения продольных ν волн (в км/с) в горных породах Украинского щита при различных гидростатических давлениях p [40, 41, 86, 112]

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	ν при p , кбар				
			0,001	0,5	1	2	5
Габбро	Хлебодаровка	2,950	6,41	6,54	6,58	6,62	6,71
»	»	2,885	6,38	6,50	6,55	6,58	6,67
»	»	2,925	6,37	6,56	6,60	6,65	6,74
Габбро-монзонит средне-мелкозернистый	Хлыстуново	2,710	5,68	6,06	6,11	6,16	6,26
То же	»	2,720	6,04	6,25	6,28	6,33	6,41
Габбро-монзонит средне-зернистый	»	2,827	6,04	6,18	6,20	6,25	6,34
То же	»	2,731	5,88	6,16	6,24	6,29	6,36
»	»	2,718	6,07	6,21	6,24	6,27	6,36
»	»	2,737	5,90	6,24	6,28	6,30	6,37
Габбро-иорит среднезернистый	Головино	2,948	6,75	6,82	6,84	6,87	6,93
То же	Володарск-Волинский	3,037	6,75	6,85	6,86	6,88	6,95
»	Горбулев	2,909	6,82	6,91	6,92	6,93	6,99
»	Головино	2,950	6,88	6,93	6,95	6,97	7,03
»	»	2,980	7,01	7,06	7,08	7,10	7,17
»	»	2,946	6,99	7,07	7,08	7,11	7,18
Гнейс биотит-плагноклазовый мелкозернистый	Ерки	2,745	5,86	5,93	5,95	6,00	6,10
То же	Гуляй-Поле	2,745	6,10	6,26	6,32	6,38	6,49
»	Ватутино	2,750	5,34	5,53	5,58	5,65	5,77
»	»	»	6,22	6,28	6,30	6,34	6,42
»	»	»	5,41	5,67	5,72	5,77	5,88
»	Юрковка	2,690	5,98	6,06	6,08	6,11	6,21
»	Иосиповка	2,758	6,07	6,16	6,20	6,25	6,35
»	Ватутино	2,735	6,16	6,25	6,28	6,34	6,42
»	Ульяновка	2,658	7,15	7,31	7,35	7,39	7,50
			5,34	5,65	5,93	6,00	6,12
Гнейс биотит-плагноклазовый среднезернистый	Гуляй-Поле	2,766	6,11	6,36	6,42	6,49	6,61
Гнейс пироксен-плагноклазовый мелкозернистый	Казавчян	2,959	6,50	6,60	6,63	6,67	6,76
То же	Новоархангельск	3,077	6,95	7,04	7,08	7,12	7,17
»	»	»	6,32	6,48	6,52	6,57	6,66
»	Концеполь	3,060	7,02	7,06	7,08	7,10	7,17
»	»	»	6,70	6,74	6,77	6,81	6,88
»	Гайворон	3,077	6,91	7,14	7,18	7,23	7,32
»	»	»	6,53	6,54	6,58	6,72	6,81
Гнейс амфибол-плагноклазовый среднезернистый	Тальное	3,100	6,90	6,94	6,96	7,01	7,08
»	»	»	6,36	6,41	6,43	6,47	6,54
Гнейс амфибол-плагноклазовый мелкозернистый	Люшневатое	3,076	6,11	6,64	6,68	6,74	6,86
То же	Гайворон	3,120	6,48	6,78	6,83	6,89	6,97
»	Шелудьки	3,074	6,87	7,05	7,13	7,22	7,36
»	»	»	6,18	6,54	6,61	6,67	6,79
Гнейс пироксен-биотит-плагноклазовый мелкозернистый	Новополтавка	2,852	5,95	6,18	6,26	6,34	6,48
»	»	»	5,28	5,67	5,76	5,85	6,01
Гнейс амфибол-плагноклазовый мелкозернистый	Тальное	3,102	6,78	6,83	6,86	6,91	7,00
Гнейс пироксен-биотит-плагноклазовый мелкозернистый	Новополтавка	2,795	6,09	6,33	6,37	6,41	6,50
»	»	»	5,60	5,97	6,07	6,13	6,23
Гнейс амфибол-биотит-плагноклазовый мелкозернистый	Елисеевка	2,902	5,62	6,50	6,63	6,76	6,88
»	»	»	3,47	5,39	5,48	5,58	5,73
Гнейс биотит-амфибол-плагноклазовый мелкозернистый	»	2,924	5,81	6,59	6,69	6,79	6,93
»	»	»	4,30	5,69	5,86	6,04	6,26
Гранит среднезернистый	Райки	2,731	5,72	6,09	6,13	6,20	6,34
То же	Стрыжовка	2,690	5,68	6,09	6,15	6,22	6,35
»	Коростка	2,719	5,26	6,07	6,14	6,22	6,37
»	Грицев	2,767	5,65	6,12	6,17	6,25	6,39

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	v при p , кбар				
			0,001	0,5	1	2	5
Гранит среднезернистый	Острополь	2,734	5,93	6,18	6,22	6,27	6,39
То же	Галиевка	2,733	5,38	6,16	6,21	6,28	6,42
»	Красноселка	2,724	5,84	6,17	6,21	6,28	6,42
»	Жежелево	2,740	5,69	6,19	6,25	6,33	6,47
»	Чуднов	2,702	5,98	6,26	6,31	6,37	6,50
»	Бродецкое	2,715	5,64	6,26	6,31	6,37	6,51
»	Лозна	2,782	6,08	6,32	6,37	6,44	6,56
»	Черепашинцы	2,764	5,83	6,33	6,37	6,43	6,57
»	Хохитва	2,629	5,43	5,84	5,92	5,99	6,13
»	»	2,612	5,48	6,08	6,15	6,21	6,32
»	Танское	2,646	4,70	5,85	6,01	6,13	6,26
»	Ново-Романовка	2,646	5,88	6,07	6,12	6,17	6,27
»	Богуслав	2,637	5,52	6,02	6,12	6,19	6,28
»	Житомир	2,639	5,49	6,08	6,14	6,20	6,29
»	»	2,636	5,50	6,11	6,16	6,22	6,32
»	Полонное	2,683	5,84	6,11	6,15	6,21	6,32
»	Лысяя Гора	2,675	5,20	5,98	6,07	6,18	6,34
»	Пляковка	2,650	6,00	6,17	6,21	6,26	6,34
»	Умань	2,650	5,69	6,16	6,20	6,25	6,36
»	Пос. Карла Маркса	2,605	5,03	5,97	6,10	6,19	6,32
»	Красноселка	2,596	5,90	5,99	6,02	6,06	6,15
»	Норинск	2,604	5,87	6,01	6,05	6,11	6,20
»	»	2,604	5,93	6,13	6,17	6,21	6,30
»	Щерсовка	2,602	5,83	6,08	6,12	6,17	6,28
»	Могильно	2,610	5,95	6,11	6,15	6,21	6,31
»	Коростень	2,628	5,90	6,16	6,19	6,24	6,33
»	Игнатполь	2,618	5,95	6,16	6,19	6,24	6,34
»	»	2,622	5,93	6,18	6,21	6,25	6,34
»	Лезники	2,620	5,82	6,17	6,22	6,28	6,38
»	Лозоватое	2,748	5,61	6,17	6,22	6,28	6,40
»	Погребище	2,647	5,70	6,19	6,24	6,29	6,40
»	Тальное	2,705	6,08	6,20	6,25	6,31	6,41
»	Богуслав	2,646	5,24	6,15	6,24	6,29	6,42
»	Чапли	2,674	5,51	5,85	5,93	6,03	6,16
»	»	2,673	5,59	5,96	6,04	6,11	6,23
»	Бородаевка	2,634	5,73	6,04	6,09	6,14	6,23
»	Натальевка	2,635	4,94	5,94	6,04	6,13	6,25
»	»	2,632	5,21	5,92	6,04	6,14	6,28
»	Бородаевка	2,664	5,49	6,08	6,14	6,19	6,28
»	Зеленовка	2,619	3,55	5,56	5,87	6,06	6,23
»	»	2,585	4,37	5,85	6,01	6,15	6,28
»	Смолка	2,635	5,42	6,01	6,07	6,14	6,24
Гранит мелкозернистый	Гайворон	2,640	6,04	6,18	6,21	6,24	6,32
То же	Янцево	2,667	4,81	5,75	5,92	6,03	6,14
»	Сергеевка	2,632	4,42	5,79	5,93	6,04	6,16
»	Янцево	2,663	4,85	5,82	5,95	6,04	6,16
»	Сергеевка	2,619	4,28	5,86	5,99	6,09	6,21
»	Содомирка	2,784	6,26	6,38	6,41	6,46	6,57
»	Гулянка	2,607	5,42	5,84	5,91	6,00	6,12
»	Беги	2,594	5,50	5,87	5,94	6,02	6,14
»	Радомышль	2,621	5,52	5,93	5,99	6,04	6,14
»	»	2,616	5,08	5,88	5,97	6,06	6,18
»	Каменный Брод	2,640	4,74	5,94	6,03	6,10	6,19
»	Белая Церковь	2,639	5,63	6,00	6,05	6,10	6,21
»	Крошня	2,666	5,51	6,03	6,08	6,12	6,21
»	Иваньков	2,654	5,46	5,95	6,02	6,09	6,22
»	Тальное	2,634	5,41	6,01	6,07	6,14	6,23
Гранит мелко-среднезернистый	Шевченково	2,635	4,41	5,46	5,62	5,74	6,21
То же	»	2,629	4,30	5,46	5,66	5,81	6,21
»	Салтычия	2,692	4,51	5,55	5,79	5,98	6,22
Гранит средне-мелкозернистый	Выбоево	2,615	3,87	5,66	5,88	6,04	6,23
То же	»	2,613	3,90	5,66	5,85	6,05	6,36
Гранит порфировидный	Кировоград	2,673	5,29	6,03	6,07	6,13	6,36
То же	»	2,630	5,87	6,13	6,17	6,24	5,91
»	Саврово	2,690	5,30	6,08	6,16	6,22	5,99
»	»	2,689	5,55	6,14	6,20	6,26	6,16

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	σ при p , кбар				
			0,001	0,5	1	2	5
Гранит порфировидный	Коростышев	2,667	5,83	6,20	6,23	6,28	6,37
То же	Терновое	2,617	4,99	6,03	6,14	6,24	6,38
»	Беги	2,665	5,98	6,21	6,26	6,30	6,40
»	Лозоватое	2,755	5,87	6,21	6,24	6,29	6,40
»	Терновое	2,629	5,09	6,06	6,18	6,30	6,46
»	Коростышев	2,652	5,44	6,25	6,33	6,40	6,50
»	Беги	2,647	5,84	6,31	6,36	6,41	6,52
»	Кировоград	2,643	5,43	6,31	6,37	6,45	6,58
»	»	2,617	5,11	6,42	6,51	6,60	6,70
»	Вагутино	2,592	5,62	6,36	6,44	6,53	6,64
»	Коларовка	2,612	4,78	5,68	5,87	6,02	6,17
»	Новополтавка	2,652	4,72	5,99	6,14	6,27	6,40
»	»	2,646	4,93	6,18	6,31	6,47	6,62
»	Ток	2,630	4,83	5,86	6,03	6,16	6,31
»	»	2,642	5,34	5,98	6,11	6,20	6,33
Гранит клесовский мелкозернистый	Клесово	2,727	6,03	6,16	6,20	6,24	6,31
То же	»	2,735	6,06	6,16	6,21	6,24	6,32
Гранит осницкий среднезернистый	»	2,689	5,55	6,14	6,20	6,26	6,36
То же	Селище	2,700	5,40	5,83	5,93	6,03	6,17
»	»	2,724	5,04	5,82	5,94	6,04	6,18
»	Ломск	2,747	5,58	6,08	6,19	6,27	6,38
»	»	2,751	5,97	6,24	6,29	6,34	6,45
»	Клесово	2,657	5,53	6,17	6,28	6,34	6,45
Гранит рапакиви	Городище	2,670	5,26	6,15	6,20	6,25	6,34
»	Малин	2,673	6,22	6,40	6,42	6,46	6,52
»	Пенизевичи	2,644	5,77	6,39	6,41	6,44	6,54
»	Пенизевичи	2,632	6,20	6,40	6,43	6,47	6,55
»	Корсунь-Шевченковский	2,675	5,68	6,38	6,42	6,48	6,57
»	То же	2,651	5,29	6,33	6,41	6,48	6,61

Гранит рапакививидный	Искреннее	2,664	6,28	6,41	6,55	6,48	6,57
То же	»	2,644	6,05	6,48	6,44	6,62	6,73
»	Володарск-Волынский	2,626	5,98	6,24	6,28	6,36	6,43
»	То же	2,662	4,94	6,26	6,31	6,36	6,47
»	Березовка	2,625	4,92	6,28	6,32	6,36	6,45
»	Емельяновк	2,614	4,85	6,25	6,30	6,33	6,47
»	Андреевка	2,600	3,95	5,81	5,99	6,11	6,28
Гранит кварцево-биотитовый среднезернистый	Карань	2,631	4,48	5,84	6,02	6,16	6,31
То же	»	2,626	4,46	5,84	6,02	6,16	6,32
»	»	2,638	5,18	6,00	6,11	6,20	6,32
Гранит биотитовый мелкозернистый	Гречкино	2,630	4,65	5,61	5,74	5,86	6,02
То же	»	2,650	5,39	5,81	5,89	5,96	6,08
Гранит биотитовый среднезернистый	Мирное	2,632	4,27	5,89	6,04	6,16	6,33
То же	Кальчик	2,644	5,59	6,28	6,32	6,37	6,47
»	Хлебодаровка	2,670	6,02	6,32	6,38	6,44	6,54
Гранит роговообманковый среднезернистый	Мирное	2,699	6,07	6,23	6,27	6,30	6,38
То же	»	2,693	6,12	6,28	6,31	6,34	6,42
»	Хлебодаровка	2,690	5,86	6,23	6,28	6,34	6,44
Гранодиорит мелкозернистый	Андровка	2,646	4,58	5,80	5,96	6,06	6,18
То же	»	2,644	4,34	5,77	5,94	6,05	6,18
»	Осипенко	2,772	4,24	5,58	5,89	6,13	6,34
Гранодиорит среднезернистый	Шепетовка	2,690	5,90	6,08	6,12	6,18	6,31
То же	»	2,735	5,93	6,14	6,17	6,22	6,32
»	»	2,711	6,17	6,26	6,29	6,34	6,44
Граносиенит среднезернистый	Кальчик	2,685	5,26	6,11	6,19	6,26	6,37
Диорит среднезернистый	Ямбург	2,733	5,97	6,20	6,26	6,33	6,44
То же	»	2,784	6,08	6,24	6,30	6,38	6,48
»	Вирий	2,851	5,35	6,19	6,29	6,38	6,53
»	»	2,846	5,68	6,27	6,35	6,43	6,56
Диорит кварцево-биотитовый среднезернистый	Карань	2,739	4,23	5,77	5,95	6,09	6,24
То же	»	2,720	4,35	5,76	5,93	6,09	6,26

Порода	Место отбора образца	δ, г/см ³	v при p, кбар				
			0,001	0,5	1	2	5
Лабрадорит среднезернистый	Пенизевичи	2,763	6,52	6,61	6,63	6,66	6,73
То же	Константиновка	2,764	5,75	6,50	6,61	6,70	6,80
»	Каменка	2,804	6,23	6,66	6,71	6,77	6,84
»	»	2,768	6,69	6,82	6,85	6,88	6,96
Лабрадорит средне-крупнозернистый	»	2,761	6,55	6,71	6,74	6,79	6,85
Лабрадорит крупнозернистый	Пенизевичи	2,713	6,61	6,79	6,81	6,84	6,92
То же	Слипчинцы	2,760	6,53	6,81	6,84	6,86	6,92
»	Горбулев	2,889	6,75	6,87	6,88	6,90	6,95
»	»	2,769	6,96	7,09	7,10	7,12	7,16
»	Головино	2,853	6,69	6,98	7,01	7,03	7,08
»	Турчинка	2,798	7,05	7,16	7,18	7,21	7,29
Мигматит мелкозернистый	Лысая Гора	2,703	5,50	6,06	6,11	6,17	6,30
То же	Чаусово	2,619	4,89	5,37	5,43	5,47	5,57
»	Иосиповка	2,601	5,28	5,92	5,98	6,04	6,16
»	Ульяновка	2,627	4,88	5,73	5,88	5,98	6,12
»	»	2,601	5,82	5,86	5,94	6,02	6,17
»	Гайворон	2,616	4,76	5,88	5,96	6,02	6,12
»	Зеленая Левада	2,606	5,90	6,06	6,09	6,13	6,23
»	»	2,606	5,72	6,12	6,17	6,23	6,32
»	Куйбышево	2,718	5,66	5,99	6,04	6,10	6,19
»	»	2,765	5,99	6,14	6,22	6,30	6,40
»	»	2,765	5,66	5,85	5,92	6,00	6,12
»	»	2,765	5,64	6,02	6,12	6,20	6,34
»	Концеполь	2,607	4,58	5,65	5,79	5,92	6,09
»	»	2,607	6,20	6,30	6,33	6,37	6,44
»	»	2,607	6,09	6,20	6,25	6,28	6,37

Мигматит среднезернистый	Трудовое	2,708	5,55	6,01	6,09	6,18	6,30
»	»	2,708	5,14	5,85	5,96	6,05	6,15
То же	»	2,652	5,45	6,04	6,16	6,24	6,34
»	»	2,652	5,26	5,89	6,01	6,09	6,21
»	»	2,665	5,66	6,03	6,13	6,22	6,34
»	»	2,665	5,42	5,89	6,01	6,12	6,26
»	Софиевка	2,666	4,90	5,79	5,95	6,09	6,24
»	»	2,666	5,13	5,77	5,89	6,01	6,15
»	»	2,659	4,71	5,81	5,97	6,08	6,22
»	»	2,659	5,22	5,84	5,95	6,05	6,18
»	»	2,659	5,27	6,19	6,23	6,28	6,38
Монцит среднезернистый	Адабаш	2,680	5,40	6,23	6,27	6,33	6,44
То же	»	2,662	5,40	6,38	6,43	6,48	6,59
»	»	2,685	5,72	6,51	6,56	6,60	6,71
»	»	2,623	5,65	6,27	6,32	6,37	6,46
»	Кальчик	2,728	5,79	6,28	6,34	6,40	6,49
»	»	2,715	5,76	6,38	6,43	6,51	6,62
»	»	2,707	5,34	5,87	5,96	6,08	6,25
Плагногранит среднезернистый	Варваровка	2,710	5,21	5,79	5,95	6,10	6,27
То же	»	2,713	5,96	6,06	6,11	6,16	6,28
»	Кривой Рог	2,710	5,98	6,09	6,13	6,18	6,28
»	»	2,670	5,52	6,07	6,14	6,19	6,29
Плагногранит мелкозернистый	Таромское	2,685	5,67	6,11	6,16	6,22	6,32
То же	»	2,652	4,81	6,00	6,15	6,23	6,35
»	Михайловка	2,722	5,76	6,16	6,22	6,27	6,37
»	Кайдаки	2,723	5,52	6,10	6,20	6,27	6,38
»	»	2,650	4,62	6,06	6,23	6,35	6,47
»	Михайловка	2,650	4,62	6,06	6,23	6,35	6,47
Порфирит клесовский среднезернистый	Томашгород	2,828	5,89	6,09	6,16	6,22	6,33
То же	»	2,843	5,73	6,12	6,19	6,27	6,38

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	v при p , кбар				
			0,001	0,5	1	2	5
Собит среднезернистый	Бранлов	2,666	6,03	6,21	6,24	6,28	6,35
То же	Билки	2,750	5,43	6,18	6,25	6,30	6,40
»	Гайсин	2,707	6,11	6,25	6,28	6,32	6,41
»	Коржев	2,755	5,88	6,18	6,24	6,30	6,44
»	Нижне-Крапивка	2,720	6,04	6,30	6,35	6,38	6,48
»	Калинино	2,720	4,95	6,26	6,32	6,38	6,50
Чарнокит мелкозернистый	Гайворон	2,629	5,92	6,07	6,10	6,14	6,23
То же	Ольшанка	2,681	4,82	5,98	6,07	6,15	6,28
»	Черневы	2,670	6,13	6,20	6,23	6,26	6,32
Чарнокит среднезернистый	Собаров	2,686	6,15	6,21	6,24	6,27	6,34
То же	Триполье	2,737	5,38	6,14	6,19	6,25	6,35
»	Новоархангельск	2,720	5,93	6,06	6,11	6,15	6,24
»	Скалополь	2,729	5,67	6,16	6,24	6,28	6,37
»	»	2,722	6,20	6,29	6,31	6,33	6,40
»	Остатковцы	2,686	5,56	6,34	6,38	6,44	6,60
»	Вахновка	2,760	6,15	6,42	6,47	6,54	6,66
»	Меджибок	2,682	6,25	6,32	6,35	6,38	6,46
»	Черневы	2,651	6,22	6,36	6,38	6,41	6,48
Чарнокит мелкозернистый	Завалье	2,833	6,43	6,57	6,61	6,66	6,74
То же	»	2,944	6,67	6,76	6,78	6,82	6,90
»	»	3,382	6,49	6,65	6,76	6,81	6,92
»	Терновка	2,714	6,09	6,22	6,27	6,33	6,43
»	Концеполь	3,030	6,29	6,35	6,38	6,40	6,47

Аномалии скорости, которые иногда наблюдаются, связаны с полиморфными переходами в некоторых минералах. Отмечается резкое уменьшение скорости в известняках и других кальцитсодержащих горных породах при давлении около 15 кбар вследствие полиморфного превращения кальцита, сопровождающегося понижением скорости [19, 41].

Как видно из табл. 6, 7, 9 и 10, для горных пород одинакового состава наблюдается большой разброс значений скорости, особенно при атмосферном давлении. На основании построения вариационных

кривых при разных давлениях были определены параметры нормального распределения скорости: среднее значение, среднее квадратичное отклонение (дисперсия) и т. д. С увеличением давления среднее значение скорости возрастает, а дисперсия уменьшается. На рис. 4 приведены плотности вероятности $f(v)$ распределения скорости при $p = 4$ кбар для изверженных и метаморфических пород. Следует отметить, что вариационные кривые скорости для метаморфических пород имеют несколько условный смысл, так как породы обладают анизотропией скорости и характеризовать их средней величиной нецелесообразно. Однако

средние значения скорости позволяют судить о влиянии минерального состава на свойства метаморфических пород.

При изучении влияния одновременного воздействия высокого давления и температуры на скорость распространения упругих волн в горных породах большое внимание уделяется методике проведения эксперимента [16, 41, 42, 89, 111].

Понижение скорости распространения продольных волн с повышением температуры при $p = 4$ кбар зависит от минерального состава и структуры горной породы (рис. 5). С увеличением температуры скорость распространения продольных волн в кварцевом стекле или горных породах с большим содержанием стекла остается почти постоянной или возрастает. Особенно

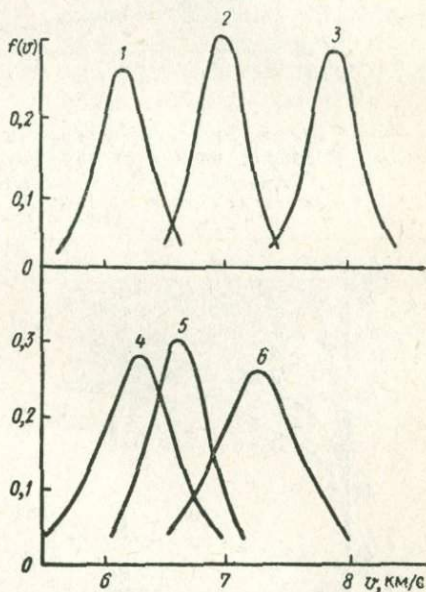


Рис. 4. Вариационные кривые распределения $f(v)$ скорости распространения продольных волн.

1 — гранит; 2 — габбро; 3 — ультраосновная порода; 4 — гнейс; 5 — сланец; 6 — амфиболит

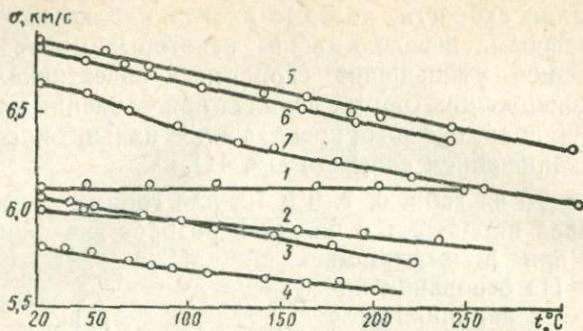


Рис. 5. Зависимость скорости распространения продольных волн v от температуры t при $p = 4$ кбар. 1 — плавленый кварц; 2 — кристаллический кварц; 3, 4 — различные образцы гранита; 5, 6 — различные образцы диабазы; 7 — известняк

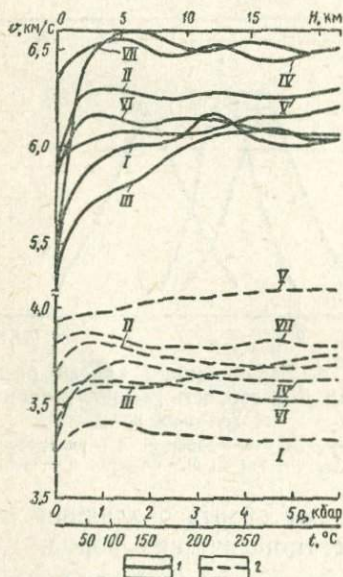


Рис. 6. Изменение скорости распространения продольных и поперечных волн v в породах кислого состава Украинского щита при одновременном программном [41, 111, 112] воздействии высоких квазигидростатических давлений p и температур t .

I, II — различные образцы порфиоровидного гранита; III — гранит рапакиви; IV — гранит среднесерпентный; V — кварцит; VI, VII — различные образцы чарнокита; I — v_p ; 2 — v_s

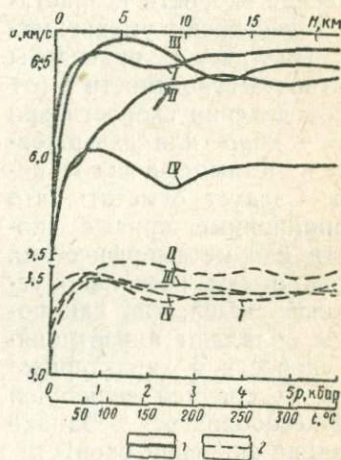
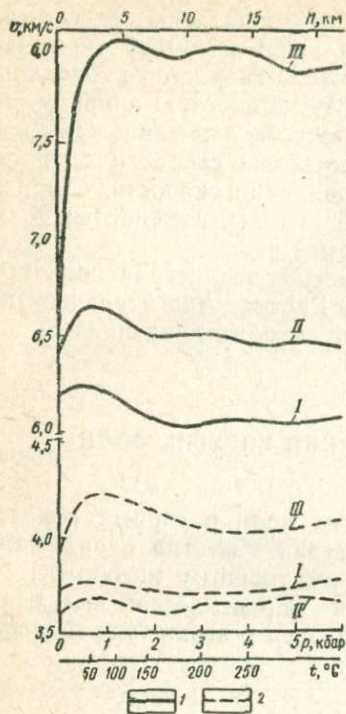


Рис. 7. Изменение скорости распространения продольных и поперечных волн v в породах среднего состава Украинского щита при одновременном программном [41, 111, 112] воздействии высоких квазигидростатических давлений p и температур t .

I — гранит осницкий; II, III — различные образцы диорита; IV — собит; 1 — v_p ; 2 — v_s



сильное понижение скорости наблюдается в горных породах, в состав которых входит большое число разных минералов.

При моделировании в опытах одновременного программного воздействия высоких давлений и температур на различные горные породы установлены сложные зависимости изменения скорости распространения продольных и поперечных упругих волн от конкретных региональных термодинамических

Рис. 8. Изменение скорости распространения продольных и поперечных волн v в породах основного состава Украинского щита при одновременном программном [41, 111, 112] воздействии высоких квазигидростатических давлений p и температур t .

I — диабаз; II — лабрадорит; III — эглогитоподобная порода; 1 — v_P ; 2 — v_S

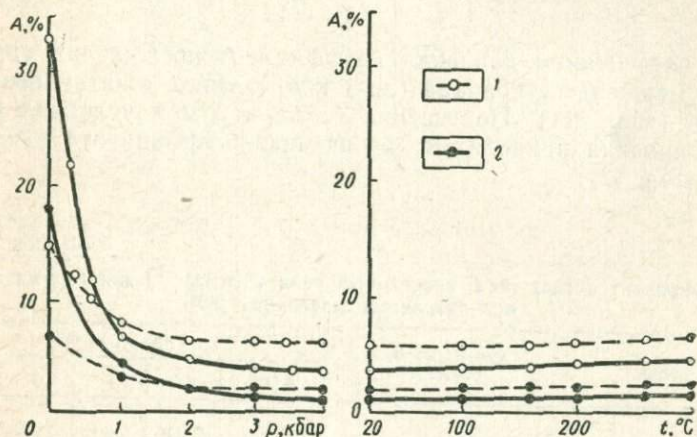


Рис. 9. Зависимость коэффициентов анизотропии A скорости распространения продольных (сплошная линия) и поперечных (пунктир) волн от давления p и температуры t .

1 — кварц-амфибол-биотитовый сланец; 2 — эпидот-амфибол-биотитовый сланец

ких условий [41, 111, 112]. На рис. 6—8 приведены графики изменения скоростей с возрастанием давления и температуры. Наблюдаются области пониженных значений скоростей продольных и поперечных волн, имеющих термодинамическую природу.

Увеличение температуры при высоком давлении практически не влияет на коэффициент анизотропии скорости в горных породах (рис. 9). При постоянном давлении скорость, измеренная в разных направлениях у одной породы, изменяется почти одинаково с увеличением температуры.

Погрешность определения скорости распространения продольных волн составляет 0,5—2%. Расчет относительных погрешностей измерения скоростей при высоких давлениях приведен в работах [19, 86, 89 и др.].

§ 4. КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН

Исследований поглощения упругих волн в горных породах при высоких давлениях и температурах известно очень мало, и проводятся они ультразвуковым импульсным методом [89]. Коэффициент поглощения определяется как отношение амплитуды A_1 начального импульса к амплитуде A_2 после прохождения через образец длиной l :

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \frac{A_1}{A_2}.$$

С повышением давления коэффициент поглощения упругих волн уменьшается вначале (до 1 кбар) резко, а затем незначительно (табл. 11). Повышение температуры в условиях высокого давления приводит к увеличению коэффициента поглощения (табл. 12).

Таблица 11
Коэффициент поглощения продольных волн α (в см^{-1}) для горных пород при различных давлениях [89]

Порода	Место отбора образца	α при p , кбар				
		0,001	0,5	1	2	3
Доломит	Подольск	0,056	0,046	0,043	0,040	0,038
Базальт	Грузия	0,011	0,009	0,008	0,008	0,008
Базальт	Берестовецкое место-	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011
Габбро-диорит	рождение	0,032	0,028	0,027	0,026	0,024
Габбро	Швеция	0,015	0,014	0,012	0,012	0,012
Мрамор	Урал	0,014	0,011	0,009	0,009	0,009
Сиенит	»	0,041	0,036	0,034	0,033	0,032

Таблица 12

Коэффициент поглощения продольных волн* α (в см^{-1})
 минералов и горных пород при высоких давлениях p и температурах t

Минерал или порода	Место отбора образца	p , кбар	α при t , °C		
			100	300	500
Минералы					
Актинолит	Кольский полуостров	10	0,14	0,165	0,192
Гранат	То же	15	0,01	0,03	0,048
Данбурит	»	15	0,05	0,09	0,125
Горные породы					
Амфиболит	ВКМ	10	0,048	0,145	0,240
	»	10	0,088	0,180	0,274
	»	10	0,126	0,218	0,310
Андезит	Армения	10	0,115	0,198	0,282
Гранит	ВКМ	10	0,154	0,230	0,305
Диабаз	»	5	0,085	0,141	0,198
	»	10	0,062	0,084	0,108
	»	15	0,055	0,068	0,080
Кварцевое стекло	»	10	0,152	0,180	0,208
Дунит	Сибирь	10	0,145	0,185	0,240
Оливинит	»	5	0,074	0,164	0,264
	»	10	0,028	0,088	0,150
	»	15	0,022	0,075	0,127
Перидотит	Кольский полуостров	10	0,054	0,065	0,075
Эклогит	Урал	10	0,100	0,145	0,196

* Данные М. П. Воларовича, Е. И. Баяк и Г. Ш. Шагинына

Глава III

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

Электрическими параметрами геологических объектов являются электрическое сопротивление и диэлектрическая проницаемость. Электрическое сопротивление минералов и горных пород варьирует в широких пределах и очень сильно уменьшается с повышением температуры [60]. В температурном поле электрическое сопротивление подчиняется экспоненциальному закону:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_{0i} \exp(E_0/kT_i),$$

где ρ_{0i} — коэффициент сопротивления при $1/T=0$ E_0 — энергия активации; T_i — температура; k — постоянная Больцмана.

Закон изменения сопротивления геологических образований с повышением давления не установлен. Согласно экспериментальным данным, изменение давления от 0,5 до 20 кбар несоизмеримо меньше изменяет сопротивление пород, чем изменение температуры от 100 до 1000° С.

Величина и интенсивность уменьшения сопротивления минералов с повышением температуры являются функциями химического состава и структуры. При этом основное влияние оказывает тип катиона и его параметры. Повышению электропроводности минералов способствует одновременное наличие катионов Fe^{2+} , Fe^{3+} и Na^+ . Противоположное влияние оказывают катионы Si^{4+} , Al^{3+} , Mg^{2+} и Be^{2+} . Электрическое сопротивление горных пород при высоких термодинамических параметрах является функцией их химического и минерального состава, структурных и текстурных особенностей, геометрии проводящей компоненты, чаще всего в виде магнетита или титаномагнетита и реже графита и пирита. Кроме того, в результате процессов метаморфизма, катаклаза, наличия вторичных изменений (пелитизация, серицитизация, сосюритизация) существенно уменьшается сопротивление горных пород в широкой области температур. Процессы дегидратации, декарбонатизации и деграфитизации нарушают линейный характер зависимости между $\lg \rho$ и $1/T$ и обуславливают различного вида аномалии (рис. 10, 11).

Экспериментальный материал об изменении удельного сопротивления в интервале температуры 200—1000° С получен при измерении в окислительной среде (воздух) [61]. Установлено, что при температуре 1000° С и выше в зависимости от парциального давления кислорода величина сопротивления железоза-

содержащих минералов может варьировать в пределах одного порядка. О проявлении термохимических реакций в некоторой мере может свидетельствовать характер зависимости $\lg \rho = f\left(\frac{1}{T}\right)$, полученной при охлаждении.

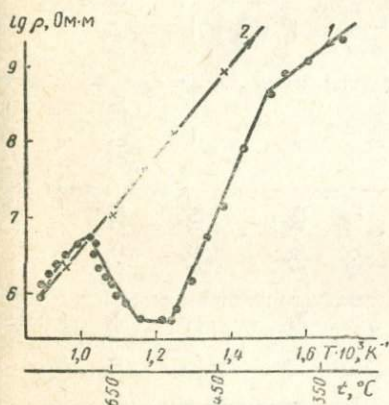


Рис. 10. Зависимость электрического сопротивления ρ брусита от температуры T .

1 — нагрев; 2 — охлаждение

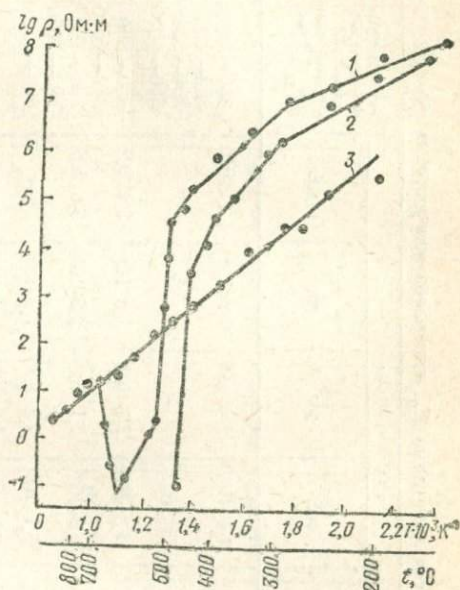


Рис. 11. Аномальное изменение электрического сопротивления ρ сидерита в температурном поле.

1 и 3 — соответственно нагрев и охлаждение; 2 — нагрев

В табл. 13 и 14 приведены электрические параметры, полученные экспериментальным путем при температуре от 200 до 1000° С для минералов и сухих горных пород. В табл. 15 помещены результаты измерений удельного электрического сопротивления минералов, содержащих различные окислы, в условиях одновременного воздействия высоких давлений и температур. Опыты проведены при квазигидростатических давлениях, когда главные напряжения $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, причем приведенное в таблице давление $p = \sigma_1$ согласно тарировке камеры по висмуту на 2—3 кбар больше гидростатического.

Характер изменения электрического сопротивления под влиянием давления также определяется химическим составом минералов. Для минералов, основным токоносителем которых являются одновалентные ионы с большим ионным радиусом (Na^+ , K^+), наблюдается увеличение сопротивления с повышением давления. При более высоких температурах такое повы-

Удельное электрическое сопротивление ρ , энергия активации E_0 минералов при высоких температурах t

Минерал	Химическая формула	ρ (в Ом·м) при t , °C					Температурный интервал для определения E_0 и $\lg \rho_0$, Δt , °C	E_0 , эВ
		200	400	600	800	1000		
Ангидрит (поликристалл)	CaSO_4	$4,4 \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^6$	$2,8 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^3$	200—350 350—500 550—850 850—1000	0,48 1,40 0,66 1,76
Альбит*	$\text{Na} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	$1,1 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	450—860 860—1050	0,54 1,60
Барит (поликристалл)	BaSO_4	—	$2,6 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^3$	200—790 790—1050	0,54 1,76
Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	$9,8 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$	—	350—950	0,86
Биотит	$\text{K} (\text{Mg}, \text{Fe})_3$ $[\text{Si}_3\text{AlO}_{12}] (\text{OH}, \text{F})$	$3,1 \cdot 10^{11}$	$1,7 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^5$	—	—	До 830 830 200—950	0,82 2,60 0,80
Брусит (поликристалл)	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$5,6 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^8$	$4,6 \cdot 10^5$	—	—	100—500 500—700 700—950	1,0 Аномалия 2,0
Гранат* (альмандин)	—	$3,4 \cdot 10^8$	$9,1 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10$	300—390 390—540 540—700	0,65 2,20 Аномалия
							90—300 300—750 750	1,00 0,80 1,42

Гранат* (альмандин)	—	$3,5 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10$	До 350 350—800 > 800	0,76 1,00 2,00
Данбурит*	$\text{CaB}_2 [\text{SiO}_4]$	$4,2 \cdot 10^8$	$7,6 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^3$	3,9.10	—	До 350 350—780 750	0,80 0,92 1,7—2,0
		$4,8 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^4$	$6,6 \cdot 10^3$	Плавле- ние	До 500 500—600 600—950	1,20 Аномалия 0,7
		—	1,9	$2,4 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	То же	До 500 500—650 650—950	1,1 Аномалия 0,65
		—	$2,10^7$	$2,4 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^5$	»	До 500 500—600 600—950	1,4 Аномалия 0,66
Кальцит	CaCO_3	$1,6 \cdot 10^{10}$	$6,3 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^3$	200—400 400—550 550—700	1,08 Аномалия 0,92
Лабрадор (поликристалл)	$(\text{Na}, \text{Ca}) [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	$5,6 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	$0,29 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^2$	100—800 800—1000 1000—1100	0,53 0,93 3,5
Магнезит (поликристалл)	MgCO_3	10^{10}	$5,6 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^4$	—	350—500 550—710 750—900	1,3 Аномалия 2,2
Микроклин	$\text{K} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	10^{10}	$3,8 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^6$	$9,1 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^3$	До 550 550—900 900—1090	0,72 1,13 3,7
Мусковит	$\text{KAl}_2 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH})_2$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$5,9 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^5$	—	150—450 450—700 700—950	0,8 Аномалия 2,25
»	—	$1,7 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^8$	$8,4 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^4$	150—400 400—700 700—950	0,95 Аномалия 2,2

Минерал	Химическая формула	ρ (в Ом·м) при t , °C					Температурный интервал для определения E_0 в $\lg \rho_0$, Δt , °C	E_0 , эВ
		200	400	600	800	1000		
Натролит	—	$2,5 \cdot 10^8$	10^8	$1,8 \cdot 10^2$	—	—	150—250 250—400 400—500 550—800	0,36 2,00 Аномалия 0,4
Нефелин *	$\text{Na} [\text{AlSiO}_4]$	$3,7 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^2$	200—450 450—700 700—1050 150—700 700—1050	0,2 0,66 1,6 0,4 1,6
Олигоклаз *	$\text{Na}_2 \text{Ca} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	—	$1,8 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^3$	300—700 700—900 До 900 900—1050	0,54 1,8 0,8 2,0
Ортоклаз	$\text{K} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	10^{12}	$1,3 \cdot 10^7$	$6,2 \cdot 10^5$	$8,3 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	До 300 300—900 900—1500	0,6 0,85 3,72
Пирофиллит (поликристалл)	$\text{Al}_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_2$	10^{10}	$9,1 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^3$	—	280—900	1,1
Серпентин (поликристалл)	$\text{Mg}_6 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_8$	$7,7 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^6$	$7,7 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^3$	До 400 400—900 900—1050 До 600 600—750 750—850 850—1050	0,21 0,8 2,0 0,6 Аномалия 1,4 1,8
Сидерит (поликристалл)	FeCO_3	$8,9 \cdot 10^7$	$5,4 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10$	1,9	—	150—300 300—450 450—490 500—700 700—900	0,14 1,05 3,00 Аномалия 1,0
Сильвин	KCl	—	10^7	$1,4 \cdot 10^8$	—	Плавле- ние	200—750	1,9—2,06
Сфен	$\text{CaTi} [\text{SiO}_4]_2\text{O}$	$9,1 \cdot 10^7$	$3,0 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$	100—750 750—1000 1000—1200	0,9 1,3 3,2
Тальк (поликристалл)	$\text{Mg}_3 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] [\text{OH}]_2$	10^9	$7,1 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^3$	300—950 950	0,94 2,5
Флогопит	$\text{KMg}_3 [\text{Si}_3\text{AlO}_{10}] [\text{OH}, \text{F}]_2$	$3,0 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^4$	100—350 350—400 400—750 750—950	0,5 1,5 0,5 2,4
Флюорит	CaF_2	$2,5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10$	2,9	200—1000	1,4
Эвдиалит (поликристалл)	$(\text{Na}, \text{Ca})_6 \text{LiSi}_6 [\text{OH}, \text{Cl}]$	$9,1 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^2$	$8,4 \cdot 10$	1,2	150—450 450—800 800—1200	0,5 0,7 2,4
Пироксены Энстатит	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	$3,7 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^8$	$4,3 \cdot 10^6$	—	$1,5 \cdot 10^4$	250—830 830—1100	0,96 1,60
Диопсид	$\text{CaMg} [\text{Si}_2\text{O}_6]$	$9,1 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^4$	—	$2,1 \cdot 10^3$	До 700 700—850 850—1050	0,98 Аномалия 1,0
Сподумен	$\text{LiAl} [\text{Si}_2\text{O}_6]$	$1,3 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^6$	10^5	—	$3,2 \cdot 10^4$	200—850 850—1000	0,86—0,7 2,7
Жадент (поликристалл)	$\text{NaAl} [\text{Si}_2\text{O}_6]$	$2,9 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^4$	—	—	До 700 700—850	0,4 2,0

Минерал	Химическая формула	ρ (в Ом·м) при t , °C					Температурный интервал для определения E_0 и $\lg \rho_0$, Δt , °C	E_0 , эВ
		200	400	600	800	1000		
Эгирин	$\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	$3,8 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^2$	$1,9^3$	—	1	100—775 775—850 850—1100	0,46 Аномалия 2,40
Геденбергит	$\text{CaFe}[\text{Si}_{12}\text{O}_6]$	$4 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10$	5,2			200—600	0,6
Амфиболы Тремолит (поликристалл)	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	$3,3 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^5$	—	$1,2 \cdot 10^4$	300—400 400—550 650—800 850—1000	1,16 0,77 0,82 1,62
Актинолит (поликристалл)	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}][\text{OH}]$	$4,8 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^3$	—	$4,2 \cdot 10^3$	200—500 500—630 630—830 830—1100	0,83 2,18 Аномалия 1,65
Роговая обманка	$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Te})_4(\text{Al}, \text{Fe}) \times [\text{SiAl}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$		$5,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^3$	—	$1,7 \cdot 10^3$	До 750 750—900 950—1050	0,69 Аномалия 1,46
Рибекит	$\text{Na}_2\text{Fe}_3^{+2}\text{Fe}_2^{+3}[\text{Si}_5\text{O}_{22}]^5 \times [\text{O}, \text{OH}]_2$	5,3 · 10	3,8 · 10	6,7 · 10	—	2,6	До 750 750—1050	0,42 0,90

Измерения осуществлялись во взаимно перпендикулярных направлениях.

Таблица 14

Удельное электрическое сопротивление ρ , энергия активации E_0 магматических и метаморфических пород при высоких температурах t

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	ρ (в Ом·м) при t , °C				Δt , °C	E_0 , эВ
			200	400	600	1000		
Кислые и средние породы								
Гранит	Казахстан	Кварц 30, олигоклаз 50—55, мусковит 8—10	$1,4 \cdot 10^9$	$4,3 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$	10^3	До 450 450—850 850—1050	0,79 1,03 2,6
			—	$1,2 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^3$	До 700 700—850 850—1050	0,8 0,9 1,5—2,0
							До 900 900—1050	0,88 2,0
Гранодиорит	Казахстан	Андезит 45, ортоклаз 22, биотит 18, кварц 20	$7,7 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^2$	До 900 900—1100	0,77 2,34
Диорит кварцевый	»	Плагиоклаз 60, хлорит, эпидот 20, кварц 20	$1,5 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^2$	До 600 600—900 900—1050	0,64 1,2 3,4
То же	ВКМ	Плагиоклаз 40—50, кварц 15, биотит 25, роговая обманка	$4 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^2$	До 650 650—800 800—1050	0,75 Аномалия 2,3
Диорит	Казахстан	Плагиоклаз 50, роговая обманка 22, кварц 18, диорит 10	$5,4 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^2$	До 900 900—1050	0,62 2,5

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	ρ (в Ом·м) при t , °C				Δt , °C	E_0 , эВ
			200	400	600	1000		
Диорит	Южный Урал	Плагиоклаз 60, кварц 8, пироксен 22, биотит 3	$2,3 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^5$	$6,2 \cdot 10^4$	$8,3 \cdot 10^2$	До 860 860—1050	0,62 2,16
Мигматит	ВКМ, Осколецкое	Плагиоклаз 30—40, микроклин 10—15, кварц 20—25, биотит 7—10	$1 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^2$	До 350 350—820 820—1050	0,28 0,52 4,7
»	То же	Плагиоклаз 50—60, кварц 20—25, биотит 10—15	$1,4 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^5$	$8,3 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^2$	220—860 860—1050	0,72 2,3
Основные породы								
Габбро	ВКМ, Мамоновский комплекс	Плагиоклаз 35—55, гиперстен 25, амфибол 15, клинопироксен 15, магнетит 10	$5,8 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10$	290—550 550—1050	0,8 1,6
»	Южный Урал	Плагиоклаз 45, пироксен 45, сфен, апатит, магнетит 10	$1,6 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^2$	До 920 920—1050	0,65 3,0
Габбро *	Кольский полуостров, Печенга	Авгит 50, плагиоклаз, амфибол, эпидот, хлорит, кварц	$2,3 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10$	100—650 650—1050	0,68 2,3
Габбро-норит	То же	Плагиоклаз 55—60, гиперстен 25, биотит 5	$7 \cdot 10^7$	$8,3 \cdot 10^5$	$1,02 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^2$	До 550 550—900 900—1050	0,63 1,16 1,9
Мегагаббро	Мончегорск		$5,4 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^2$	100—550 550—900 900—1200	0,54 1,1 3,1

Диабаз	Южный Урал	Плагиоклаз 60, актинолит 30, титаномagnetит 5, хлорит	$6,9 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^2$	До 450 450—850 850—1050	0,68 0,9 1,4—1
»	ДДВ	Плагиоклаз 76, авгит 11, карбонат 8, хлорит, магнетит 5	$6,5 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^3$	$9,7 \cdot 10^2$	$7,0 \cdot 10$	200—300 300—450 450—600 600—800	0,92 Аномалия 0,5 0,86
»	»	Плагиоклаз 50, пироксен 25, хлорит 20, рудный минерал 5	$2,1 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10$	$9,6$	250—700	0,46

Метаморфические породы

Амфиболит	ВКМ	Роговая обманка 50—60, плагиоклаз 35—45, титанит, рудный минерал	$1,7 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^3$	—	200—450 450—800	0,61 0,98
»	»	Плагиоклаз 50, клинопироксен 10, амфибол 40	$1,1 \cdot 10^8$	$1,25 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^4$	—	200—800	0,64
»	»	Плагиоклаз 40, роговая обманка 50, магнетит по границам зерен	$4,5 \cdot 10^8$	$8,1 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10$	$5,4$	200—400 400—550 600—1000	0,24 0,66 0,78
Амфиболит окварцованный	»	Амфибол 30, биотит 30, титанит, кварц	$1,1 \cdot 10^2$	$9,9 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^2$	200—400 400—550 550—800	0,01 Аномалия 0,52
Гнейс графитокордиеритовый	ДДВ	Кварц 36, андезин 31, биотит 31, кордиерит 5, графит, пирит 3	$1,9 \cdot 10$	$8,2$	$1,3$	$1,3 \cdot 10^2$	До 500 500—900	0,1 Аномалия
Гнейс гранатобитовый	То же	Кварц 35, андезин 30, биотит 29, гранат 5	—	$2,8 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	До 400 400—900	~0,1 Аномалия

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	ρ (в Ом·м), при t , °C				Δt , °C	E_0 , эВ
			200	400	600	1000		
Гнейс	ВКМ	Плагиоклаз 76, биотит 22, апатит, сфен 2	$9,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^4$	10^3	$1,3 \cdot 10^2$	200—500 500—850 850—1050	0,66 Аномалия 2,2
»	»	Олигоклаз 48, кварц 45, биотит, мусковит 5	$1,5 \cdot 10^8$	$1,25 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^3$	200—320 320—850 850—1050	0,2 0,74 2,5
Кварцит	—	—	$6,8 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^6$	$5,7 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	—	—
Серпентинит	ВКМ	Оливин полностью серпентинизирован, магнетит 5	6,1	2,8	3,0	$1,9 \cdot 10$	—	Аномалия
»	»	Пироксен 15 (изменен), серпентин 75, сульфиды и магнетиты 10	$5 \cdot 10^3$	$7,7 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^3$	До 800 800—1050	Аномалия 1,4
»	»	Серпентин 75, тальк 2, пироксен 10, магнетит 10	$2,3 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	$7,7 \cdot 10^2$	—	—
»	»	Пироксен 20, серпентинит 80 (хризотил)	$2,9 \cdot 10^8$	$6,0 \cdot 10^6$	$7,7 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^3$	До 620 620—1050	0,54 1,75
Сланец	»	Андезин 30, кварц 25, биотит и мусковит 25, гранат 15, титанит 2—3	$6 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10$	200—500 500—650 650—1000	~0,1 0,96 Аномалия
Сланец биотитовый	—	—	$1,3 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10$	4,4	$7,4 \cdot 10$	200—450 450—900	0,26 Аномалия
Сланец филлитовый	—	—	$2,4 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10$	200—650 650—1000	~0,01 Аномалия
Эклогит * пироповый	—	Пироп 50, хромопироксен	$3,6 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^3$	200—900 >900	1,06 2,8—3

Эклогит	Урал	Гранат 55—60, мусковит 15—20, амфибол 20, сфен 2—3	$2,9 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10$	200—900 >900	0,8 4,0
»	»	Гранат 50, хлорит 45, мусковит, кварц 5	$1,7 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^2$	200—700 700—900 >950	0,87 0,5 2,0
»	Казахстан	Пироп 60, оливин 25, серпентин 10, шпинель 2—3, рудный минерал 1—2	$1,02 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^2$	200—825 825—1100	0,75 1,71
»	»	Гранат 15, омфациит 30, роговая обманка 15, кварц 5	$6,0 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10$	150—700 700—1000	0,52 1,3

Эффузивные породы

Андезито-дацит	Камчатка	Плагиоклаз 30, роговая обманка 10, вулканическое стекло	$5 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^2$	5,2	До 350 350—400 400—1050	0,54 2,0 1,0
Андезит	»	Плагиоклаз, гиперстен, роговая обманка биотитизирована и сцементирована бурым стеклом	$5 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	4,9	До 900 900—1050	0,7 1,24
»	Украина	Стекло с хлоритом 49, плагиоклаз 26, анальцит 12, карбонат 7, магнетит 6	$9,9 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$	250—450 700—900 900—1000	0,86 0,78 2,34
»	Сахалин	—	$3,4 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10$	1,6	До 480	0,35

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	ρ (в Ом·м) при t , °C				Δt , °C	E_0 , эВ
			200	400	600	1000		
Базальт *	Гегамское нагорье	Плагиоклаз 90, 92, пироксен 5,08, оливин 2,64, рудный минерал 1,34	$1,8 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^3$	100—650 650—1000	0,82 1,25
»	Прибайкалье	Авгит, лабрадор, рудные минералы занимают промежутки	$4,3 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^2$	3,2	До 300 300—850	0,28 0,5—0,6
»	»	Авгит, оливин, лабрадор, стекло	$4,8 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^2$	3,2	До 850 >850	0,6 2,0
»	»	Плагиоклаз 55, оливин 20, пироксен 15, стекло 5—7, рудные минералы 5—7	$2 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$	8,3	100—600 600—900 >900	0,6 1,2 2,8
»	Чехословакия	Пироксен 40—50, полевой шпат 15, оливин 1,7, титаномагнетит	$2,5 \cdot 10^3$	$1,74 \cdot 10^2$	$3,9 \cdot 10$	—	200—850	0,36
»	»	Пироксен 40—50, полевой шпат 15, оливин 8,2 титаномагнетит 10	$2 \cdot 10^4$	$1,45 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	—	200—450 500—850	0,72 1
»	»	Пироксен 40—50, оливин 17,4, титаномагнетит 1,7	$4,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^2$	—	200—850	0,76
Базальт оливинный*	Сейшельские острова	Оливин 40—50, стекло, плагиоклаз	$7,1 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^3$	150—600 600—1100	0,7 1,6
Базальт долеритовый	»	Плагиоклаз 67, пироксен 17, роговая обманка 9, рудный минерал 3,5	$2,1 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10$	150—600 600—800 800—875 875—950 950—1200	0,55 0,32 2,60 0,32 3,0
Долерит среднезернистый	—	Плагиоклаз 41, пироксен моноклинный 40, оливин 10, рудный минерал 4—5	10^7	$6,2 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10$	100—300 300—900 900—1200	0,54 0,96 1,58
Долерит	Кавказ	—	10^7 — $1,7 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^4$ — $1,2 \cdot 10^5$	$8,3 \cdot 10^2$ — $1,1 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10$ — $2,1 \cdot 10^2$	До 750 875 750—1100	0,66—1,16 0—1,5 2,2—4,7 3,0—14,0
Кислое стекло	—	—	$4,0 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10$	200—500 500—650 650—900	0,66 0,42 1,5
»	Кавказ	—	$4,4 \cdot 10^7$	$1,76 \cdot 10^5$	$3,76 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^2$	200—450 500—650 700—850 850—1000	0,54 0,9 0,64 0,4
Туффит	Украина	Мелкие обломки спилита (кварц, плагиоклаз, кальцит) 20, рудный минерал 15, мартитизированный магнетит 15	$5,2 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^2$	7,8	250—400 400—1000	0,98 Аномалия
Туф	»	Обломочный минерал 70, рудный минерал 3, цемент 27	$2,6 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^2$	$7,7 \cdot 10$	300—500	0,4
»	»	Кварц, плагиоклаз, биотит 50, цемент (тонкодисперсная железистая гематитовая масса) 50	$1,1 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^2$	350—600 700—900	0,28 1,42

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	ρ (в Ом·м) при t , °C				Δt , °C	E_0 , эВ
			200	400	600	1000		
Щелочные породы								
Биотит пироксеновый *	Кольский полуостров, Сынырский калиевый массив	Полевой шпат 65, биотит 1—5, пироксендиоксид 10—15	$2,4 \cdot 10^8$	$3,1 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^2$	200—800 800—1100	0,84 2,0
Сиенит нефелиновый	Кольский полуостров, Ловозерский массив	Каликатровый полевой шпат, нефелин, альбит, амфибол, эвдиалит, сфен	$1,7 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^3$	1,9·10	20—750 750—1100	0,5 1,83
Уртит *	То же	Нефелин 79, каликатровые полевые шпаты 7, темноцветные 41	$3,1 \cdot 10^8$	$1,25 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	6,1·10	20—400 400—525 525—800 800—1100	0,56 Аномалия 0,58 1,0
Фоялит *	»	Нефелин 36, каликатровые полевые шпаты и альбит 67, темноцветные 9	$2,3 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^4$	$1,05 \cdot 10^4$	7,7·10	200—600 600—800 900—1100	0,56 0,74 3,46
Эгирин (нефелиновая порода)	Хибицкий щелочной массив	Эгирин 80—90, нефелин 10—20	$6,7 \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^4$	$1,05 \cdot 10^4$	3,0	20—500 500—1100	0,4 1,1
Ювит *	Кольский полуостров, Ловозерский массив	Нефелин 36, каликатровые полевые шпаты 51, темноцветные 13	$7,6 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$	20—750 750—900 900—1100	0,66 Аномалия 2,88
Ультраосновные породы								
Дунит пиропшипельевый *	Якутия, трубка «Обнаженная»	Оливин, гранат, хромит	$3,6 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^4$	2,5·10	200—850 850—1200	0,82 1,72
Дунит шпинелевый *	То же	Оливин, хромит, серпентин	$1,2 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^4$	10 ²	150—550 550—1200	0,6 1,92
Оливинит, ксенолит	Авачинский вулкан	Оливин, серпентин	$3,1 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^4$	5,6·10	200—850 850—1200	1,0 3,7
Оливиновый нодуль в базальте *	Оз. Байкал	—	$3,8 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^2$	150—900 900—1200	0,65 1,6
Оливинит	Кольский полуостров	Оливин 95, серпентин 5	$2,0 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^7$	$8,3 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^3$	150—400 400—875 875—1200	0,68 1,2
Оливинит крупнокристаллический *	Кольский полуостров, Ловозерский массив	Оливин, серпентин	$2,5 \cdot 10^9$	10 ⁷	$2,5 \cdot 10^4$	3,1·10	150—550 550—700 700—1200	0,94 — 1,85
Перидотит пироповый *	Якутия, трубка «Обнаженная»	Оливин, гранат, серпентин	10 ⁹	$4,0 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^3$	150—875 875—950	0,78 1,74
Перидотит серпентинизированный	—	Оливин 85, серпентин 10, пироксен 5	$8,5 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^8$	$4,1 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	До 600 600—800 > 800	0,5 Аномалия 1,14
Пироксенит моноклинный	Русская платформа	Диоксид 80, хлорит 20	$5 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^3$	До 600 600—950 > 950	0,6 1,0 2,66
Пироксенит	Кольский полуостров	Пироксен 80, серпентин + хлорит 20	$3,1 \cdot 10^9$	$5,6 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^3$	100—670 670—1000	0,6 2,2
Пироксенит оливиновый	То же	Пироксен 90, оливин 8, рудные минералы 2	$2,5 \cdot 10^9$	$2,5 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^3$	До 850 850—1100	1,0 2,2
Пироксенит эгириновитовый	—	Эгирин-авгит 70, роговая обманка, слюда	$2,2 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^2$	1,3·10	1,8	До 620 620—1000	0,76 0,36÷0,5

* Данные А. Т. Бондаренко.

Таблица 15

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом·м) минералов, содержащих различные окислы, при высоких давлениях p и температуре t

Минерал	Содержание окислов, %	t , °C	ρ при p , кбар			
			1	5	10	20
Актинолит	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 13	200	$1,2 \cdot 10^7$	$7,1 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^6$
		600	$1,4 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^2$
Альмандин	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 43	200	$6,7 \cdot 10^6$		$6,1 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^6$
		600	5,9·10	1,8·10		
Геденбергит	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 29	200	$4 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$
		600	5,3	3,6	3,1	2,9
Рибекит	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 25—34	200	$1,4 \cdot 10^2$	8,3·10	4,3·10	2,0·10
		600	4,3	1,6	1,4	1,2
		200	3,8·10	1,1·10	3,8	1,8
		600	$7,7 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$7,7 \cdot 10^{-2}$
Роговая обманка	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	200	$1,0 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$
		600	$1,2 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^2$	$5,3 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$
Сидерит	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 62	200	$5,3 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$
		600	1,6	1,1	$8,7 \cdot 10^{-1}$	1,0
Эгирин	$\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$; 28,5—33,1	200	$3,8 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$
		600	5,9	3,2	2,0	$3,8 \cdot 10^{-1}$
Хромдиопсид	CaO; 21,1 MgO; 16,9 Cr ₂ O ₃ ; 2,1	200	$2,8 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^7$	$9,3 \cdot 10^6$
		600	$3,8 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$
Энстатит	CaO; 1,48	200	$3,3 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^7$	$2,0 \cdot 10^7$
		600	$8,4 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^2$
Альбит	Na ₂ O; 10,7	200	$3,7 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^7$
		600	$3,9 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^3$
Барит	BaO; 62,49	200	10 ⁸	$8,4 \cdot 10^7$	$8,4 \cdot 10^7$	$6,7 \cdot 10^7$
		600	$1 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$
Берилл	BeO; 14,1 Al ₂ O ₃ ; 19	200	$2,6 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$
		600	$5,5 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$
Диопсид	CaO; 28,81	200	$1,4 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^8$
		600	$1,4 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^2$
Жадент	Na ₂ O; 12—14,4	200	$2,0 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$
		600	$1,3 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$
Микроклин	K ₂ O; 16,9	200	$2,5 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^8$	$2,9 \cdot 10^8$
		550	$4,1 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^4$

Минерал	Содержание окислов, %	t, °C	ρ при p, кбар			
			1	5	10	20
Натролит	Na ₂ O;	200	1,3 · 10 ⁷	1,1 · 10 ⁷	1,0 · 10 ⁷	1,4 · 10 ⁶
	15	600	1,8 · 10 ²	1,1 · 10 ²	6,7 · 10	4 · 10
Нефелин	Σ Na ₂ O + + K ₂ O; 18—20	280	1,5 · 10 ⁴	1,3 · 10 ⁴	1,3 · 10 ⁴	1,8 · 10 ⁴
		600	3,5 · 10 ²	3,2 · 10 ²	4,0 · 10 ²	6,0 · 10 ²
Серпентинит (моно- минеральный)	MgO; 43	200	9,8 · 10 ⁴	1,6 · 10 ⁵	2,6 · 10 ⁵	5,4 · 10 ⁵
		600	8,2 · 10 ⁴	5,6 · 10 ⁴	5,4 · 10 ⁴	6,8 · 10 ³
Сподумен	Li ₂ O; 7,12	200	1,2 · 10 ⁷	1,0 · 10 ⁷	1,0 · 10 ⁷	1,0 · 10 ⁷
		600	2,2 · 10 ²	1,8 · 10 ²	1,7 · 10 ²	1,2 · 10 ²
Тремолит (моно- минеральный)	CaO; 13	200	6,8 · 10 ⁷	6,6 · 10 ⁷	6,1 · 10 ⁷	5,8 · 10 ⁷
		600	4,5 · 10 ³	2,3 · 10 ³	1,8 · 10 ³	—

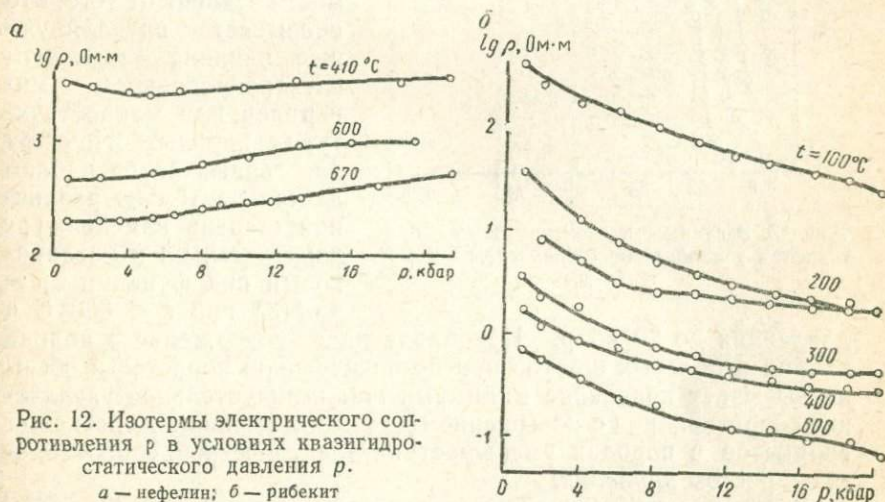


Рис. 12. Изотермы электрического сопротивления ρ в условиях квазигидростатического давления p .

а — нефелин; б — рибекит

шение больше. Например, для нефелина (рис. 12, а) возрастание электрического сопротивления с повышением давления от атмосферного до 20 кбар составляло 70% при 670°С. Наличие катионов железа в химической формуле минералов или значительное их содержание (2—5%) в виде примесей в указанных условиях вызывает, наоборот, уменьшение сопротивления с ростом давления (рис. 12, б).

Характер изменения ρ от давления для влагосодержащих изверженных и метаморфических пород зависит от степени их насыщения. При полном влагонасыщении и поровом давлении p_p , близком к атмосферному (или $p_p = \text{const}$), сопротивление породы растет, а наиболее интенсивное изменение наблюдается

в диапазоне давления 0,01 ÷ 1,5 кбар. В условиях неполного влагонасыщения в зависимости от типа нагружения (одноосное давление, квазигидростатическое или гидростатическое) и содержания порового раствора может проявляться различный характер изменения ρ с повышением давления [61, 63].

Закономерность изменения ρ для обезвоженных изверженных пород с ростом давления определяется макроструктурными особенностями породы и ее минеральным составом. Под

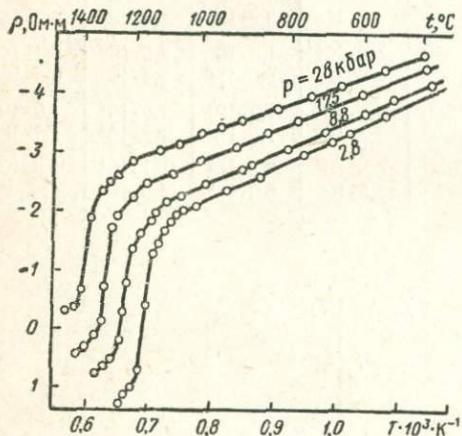


Рис. 13. Зависимость электрического сопротивления ρ альбита от температуры t и давления p .

макроструктурой породы следует понимать величину коэффициента пористости и геометрию порового пространства. Характер изменения сопротивления горных пород с повышением давления в области примесной проводимости зависит от того, что оказывает преобладающее влияние — механизм электропроводности минералов или макроструктура породы. Поэтому для горных пород наблюдается не только различная степень изменения ρ с давлением, но и неодинаковый вид функции $\rho = f(p)$ при $t \leq 650^\circ \text{C}$ и

давлениях до 20 кбар. Преобладающее содержание в породе кварца и полевых шпатов при незначительной пористости обычно вызывает появление минимума или незначительное увеличение сопротивления с повышением давления. Наличие железистых силикатов в породах уменьшает их электрическое сопротивление с ростом давления.

В области собственной электропроводности, т. е. при $t > 650^\circ \text{C}$ и при высоких давлениях (табл. 16—20), наши сведения ограничиваются данными для нескольких минералов и разновидностей горных пород [95, 105, 115]. На рис. 13 приведены кривые $\rho = f(p)$ при различных давлениях для альбита.

Плавное изменение электрического сопротивления при высоких термодинамических параметрах может быть нарушено полиморфным переходом. При переходе фаялита оливиновой структуры в шпинель при $p > 33$ кбар и $t \geq 600^\circ \text{C}$ установлено резкое уменьшение сопротивления [100]. Переход же кианита в силлиманит при $t = 1130^\circ \text{C}$ и $p = 19$ кбар сопровождается увеличением сопротивления на порядок [75]. По изменению сопротивления также фиксируется полиморфный переход в содалите [103].

Таблица 16

Энергия активации E_0 оливинов при разных давлениях p и температурах

Порода	Место отбора образца	Соотношение Fe^{2+}/Fe^{3+}	Содержание Fe_2SiO_4	p , кбар	Δt , °C	E_0 , эВ	Источник
Форстерит синтетический	—	—	0	11,8	250—650	1,1	[103]
				23,4	390—650	1,89	
				35,4	390—650	2,97	
Форстерит (поликристалл)	США	8,2/0,04	8,6	20	20—350	0,33	[105, 115]
				20	350—650	0,52	
				20	700—1200	0,70	
				50	20—350	0,21	
				50	350—650	0,37	
Форстерит [010]	»	7,1/0,1	9,4	2,5	390—1000	0,98	[105, 115]
				7,5	390—630	1,2	
Оливин (порошок)	Гавай	79	10,4	11,5	250—350	0,7	[105, 115]
					350—500	0,9	
				21,6	250—350	0,7	
				31,8	350—500	0,8	
Фаялит	—	54,8/0,034	100	11,8	150—550	0,719	[103]
				4,72	150—550	0,53	

Таблица 17

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом·м) влагонасыщенных ω (в%) пород при $p = 0,1$ кбар, $p_{II} = 0,5$ кбар

Гранит, $\omega = 0,46\%$		Гранит, $\omega = 1,54\%$		Габбро, $\omega = 0,81\%$	
t , °C	$\rho \cdot 10^{-3}$, Ом·м	t , °C	$\rho \cdot 10^{-2}$, Ом·м	t , °C	$\rho \cdot 10^{-3}$, Ом·м
18	10,2	16	30,0	26	14,0
32	7,3	27	22,6	54	10,3
52	4,5	59	11,8	108	4,2
102	1,8	102	6,6	156	2,0
150	1,28	157	3,5	208	0,96
203	1,08	202	2,85		
		268	1,7		

Таблица 18

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом·м) воды при различной концентрации NaCl и температуре t [60]

t , °C	ρ при C , г/л							
	0,01	0,1	0,5	1	5	10	50	100
20	530	55	12	5,8	1,3	0,65	0,15	0,08
60	270	25	5,3	2,7	0,6	0,4	0,08	0,05
100	170	18	3,5	1,8	3,8	0,2	0,05	0,03

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом · м) эффузивных, интрузивных и метаморфических пород при высоких давлениях p

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	$t, ^\circ\text{C}$	ρ при p , кбар			
				1	5	10	20
Амфиболит	—	—	200	$1,8 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^5$
			300	$2,6 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$	$9,4 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$
			400	$9,4 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$
			500	$1,1 \cdot 10^3$	$7,8 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	—
			600	$2,5 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	—
Базальт мелкозернистый*	Индийский океан	Плагиоклаз 55, авгит 20, стекло 15—30, рудные минералы 75	100	$3,2 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^6$	$7,7 \cdot 10^6$
			200	$7,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$
			300	$4,8 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$
			400	$6,3 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$
			520	$9,0 \cdot 10^2$	$7,7 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^2$
			600	$1,5 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$
Базальт нефелиновый	Сихотэ-Алинь	—	220	$8,3 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$
			400	$6,2 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$
			500	$1,8 \cdot 10^3$	$9,6 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^2$
			600	$2,0 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$
			700	$1,9 \cdot 10$	$1,8 \cdot 10$	$1,8 \cdot 10$	$1,4 \cdot 10$
Габбро оливиновое	Казахстан	Лабрадор, оливин 20—25, пироксен 17—18, клинопироксен 7—10	200	$1,2 \cdot 10^7$	$7,6 \cdot 10^6$	$6,7 \cdot 10^6$	$6,0 \cdot 10^6$
			400	$5,6 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$
			500	$1,0 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$
			600	$1,4 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^2$	$6,7 \cdot 10^2$	$6,7 \cdot 10^2$
То же	Чехословакия	Плагиоклаз, свежий оливин, пироксен, ильменит, халькопирит	200	$2,8 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$9,8 \cdot 10^7$
			400	$3,1 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$
			500	$4,5 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
			550	$4 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$
Габбро-норит	Казахстан	Лабрадор 50, оливин 10, пироксен 25, моноклиновый и ромбический пироксены 12, рудные минералы 1,5	200	$1,3 \cdot 10^8$	$9,6 \cdot 10^7$	$7,4 \cdot 10^7$	$7,7 \cdot 10^7$
			400	$7 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$
			500	$8,3 \cdot 10^4$	$6,1 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$
			600	$5 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$
Габбро роговообманковое	»	Плагиоклаз 40, роговая обманка 53, сульфиды 6—7	200	$3,2 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$
			400	$1,2 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^3$
			500	$2,8 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^2$	$1,03 \cdot 10^2$	—
			560	1,7	9,3 · 10	5,6 · 10	4,1 · 10
Габбро	»	Плагиоклаз и роговая обманка, рудные минералы, кварц	200	$6,1 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^5$
			300	$4,5 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$	$7,7 \cdot 10^4$	—
			400	$3,1 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$8,1 \cdot 10^3$	—
			450	$8,9 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$
Гнейс	ДДВ	Кварц 49, олигоклаз 28, биотит 18	200	$3,0 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^5$
			300	$1,8 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$
			400	$1,8 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$
			500	$8,2 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$
			600	$1,5 \cdot 10^3$	$9,1 \cdot 10^2$	$7,3 \cdot 10^2$	—
Гранит	Казахстан	Плагиоклаз 45, кварц 50, роговая обманка 3—4	200	$7,6 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$	$6,0 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^7$
			400	$1,9 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$
			500	$3,6 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^4$
			550	$1,6 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$
Гранит аляскитовый	»	Альбит 35, калиевый полевой шпат 30, кварц 35	200	$1,8 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^7$
			400	$7,6 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$	$5,7 \cdot 10^5$
			500	$1,2 \cdot 10^5$	$1,02 \cdot 10^5$	$9,8 \cdot 10^4$	$9,1 \cdot 10^4$
			550	$4,3 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	t, °C	ρ при p, кбар			
				1	5	10	20
Гранит роговообманковый, плагиоклазовый	Казахстан	Плагиоклаз 65, кварц 28—30, роговая обманка 5—6	200	$3,1 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^6$	$8,1 \cdot 10^6$
			300	$3,5 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$	$9,6 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^5$
			400	$5 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$
			500	10^5	$6,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$
Гранит амфиболитизированный	»	I	250	$6,4 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$
			300	$1,4 \cdot 10^6$	$8,5 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^5$
			400	$1,3 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$
			500	$1,8 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$
			600	$2,7 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$
Диабаз	Чехословакия	Плагиоклаз, оливин, пироксен	200	$7,1 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$
			400	$4,3 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	—
			500	$1,2 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$0,12 \cdot 10^3$	—
			550	$3,8 \cdot 10^2$	$3,3 \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^2$	—
»	Казахстан	—	200	$3,7 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^5$
			400	$2,3 \cdot 10^4$	$1,05 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$
			500	$3,2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$9,3 \cdot 10^2$	$3,6 \cdot 10^2$
			550	$1,8 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$
Диорит кварцевый	»	Плагиоклаз 55, роговая обманка 25, кварц 15	200	$4,8 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	$3,3 \cdot 10^6$
			300	$7,7 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$
			400	$2,3 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,02 \cdot 10^4$
			500	$6,0 \cdot 10^2$	$3,6 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^2$
Диорит амфиболитовый	»	Плагиоклаз 65—70, кварц 15, амфибол 10—12, магнетит 3—4, кон 2	200	$4,1 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^4$
			300	$5,0 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^3$
			400	$1,5 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$1,06 \cdot 10^3$
			500	$1,9 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$6,7 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$
Долерит*	Кавказ	—	200	$1,6 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$8,3 \cdot 10^4$
			300	$5,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^3$
			400	$2,6 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^2$
			500	$9,1 \cdot 10^2$	$6,2 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$
			600	$6,2 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$
Дунит	—	Оливин 67, серпентин 30, хромит 0,5	250	$3,8 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^7$
			300	$6,8 \cdot 10^6$	$5,9 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$
			400	$5 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$
			500	$2,3 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$9,2 \cdot 10^3$	$9,9 \cdot 10^3$
			600	$1,9 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,04 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^3$
»	Кимперсай	Оливин 23, серпентин 73, хромит 2	250	$1,4 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$
			300	$2,5 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$	$6,9 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^6$
			400	$3,1 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$
			500	$3,2 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^4$
			600	$5,7 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$	$8,7 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$
Клинопироксен	Казахстан	Моноклинный пироксен и титаномагнетит 20	200	1,9	$5,8 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$
			300	1,1	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
			400	$6,6 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	10^{-1}
			500	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-1}$	$7,9 \cdot 10^{-1}$	$6,4 \cdot 10^{-1}$
			600	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	t, °C	ρ при p, кбар			
				1	5	10	20
Мигматит	ДДВ	Андезин 65, калиевый шпат 3, кварц 15, биотит 10, гранат 5	200	$3,6 \cdot 10^7$	$2,8 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^7$	$9,9 \cdot 10^6$
			300	$2,1 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$
			400	$1,3 \cdot 10^5$	$7,8 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^3$
			500	$2,6 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^3$	$6,0 \cdot 10^3$
			580	$1,9 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$
Оливинит*	Кольский полуостров, Мончегорская Тундра	Серпентин 5	300	$2,0 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^2$
			400	$2,4 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$
			475	$5,2 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$
			550	$8,8 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^3$
			600	$2,0 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$
Перидотит*	Якутия, трубка «Обнаженная»	Пироповый оливин, пироп, энстатит	200	$6,7 \cdot 10^9$	$9,4 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^8$
			400	$1,5 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$
			570	$9,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$
			620	$2,6 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$
»	Казахстан, персай	Серпентин 80	260	$8,3 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^5$	$1,02 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$
			300	$4,1 \cdot 10^5$	$4,12 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^5$
			400	$2,6 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$
			500	$1,2 \cdot 10^3$	$1,54 \cdot 10^3$	$2,04 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$
			600	$4,5 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^2$	$7,8 \cdot 10$	$1,2 \cdot 10^2$
Пироксенит	Казахстан	Пирексен 63, оливин 7, роговая обманка 25	200	$2,3 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$
			300	$9,3 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^2$
			400	$3,6 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$
			500	$7,6 \cdot 10$	$4,1 \cdot 10$	$2,7 \cdot 10$	$2,2 \cdot 10$
			550	$2,9 \cdot 10$	$2 \cdot 10$	$1,2 \cdot 10$	—
Сиенит	»	—	200	$1,2 \cdot 10^8$	$8,2 \cdot 10^7$	$6,4 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^7$
			300	$2,57 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^7$
			460	$6,0 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$
			550	$6,1 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$
Эклогит пироповый*	—	—	200	$2,2 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^8$	$7,7 \cdot 10^7$
			400	10^6	$6,7 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^5$
			500	$8,3 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$
			600	$2,5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$
			650	$2,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$
Эклогит алмадиновый	Чехословакия	—	250	$1,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^4$
			300	$5,3 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
			400	$1 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$
			500	$3,0 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
			600	$9,2 \cdot 10^2$	$6,4 \cdot 10^2$	$4,9 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^2$

* Данные А. Т. Бондаренко.

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом · м) влагонасыщенных гранита и сиенита при различных давлениях p

$t, ^\circ\text{C}$	ρ при p , кбар							
	0,05	0,1	0,2	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
Гранит								
20	$5,0 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^3$	10^4	$1,3 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$
50	$1,8 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$	$6,7 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^3$
100	$6,1 \cdot 10^2$	10^3	$1,4 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$
150	$3,5 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$
Сиенит								
20	$4,5 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$7,6 \cdot 10^3$	$1,04 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$
50	$1,9 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^3$
100	$9,1 \cdot 10^2$	10^3	$1,3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$	$4,0 \cdot 10^3$
150	$6,1 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^2$	$9,1 \cdot 10^2$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	—	—

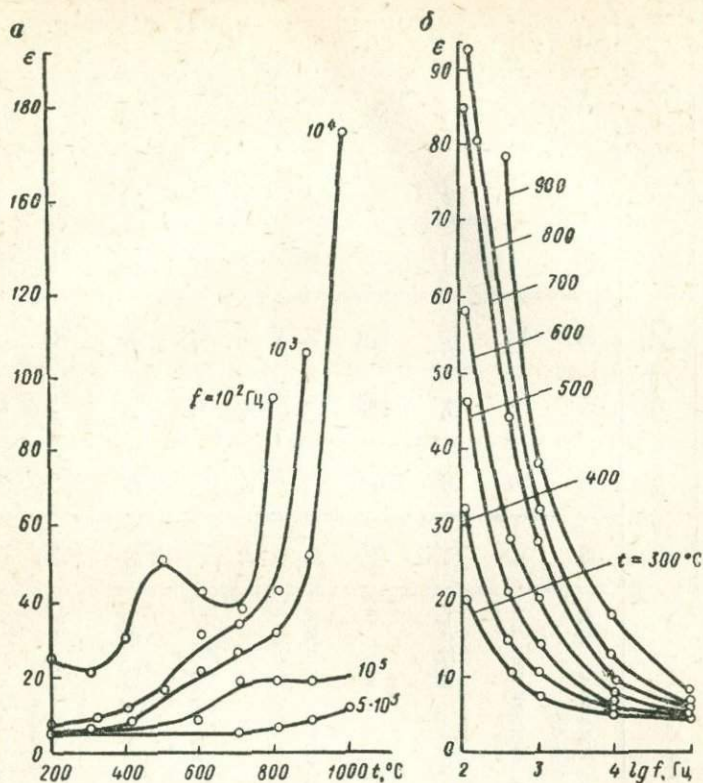


Рис. 14. Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ горных пород от частоты f и температуры t .

a — граносиенит; *b* — гранит

Диэлектрическая проницаемость ϵ минералов и горных пород изменяется с повышением температуры и давления (табл. 21—24) и, кроме того, зависит от частоты прило-

Таблица 21

Диэлектрическая проницаемость ϵ минералов при $f = 10^3$ Гц

Минерал	« при t , °C							Ис-точ-ник
	200	300	400	500	600	700	800	
Актинолит	15	20	38	62	83	83	100	ИФЗ
Микроклин	—	—	7	11	18	62	—	»
Роговая обманка	—	—	60	88	93	28	427	»
Сподумен	22	31	56	81	119	175	256	[115]
Тремолит	12	17	25	34	—	67	—	[115]
Энстатит (параллельно оптической оси)	15	19	23	27	38	80	94	ИФЗ
Энстатит (перпендикулярно к оптической оси)	14	14	18	21	27	51	97	»

Диэлектрическая проницаемость ϵ интрузивных и эффузивных горных пород при высоких температурах t и $f = 10^8$ Гц

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	ϵ при t , °C								
			200	300	400	500	600	700	800	900	
Базальт	Прибайкалье	Вкрапленники плагиоклаза, оливин, рудный минерал игольчатой формы	25	28	48	85	250	—	—	—	
Базальт оливниновый	Камчатка	Вкрапленники плагиоклаза, пироксена погружены в стекло	10	35	55	155	—	—	—	—	
То же	Прибайкалье	Пироксен, магнетит, основная масса — стекло	27	34	84	277	—	—	—	—	
Габбро	Южный Урал	Плагиоклаз, пироксен	8	30	53	67	90	117	462	—	
»	То же	Плагиоклаз 50, роговая обманка, уралит, пироксен 50	23	30	31	42	90	—	—	—	
»	ВКМ	—	79	79	79	91	144	255	132	—	
Гранит	Казахстан	Калиевый полевой шпат 50, плагиоклаз 15, кварц 25, рудный минерал 2	8	8	20	49	90	—	—	—	
	ДДВ	Калиевый полевой шпат 55, кварц 27, плагиоклаз 18	51	48	60	84	99	101	66	—	
Граносениит	Южный Урал	Калиевый полевой шпат 80, кварц 5, амфибол, хлорит, кальцит, магнетит 15	5,7	5,7	8,2	69	22	26	31	—	
Гранодиорит	То же	Плагиоклаз 75, кварц 10, амфибол 10	27	57	112	180	317	390	—	—	
»	»	Плагиоклаз 75, амфибол и уралит 15, титаномагнетит и апатит 5	27	85	142	227	440	—	—	—	
Диабаз	Южный Урал	Плагиоклаз 60, актинолит 30, титаномагнетит 5, хлорит	91	116	194	170	—	—	—	—	
»	То же	Плагиоклаз 50, пироксен уралитизированный 40, хлорит 5, магнетит 5	131	136	140	425	644	1853	—	—	
Диорит кварцевый	Казахстан	Плагиоклаз 60, хлорит, эпидот 20, кварц 20	—	—	38	49	67	113	166	—	
Дисрит	Южный Урал	Плагиоклаз 60, кварц 8, пироксен 22, биотит 3	6	6	8	12	25	26	181	—	
»	То же	Плагиоклаз 70, кварц 15, роговая обманка 10, титаномагнетит 5	19	28	42	77	79	105	36	—	
Долерит среднезернистый	Восточная Сибирь	Плагиоклаз 40, пироксен 35, стекло 15, рудный минерал 6	66	251	425	634	740	907	1849	—	
Долерит мелкозернистый	То же	Плагиоклаз 40, пироксен 35, стекло 15, рудный минерал 6	122	431	588	747	766	1112	—	—	
Мигматит	Днепропетровская впадина	Субстрат (агрегат роговой обманки) 40, кварц-микроклиновые прослои 60	7	8	9	11	22	32	40	45	

Таблица 23

Диэлектрическая проницаемость ϵ метаморфических и ультраосновных горных пород при высоких температурах t

Порода	Место отбора образца	Содержание серпентина, %	ϵ при t , °C					
			200	300	400	500	600	700
Гранатит амфиболизированный	Няр-Шар	—	—	30	33	112	252	—
Дунит	Алдан	30	20	20	27	41	41	35
»	Армения	60	88	127	125	77	44	93
»	»	90	63	34	25	22	7	21
»	»	60	103	120	160	102	90	77
Лиственит кремнисто-карбонатный	Кавказ	—	14	19	36	52	58	90
Лиственит серпентин-карбонатный	»	—	12	14	23	40	106	—
Оливинит	Кольский полуостров, Монче-Тундра	5	33	28	32	66	124	600
»	Камчатка	—	14	6,9	10	16	21	55
Перидотит	Казахстан, Кимперсай	80	26	35	47	68	53	35
»	—	—	39	32	30	46	63	176
Пироксенит	Кольский п-ов	—	5	5	5,5	7,2	16	26
Серпентинит	ВКМ	—	27	13	35	21	—	—
»	То же	—	32	31	18	35	55	53
Эклогит	Чехословацкий массив	—	24	23	33	28	35	95
»	То же	—	—	55	55	273	545	—
»	Урал	—	—	—	88	206	344	888

женного электрического поля. При повышении температуры диэлектрическая проницаемость большинства минералов и горных пород до некоторого значения сохраняется постоянной или слабо увеличивается, а затем увеличивается интенсивно.

С повышением частоты электрического поля расширяется область температуры, в которой ϵ изменяется слабо (рис. 14, а). Широкий диапазон значений диэлектрической проницаемости (от нескольких единиц до сотен) в интервале температур 200—1000°C при $f = 10^2$ Гц существенно сужается с повышением частоты и при $f = 10^5$ Гц ϵ обычно находится в пределах 5—10 (рис. 14, б)

Диэлектрическая проницаемость большинства исследованных горных пород и минералов с ростом давления увеличивается (рис. 15). Это объясняется увеличением числа поляризованных частиц в единице объема.

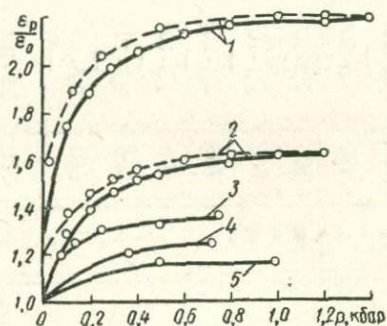


Рис. 15. Относительное изменение диэлектрической проницаемости ϵ_p/ϵ_0 с ростом давления p для горных пород. 1 — песчаник; 2 — сиенит; 3 — 5 — различные образцы гранита

Данные об электрических свойствах изверженных горных пород при высоких давлениях и температурах необходимы для расширения наших представлений о физических свойствах земных недр, установления природы проводящих слоев, уточнения распределения температуры с глубиной, а также в связи с поисками электрических предвестников землетрясений.

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом · м) и диэлектрическая проницаемость ϵ горных пород

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	Параметр	t, °C	ρ и ϵ при f Гц				
					0	10^2	10^3	10^4	10^5
Гранит мусковитовый	—	—	ρ	300	$1,5 \cdot 10^8$	$6,2 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$8,0 \cdot 10^6$
				400	—	11,07	7,18	6,5	5,0
				500	$1,6 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^5$	$7,2 \cdot 10^4$
				600	32,0	15,2	10,4	8,0	5,2
				700	$2,2 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^4$
				800	45,8	21,4	14,4	9,0	5,2
				900	$8,1 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^4$
				1000	—	57,8	20,3	9,4	5,3
				—	$2,4 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^4$
				—	—	85,2	27,7	9,3	5,6
Гнейс гранатовый	Южный Урал	Гранат 30, биогит 35, кварц 25, плагиоклаз 5, хлорит, магнетит 5	ρ	200	$1,3 \cdot 10^5$	$6,6 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
				300	—	93,5	31,4	13,4	5,7
				400	$3,2 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^3$
				500	—	78,7	47,3	18,5	6,0
				600	$2,5 \cdot 10^4$	$8,1 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$
				700	—	—	—	94,2	18,6
				—	$2,9 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^6$	$4,3 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^5$
				—	52,7	92,4	69,4	13,6	5,2
				—	$8,8 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^5$	$7,2 \cdot 10^4$
				—	33,2	17,6	14,3	8,3	5,5
Андезит рогообманковый	—	Стекло 60, роговая обманка, магнетит	ρ	200	$1,1 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^5$	$9,0 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$
				300	—	24,0	26,3	18,9	9,7
				400	$2,0 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^3$
				500	—	197,0	107,1	33,7	14,0
				600	$3,8 \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$
				700	—	—	—	89,0	24,5
				—	$1,8 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$8,2 \cdot 10^2$
				—	—	—	—	231,4	56,8
				—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—
Андезитобазальт	—	Стекло, пироксен, авгит, магнетит	ρ	800	$1,0 \cdot 10^3$	$8,5 \cdot 10^2$	$7,8 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^2$	$6,2 \cdot 10^2$
				900	—	—	—	242,0	72,1
				1000	$5,2 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^2$
				—	—	—	—	301,0	71,1
				—	2,2	2,3	2,2	2,2	2,1
				—	—	—	—	—	—
				—	$2,4 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^5$	$9,8 \cdot 10^4$
				—	—	7,82	7,82	7,82	6,86
				—	$1,0 \cdot 10^6$	$7,7 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$	$9,2 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$
				—	—	44,1	22,5	7,52	6,1
Андезитобазальт	—	Стекло, пироксен, авгит, магнетит	ρ	200	$8,0 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^4$	$4,55 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$8,6 \cdot 10^3$
				300	—	132,5	42,3	19,11	7,53
				400	$1,54 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^3$	$6,9 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$
				500	—	190,6	71,1	32,4	15,4
				600	$4,6 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
				700	—	—	324,5	42,7	20,8
				800	$1,6 \cdot 10^3$	$5,7 \cdot 10^2$	$4,9 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^2$
				900	—	—	—	113,0	28,6
				1000	$5,3 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$
				—	—	—	—	298,5	36,8
Андезитобазальт	—	Стекло, пироксен, авгит, магнетит	ρ	200	$1,9 \cdot 10^2$	8,4 · 10	7,7 · 10	7,5 · 10	4,5 · 10
				300	—	—	—	127,9	—
				400	$7,8 \cdot 10$	$3,2 \cdot 10$	$3,0 \cdot 10$	$2,9 \cdot 10$	$2,9 \cdot 10$
				500	—	—	—	—	—
				600	—	—	—	—	—
				—	$5,6 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^4$
—	—	27,95	27,1	13,70	6,13				
—	$8,8 \cdot 10^4$	$8,7 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$				
—	—	46,0	33,9	21,1	11,0				
—	$1,4 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$				
—	—	150,0	84,5	33,1	17,2				
—	$3,0 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$				
—	—	—	277,0	49,5	23,5				
—	$5,9 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^2$				
—	—	—	—	—	14,49				

Порода	Место отбора образца	Минеральный состав, %	Параметр	t, °C	r и e при f, Гц				
					0	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
Габбро	Южный Урал	Плагиоклаз 50, темнокветные минералы 50, роговая обманка, уралит, пироксен	р е р е р е р е р е	700	1,7·10 ²	1,6·10 ²	1,5·10 ²	1,4·10 ²	1,3·10 ²
				800	8,1·10	7,6·10	6,9·10	6,5·10	5,9·10
				900	1,9·10	1,8·10	1,5·10	1,4·10	1,3·10
				1000	3,8	3,5	3,5	3,5	3,3
				—	—	—	—	—	—
				200	3,0·10 ⁷	1,0·10 ⁷	1,3·10 ⁶	1,5·10 ⁵	1,8·10 ⁴
				300	4,0·10 ⁶	3,1·10 ⁶	8,2·10 ⁴	1,6·10 ⁴	1,9·10 ³
				400	5,5·10 ⁵	8,2·10 ⁵	2,5·10 ⁵	1,6·10 ⁵	2,2·10 ⁴
				500	1,4·10 ⁵	7,7·10 ⁴	6,3·10 ⁴	2,9·10 ⁴	1,0·10 ⁴
				600	2,9·10 ⁴	1,6·10 ⁴	1,5·10 ⁴	1,2·10 ³	5,0·10 ³
Амфиболит	—	Амфибол 50, плагиоклаз 30, кварц 10, биотит, гранат, кальцит, магнетит 10	р е р е р е р е р е	700	1,2·10 ⁴	6,3·10 ³	5,3·10 ³	5,2·10 ³	3,1·10 ³
				800	5,5·10 ³	3,1·10 ³	2,9·10 ³	2,9·10 ³	2,0·10 ³
				900	5,2·10 ³	3,4·10 ³	3,0·10 ³	3,0·10 ³	2,1·10 ³
				1000	1,0·10 ³	8,0·10 ²	7,2·10 ²	6,7·10 ²	5,7·10 ²
				300	2,7·10 ⁶	2,0·10 ⁶	1,0·10 ⁶	4,7·10 ⁵	1,0·10 ⁶
				400	2,7·10 ⁵	2,6·10 ⁵	2,2·10 ⁵	8,2·10 ⁴	3,3·10 ⁴
				—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—

Серпентинит

Серпентинит	—	—	р е р е р е р е р е р е р е р е р е	500	3,4·10 ⁴	2,8·10 ⁴	2,6·10 ⁴	2,2·10 ⁴	1,1·10 ⁴
				600	5,5·10 ³	4,6·10 ³	4,1·10 ³	3,7·10 ³	2,8·10 ³
				700	1,2·10 ³	9,6·10 ²	8,5·10 ²	8,1·10 ²	7,2·10 ²
				800	6,1·10 ²	4,9·10 ²	4,7·10 ²	4,7·10 ²	4,4·10 ²
				900	4,8·10 ²	4,5·10 ²	4,4·10 ²	4,4·10 ²	4,1·10 ²
				1000	3,6·10 ²	2,8·10 ²	2,7·10 ²	2,6·10 ²	2,3·10 ²
				—	—	—	—	—	32,2
				200	2,3·10 ⁴	2,5·10 ⁴	2,5·10 ⁴	2,0·10 ⁴	1,7·10 ⁴
				300	2,1·10 ⁴	1,3·10 ⁴	1,3·10 ⁴	1,1·10 ⁴	7,4·10 ³
				400	4,2·10 ³	3,5·10 ³	3,4·10 ³	3,3·10 ³	2,7·10 ³
				500	3,4·10 ³	3,0·10 ³	2,7·10 ³	2,8·10 ³	2,3·10 ³
				600	3,4·10 ³	3,0·10 ³	3,0·10 ³	3,0·10 ³	3,4·10 ³
				700	1,6·10 ³	1,4·10 ³	1,4·10 ³	1,3·10 ³	1,1·10 ³
				800	1,2·10 ³	1,1·10 ³	1,1·10 ³	1,1·10 ³	9,1·10 ²
				900	1,3·10 ³	1,1·10 ³	1,1·10 ³	1,1·10 ³	8,9·10 ²
				1300	7,8·10 ³	4,9·10 ³	4,9·10 ³	4,6·10 ³	4,0·10 ³
				—	—	—	—	103,7	32,4
				—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				

Глава IV

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

Без точных данных о распределении температуры в недрах Земли не могут быть решены многие геофизические проблемы. Количественное определение изменения температуры с глубиной основывается на измерении тепловых потоков и данных о теплопроводности горных пород. Несмотря на исключительную важность сведений о тепловых параметрах минералов и горных пород при различных термодинамических условиях, этому разделу петрофизики уделяют недостаточное внимание. Поэтому в настоящее время имеется лишь небольшой материал о численных значениях тепловых параметров минералов и горных пород при высоких температурах и давлениях.

Основными параметрами, характеризующими тепловые свойства вещества, являются коэффициент теплопроводности λ , удельная теплоемкость C и коэффициент температуропроводности a , которые определяют по следующим формулам:

$$\lambda = q/\text{grad } T; \quad C = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}; \quad a = \frac{\lambda}{C\delta},$$

где q — плотность теплового потока; $\text{grad } T$ — температурный градиент; Q — количество теплоты; m — масса тела; $T_2 - T_1$ — изменение температуры тела массой m при подведении к нему количества теплоты Q ; δ — плотность вещества.

Тепловые параметры твердого вещества определяют несколькими методами: стационарными, нестационарными и калориметрическими. Стационарные методы используются для измерения теплопроводности горных пород на образцах в виде пластин или стержня. Нестационарные методы подразделяются на ряд модификаций: а) регулярного режима первого рода; б) регулярного режима третьего рода; в) двух пространственно-временных точек; г) мгновенного источника тепла (зондовые методы). Описание ряда методов и соответствующая литература приведены в работе [93]. Из калориметрических методов для определения теплоемкости горных пород наиболее часто используется метод смешения.

Основными приборами для определения тепловых параметров при атмосферных условиях служат приборы РКЗ- $\alpha\lambda$ -20 и «Ламбда».

В условиях высоких температур используются методы стационарного теплового потока, мгновенного источника тепла, температурных волн, монотонного режима.

В минералах механизм теплопроводности преимущественно решеточный. Согласно теоретическим и экспериментальным данным, интенсивность переноса тепла фонами в кристаллах, в основном, определяется химическим составом и плотностью и в меньшей степени кристаллографическим направлением и наличием дефектов в кристаллической структуре. Эти же факторы в различной степени оказывают влияние на поведение тепловых характеристик минералов при высоких термодинамических параметрах [78, 108, 109].

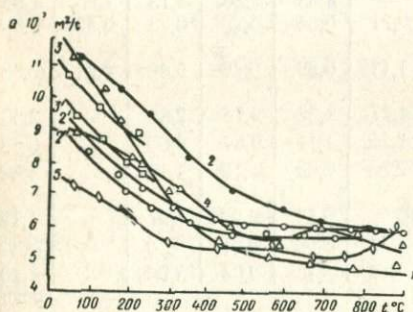


Рис. 16. Зависимость температуропроводности a полевых шпатов от температуры t .

1 — микроклин (Карелия, Кейве); 2 — 2'' — различные образцы микроклина (Карелия, Чупа); 3 — 3' — различные образцы микроклина (Украина); 4 — олигоклас (Карелия, Чупа); 5 — лабрадор (Украина) [50]

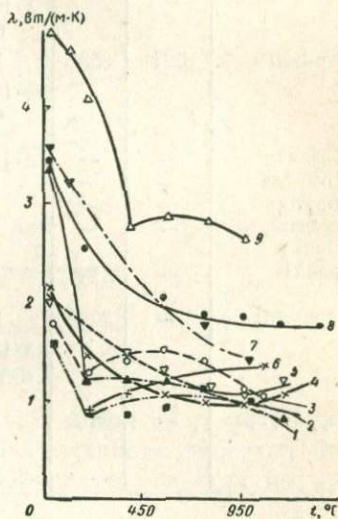


Рис. 17. Зависимость теплопроводности λ горных пород от температуры t [52, 66, 93].

1 — эглогит; 2 — долерит; 3 — пироксеновое габбро; 4 — лейкократовый гранит; 5 — диорит; 6 — обсидиан; 7 — гарцбургит; 8 — оливинит; 9 — лерцолит

Теплопроводность никеля, меди, углерода в виде графита с повышением температуры от комнатной до 1000°C уменьшается, а ртути, висмута — линейно возрастает, у кобальта и урана наблюдается пологий максимум. Теплоемкость всех этих элементов с повышением температуры возрастает или практически остается постоянной в широком интервале температур [93].

Теплопроводность минералов и горных пород с увеличением температуры уменьшается, а у некоторых наблюдается увеличение при $T > 900\text{ K}$ (табл. 25). Температуропроводность минералов из группы полевых шпатов в интервале $20\text{--}900^\circ\text{C}$ падает примерно в 2 раза (рис. 16).

Таблица 25

Теплопроводность λ [в Вт/(м·К)], температуропроводность a (в м²/с) и удельная теплоемкость C [в Дж/(кг·К)] минералов и горных пород при различной температуре T

Минерал, порода	Направление оптических осей	ρ , кг/м ³	Параметр	λ, a, C при T, K					
				300	500	700	900	1000	1100
Оливин	[001]	3450	λ	5,07	4,23	3,86	4,23	4,77	5,44
			$a \cdot 10^{-6}$	1,85	1,22	1,03	1,09	1,20	1,35
			C	800	1005	1090	1130	1150	1172
Периклаз	[001]	3580	λ	—	34,1	23,2	17,1	15,6	14,3
			$a \cdot 10^{-7}$	—	8,70	5,56	4,00	3,57	3,23
			C	—	1097	1164	1197	1222	1239
Жадит	—	—	$a \cdot 10^{-6}$	1,51	1,11	0,88	0,83	0,88	0,96
Шпинель	—	—		—	3,45	2,86	2,44	2,25	2,13
Корунд	—	—		—	4,55	2,86	2,13	1,85	1,64
Полевой шпат	—	—		0,71	0,65	0,70	0,78	0,83	0,89
Гранит	—	—		1,11	0,89	0,79	0,80	0,81	0,83
Лерцолит	—	3250	λ	4,77	4,06	2,76	2,85	—	2,80
			$a \cdot 10^{-6}$	1,72	1,11	0,67	0,65	—	0,62
			$C \cdot 10^{-6}$	2,76	3,68	4,10	4,40	—	4,52
Гарцбургит	—	3200	λ	3,56	3,14	2,22	1,97	—	1,72
			$a \cdot 10^{-6}$	1,44	0,99	0,61	0,50	—	0,42
			$C \cdot 10^{-6}$	2,47	3,18	3,64	3,98	—	4,10

Теплопроводность, температуропроводность, так же как и электрические и магнитные параметры горных пород, являются функцией многих переменных, к которым прежде всего относятся минеральный состав, структура, содержание рудных минералов, плотность и влажность. Теплопроводность увеличивается с ростом размера зерен минералов, содержанием проводящих компонент, плотностью и влажностью, но уменьшается с увеличением пористости и аморфной фазы в горных породах. Эти же факторы оказывают влияние на изменение тепловых параметров с увеличением температуры и давления.

Большинство экспериментальных данных получено при исследовании зависимости тепловых параметров от температуры при атмосферном давлении [51, 52, 66]. Как видно из кривых, представленных на рис. 17, теплопроводность λ кристаллических пород с повышением температуры в интервале 20—1200°С при атмосферном давлении уменьшается, при этом наиболее интенсивно до 500°С. Теплопроводность пород с высоким содержанием аморфной фазы, а также стекла, наоборот, линейно увеличивается с ростом температуры; в интервале 20°—450°С это увеличение составляет 18—30% [51, 66]. Различный характер изме-

нения теплопроводности кристаллических пород и стекла с увеличением температуры объясняется следующим. Теплопроводность выше температуры Дебая находится в обратной зависимости от $\lambda = \frac{\lambda_0}{T}$, где λ_0 — значение теплопроводности при 293° К, что является результатом рассеяния фононов на кристаллических зернах, а также рассеяния их друг на друге за счет агармоничности. Когда же структура разупорядочена (стекло), процесс передачи тепла подчиняется теории случайных процессов, и в этом случае

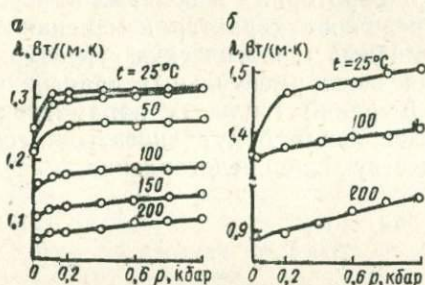


Рис. 18. Зависимость теплопроводности λ от давления p для известняка (а) и гранита (б) при различных температурах t

$\lambda \approx T$. Для пород, имеющих кристаллоаморфную структуру, в зависимости от соотношения аморфной и кристаллической фаз теплопроводность практически не зависит от температуры или слабо изменяется.

Температуропроводность пород с повышением температуры уменьшается с разной интенсивностью, в основном, в зависимости от содержания в них аморфной фазы. При высоком содержании последней температуропроводность уменьшается весьма незначительно.

Теплоемкость как кристаллических, так и стеклосодержащих пород с повышением температуры растет. При этом эффузивные породы характеризуются более высокими значениями теплоемкости при $t=20-500^\circ\text{C}$, чем интрузивные, преимущественно кислого состава.

Давление на тепловые свойства геологических образований оказывает меньшее влияние, чем температура. Согласно [106], наибольшее увеличение λ под воздействием давления в 0,4 кбар наблюдается у ангидрита, а у известняка, песчаника, доломита и конгломерата — меньше.

Экспериментальные данные (рис. 18) показывают, что наиболее сильно теплопроводность меняется примерно до 0,2 кбар, а затем происходит выполаживание кривой $\lambda=f(p)$. Влияние давления с ростом температуры для разных пород неодинаково [51].

Температуропроводность пород с увеличением одностороннего давления до 0,7 кбар может изменяться от 2 до 40%. Наибольшее изменение λ с увеличением давления наблюдается у песчаника и известняка, а наименьшее — у габбро [102]. В работе [108] приводятся экспериментальные данные по температуропроводности Mg_2OSiO_4 , Fe_2SiO_4 и $NaCl$ при давлениях до 48 кбар и температурах до $900^\circ C$.

Теоретически влияние давления на фоннную составляющую теплопроводности рассматривается Лаусоном [110].

На основании лабораторных и полевых измерений Е. А. Любимовой [49] определяют характер изменения температуры с глубиной для различных геологических структур. По-видимому, по мере уточнения экспериментальных данных, усовершенствования техники измерений тепловых параметров при высоких температурах и давлениях будут вноситься соответствующие коррективы в существующие представления.

Глава V

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Способность горных пород деформироваться и разрушаться зависит от очень многих причин. В частности, в настоящее время известно, что и деформационные и прочностные характеристики пород являются функциями давления, температуры, времени испытания образца, влажности и т. п. Учет времени проводится при испытаниях или с разными скоростями деформирования или с различными скоростями приложения дифференциального усилия.

Деформационные и прочностные характеристики получают с помощью опытов на сжатие в условиях различных давлений и температур. Опыты на сжатие проводят по двум схемам: при сложном напряженном состоянии, когда главные напряжения ($\sigma_2 = \sigma_3$) поддерживают в течение опыта постоянными, а главное напряжение σ_1 увеличивают вплоть до разрушения породы; при пропорциональном нагружении, т. е. $\sigma_2 = \sigma_3$, а отношение σ_1/σ_2 сохраняют постоянным в течение опыта. В большинстве случаев эксперименты сделаны по схеме сложного напряженного состояния, т. е. сначала образцы подвергают действию всестороннего давления (все три составляющие напряжения равны), а затем к образцу прикладывают одноосную нагрузку $\sigma_i = \sigma_1 - \sigma_2$. При испытаниях непрерывно регистрируют прикладываемое усилие и изменения размеров образцов в продольном и поперечном направлениях. На основании этих измерений и известных первоначальных размеров образцов может быть вычислено избыточное дифференциальное напряжение σ_i , равное отношению величины усилия к площади поперечного сечения образцов в каждый момент времени. Относительные продольная ε_1 и поперечные $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$ деформации рассчитаны как отношение изменения данного размера образца к его первоначальному размеру. В одних случаях изменения напряжения и деформации регистрируют в зависимости от времени испытания образца t , а в других деформацию определяют только как функцию дифференциального напряжения.

В первом случае можно оценить скорость приложения дифференциальной нагрузки $d\sigma_i/dt = \dot{\sigma}_i$ и скорость деформирования $d\varepsilon/dt = \dot{\varepsilon}$, во втором случае определить скорость нагружения и деформирования невозможно.

Малочисленны эксперименты в условиях высоких давлений и температур для других видов напряженного состояния —

кручения, изгиба, растяжения, хотя они возможны в складчатых зонах, а также в отдельных элементах горных выработок.

В главе приведены данные советских исследователей, полученные в основном в четырех лабораториях: в Лаборатории высоких давлений Института физики Земли АН СССР (ИФЗ) [26, 74, 79—82, 85, 89], в секторе экспериментальной геомеханики Института геологии и разработки горючих ископаемых (ИГиРГИ) [58, 97], в Лаборатории динамической прочности и высоких давлений Всесоюзного научно-исследовательского маркшейдерского института (ВНИМИ) [38, 64, 71—73] и в Лаборатории экспериментальной тектоники Института геологии и геофизики СО АН СССР (ИГГ СО АН СССР) [31, 47, 48, 88].

В табл. 27—34 собраны результаты исследования образцов на сжатие при сложном напряженном состоянии. Использовались образцы горных пород в виде цилиндров разного размера или в виде прямоугольников; соотношение высоты образцов и их поперечных размеров выдерживалось приблизительно 2—2,5. Для предотвращения проникновения среды, передающей давление на горную породу, образцы покрывались оболочками. В табл. 26 приведены размеры образцов, оболочек и способы измерения деформаций.

Таблица 26

Способы измерения деформаций

Институт	Диаметр и длина образца, мм	Оболочка образца	Способ измерения деформаций
ИФЗ	20, 50	Клей БФ-2 или БФ-4	Тензодатчики сопротивления, наклеенные на образцы и скобки
ИГиРГИ	16, 25—30	Медная фольга	С помощью скобок с наклеенными тензодатчиками сопротивления
ВНИМИ	30, 80	Эпоксидный компаунд	С помощью скобок с наклеенными тензодатчиками сопротивления
ИГГ	16, 32—35	Медная фольга	С помощью внешних измерительных устройств

В табл. 27 и 28 приведены данные для осадочных пород, полученные в ИГиРГИ, скорость деформирования в экспериментах составляла $10^{-3} - 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Увеличение боковых напряжений $\sigma_2 = \sigma_3$ значительно повышает предел прочности σ_{ic} и деформационную способность горной породы. Возрастание температуры при одних и тех же значениях $\sigma_2 = \sigma_3$ понижает предел прочности и, как правило, увеличивает пластичность пород (см. табл. 28, 31 и 32). Данные для различных горных пород, полученные при скоростях деформирования $10^{-3} - 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, представлены в табл. 27—29 и 31. Данные в табл. 30 получены при скоростях деформирования 10^{-4} с^{-1} .

Влияние скорости нагружения σ_{ic} хорошо видно на рис. 19,

на котором представлены данные для гранита Камчатки при разных значениях боковых напряжений $\sigma_2 = \sigma_3$. Наблюдается уменьшение предела прочности при более медленных скоростях нагружения. Аналогичную картину можно проследить и в табл. 33, где приведены результаты изменения предела прочности в диапазоне девяти порядков скоростей деформирования. Обратная зависимость, т. е. увеличение предела прочности с уменьшением скорости деформирования, наблюдается у каменной соли при низких боковых напряжениях. С увеличением

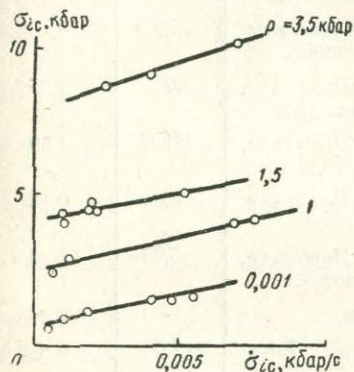


Рис. 19. Влияние скорости нагружения $\dot{\sigma}_{10}$ на прочность образцов σ_{10} гранита с Камчатки при испытаниях в условиях различных гидростатических давлений p

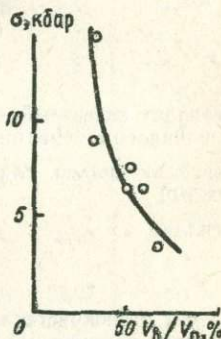


Рис. 20. Зависимость прочности базальта σ (Армения) от отношения V_v/V_n

бокового давления эта аномалия исчезает, и для солей при напряжениях 0,1 кбар и выше наблюдается увеличение предела прочности с увеличением скорости деформирования. Значения относительных продольных деформаций в табл. 33 не приведено, так как в зависимости от значения скорости деформирования $\dot{\epsilon}$ порода может быть то более пластичной, то более хрупкой. Для каждой из приведенных в табл. 33 горной породы максимальные относительные деформации имеют сложную зависимость от $\frac{\partial \epsilon}{\partial t}$ с максимумами и минимумами.

Влияние поровой жидкости на деформационные и прочностные свойства горных пород изучалось главным образом для пород-коллекторов (см. гл. VI), т. е. для пород с достаточно большой пористостью. Для малопористых пород таких данных еще недостаточно. На рис. 20 приведена зависимость прочности долеритового базальта от относительного содержания воды V_v в объеме всего порового пространства V_n при испытаниях в условиях всестороннего давления, равного 5 кбар. Влияние на предел прочности частичного заполнения порового пространства известняка и песчаника при разных скоростях деформирования представлено в табл. 34.

Продольная ϵ_1 и поперечные $\epsilon_2 = \epsilon_3$ деформации, пределы прочности σ_{1c} в неравномерном грехосном сжатии типа $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_2 = \sigma_3$ кбар
Образцы насыщены			
Алевролит кварцевый	Волгоградское Поволжье, Коробковская площадь	14,8	1,50
То же	Волгоградское Поволжье, Цимлянская площадь	2,8	0,40
»	Волгоградское Поволжье, Кудиновская площадь	12,5	2,75
Алевролит кварцевый, с глинистым цементом	Волгоградское Поволжье, Тарасовская площадь	14,66	1,50
Алевролит сильно глинистый	Волгоградское Поволжье, Логовская площадь	5,86	0,38
Аргиллит	Волгоградское Поволжье, Цимлянская площадь	5,23	0,45
»	То же	—	0,45
Доломит разнокристаллический, кавернозный	Пермское Прикамье, Большая Лысьева	7,6	0,6
Известняк фораминиферовый, водорослевый с доломитом	Пермское Прикамье, Куеда	12,1	0,5 1,0
Известняк доломитовый	То же	4,03	0,001 0,5
Известняк комковато-фораминиферовый с детритом	Пермское Прикамье, Тукачево	17,1	0,14 0,33
Песчаник кварцевый	Днепроовско-Донецкая впадина (ДДВ), Чижевская площадь	18,0	0,50
То же	ДДВ, Анастасьевская площадь	10,7	0,57
»	Волгоградское Поволжье, Моисеевская площадь	7,55	0,465
Песчаник кварцевый глинистый	ДДВ, Видельцы	5,48	0,285
Песчаник кварцево-полевошпатовый	То же	—	1,15 ($p_n = 0,25$)
Песчаник кварцитовидный	»	—	0,5
Песчаник полимиктовый бесцементный	»	14,3	0,325
То же	ДДВ, Олишевская площадь	13,4	0,365

Таблица 27
и текучести σ_{1s} , напряжение при разрушении σ_p для осадочных пород при и комнатной температуре

σ_{1s} кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	σ_{1c} кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	σ_p кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
пластовой водой									
4,2	2,1	1,1	6,1	2,3	1,2	6,0	2,6	1,21	ИГиРГИ
2,0	0,9	0,16	3,06	2,24	1,17	2,6	2,66	1,51	»
1,6	1,0	0,15	2,08	1,73	0,76	1,94	1,87	1,5	»
3,1	1,13	0,15	5,15	5,13	1,73	4,69	5,55	2,45	»
0,38	0,05	0,02	0,84	0,11	0,1	0,80	0,38	0,31	»
1,45	1,23	0,12	1,76	1,6	0,4	1,7	1,76	0,48	»
1,09	0,29	0,1	1,15	0,85	0,46	0,98	6,67	2,92	»
1,74	0,33	0,08	1,9	0,37	0,09	1,4	1,7	0,9	»
0,9	0,4	0,1	1,23	0,96	0,63	1,08	3,0	2,9	»
1,76	0,53	0,13	2,88	2,06	1,44	2,4	3,02	3,01	»
0,42	0,10	0,098	0,55	0,14	0,17	0,55	0,14	0,17	»
1,04	0,25	0,10	2,38	0,75	0,88	2,02	1,4	1,6	»
0,7	0,25	0,15	0,76	0,32	0,29	0,66	0,54	0,46	»
0,94	0,36	0,16	1,07	0,55	0,32	0,89	2,6	2,7	»
1,2	0,5	0,09	2,61	1,5	1,0	2,3	2,7	2,0	[59]
3,0	0,7	0,3	4,14	1,26	1,31	3,73	1,39	1,63	[59]
2,0	0,68	0,2	2,58	2,67	1,8	2,16	3,2	2,9	ИГиРГИ
0,64	0,13	0,1	0,77	0,25	0,26	0,74	0,99	0,76	[59]
1,0	0,4	0,09	2,56	5,67	2,97	2,0	8,23	5,15	[59]
1,2	0,57	0,51	1,61	1,11	1,21	1,45	2,75	0,95	[59]
1,1	0,45	0,20	1,49	0,97	0,90	1,38	2,4	3,0	[59]
1,2	0,7	0,18	1,61	1,3	0,80	1,47	2,0	2,3	[59]

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_2 = \sigma_3$, кбар	σ_{Ic} ,	ϵ_1 , %	$\epsilon_{2-3} = \epsilon_{2-3}$,	σ_{Ic} ,	ϵ_1 , %	$\epsilon_{2-3} = \epsilon_{2-3}$,	σ_{p} ,	ϵ_1 ,	$\epsilon_{2-3} = \epsilon_{2-3}$,	Источник
				кбар		%	кбар		%	кбар	%	%	
Песчаник полимиктовый бесцементный	Волгоградское Поволжье, Панинско-Шляховская площадь	1,5	1,5	2,5	2,83	0,69	2,93	6,24	3,12	2,67	13,56	7,44	ИГиРГИ
Песчаник полимиктовый бесцементный, участка- ми пойкилитового типа	ДДВ, Олишевская площадь	11,5	0,35 0,70	1,7	0,6	0,22	2,03	0,89	0,56	2,01	1,31	1,48	[59]
				2,6	1,19	0,42	2,82	1,68	1,04	2,65	3,26	2,57	
Песчаник полимиктовый	То же	—	0,36	1,2	0,7	0,18	1,6	1,31	0,80	1,45	2,31	2,62	[59]
То же	ДДВ, Ленинская площадь	12,7	0,34	2,3	0,13	0,06	2,75	0,27	0,40	2,18	1,64	3,25	[59]
»	ДДВ, Лосиновская площадь	12,4	0,395	2,29	0,16	0,02	2,85	0,45	0,86	2,85	0,45	0,86	[59]
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом порового типа	ДДВ, Цимлянская площадь	18,6	0,325	1,4	0,80	0,16	1,82	1,43	0,90	1,75	2,4	2,1	[59]
То же	ДДВ, Мринская площадь	3,2	0,41	0,37	3,82	0,4	0,69	13,5	6,64	0,68	15,3	9,4	[59]
Песчаник полимиктовый глинистый с цементом сгустково-порового типа	ДДВ, Олишевская площадь	13,8	0,36	1,2	0,4	0,1	1,7	0,97	0,48	1,5	2,15	1,7	[59]
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом пленочно-порового типа	ДДВ, Малосорочинская площадь	7,4	0,4	1,3	0,7	0,5	1,61	1,4	0,7	1,2	1,49	2,8	[59]
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом	Западная Сибирь, Западно- Сургутское месторождение	22,9	1,0	0,81	0,76	0,16	1,59	13,38	4,27	1,59	13,38	4,27	ИГиРГИ
Песчаник полимиктовый с глинисто-карбонатным цементом	Волгоградское Поволжье, Кудинская площадь	2,9	1,2	2,0	0,99	0,16	2,99	2,95	2,46	2,75	8,46	4,74	»
Песчаник полимиктовый с карбонатным цемен- том порового типа	ДДВ, Лосиновская площадь	10,1	0,39	2,22	0,51	0,18	2,92	1,08	1,52	2,60	1,88	2,75	[59]
То же	ДДВ, Видельцы	7,6	0,4	1,5	0,45	0,04	2,13	1,38	0,80	2,07	2,68	1,66	[59]
»	То же	10,25	1,15 ($p_n=0,25$)	1,9	1,0	0,23	2,6	3,4	3,0	2,44	8,39	5,29	[59]
»	ДДВ, Виноградовская пло- щадь	9,6	1,35 ($p_n=0,35$)	2,1	0,6	0,12	3,76	1,87	0,67	2,83	4,13	3,05	[59]
Песчаник полимиктовый с карбонатно-глинис- тым цементом базаль- но-порового типа	Удмуртия, Вородулино	8,9	0,001 0,7 1,0 ($p_n=0,2$)	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—	ИГиРГИ
				2,0	0,7	0,35	2,59	2,44	1,92	—	—		
				2,6	1,0	0,5	3,86	3,0	2,55	3,2	3,6	4,2	
Песчаник полимиктовый с карбонатным цемен- том базального типа	ДДВ, Белоцерковская пло- щадь	11,1	0,235	0,39	0,45	0,03	0,67	6,96	5,83	0,61	8,15	6,3	[59]
Песчаник полимиктовый с хлористо-глинистым цементом пленочного типа	Западная Сибирь	21,8	0,60	1,07	0,9	0,19	1,23	2,05	0,36	1,18	2,1	1,45	ИГиРГИ

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_{п.} = \sigma_{с.}$ кбар
Песчаник порфирированный катаклазированный	ДДВ, Ульяновская площадь	—	0,4
Песчаник туфогенный	ДДВ, Грибово-Рудня	—	0,58
Образцы воз			
Доломит разнокристаллический, кавернозный	Пермское Прикамье, Большая Лысьева	7,6	0,001 0,28 1,6 ($p_{п.} = 0,1$)
Известняк биоморфный	Пермская область, Дуринская область	0,85	1,1
То же	Пермская область, Медянка—Ключи	1,8	0,8
»	Пермское Прикамье	19,2	0,7
»	»	4,4	0,8
»	»	4,6	0,8
Известняк оолитовый	»	4,6	0,7
Известняк микрозернистый	»	5,6	0,27
То же	»	2,1	0,6
»	»	5,6	0,6
»	»	8,9	0,8
Известняк микрозернистый однородный	Пермское Прикамье, Тукачево	9,6	0,001 1,6 ($p_{п.} = 0,1$)
Известняк фораминиферо-водорослевый	Пермская область, Медянка—Ключи	17,9	0,6 0,7
То же	Пермская область, Тукачевская площадь	2,9	0,6
»	То же	2,7	0,8
»	»	3,4	0,6
Известняк фораминиферовый с детритом	Пермское Прикамье, Осинцевская площадь	3,4	0,001 0,23
То же	Пермское Прикамье, Куеда	12,1	0,001 0,13
Известняк фораминиферовый с детритом, комковатый	Пермское Прикамье, Тукачево	5,0	0,001 0,8
Известняк детритово-сгустковый	Пермское Прикамье, Куеда	7,8	0,001 0,8
Известняк детритово-сгустковый с фораминиферами	Пермская область, Красновишерская площадь	1,3	0,27

$\sigma_{п.}$ кбар	$\epsilon_{п.}$ %	$\epsilon_{п.} = \epsilon_{с.}$ %	$\sigma_{с.}$ кбар	$\epsilon_{с.}$ %	$\epsilon_{с.} = \epsilon_{п.}$ %	$\sigma_{р.}$ кбар	$\epsilon_{р.}$ %	$\epsilon_{р.} = \epsilon_{п.}$ %	Источник
1,8	0,48	0,12	2,3	1,00	1,04	2,08	2,03	2,09	[59]
2,75	0,59	0,02	3,84	1,40	0,81	3,69	2,18	1,50	[59]
душно-сухие									
0,6	0,024	0,09	0,65	0,21	0,10	0,52	0,4	0,5	ИГиРГИ
1,5	0,32	0,04	1,67	0,37	0,63	1,49	0,8	1,8	
1,8	0,8	0,12	1,89	0,82	0,14	1,02	1,55	0,58	
3,0	0,6	0,5	3,9	2,5	1,2	3,1	15,1	13,4	
3,5	1,12	0,34	4,1	1,69	0,73	3,81	2,45	1,5	»
0,78	0,4	0,3	1,5	5,0	4,0	1,0	16,1	10,8	»
1,56	0,48	0,15	3,41	1,2	0,7	3,35	2,1	2,1	»
2,0	0,48	0,1	3,7	2,5	3,0	1,3	4,8	5,6	»
2,59	0,6	0,2	3,76	1,1	0,6	3,5	2,25	1,75	»
0,67	0,32	0,12	1,02	0,70	0,44	0,77	1,2	1,4	»
2,6	0,6	0,2	3,3	1,6	1,0	3,29	1,7	1,1	»
2,1	0,49	0,13	2,8	1,38	0,7	2,37	2,9	2,9	»
0,85	0,5	0,1	1,84	2,4	0,9	1,84	2,4	0,9	»
0,63	0,33	0,043	0,75	0,4	0,47	0,75	0,4	0,47	»
1,85	0,4	0,11	4,4	2,92	1,6	3,89	4,1	2,4	»
0,8	1,21	0,09	0,91	16,1	10,85	—	—	—	»
0,95	0,5	0,06	1,10	20,1	14,5	—	—	—	»
4,0	1,07	0,33	4,33	1,27	0,61	3,38	1,36	1,22	»
3,0	0,185	0,23	3,55	1,94	1,00	3,17	3,4	3,1	»
2,0	0,44	0,16	2,4	1,1	0,3	2,38	1,3	0,51	»
0,3	0,4	0,38	0,72	0,8	0,6	0,67	20,1	14,5	»
1,7	0,44	0,18	1,9	0,69	0,63	1,61	1,23	1,34	»
0,23	0,042	0,04	0,45	0,07	0,092	0,45	0,07	0,092	»
0,65	0,33	0,10	0,94	0,5	0,66	0,69	1,3	1,2	»
0,3	0,15	0,03	0,66	0,36	0,2	0,66	0,36	0,2	»
3,25	1,2	0,25	4,1	2,5	1,0	3,5	4,15	2,3	»
0,13	0,015	0,01	0,45	0,36	0,006	0,39	0,45	0,21	»
1,75	0,6	0,2	2,5	2,4	1,3	2,5	2,4	1,3	»
0,94	0,42	0,19	1,10	0,62	0,44	0,87	0,76	0,74	»

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_{2}=\sigma_{3}$, кбар
Известняк сгустковый с фораминиферами и детритом	Пермская область, Красновишерская площадь	1,8	0,27
Известняк мелкокомковатый с детритом и фораминиферами	Пермское Прикамье	7,0	0,27
Известняк с доломитовым цементом	Пермь, Гандырь	7,9	0,4
Песчаник кварцевый	Татария, Хазино	8,7	0,001
Песчаник раковинный известняковый	Пермское Прикамье	1,8	0,001
Соль каменная	Украина, Западно-Староверовская площадь	—	0,25
То же	Украина, Озерянка	—	0,001

σ_{1s} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2=\epsilon_3$, %	σ_{1c} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2=\epsilon_3$, %	σ_p , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2=\epsilon_3$, %	Источник
0,70	0,56	0,27	0,79	0,74	0,49	0,62	1,5	1,75	ИГиРГИ
0,77	0,3	0,14	0,93	0,54	0,61	0,82	0,7	1,4	»
1,5	0,48	0,11	2,07	1,49	0,52	1,78	2,55	1,55	»
—	—	—	—	—	—	0,66	1,2	1,4	»
1,3	0,6	1,7	2,25	1,53	1,55	2,5	2,8	—	»
2,5	1,4	1,85	3,8	2,15	2,7	6,6	5,6	—	»
0,32	0,02	0,01	0,43	0,25	0,6	0,4	0,3	0,8	»
1,23	0,3	0,15	3,2	2,0	2,5	2,8	3,4	4,2	»
0,18	0,08	0,03	0,44	0,95	2,26	2,26	6,5	11,3	»
0,7	0,19	0,032	9,8	13,4	10,9	9,8	13,4	11,9	»
0,14	0,06	0,03	0,28	0,38	0,9	0,08	8,58	7,5	»
0,28	0,34	0,2	0,42	2,07	1,99	0,36	11,4	8,47	»

Продольная ϵ_1 и поперечные $\epsilon_2=\epsilon_3$ деформации, пределы прочности σ_{1c} и текучести σ_{1s} , напряжение при разрушении σ_p для осадочных пород при неравномерном гребном сжатии типа

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_{2}=\sigma_{3}$, кбар	t , °C
Алеврит	Украина, Солоха	—	0,57	145
»	То же	—	0,40	100
Алеврит карбонатизированный	»	2,25	0,46	120
То же	Мангышлак, Узень	20,5	0,295 ($p_{п}=0,13$)	60
»	То же	17,23	0,28 ($p_{п}=0,13$)	60
»	Волгоградское Поволжье, Тарасовская площадь	2,99	0,56	20
Алеврит полевошпат-кварцевый с глауконитом	Краснодар, Ахтырско-Бугундырская площадь	24,0	0,001	20
			0,8	20
			1,5	20
			1,0	100
			($p_{п}=0,1$)	

Таблица 28

и текучести σ_{1s} , напряжение при разрушении σ_p для осадочных пород при $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ и разных температурах

σ_{1s} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2=\epsilon_3$, %	σ_{1c} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2=\epsilon_3$, %	σ_p , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2=\epsilon_3$, %	Источник
0,86	0,55	0,08	1,45	0,51	1,8	1,15	2,37	0,78	ИГиРГИ
0,78	1,07	0,12	1,42	3,0	0,55	1,28	4,28	0,63	»
1,42	0,92	0,2	1,73	1,46	0,66	1,37	1,54	0,77	»
0,43	0,45	0,23	0,65	1,54	1,24	0,5	2,13	2,25	»
0,235	0,25	0,08	0,64	2,12	1,21	0,42	3,43	2,71	»
5,7	1,14	0,19	6,9	1,5	2,0	6,0	1,9	2,06	»
6,3	1,4	0,33	7,4	1,6	0,42	6,7	2,06	2,28	»
0,6	—	—	0,69	—	—	—	0,8	0,7	»
2,6	1,32	0,54	3,78	2,15	1,20	3,5	2,2	1,4	»
3,2	1,87	0,65	3,9	3,06	1,32	3,6	3,8	2,5	»
2,9	1,9	0,72	3,0	3,4	2,0	2,4	5,2	3,0	»

Порода	Место отбора образца	k_p , %	$\sigma_s = \sigma_3$	$t, ^\circ\text{C}$	σ_{ls} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	$\sigma_{l, c}$, кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	$\sigma_{p'}$, кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
Алевролит кварцевый	Татария, Бакалы	—	1,6 ($p_n=0,1$)	200	2,48	2,6	0,6	3,0	4,5	0,8	2,25	4,8	1,6	»
То же	Башкирия, Кучуковская площадь	—	1,1 ($p_n=0,1$)	20	3,5	1,5	0,4	4,4	2,25	0,8	3,6	2,94	1,5	»
	То же		1,1 ($p_n=0,1$)	100	2,6	1,25	0,3	3,2	1,8	0,6	2,4	2,6	1,3	
	»		1,6 ($p_n=0,1$)	100	3,0	2,5	0,5	3,9	3,8	1,0	2,9	5,6	2,0	
Алевролит песчанистый	Краснодар, Ахтырско-Бугундырская площадь	17,3	0,8 1,0 ($p_n=0,2$)	20 100	2,6 2,9	1,2 1,8	0,5 0,6	3,7 3,0	2,2 2,4	1,25 1,6	3,5 2,4	2,3 3,2	1,4 2,2	»
Аргиллит	Украина, Солоха	—	0,39	100	0,69	0,55	0,12	1,37	1,64	1,19	1,12	2,15	1,36	»
Аргиллит карбонатный	То же	2,7 (3,6)	0,465	120	1,2	1,04	0,28	1,37	1,60	0,72	1,14	2,15	1,34	»
То же	»	2,72 (3,96)	0,53	135	0,8	0,65	0,19	1,05	1,03	0,36	0,93	1,26	0,66	»
Доломит микробрекчиевидный	Кавказ, Баксан	—	1,0 ($p_n=0,25$)	100	3,5	0,6	0,4	3,85	0,8	0,6	2,6	1,35	0,7	
Известняк микрокомковатый	»	1,78 (1,83)	0,5 1,0	100 200	2,9 3,0	1,0 1,5	0,4 0,5	3,07 3,87	1,25 2,8	0,5 1,3	1,8 3,5	2,51 3,59	2,3 2,45	»
Песчаник кварцевый	Башкирия, Стахановская площадь	17,06	1,1 ($p_n=0,1$)	100	2,0	2,0	1,0	2,47	2,2	1,2	2,4	13,0	10,0	»
То же	Татария, Ромашкино	17,03	1,2 ($p_n=0,1$)	100	2,0	0,4	0,45	2,57	1,9	0,5	2,2	3,1	1,7	»
»	Украина, Солоха	5,46 (16,46)	0,45	119	1,48	0,66	0,09	2,47	1,74	0,71	2,2	2,55	1,01	[59]
»	То же	—	0,39	100	0,64	1,03	0,087	1,06	2,48	0,59	0,83	5,0	3,47	[59]
»	ДДВ, Рыбальцевская площадь	14,3	0,46	110	0,72	0,195	0,03	2,25	0,93	0,57	1,759	1,3	1,14	[59]
Песчаник кварцевый, карбонатный	ДДВ	19,8	0,84 ($p_n=0,4$)	115	1,0	0,09	0,07	1,55	0,64	0,49	1,35	0,92	0,67	[59]
То же	»	13,3	0,26	74	1,62	0,21	0,08	2,25	0,51	0,70	2,11	1,55	2,55	[59]
Песчаник кварцевый, глинистый	ДДВ, Малосорочинская площадь	15,1	0,35	90	0,65	0,89	0,035	0,88	2,87	0,39	0,73	4,3	2,2	[59]
То же	ДДВ, Середняковская площадь	5,8	0,55	130	2,52	0,60	0,055	3,33	1,32	1,95	3,33	1,32	1,95	[59]
Песчаник кварцевый, карбонатно-глинистый	ДДВ, Видельцы	2,73	0,28	80	0,82	1,0	0,1	1,5	3,8	0,54	1,39	4,67	0,64	[59]
Песчаник полимиктовый бесцементный	То же	15,76	0,33	90	2,6	0,76	0,2	3,03	1,76	1,24	2,83	2,05	1,94	[59]

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_a = \sigma_s,$ кбар	$t, ^\circ C$
То же	»	10,0	0,35	95
»	ДДВ, Борковская площадь	2,65 (5,21)	0,34	92
Песчаник полимиктовый с цементом порового типа	ДДВ, Хрещатинская площадь	10,8	0,365	100
Песчаник полимиктовый	ДДВ, Видельцы	4,05	0,41	137
То же	ДДВ, Ивашковская площадь	2,45	0,56	140
»	ДДВ, Хрещатинская площадь	13,9	0,325	90
»	ДДВ, Грибово-Руднен- ская	8,9	0,185	57
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом базального типа	ДДВ, Гуньковская площадь	10,6	0,298	82
То же	ДДВ, Дмитриевская площадь	16,7	0,30	85
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом базально-порового типа	То же	26,3	0,295 ($p_{п}=0,13$)	60
Песчаник полимиктовый с кварцевым и глини- стым цементом поро- вого типа	»	12,8	0,30 ($p_{п}=0,14$)	60
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом порового типа	»	24,26	0,285 ($p_{п}=0,125$)	60
То же	ДДВ, Дмитриевская площадь	20,5	0,29 ($p_{п}=0,12$)	60
»	Западная Сибирь, Прав- динское месторождение	21,5	0,55 ($p_{п}=0,25$)	80
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом	ДДВ, Видельцы	5,3	0,43	113
То же	То же	6,0	0,41	137
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом типа заполнения пор	Мангышлак, Узень	16,48	0,3 ($p_{п}=0,14$)	60
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом порово-пленочного типа	Западная Сибирь, Прав- динское месторождение	18,8	0,55 ($p_{п}=0,25$)	80
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом порового, порово-кон- тактового типов	То же	17,2	0,55 ($p_{п}=0,25$)	80

$\sigma_{iS},$ кбар	$\varepsilon_1, \%$	$\varepsilon_2 = \varepsilon_3,$ %	$\sigma_{i e},$ кбар	$\varepsilon_1, \%$	$\varepsilon_2 = \varepsilon_3,$ %	$\sigma_p,$ кбар	$\varepsilon_1, \%$	$\varepsilon_2 = \varepsilon_3,$ %	Источник
0,32	3,5	0,15	6,2	5,3	1,2	5,85	6,7	2,2	[59]
2,0	0,8	0,06	2,53	1,66	0,70	2,46	1,96	1,54	ИГиРГИ
2,0	0,5	0,2	2,92	1,08	1,72	2,76	1,3	2,5	[59]
3,0	0,6	0,04	3,74	1,18	0,82	3,74	1,18	0,82	ИГиРГИ
1,88	0,92	0,34	2,70	1,78	1,58	2,58	1,85	1,91	»
0,89	1,10	0,17	1,21	2,17	1,33	0,99	3,7	4,3	[59]
1,2	0,56	0,1	1,56	1,39	1,0	1,56	1,39	1,0	[59]
1,35	0,68	0,12	1,67	1,28	1,13	1,51	2,16	2,17	[59]
1,0	0,48	0,04	1,75	1,21	0,88	1,75	1,21	0,88	[59]
0,30	1,45	0,40	0,36	2,53	1,24	0,3	5,51	4,19	ИГиРГИ
0,35	0,25	0,06	0,9	1,63	2,18	0,74	2,15	2,9	»
0,14	0,16	0,04	0,32	0,54	0,11	0,121	1,44	0,78	»
0,13	0,15	0,05	0,385	2,3	1,49	0,33	3,97	3,52	ИГиРГИ
0,53	0,25	0,10	0,82	2,0	1,1	0,71	2,3	1,4	»
2,12	0,68	0,05	3,24	1,99	1,34	3,01	2,3	1,98	[59]
2,09	0,4	0,02	3,75	1,18	0,80	3,73	1,2	0,82	[59]
0,84	0,7	0,45	0,93	1,0	1,08	0,68	1,4	1,55	ИГиРГИ
0,208	0,23	0,11	0,325	1,7	0,45	0,291	2,8	2,5	»
0,192	0,3	0,067	0,377	1,13	0,9	0,318	3,5	3,37	»

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_{2}=\sigma_{3}$, кбар	t , °C
Песчаник полимиктовый с глинисто-карбонатным цементом порового типа	ДДВ	16,1	0,465	130
То же	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	22,9	0,7 ($p_{п}=0,45$)	80
Песчаник полимиктовый с карбонатным цементом порового типа	ДДВ, Грибово-Рудненская площадь	7,1	0,35	95
То же	ДДВ, Калайдинцы	9,7	0,56	140
»	ДДВ, Видельцы	3,76	0,495	128
Песчаник полимиктовый с карбонатным цементом базального типа	То же	3,63	0,375	100
Песчаник полимиктовый с карбонатно-глинистым цементом сгустково-порового типа	»	4,12	0,46	120
Песчаник полимиктовый алевритовый с глинистым цементом порового типа	Мангышлак, Узень	18,3	0,3 ($p_{п}=0,13$)	60
Песчаник алевритистый с глинистым цементом пленочного типа	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	22,6	0,7 ($p_{п}=0,45$)	80
Песчаник полевошпатовый кварцевый бесцементный	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	19,2	0,7 ($p_{п}=0,5$)	80
Песчаник туфогенный	ДДВ, Брусиловская площадь	13,03 (15,66)	0,31	113
Соль каменная	Украина, Озерянка	—	1,0	100

σ_{1s} , кбар	ϵ_{1} , %	$\epsilon_{2}=\epsilon_{3}$, %	σ_{1e} , кбар	ϵ_{1} , %	$\epsilon_{2}=\epsilon_{3}$, %	σ_{p} , кбар	ϵ_{1} , %	$\epsilon_{2}=\epsilon_{3}$, %	Источник
1,7	0,15	0,02	2,4	1,88	1,42	2,29	3,42	4,61	[59]
0,73	0,15	0,1	1,05	1,82	0,3	1,05	1,82	0,3	ИГиРГИ
2,97	0,95	0,2	3,26	1,09	0,30	3,20	4,25	0,5	[59]
2,0	0,6	0,15	2,7	0,9	0,52	2,6	1,85	1,9	[59]
3,4	0,91	0,24	3,99	1,26	1,18	3,65	1,59	2,23	[59]
3,59	0,77	0,08	4,36	1,37	1,05	4,30	1,77	2,01	[59]
2,6	0,72	0,18	3,33	1,45	1,17	2,81	1,77	2,25	[59]
0,235	0,26	0,07	0,59	1,23	0,64	0,29	4,21	2,66	ИГиРГИ
0,585	0,59	0,12	0,995	1,5	1,2	0,995	1,5	1,2	»
0,75	0,65	0,13	1,095	1,35	0,85	1,09	1,4	0,9	ИГиРГИ
5,24	0,97	0,22	7,74	1,96	0,06	—	—	—	ИГиРГИ
0,36	0,8	0,2	1,84	9,5	3,7	1,7	13,8	7,58	ИГиРГИ

Продольная ϵ_1 и поперечные $\epsilon_2 = \epsilon_3$ деформации, избыточное дифференциальное напряжение σ_i , пределы прочности $\sigma_{i c}$ и текучести $\sigma_{i s}$, напряжение при разрушении σ_p для метаморфических и магматических пород при неравномерном трехосном сжатии типа $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ и комнатной температуре

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_2 = \sigma_3$ кбар	σ_i (в кбар) при ϵ_1 , %		$\sigma_{i c}$ кбар	$\sigma_{i s}$ кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$ %	Источник
				1	2					
				Метаморфические породы						
Амфиболит	Кольский полуостров, Печенга	1,2	0,001 4,50	— 14,80	— 16,20	1,44 16,80	— 13,90	0,3 2,6	— 1,75	[97]
»	Татария, Ново-Мусабаев- ская площадь	0,7	0,001 1,00 4,50	— — 18,00	— — 20,60	2,00 5,65 21,30	— 5,10 18,00	0,3 0,6 3,8	— — —	[97]
Базальт	Татария	2,3	0,001 2,50	— 10,00	— 14,80	2,47 15,00	— 14,50	0,4 2,6	— —	[97]
Габбро	Московская область, Шел- ковская площадь	0,6	0,001 1,00 2,50	— — 6,20	— — —	1,72 5,55 6,32	— — 6,00	0,3 0,5 1,7	— — —	[97]
Габбро сильно катаклазиро- ванное	Калужская площадь	—	3,30 4,20 5,00	— 4,40 11,55	— — 16,00	3,46 4,49 16,30	2,90 4,00 15,00	1,5 2,9 8,5	— — —	[97]
Габбро амфиболовое	Татария, Ульяновская площадь	0,9	0,001 1,00	— —	— —	1,73 5,30	— —	— 0,5	— —	[97]
Габбро-диабаз	Башкирия, Бавлы	1,1	0,001 1,00 2,50	— 3,80 7,00	— — 7,50	2,36 3,80 7,60	— 3,60 6,80	0,4 1,0 2,8	— — —	[97]
Габбро-норит	Куйбышев, Муханово	0,5	0,001 1,00 2,50	— — 7,20	— — —	1,99 4,10 7,90	— — 7,20	— 0,5 1,9	— — —	[97]
Габбро-норит амфиболовый	Татария, Ново-Елховская площадь	0,6	0,001 1,00	— —	— —	1,50 4,40	— —	— 0,4	— —	[97]
Гнейс биотит-роговообман- ковый	Татария, Елабуга	0,4	0,001 1,00 2,40 4,50	— 4,10 6,00 7,50	— — 6,75 10,90	2,99 4,11 6,90 12,00	— — 6,50 10,00	0,4 1,0 2,3 3,4	— — — —	[97]
Гнейс биотит-гранатовый с турмалином	Башкирия, Чекан	0,4	0,001 1,00 2,60	— — 6,40	— — —	1,37 5,72 6,50	— — —	— 0,9 1,5	— — —	[97]
Гнейс биотит-силлиманито- вый	Татария, Бондюг	2,6	0,001 1,00 2,60	— — —	— — —	0,50 1,09 1,32	— — —	— — —	— — —	[97]
Гнейс биотитовый	Кольский полуостров, уч-к горы Широкая	0,5	0,001 2,00	— 4,65	— 4,80	2,10 4,87	— 4,50	0,5 2,6	— 1,9	[97]
Гнейс биотит-амфиболовый	Татария, Миннибаево	1,29	0,55	—	—	3,40	2,50	0,64	0,79	ИГИРГИ
Гнейс гранат-биотитовый	То же	—	0,29	—	—	1,87	1,72	0,6	1,2	»
То же	»	—	0,32	—	—	4,48	1,15	0,6	1,2	»
»	»	—	0,33	—	—	4,68	4,05	0,9	1,4	»
»	»	—	0,38	3,30	—	3,31	1,92	1,1	1,9	»
»	»	—	0,472	5,55	—	5,55	4,38	1,0	1,0	»
»	»	—	0,495	—	—	3,68	1,48	0,7	0,9	»
»	»	—	0,505	2,50	—	3,50	2,52	1,7	2,4	»
»	»	—	0,520	2,80	—	3,59	2,75	1,7	1,95	»
Гнейс гранат-биотитовый (перпендикулярно к на- пластованию)	»	1,31	0,530	—	—	5,35	2,68	0,9	0,96	»
То же	»	1,1	0,540	5,30	—	5,30	4,05	1,3	1,6	»
Гнейс гранат-биотитовый (параллельно напластова- нию)	»	1,31	0,530	4,00	—	4,05	1,48	2,11	1,2	»

Порода	Место отбора образца	k_p , %	$\sigma_p = \sigma_s$, кбар	σ_l (в кбар) при ϵ_1 , %		σ_l с кбар	σ_{is} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
				1	2					
Гнейс гранат-биотитовый (параллельно напластованию)	Татария, Миннибаево	1,1	0,540	4,90	—	4,90	4,00	1,35	1,85	ИГиРГИ
Гнейс биотит-амфиболовый	»	2,2	0,560	—	—	4,85	2,47	0,71	0,43	»
Гнейс пироксен-плагиоклазовый	»	—	0,285	—	—	2,90	1,34	0,9	1,4	»
Гнейс пироксеновый	»	1,88	0,55	—	—	5,90	5,00	0,83	0,46	»
То же	»	—	0,505	3,95	—	4,11	3,02	1,4	1,7	»
Гнейс пироксеновый (параллельно напластованию)	»	1,88	0,55	—	—	4,82	3,50	0,9	0,69	»
Гнейс плагиоклазовый	Татария, Аргуновская площадь	0,5	0,001	—	—	1,52	—	—	—	[97]
			1,00	—	—	4,15	—	0,7	—	[97]
			2,40	5,90	6,80	6,90	5,50	3,2	—	[97]
			5,00	10,50	12,10	12,30	9,00	8,8	—	[97]
Гнейс двуслюдыстый с турмалином очковый	Украина, Кривой Рог	0,4	1,00	—	—	4,25	—	0,6	—	[97]
			3,00	7,26	—	7,36	7,05	1,25	—	
			4,00	9,60	13,20	14,30	12,60	7,4	—	
Гранит микроклиновый	Саратовская область	0,3	0,001	—	—	1,44	—	—	—	[97]
			1,00	—	—	4,30	—	0,7	—	
Гранит	Татария, Миннибаево	3,49	0,57	4,50	—	4,85	3,17	1,55	0,99	ИГиРГИ
Гранит биотит-плагиоклазовый микроклинизованный, катаклазированный	Украина, Яковлевское месторождение	2,15	0,30	2,00	—	2,09	1,93	1,1	0,45	»
Гранит биотит-плагиоклазовый микроклинизованный	То же	2,5	0,50	4,00	4,40	4,48	3,85	2,35	0,85	»

То же	»	2,2	0,50	2,80	3,20	3,29	2,70	2,93	1,8	»
»	»	4,4	0,50	3,60	3,65	3,75	3,00	3,0	1,4	»
»	»	5,6	0,50	3,75	—	3,81	3,00	1,73	1,77	»
Гранит плагиоклаз-биотитовый	»	5,36	0,30	1,60	—	2,27	1,62	1,11	0,67	»
			0,50	2,52	—	2,60	1,90	1,32	0,87	»
То же	»	1,90	0,30	—	—	3,29	2,40	0,9	0,8	»
			0,50	4,25	—	4,30	3,00	2,19	2,57	»
»	»	7,68	0,30	1,70	1,75	1,80	1,15	2,25	2,0	»
			0,50	2,10	2,38	2,39	1,81	4,57	5,1	»
»	»	2,11	0,50	4,10	4,40	4,44	3,70	2,4	1,6	»
Гранит плагиоклаз-биотитовый микроклинизованный	»	2,55	0,30	—	—	2,45	2,08	0,8	0,18	»
			0,50	2,10	—	2,53	2,20	1,56	1,4	»
То же	»	2,06	0,50	4,00	—	4,07	3,10	1,3	0,7	»
Гранит плагиоклаз-биотитовый микроклинизованный, слабо рассланцованный	»	2,6	0,50	3,90	—	4,35	3,10	1,44	1,25	»
Гранит плагиоклаз-биотитовый микроклинизованный, сильно катаклазированный	»	2,65	0,50	3,00	—	3,10	2,60	1,04	1,42	»
Гранит плагиоклаз-биотитовый микроклинизованный, слабо катаклазированный	»	2,8	0,50	3,20	3,25	3,29	2,50	2,78	0,95	»
Гранит плагиоклаз-биотитовый слабо катаклазированный	»	2,50	0,30	—	—	1,90	1,66	—	—	»
			0,50	3,20	—	3,35	2,89	1,68	0,93	»

Порода	Место отбора образца	$k_{п.}$ %	$\sigma_2 = \sigma_3$, кбар	σ_1 (в кбар) при ϵ_1 , %		σ_1 с. кбар	σ_{1s} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
				1	2					
				Гранит плагиоклаз-биотитовый серпентинизированный	Украина, Яковлевское месторождение					
Гранит плагиоклаз-гидро-слюдистый	То же	17,82	0,30 0,50	0,61 0,64	0,90 1,00	1,20 1,53	0,57 7,80	9,18 13,72	5,5 8,36	»
Гранит плагиоклазовый	»	2,67	0,50	3,20	—	3,25	2,03	1,82	1,56	»
Гранит плагиоклазовый микроклинизированный	»	2,88	0,50	3,50	3,90	4,57	3,10	2,5	1,8	»
Гранит двуслюдистый мелкозернистый	»	2,0	0,30 0,50	2,78 2,00	— 3,20	2,78 3,25	2,31 2,49	1,0 1,8	0,5 2,3	»
Гранит плагиоклазовый с гранатом	Кольский полуостров, гора Широкая	2,2	0,001 2,00 4,00	— 4,80 8,20	— — 8,70	1,09 5,21 8,9	— 4,60 7,80	— 1,6 4,6	— 0,93 —	»
Чарнокит	Татария, Нурлат	0,5	0,001 1,00	— —	— —	1,50 3,04	— —	— 0,5	— —	[97]
Гранодиорит	Татария, Бондюг	2,2	0,001 1,00 4,00	— — 6,50	— — 11,20	0,96 1,58 11,84	— — 10,80	— 0,5 2,3	— — —	[97]
То же	Башкирия, Бакалы	0,5	0,001 1,00 2,50	— — 5,50	— — —	1,32 2,57 5,66	— — 5,30	— 0,7 1,2	— — —	[97]
Гранодиорит разgneйсованный	Татария, Бондюг	0,6	0,001 1,00 2,60 4,50	— 3,85 6,20 8,00	— — — 11,60	1,60 3,85 6,45 11,89	— 3,20 6,10 10,70	— 1,0 1,5 3,0	— — — —	[97]
Гранито-гнейс	Кольский полуостров, участок Портер	1,2	0,001 2,00 4,00	— 4,80 9,80	— — 10,80	1,67 5,21 11,50	— 4,40 9,80	0,3 1,6 5,8	— 0,9 —	[97]

Гранито-гнейс, биотит плагиоклазовый	Башкирия, Шаранская площадь	0,6	0,001 1,00 4,50	— — 8,50	— — 16,50	2,00 6,19 18,60	— 4,00 18,00	0,3 0,6 2,6	— — —	[97]
Джеспилит	Курская магнитная аномалия	—	1,00 2,60	8,80 10,80	— 10,80	8,80 11,16	8,40 10,00	1,0 3,8	— —	ИГиРГИ
Диабаз	Татария, Бугульма	1,0	0,001 1,00 2,80	— 6,30 7,30	— — 7,50	4,23 6,35 7,50	— 5,80 7,00	— 1,5 2,0	— — —	ИГиРГИ
Кварцито-сланец	Волгоградская область, Верховская площадь	0,3	0,001 1,00 4,70	— — 9,00	— — 18,20	1,72 4,07 20,80	— — 20,00	— 0,7 3,4	— — —	ИГиРГИ
Микрогаббро биотитовое	Татария, Ульяновская площадь	0,3	1,00 2,50	— 7,75	— —	4,46 8,05	— 7,30	0,5 1,2	— —	ИГиРГИ
Пироксенит	Кольский полуостров, гора Сопча	0,3	0,001 1,00 3,00 4,50	— — 11,65 14,00	— — 12,40 20,50	2,50 8,05 12,60 21,00	— 0,7 11,00 19,20	— — 3,4 7,0	— — — —	[97]
Сланец эпидотовый	Калужская площадь	3,7	0,001 1,00	— 2,78	— —	1,28 2,84	— 2,00	— 1,7	— —	[97]
Спиллит	Украина, Кривой Рог	0,5	0,001 1,00 2,00 3,00	— 3,50 4,70 5,00	— 3,55 5,10 6,00	1,00 3,63 5,50 6,98	— 3,10 4,20 5,00	— 2,7 6,3 10,0	— — — —	ИГиРГИ
Элювий гранита плагиоклазового и амотизированный	Украина, Яковлевское месторождение	21,8	0,50	4,20	—	4,34	3,10	1,4	1,25	ИГиРГИ
Элювий гранита кварцаолинитового состава	То же	21,16	0,30 0,50	0,023 0,052	0,50 0,57	0,72 1,17	0,26 0,47	5,17 9,25	2,9 5,8	ИГиРГИ

Продольная ϵ_1 и поперечные $\epsilon_2 = \epsilon_3$ деформации, пределы прочности σ_1 и $\sigma_2 = \sigma_3$ в воздушно-

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , р/см ²	$k_{п.}$ %
Базальт долеритовый	—	Армения, поселок Алар	2,74—2,78	2,8—6,2
Базальт	4	Кутаисское месторождение	2,86	0,47
Габбро	3236	Камчатка, Петропавловский район	2,91	1,28
Габбро измененное	—	То же	2,88	1,08
Гранит	—	Армения, Наджаран	2,60	2,20
»	3238	Камчатка, бухта Русская, интрузив Ахомтен	2,60	1,78
»	796	Болгария, Среднегорская область, карьер	2,62	—
»	371	Украина, Новоданиловское месторождение	2,62	0,41
»	—	—	2,62	—
»	—	Украина, Кировоград, карьер	2,62	0,97
Гранито-гнейс	728	—	2,80	0,49

Таблица 30
и текучести σ_{1S} для хрупких горных пород при испытаниях на сжатие типа сухом состоянии

$\sigma_2 = \sigma_3$, кбар	σ_{1S} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	σ_1 с кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
0,001 5,0	1,50 12,35	0,38 0,78	0,28 0,39	1,50 14,70	0,38 3,78	0,28 2,98	ИФЗ
0,001 0,5 4,0 6,4	— — 8,19 10,72	— — 0,72 —	— — 0,21 —	3,26 8,5 8,19 15,4	— 1,0 0,72 —	— — 0,21 —	[82]
1,5	6,2	0,40	0,18	6,7	0,60	0,52	[89]
1,8	5,28	0,42	0,20	5,5	0,59	0,28	ИФЗ
0,001 1,0	1,17 2,93	0,15 0,39	0,02 0,23	1,34 4,18	— 0,67	0,04 0,80	[84]
0,001 1,0 1,5 3,5	1,27 3,26 4,48 8,70	— — 0,49 0,30	— — 0,33 0,17	1,27 3,26 4,73 9,64	— — 0,54 —	— — 0,40 —	ИФЗ
0,001 2,0 8,5	0,73 3,54 5,30	— — —	— — —	0,73 3,54 5,30	— — —	— — —	[26]
6,5 7,25	9,95 15,01	— —	— —	9,95 15,01	— —	— —	ИФЗ
0,001 1,0 2,0 9,0	2,25 8,25 11,70 17,20	— — — —	— — — —	2,25 8,25 11,70 17,20	— — — —	— — — —	[89]
1,0 2,0	5,1 7,8	0,66 1,02	0,26 0,33	5,44 8,63	0,69 1,26	0,32 0,47	ИФЗ
0,001 1,30 2,20	1,25 2,76 4,55	— 0,74 —	— — —	1,25 2,80 4,55	— 1,00 —	— — —	ИФЗ

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	$k_{п.}$ %
Гранодиорит	3237	Камчатка, бухта Русская	2,62	1,63
Диабаз	3	Карелия, Онежское месторождение	—	0,40
Диорит	2551	Чаткальские горы	2,74	1,44
Известняк мраморизованный	246	Вяземское месторождение	2,62	1,80
Мрамор	788	Болгария, Среднегорская область	2,71	1,20
"	—	—	2,68	—
Роговик	—	Армения, Наджаран	2,69	1,80
Рисчоррит	491	Кольский полуостров, Хибинский интрузив	2,71	—
Сиенитогнейз	—	—	2,6	0,84
Сиенитодиорит	2549	УзССР, Приташкентский район	2,67	1,31
Сланец кварц-биогитовый	—	Кировоградская область	2,66	1,31
То же	—	То же	2,66	1,31

Продолжение табл. 30

$\sigma_2 = \sigma_3$, кбар	σ_{12} , кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	σ_1 с кбар	ϵ_1 , %	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
1,6	5,00	—	—	5,00	—	—	ИФЗ
5,30	—	—	—	—	—	—	
0,001	1,59	0,10	0,05	1,67	0,19	0,16	ИФЗ
1,35	4,51	0,90	0,27	4,57	1,05	0,32	
3,15	6,30	1,02	0,40	7,88	1,40	0,75	
3,1	1,69	—	—	1,69	—	—	
0,001	0,25	—	—	0,25	5,1	—	[82]
1,0	0,61	1,3	—	0,74	6,9	—	
3,75	1,02	1,1	—	1,30	6,0	—	
8,85	0,80	0,3	—	1,50	12,0	—	
0,001	0,95	—	—	0,95	11,5	—	[89]
1,0	2,04	—	—	2,50	9,4	—	
3,0	2,84	—	—	3,60	6,4	—	
8,0	2,66	—	—	4,85	> 10	—	
0,001	1,92	0,23	0,05	1,92	0,23	0,05	[84]
1,0	3,15	0,29	0,06	4,35	0,42	0,19	
0,001	0,5	—	—	0,5	—	—	[81]
2,0	3,10	—	—	3,10	—	—	[89]
5,0	3,65	—	—	3,65	0,29	—	
8,0	4,00	—	—	4,00	—	—	
5,0	7,8	—	—	7,8	—	—	ИФЗ
0,00	2,58	—	—	2,58	—	—	ИФЗ
1,2	6,64	0,21	0,07	6,64	0,21	0,07	[89]
3,0	6,3	0,25	0,17	7,09	0,43	0,35	
0,001	2,5	0,15	0,05	2,5	0,15	0,05	ИФЗ
3,0	7,6	—	—	7,8	—	—	
5,0	10,7	2,9	2,2	11,1	10,2	2,8	
0,001	—	—	—	—	—	—	ИФЗ
3,0	5,70	1,12	0,56	6,62	—	1,35	
5,0	10,7	1,57	—	11,2	13,8	—	

Продольная ϵ_1 и поперечные $\epsilon_2 = \epsilon_3$ деформации, избыточное дифференциальное
чешских и магматических пород неравномерном трехосном сжатии

Порода	Место отбора образца	$k_{п.} \%$	$\sigma_2 = \sigma_3$, кбар
Гнейс биотит-плагиоклазовый с гранатом	Удмуртия, Покровская площадь	0,3	0,001 1,00 2,50 4,50 2,50
Гнейс двуслюдовый плагиоклазовый	Украина, Кривой Рог	0,5	0,001 2,00 3,00
Гранито-гнейс биотитовый	Башкирия, Туймазы	0,6	0,001 0,001 1,00 2,50 2,50
Диорит гиперстеновый	Кольский полуостров, р. Яуры-Йоки	1,4	0,001 2,50 2,50
Кварцит шокшинский	Карелия, карьер Шокша		0,001 1,50 2,50 4,50 2,50
Перидотит	Кольский полуостров, гора Кумужья	0,8	0,001 1,00 2,50 4,00 2,50

Таблица 31
напряжение σ_1 при различных значениях продольной деформации метаморфического типа $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ и разных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	σ_1 (в кбар) при $\epsilon_1, \%$		σ_1 с. кбар	σ_{1s} , кбар	$\epsilon_1, \%$	$\epsilon_2 = \epsilon_3$, %	Источник
	1	2					
20	—	—	1,36	—	—	—	[97]
20	—	—	2,99	—	0,3	—	
20	8,00	9,34	9,34	8,00	2,0	—	
20	11,50	15,80	17,00	14,00	10,5	—	
300	4,30	5,50	5,88	3,50	2,5	—	
20	—	—	1,60	—	—	—	[97]
20	—	—	3,30	—	0,8	—	
20	5,45	5,80	6,80	5,00	2,7	—	
20	9,50	5,60	16,00	15,00	6,8	—	
100	4,20	5,00	5,10	3,40	3,4	—	
20	—	—	1,82	—	—	—	ИГиРГИ
20	3,10	3,14	3,17	3,00	2,6	1,6	
200	6,30	6,50	6,76	6,00	4,2	2,8	
20	—	—	1,62	—	—	—	»
200	—	—	1,28	—	—	—	
20	—	—	1,98	—	0,3	—	
20	3,25	—	3,30	3,20	1,5	—	
300	3,00	—	3,20	2,80	1,6	—	
20	—	—	1,56	—	—	—	»
20	8,20	1,05	12,90	11,50	3,5	—	
100	6,20	8,20	9,60	8,30	4,2	—	
20	—	—	2,84	—	—	—	[97]
20	—	—	4,65	—	0,4	—	
20	—	—	9,00	—	0,9	—	
20	9,55	18,00	21,30	—	2,5	—	
100	9,50	—	10,10	—	1,9	—	
20	—	—	3,60	—	—	—	
20	6,00	—	6,10	5,60	1,2	—	
20	8,80	—	9,00	8,40	1,7	—	
20	10,00	11,00	11,20	9,00	3,7	—	
100	4,00	4,10	4,20	3,50	3,5	—	

Избыточное дифференциальное напряжение σ_1 при различных значениях давления и

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ_1 г/см ³	$\sigma_2 = \sigma_3$ кбар
Дунит	363	Чукотка	3,30	8 8
Дунит серпентинизированный	364	—	—	4
Мрамор	—	—	—	4 8 12
Оливинит	904	Кольский полуостров, Мончегорский район	3,30	4 4 8 8 8 12
Серпентинит	—	То же	—	8 8
Энстатит оливинсодержащий	—	»	3,24	2 2 2 3 3 3 5 5 5 10 10
То же	—	»	3,24	10

Примечание. ϵ_1 — общая относительная продольная деформация разрушения.

Таблица 32
продольной деформации горных пород, испытанных на сжатии, различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	σ_1 (в кбар) при ϵ_1 %					$\epsilon_1, \%$	Источник
	1	2	5	10	16		
25	7,00	14,25	—	—	—	4,5	[88]
300	4,30	9,00	11,50	14,10	—	11,0	
500	3,60	5,40	9,20	—	—	9,5	
25	9,00	14,50	—	—	—	4,5	
300	5,70	10,40	11,70	—	—	5,2	
500	3,00	5,70	7,00	7,50	—	10,1	
25	5,14	8,10	13,20	14,20	—	13,2	[31]
500	5,14	8,10	12,40	13,30	14,00	20	
25	3,50	4,70	5,90	—	—	9,0	[31]
420	0,90	1,23	1,50	—	—	7,0	[47]
420	0,96	1,25	2,10	—	—	Образцы не разрушены	
420	1,06	1,72	2,37	—	—		
25	5,14	7,55	10,00	10,30	—	13,6	[31]
250	5,14	6,80	8,50	8,70	9,01	16	
20	5,14	8,10	12,90	14,30	15,00	16,6	
250	5,14	8,10	12,00	—	—	8,7	
450	5,14	8,10	11,90	13,80	—	13,9	
20	5,14	8,10	13,60	16,50	—	10	
20	4,30	6,10	8,26	9,20	9,52	18,8	[31]
450	3,50	4,68	5,34	5,59	5,75	19,5	
25	6,20	7,50	6,73	6,70	6,75	16,8	[48]
300	3,43	6,30	6,73	6,95	7,12	16	
500	2,35	4,50	5,05	5,60	5,64	16	
25	7,10	9,20	8,95	8,90	8,87	18	
300	4,00	7,50	7,75	7,80	8,00	17,8	
500	3,15	5,38	6,27	6,27	6,32	17,5	
25	12,00	13,20	13,30	13,20	—	12	
300	7,40	12,00	12,45	12,50	—	13,5	
500	4,00	8,50	9,47	9,67	9,75	16,3	
25	9,02	16,30	17,50	—	—	5,7	
300	6,00	13,80	15,90	—	—	8,5	
500	2,80	6,20	9,70	12,20	—	10,3	

Предел прочности σ_{ic} горных пород при различных скоростях деформирования $\dot{\epsilon}$

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	k_p , %	$\sigma_a = \sigma_a$, кбар	σ_{ic} (кбар) при $\dot{\epsilon}$, с ⁻¹					Источник
					10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻²	1	
Диабаз	Братская ГЭС	2,91	0,98	0,001	2,5	2,5	2,5	3,25	3,95	[64]
				0,5	5,2	5,3	5,4	6,15	6,85	
				1,0	6,3	6,4	6,4	7,35	8,25	
Мрамор	—	—	—	0,001	—	—	0,5	0,73	1,18	[58]
				0,75	—	—	2,03	2,6	3,3	
Мрамор белый	Урал, Коелга	2,71	0,11	0,001	0,75	0,75	0,80	0,95	1,08	[64]
				0,2	1,30	1,31	1,46	1,65	1,90	[73]
				0,5	1,97	1,97	2,00	2,28	2,53	
				1,0	—	2,75	2,77	2,90	3,40	
Песчаник красный	—	2,70	18,6	0,001	0,61	0,68	0,80	0,97	1,15	[64]
				0,5	—	2,36	2,36	2,80	3,20	
				1,0	—	2,85	2,90	3,50	4,10	
Песчаник взрывоопасный	Донбасс	—	5,8—6,1	0,001	0,92	0,95	0,99	1,00	1,02	[72]
				0,5	2,00	2,02	2,04	2,14	2,18	
				1,0	2,50	2,54	2,58	2,66	2,70	
				1,50	3,12	3,01	3,08	3,06	3,10	
Песчаник кварц-полевошпатовый, невзрывоопасный	»	—	5,9—6,0	0,001	0,85	0,95	1,06	1,16	1,27	[72]
				0,5	2,00	2,02	2,04	2,06	2,08	
				1,0	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	
				1,5	2,90	2,97	3,05	3,12	3,20	
Соль калийная	Стробинское месторождение	—	—	0,001	0,132	0,139	0,166	0,183	0,20	[72]
				0,05	0,25	0,255	0,26	0,265	0,27	
				0,1	0,29	0,296	0,302	0,308	0,314	
				0,3	0,325	0,332	0,339	0,346	0,354	

Соль каменная	Стробинское месторождение	—	—	0,001	1,84	1,72	1,60	1,48	1,35	[72]
				0,05	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	
				0,1	2,86	3,00	3,14	3,28	3,42	
				0,2	3,00	3,20	3,40	3,60	3,81	
				0,6	3,00	3,56	4,12	4,68	5,25	
То же	Армения	2,1	—	0,001	0,162	0,159	0,157	0,155	0,147	[72]
Талькохлорит	Сегозеро	2,91	0,21	0,001	0,70	0,78	0,91	1,10	0,25	[64]
				2,5	—	—	2,4	2,8	3,2	

Таблица 34

Предел прочности σ_{ic} горных пород при разных скоростях деформирования $\dot{\epsilon}$ и влажности w

Порода	Место отбора образца	δ , г/см ³	k_p , %	$\sigma_a = \sigma_a$, кбар	w , %	σ_{ic} (в кбар) при $\dot{\epsilon}$, с ⁻¹					Источник	
						10 ⁻⁸	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻²	1		
Известняк	Ленинградская область	2,48	6,52—8,24	0,001	0	0,98	0,98	1,24	—	—	[71]	
					1,1	—	0,78	0,94	—	1,20		
					3,0	0,58	0,64	0,68	0,74	0,96		
				0,5	0	—	2,00	—	2,28	—	—	—
					1,1	—	1,70	—	—	—	2,24	—
					3,0	—	1,42	—	1,96	—	2,16	—
Песчаник кварцевый	—	2,15	18,7	0,001	0	0,76	0,72	0,80	—	1,08	[38]	
					1,2	—	0,50	0,64	—	—		
					9,0	0,68	—	0,58	0,62	0,74		
					0	2,24	—	2,36	2	3,48		
				0,5	1,2	1,40	—	1,56	—	—	—	
					9,0	1,34	1,32	1,46	1,76	—	—	
					0	—	3,00	2,94	—	4,64	—	
					1,2	—	2,88	2,94	3,24	—	—	
1,0	9,0	—	1,46	—	1,78	—	1,98	—				

Испытания на кручение, результаты которых приведены в табл. 35, сделаны на образцах, имеющих форму катушек с тонкой рабочей частью диаметром 7 и 12 мм и с квадратными утолщениями на концах для закрепления образцов. Угол закручивания φ определялся с помощью тензодатчиков сопротивления, наклеенных под углом 45° к образующей образца, при испытаниях внутри камер высокого давления. Тарировка показаний таких тензодатчиков проводилась на специальном приспособлении с помощью оптических методов [79, 80, 89].

Таблица 35
Максимальное касательное напряжение при испытаниях горных пород τ_{\max} на кручение и угол закручивания φ в условиях различных всесторонних давлений

Порода	Номер образца	Место отбора образца	δ , г/см ³	k_p , %	$\sigma_2 = \sigma_3$, кбар	τ_{\max} , кбар	φ , рад	Источник
Базальт	4	Кутаисское месторождение	2,86	0,47	0,001 3,0	0,17 0,49	0,0002 0,0036	[80]
Гранит	138	—	2,69	0,41	0,001 2,9 4,0	0,10 0,31 0,34	0,0010 0,0046 0,0056	[80]
Диабаз	3	Онежское месторождение	3,04	0,40	0,001 1,0 2,8	0,05 0,49 0,70	0,0002 0,0020 0,0063	[79]
Лабрадорит	44	—	—	—	0,001	0,07	0,0007	ИФЗ
Перидотит	—	—	—	—	1,0 1,6	0,37 0,23	0,0020 0,0024	»
Серпентинит	122	—	2,82	0,38	0,001 3,0	0,19 0,45	0,0017 0,0056	[80]

В табл. 36 даны значения разрушающего напряжения σ_{ii} при испытаниях на чистый изгиб в условиях различных гидростатических давлений. Опыты проведены на балочках горных пород, которые опирались на две опоры, а к средней части образца прикладывалось усилие, заставляющее образец прогибаться.

Таблица 36
Разрушающее напряжение при испытаниях на изгиб σ_{ii} при различных всесторонних давлениях p [74]

Порода	Номер образца	Место отбора образца	p , кбар	σ_{ii} , кбар
Базальт	4	—	0,001 2,9	0,37 4,53
Диабаз	3	Онежское месторождение	0,001 2,9	0,40 5,73
Серпентинит	240	Урал, карьер Серебры	0,001 3,0	0,42 5,15

Глава VI

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

§ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД В ПЛАСТОВЫХ УСЛОВИЯХ

Нефтяные и газовые скважины являются наиболее глубокими горными выработками. Глубина разведочных скважин на нефть и газ достигает 7—8 км. На этих глубинах геостатическое давление составляет 1,5—2,0 кбар, пластовое давление до 1 кбар и температура—200° С и выше. Между тем, наши представления о свойствах осадочных пород основываются, как правило, на результатах их изучения в атмосферных условиях. В условиях естественного залегания пород давление и температура могут существенно изменить их физические свойства.

Изменения коллекторских свойств сцементированных осадочных пород при деформировании их без разрушения механических связей в скелете породы обусловлены, главным образом, объемными деформациями порового пространства и породообразующих минералов. Величины объемных деформаций зависят от всестороннего давления p , порового давления $p_{п}$ и температуры t в породе.

При деформации осадочной породы, насыщенной жидкостью давление жидкости в порах $p_{п}$ противодействует всестороннему давлению на сцементированный скелет. На деформацию породы оказывает влияние разность между p и $p_{п}$, которая называется эффективным давлением,

$$p - p_{п} = \sum_{i=1}^N gh_i (\delta_i - \delta_{вi}),$$

где h_i — мощность i -го литологически однородного интервала разреза, имеющего плотность δ_i ; $\delta_{вi}$ — плотность жидкости (воды), насыщающей породу; g — ускорение силы тяжести.

Уравнение позволяет вычислить эффективное давление на глубине залегания породы при условии нормального закона изменения порового давления с глубиной. Температуру пласта на глубине его залегания определяют путем прямых измерений либо с использованием данных о среднем геотермическом градиенте в районе исследования.

Методика исследований на специальных лабораторных установках при всестороннем сжатии и нагревании образцов пород описана в ряде работ [32, 39, 65]. Для правильного определения свойств пород в этих условиях не должен быть превышен предел прочности, чтобы не нарушить структуру пористой породы.

Измерения физических параметров рекомендуется производить при следующих значениях эффективных давлений: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0 кбар. Максимальное значение эффективного давления не должно превышать эффективное давление на глубине залегания породы, с которой отобран изучаемый образец.

Для определения величины объемных деформаций коллектора [32] используют следующие коэффициенты:

коэффициент сжимаемости скелета породы

$$\beta_{\text{ск}} = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_{p_n, t} = -\frac{1}{V} \left[\frac{\partial V}{\partial (p - p_n)} \right]_{p_n, t},$$

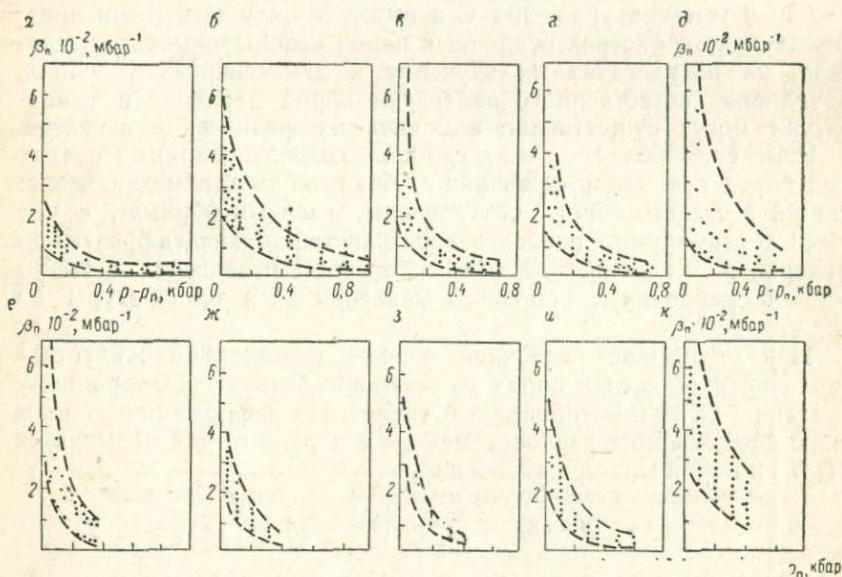


Рис. 21. Зависимость коэффициента сжимаемости пор β_n осадочных пород от эффективного давления $p - p_n$.

а — песчаники хорошо отсортированные и окатанные; *б* — песчаники глинистые, плохо отсортированные и окатанные; *в* — песчаники и алевролиты низкопористые с глинисто-карбонатным цементом; *г* — аргиллиты алевролитистые, сильно уплотненные; *д* — известняки и мергели плотные, низкопористые; *е* — известняки и доломиты плотные, кавернозные; *ж* — полимиктовые песчаники Западной Сибири; *з* — полимиктовые алевролиты Западной Сибири; *и* — кварцевые песчаники Волгоградской области; *к* — полимиктовые песчаники Южного Мангышлака

коэффициент сжимаемости пор породы

$$\beta_n = -\frac{1}{V_n} \left(\frac{\partial V_n}{\partial p} \right)_{p_n, t} = -\frac{1}{V_n} \left[\frac{\partial V_n}{\partial (p - p_n)} \right]_{p_n, t},$$

коэффициент сжимаемости твердой фазы

$$\beta_{\text{ТВ}} = -\frac{1}{V_{\text{ТВ}}} \left(\frac{\partial V_{\text{ТВ}}}{\partial p} \right)_{(p-p_n), t} = -\frac{1}{V_{\text{ТВ}}} \left(\frac{\partial V_{\text{ТВ}}}{\partial p_n} \right)_{(p-p_n), t},$$

где V , V_p , $V_{тв}$ — соответственно объемы породы, пор и твердой фазы, индексы у квадратных скобок показывают, что частные производные взяты при постоянном поровом давлении p_p , постоянной температуре t и т. д.

Коэффициенты сжимаемости связаны между собой соотношением

$$\beta_{ск} = k_p \beta_p + \beta_{тв},$$

где k_p — коэффициент пористости.

В лабораторных условиях значение $\beta_{ск}$ определяют тензометрированием, β_p — по вытеснению жидкости из порового пространства породы, а $\beta_{тв}$ — по измерению деформаций образца, не защищенного оболочкой.

В табл. 37 представлены результаты экспериментального изучения коэффициентов сжимаемости твердой фазы некоторых осадочных пород. Как видно из табл. 37, породообразующие минералы обладают относительно низкой сжимаемостью, поэтому наиболее информативным параметром при изучении коллекторов является коэффициент сжимаемости пор.

Таблица 37

Коэффициент сжимаемости твердой фазы $\beta_{тв}$ (в Мбар⁻¹)
горных пород при различных давлениях p

Порода	$\beta_{тв}$ при p , кбар			Источник
	0	0,12	0,6	
Доломит	1,17	1,17	1,17	[17]
Мрамор	1,36	1,35	1,24	
Известняк	2,42	2,40	2,36	
»	2,86	2,70	2,30	
Песчаник кварцевый	2,62	2,60	2,55	

На рис. 21 представлены результаты изучения коэффициента сжимаемости пор различных осадочных пород при разных эффективных давлениях. Изменение β_p с глубиной происходит по гиперболическому закону:

$$\beta_p = \beta_p^{\max} \frac{(p - p_p)_{\min}}{p - p_p},$$

где β_p^{\max} — значение β_p в точке $(p - p_p)_{\min}$.

Большое влияние на величину коэффициента сжимаемости пор песчано-глинистых коллекторов оказывает содержание глинистых минералов: с увеличением глинистости коэффициент сжимаемости пор возрастает при прочих равных условиях (рис. 22). Эту связь можно записать следующим образом [32]:

$$\beta_p^{\max} = \frac{(\beta_p^{\max})'}{1 - \eta_{гг}},$$

где $(\beta_p^{\max})'$ — максимальный коэффициент сжимаемости пор чистых коллекторов; $\eta_{гг}$ — относительная глинистость коллектора (объем

Коэффициенты сжимаемости порового пространства β_p , пористости k_p и проницаемости $k_{пр}$,
удельное электрическое сопротивление ρ , скорость распространения продольных волн v песчано-глинистых пород

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	ρ_p , кбар	$\rho - \rho_p$, кбар	β_p , Мбар ⁻¹	k_p , %	$k_{пр}$, мД	ρ , Ом м	v, км/с	Источник
Алевролит глинистый	Аралсорская сверхглубокая скв. СГ-1	4310	247	20	0,15	0	—	4,0	<0,1	8,50	—	[65]
						0,05	555	3,8	<0,1	10,00	—	
						0,20	139	3,5	<0,1	12,61	—	
						0,40	69	3,4	<0,1	14,02	—	
						0,60	46	3,3	<0,1	15,00	—	
Алевролит известковисто-глинистый	То же	5230	247	23	0,15	0	—	4,7	<0,1	14,0	—	[65]
						0,05	292	4,6	<0,1	15,80	—	
						0,20	92	4,4	<0,1	18,76	—	
						0,40	36	4,3	<0,1	20,60	—	
						0,70	21	4,2	<0,1	21,44	—	
				140	0,15	0	—	4,7	<0,1	3,10	—	
						0,05	292	4,6	<0,1	3,37	—	
						0,20	72	4,4	<0,1	3,97	—	
						0,40	36	4,3	<0,1	4,32	—	
						0,70	21	4,2	<0,1	4,37	—	
То же	»	3590	247	20	0	0	—	7,6	<0,1	7,25	—	[54]
						0,05	730	7,3	<0,1	8,24	—	
						0,15	241	7,0	<0,1	10,05	—	
						0,35	103	6,8	<0,1	12,45	—	
						0,55	66	6,7	<0,1	13,68	—	
Алевролит мелкозернистый	Казахстан, Чувашкинская площадь	3650	247	22	0,15	0	—	7,5	<0,1	7,55	—	[65]
						0,05	347	7,4	<0,1	8,87	—	
						0,20	87	7,2	<0,1	11,42	—	
						0,40	43	7,1	<0,1	12,60	—	
						0	—	7,5	<0,1	2,00	—	
				111	0,15	0,05	347	7,4	<0,1	2,47	—	
						0,20	87	7,2	<0,1	3,10	—	
						0,40	43	7,1	<0,1	3,48	—	

То же	То же	3120	247	22	0,15	0	—	8,4	<0,1	5,90	—	[65]
						0,05	365	8,2	<0,1	6,48	—	
						0,20	91	7,9	<0,1	7,89	—	
						0,40	45	7,8	<0,1	8,75	—	
						139	0,15	0	—	8,4	<0,1	
0,05	365	8,2	<0,1	1,41	—							
0,20	91	7,9	<0,1	1,59	—							
0,40	45	7,8	<0,1	1,70	—							
Алевролит полимиктовый	Западная Сибирь, Уренгой	3010	10	22,5	0,1			0	—	8,8	<0,1	50,71
						0,05	477	8,6	<0,1	54,82	4,29	
						0,20	119	8,4	<0,1	59,83	4,38	
						0,45	53	8,3	<0,1	62,91	4,65	
				20	—	0	—	8,8	<0,1	18,42	3,99	
						0,05	616	8,6	<0,1	20,23	4,08	
						0,20	154	8,4	<0,1	22,32	4,19	
						0,45	68	8,3	<0,1	23,40	4,51	
То же	Западная Сибирь, Новогодня площадь	2165	25	20	0,1	0	—	11,8	<0,1	14,20	3,94	[53]
						0,05	—	11,6	<0,1	15,40	4,15	
						0,15	192	11,3	<0,1	16,80	4,31	
						0,30	95	11,0	<0,1	18,40	4,50	
				25	75	0,1	0	—	11,8	<0,1	5,37	4,08
							0,05	—	11,6	<0,1	6,00	4,23
							0,15	192	11,3	<0,1	6,35	4,37
							0,30	95	11,0	<0,1	6,80	4,45
»	Западная Сибирь, Медвежье	3200	18	19	0,1	0	—	11,8	<0,1	16,5	3,70	[70]
						0,05	—	11,6	<0,1	17,9	3,85	
						0,20	113	11,3	<0,1	19,6	4,16	
						0,45	50	11,1	<0,1	21,1	4,52	
»	Западная Сибирь, Варьеган	2100	25	23	0,1	0	—	18,4	<0,1	6,40	3,40	[53]
						0,05	237	18,2	<0,1	6,80	3,60	
						0,15	118	18,0	<0,1	7,10	3,87	
						0,30	59	17,7	<0,1	7,40	4,08	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п.}$ кбар	$\rho - \rho_{п.}$ кбар	$\beta_{п.}$ Мбар-1	$k_{п.}$ %	$k_{пр.}$ мД	$\rho_{.}$ Ом·м	v , км/с	Источ-ник	
Алевролит полимиктовый	Западная Сибирь, Бело-озерная площадь	1690	25	21	0,1	0	—	13,8	<0,1	10,60	3,62	[53]	
						0,05	440	13,6	<0,1	11,70	3,82		
						0,15	147	13,3	<0,1	13,00	4,10		
						0,25	88	13,1	<0,1	13,80	4,30		
Алевролит крупнозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Арктическая площадь	2360	25	21	0,1	0	—	14,6	<0,1	13,20	3,69	[53]	
						0,05	197	14,5	<0,1	14,20	3,87		
						0,15	99	14,3	<0,1	15,20	4,10		
						0,25	59	14,2	<0,1	15,50	4,28		
То же	Западная Сибирь, Бело-озерная площадь	2120	25	24	0,15	0	—	23,2	2,9	5,95	3,15	[53]	
						0,05	—	23,0	2,5	6,25	3,30		
						0,15	96	22,8	2,3	6,55	3,48		
						0,30	48	22,6	2,2	6,80	3,68		
Алевролит песчанистый полимиктовый	Западная Сибирь, Медвежье	3200	18	19	0,1	0	—	11,9	<0,1	18,41	3,75	[70]	
						0,05	—	11,7	<0,1	19,72	3,90		
						0,20	155	11,4	<0,1	21,93	4,16		
						0,45	68	11,1	<0,1	23,94	4,50		
То же	Западная Сибирь, Уренгой	2780	18	22	0,1	0	—	12,7	<0,1	28,81	3,61	[70]	
						0,05	486	12,5	<0,1	30,82	3,84		
						0,20	122	12,0	<0,1	34,27	4,25		
						0,40	61	11,9	<0,1	35,83	4,34		
Алевролит мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Варьеган	2280	25	23	0,1	0	—	12,9	<0,1	13,60	3,76	[53]	
						0,05	253	12,7	<0,1	14,80	3,90		
						0,15	168	12,4	<0,1	16,10	4,20		
						0,35	72	12,1	<0,1	17,60	4,45		
	То же	То же	2280	25	75	0,1	0	—	12,9	<0,1	5,00	3,76	[53]
							0,05	253	12,7	<0,1	5,80	3,90	
							0,15	163	12,4	<0,1	6,30	4,20	
							0,35	72	12,1	<0,1	6,80	4,35	

То же	Западная Сибирь, Средне-Ямальная площадь	2120	25	20	0,1	0	—	18,9	4,9	6,35	3,26	[53]
						0,05	278	18,7	4,5	6,75	3,47	
						0,15	93	18,4	4,2	7,00	3,67	
						0,30	47	18,2	4,0	7,25	3,92	
Алевролит	Краснодарский край	2630	247	22	0,15	0	—	22,8	<0,1	0,73	—	[65]
						0,05	—	22,7	<0,1	0,75	—	
						0,20	52	22,5	<0,1	0,79	—	
						0,40	27	22,4	<0,1	0,82	—	
»	Краснодарский край	2200	247	20	0,15	0	—	14,3	0,4	2,20	—	[65]
						0,05	270	14,2	0,4	2,47	—	
						0,20	67	14,0	0,3	2,77	—	
						0,40	33	13,8	0,3	3,03	—	
»	»	2620	247	22	0,15	0	—	14,3	0,4	0,74	—	[65]
						0,05	270	14,2	0,4	0,84	—	
						0,20	67	14,0	0,3	0,94	—	
						0,40	33	13,8	0,3	1,03	—	
»	Аралсорская сверхглубокая скв. СГ-1	2500	247	20	0	0	—	9,0	<0,1	9,06	—	[54]
						0,05	236	8,9	<0,1	9,95	—	
						0,15	79	8,7	<0,1	11,70	—	
						0,30	40	8,6	<0,1	13,45	—	
Алевролит мелкозернистый	То же	2540	247	20	0	0	—	18,0	<0,1	5,74	—	[54]
						0,05	40	17,9	<0,1	6,17	—	
						0,20	10	17,9	<0,1	7,40	—	
						0,40	5	17,8	<0,1	8,46	—	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	p _п , кбар	p-p _п , кбар	β _п , Мбар ⁻¹	k _п , %	k _{пр} , мД	p, Ом·м	v, км/с	Источник
Алевролит мелкозернистый глинистый	Аралсорская сверхглибокая скв. СГ-1	2500	247	20	0	0	—	20,2	<0,1	0,96	—	[54]
						0,05	218	20,1	<0,1	0,99	—	
						0,10	109	20,0	<0,1	1,02	—	
						0,20	54	19,9	<0,1	1,06	—	
						0,40	27	19,8	<0,1	1,10	—	
Алевролит среднезернистый	То же	2560	247	20	0	0	—	16,3	<0,1	1,66	—	[54]
						0,05	218	16,1	<0,1	1,78	—	
						0,10	109	16,0	<0,1	1,88	—	
						0,20	54	15,8	<0,1	1,98	—	
						0,40	27	15,7	<0,1	2,50	—	
Алевролит среднезернистый глинистый	»	2500	247	20	0	0	—	16,6	<0,1	1,88	—	[54]
						0,05	330	16,4	<0,1	2,09	—	
						0,10	165	16,2	<0,1	2,27	—	
						0,20	82	16,1	<0,1	2,51	—	
						0,40	41	16,0	<0,1	2,75	—	
Алевролит крупнозернистый	»	2500	247	20	0	0	—	20,6	<0,1	1,01	—	[54]
						0,05	256	20,4	<0,1	1,05	—	
						0,10	129	20,3	<0,1	1,09	—	
						0,20	64	20,2	<0,1	1,14	—	
						0,40	32	20,1	<0,1	1,19	—	
Аргиллит алевролитистый	»	3660	247	20	0	0	—	4,3	—	58,25	—	[54]
						0,05	28	4,3	—	63,20	—	
						0,15	9	4,2	—	71,00	—	
						0,25	6	4,2	—	78,30	—	
						0,45	3	4,2	—	82,70	—	
То же	»	3960	247	20	0	0	—	5,0	—	9,13	—	[54]
						0,05	720	4,8	—	9,73	—	
						0,15	240	4,7	—	9,93	—	
						0,25	144	4,7	—	11,72	—	
						0,45	80	4,6	—	12,85	—	
Аргиллит алевролитистый	Аралсорская сверхглибокая скв. СГ-1	3900	247	20	0	0	—	8,2	—	8,80	—	[54]
						0,05	360	8,0	—	9,24	—	
						0,15	120	7,8	—	10,15	—	
						0,25	72	7,7	—	10,91	—	
						0,45	40	7,6	—	11,85	—	
То же	То же	3280	247	20	0	0	—	8,3	—	3,32	—	[54]
						0,05	340	8,2	—	3,49	—	
						0,15	114	8,1	—	3,87	—	
						0,25	68	8,0	—	4,07	—	
						0,40	42	7,9	—	4,40	—	
»	Западная Сибирь, Черниговская площадь	2245	25	20	0,1	0	—	12,3	—	15,01	3,60	[53]
						0,05	330	12,0	—	16,23	3,75	
						0,15	110	11,8	—	17,00	3,95	
						0,30	55	11,6	—	18,02	4,14	
						0	—	12,3	—	5,70	3,60	
Песчаник неравномерно-мелкозернистый кварц-полевошпатовый	Предкарпатье, Залу-жаны	3100	15	18,5	0,1	0	—	1,8	<0,1	102,4	4,53	[70]
						0,05	—	1,6	<0,1	115,5	4,67	
						0,10	1063	1,5	<0,1	128,3	4,79	
						0,20	531	1,4	<0,1	155,1	4,84	
						0,43	244	1,3	<0,1	208,9	5,02	
То же	То же	2600	15	19,2	0,1	0	—	2,0	<0,1	114,9	4,44	[70]
						0,05	—	1,8	<0,1	125,5	4,60	
						0,10	998	1,7	<0,1	132,9	4,73	
						0,20	499	1,5	<0,1	146,2	4,89	
						0,37	266	1,4	<0,1	169,9	5,15	
»	»	1000	15		0	0	—	6,6	<0,1	19,76	3,84	[70]
						0,05	529	6,4	<0,1	22,32	3,91	
						0,15	176	6,3	<0,1	24,71	4,09	
»	»	1490	15	22	0,1	0	—	4,5	<0,1	41,8	4,16	[70]
						0,05	529	4,3	<0,1	47,8	4,37	
						0,10	265	4,2	<0,1	53,9	4,51	
						0,20	132	4,0	<0,1	60,5	4,67	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	С, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п.кбар}$	$\rho - \rho_{п.кбар}$	$\beta_{п.кбар}^{-1}$	$k_{п. \%}$	$k_{пр. мД}$	$\rho_{с.м}$	$\sigma, км/с$	Источ-ник
Песчаник неравномерно-мелкозернистый кварцево-полевошпатовый	Предкарпатье, Новоселки	3240	15	21	0,1	0	—	2,3	<0,1	103,6	4,68	[70]
						0,05	—	2,1	<0,1	115,0	4,83	
						0,10	998	2,0	<0,1	127,5	4,91	
						0,20	499	1,9	<0,1	150,7	5,02	
						0,45	221	1,8	<0,1	201,0	5,27	
То же	То же	4240	15	22	0,1	0	—	2,8	<0,1	123,3	4,39	[70]
						0,10	434	2,7	<0,1	147,8	4,53	
						0,20	267	2,6	<0,1	171,7	4,66	
						0,40	133	2,5	<0,1	202,2	4,92	
						0,60	89	2,4	<0,1	228,6	5,02	
»	»	4320	15	21	0,1	0	—	3,0	<0,1	112,8	4,52	[70]
						0,10	569	2,9	<0,1	135,5	4,78	
						0,20	284	2,8	<0,1	177,6	4,88	
						0,40	142	2,7	<0,1	185,0	5,02	
						0,60	95	2,6	<0,1	208,7	5,12	
Песчаник мелкозернистый	Аралсорская сверхглубокая скв. СГ-1	4090	247	20	0	0	—	5,0	<0,1	4,26	—	[54]
						0,10	223	4,9	<0,1	4,75	—	
						0,20	112	4,8	<0,1	5,18	—	
						0,40	61	4,7	<0,1	5,96	—	
						0,60	37	4,6	<0,1	6,13	—	
То же	То же	3300	247	20	0	0	—	6,4	<0,1	6,41	—	[54]
						0,05	395	6,2	<0,1	7,83	—	
						0,15	132	6,1	<0,1	9,95	—	
						0,30	66	6,0	<0,1	12,53	—	
						0,50	44	5,9	<0,1	14,65	—	
Песчаник алевритовый	»	3720	247	20	0	0	—	7,6	<0,1	7,23	—	[54]
						0,05	325	7,3	<0,1	8,23	—	
						0,15	108	7,1	<0,1	10,01	—	
						0,30	65	6,8	<0,1	12,50	—	
						0,45	36	6,7	<0,1	13,70	—	

Песчаник мелкозернистый кварцевый	Казахстан, Чувашкинская площадь	3770	247	22	0,15	0	—	7,7	<0,1	4,0	—	[65]	
						0,05	516	7,6	<0,1	4,5	—		
						0,20	129	7,3	<0,1	6,6	—		
						0,40	64	7,1	<0,1	7,6	—		
						0	—	7,7	<0,1	1,0	—		
»	»	»	»	140	0,15	0,05	90	7,6	<0,1	1,2	—	[65]	
						0,20	197	7,1	<0,1	1,6	—		
						0,40	98	6,9	<0,1	1,9	—		
						0	—	7,9	<0,1	7,8	4,25		[53]
						0,05	—	7,8	<0,1	9,0	4,38		
0,10	338	7,7	<0,1	9,5	—								
0,25	135	7,5	<0,1	12,0	4,60								
0,45	75	7,4	<0,1	13,8	—								
Песчаник среднезернистый кварцевый	Волгоградская область, Кудиновская площадь	2845	230	22	0,1	0	—	10,1	<0,1	62,9	3,93	[70]	
						0,05	—	9,9	<0,1	68,0	4,19		
						0,10	338	9,5	<0,1	83,7	4,48		
						0,25	135	9,3	<0,1	93,1	4,68		
						0,45	75	9,3	<0,1	93,1	4,68		
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Уренгой	3260	18	—	0,1	0	—	23,0	60,0	3,95	2,97	[53]	
						0,05	525	22,8	55,5	4,20	3,17		
						0,20	131	22,6	—	4,40	3,46		
						0,40	59	22,4	—	4,60	3,72		
						0	—	23,0	230,0	3,68	3,10		[53]
0,05	225	22,8	—	3,85	3,29								
0,15	75	22,6	—	4,05	3,49								
0,30	37	22,4	—	4,20	3,58								
0	—	23,0	1,5	5,11	2,94	[70]							
0,05	499	22,7	1,3	5,36	3,01								
0,10	249	22,5	1,1	5,58	3,06								
0,23	100	22,1	1,9	5,89	3,15								
0	—	23,2	7,6	6,50	3,00		[53]						
0,05	278	23,0	6,6	6,90	3,24								
0,15	93	22,7	6,2	7,15	3,47								
0,30	46	22,5	5,6	7,45	3,65								

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п}$, кбар	$\rho - \rho_{п}$, кбар	$\beta_{п}$, Мбар ⁻¹	$k_{п}$, %	$k_{пр}$, мД	ρ , Ом·м	v , км/с	Источник
Песчаник мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Варь-Еган	2060	25	75	0,1	0	—	23,2	—	2,65	3,05	
						0,05	278	23,0	—	2,85	3,26	
						0,15	93	22,8	—	3,05	3,46	
						0,30	46	22,6	—	3,15	3,60	
То же	То же	2060	25	18	0,1	0	—	23,7	<0,1	7,00	3,40	[53]
						0,05	173	23,6	<0,1	7,31	3,55	
						0,15	87	23,4	<0,1	7,52	3,70	
						0,30	43	23,2	<0,1	7,70	3,83	
»	»	2060	25	20	0,1	0	—	23,4	<0,1	7,10	3,26	[53]
						0,05	180	23,3	<0,1	7,33	3,49	
						0,15	89	23,1	<0,1	7,55	3,68	
						0,30	45	22,8	<0,1	7,76	3,80	
Песчаник неравномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Самоглор	1670	18	23	0,1	0	—	23,4	<0,1	6,16	2,82	[70]
						0,05	278	23,2	<0,1	6,40	3,02	
						0,10	139	23,1	<0,1	6,65	3,12	
						0,23	60	22,8	<0,1	6,86	3,24	
Песчаник среднезернистый полимиктовый	То же	2090	25	24	0,1	0	—	23,6	<0,1	3,25	2,72	[70]
						0,05	234	23,5	<0,1	3,40	2,94	
						0,10	117	23,4	<0,1	3,48	3,12	
						0,30	39	23,1	<0,1	3,55	3,42	
То же	»	2090	25	21	0,1	0	—	23,7	342,3	3,65	2,77	[53]
						0,50	—	23,6	295,4	3,80	3,06	
						0,15	78	23,4	267,3	3,94	3,40	
						0,30	39	23,2	223,0	4,03	3,58	
Песчаник неравномерно-тонкозернистый	Западная Сибирь, Медвежья площадь	3220	18	20	0,1	0	—	11,6	<0,1	32,81	3,70	[70]
						0,05	529	11,4	<0,1	34,92	3,92	
						0,20	132	11,0	<0,1	40,30	4,25	
						0,45	59	10,7	<0,1	43,30	4,38	

Песчаник неравномерно-мелкозернистый кварцево-полевошпатовый	Закарпатье, Чоп	1150	15	22,5	0,1	0	—	11,7	13,3	14,41	3,36	[70]				
						0,05	264	11,6	12,0	15,10	3,48					
						0,15	88	11,4	11,5	16,13	3,82					
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Уренгой	2915	10	20	0,1	0	—	11,9	<0,1	36,00	3,73	[70]				
						0,05	512	11,7	<0,1	38,91	3,85					
						0,20	128	11,5	<0,1	43,72	4,06					
						0,40	64	11,3	<0,1	46,23	4,30					
Песчаник тонкозернистый кварцевый	Татарская АССР, Ромашкино	1670	230	22	0,1	0	—	12,0	<0,1	2,47	3,96	[53]				
						0,05	—	11,9	<0,1	2,67	4,13					
						0,15	90	11,7	<0,1	2,85	4,28					
						0,25	54	11,6	<0,1	3,06	4,37					
Песчаник мелкозернистый кварцевый	Казахстан, Чувашкинская площадь	3125	247	22	0,15	0	—	12,0	<0,1	2,92	—	[65]				
						0,05	—	11,9	<0,1	3,14	—					
						0,20	85	11,7	<0,1	3,86	—					
						0,40	42	11,6	<0,1	4,28	—					
То же	Аралсорская сверхглубокая скв. СГ-1	3875	247	20	0	0	—	12,1	<0,1	9,06	—	[54]				
						0,05	155	12,0	<0,1	9,95	—					
						0,15	52	11,9	<0,1	11,85	—					
						0,30	26	11,8	<0,1	13,80	—					
						0,50	15	11,7	<0,1	15,03	—					
»	Калмыцкая АССР, Садовская площадь	4170	230	30	0,1	0	—	12,0	2,4	2,50	3,81	[53]				
						0,10	213	11,8	2,1	3,15	4,20					
						0,30	71	11,5	1,9	—	—					
						0,60	35	11,3	1,7	4,28	4,86					
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Медвежья площадь	3250	10	20	0,1	0	—	12,4	<0,1	36,62	3,48	[70]				
						0,05	486	12,2	<0,1	38,31	3,69					
						0,20	122	11,9	<0,1	42,35	4,03					
						0,45	54	11,7	<0,1	44,80	4,30					

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	С, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п'}$ кбар	$\rho - \rho_{п'}$ кбар	$\beta_{п'}$ Мбар ⁻¹	$k_{п'}$ %	$k_{пр}$ мД	ρ Ом·м	v км/с	Источник
Песчаник мелкозернистый кварцевый	Калмыцкая АССР, Садовская площадь	4195	230	28	0,1	0	—	13,0	15,7	1,90	3,80	[53]
						0,10	174	12,7	13,8	2,30	4,15	
						0,30	58	12,5	11,8	2,72	4,47	
						0,60	29	12,3	10,4	2,96	4,60	
		117	0,1	0	—	13,0	—	0,72	3,70			
				0,10	174	12,7	—	0,89	4,04			
				0,30	58	12,5	—	1,00	4,39			
				0,60	29	12,3	—	1,09	4,48			
То же	Казахстан, Чувашкинская площадь	3190	247	20	0,1	0	—	13,2	<0,1	2,98	—	[65]
						0,05	408	13,0	<0,1	3,19	—	
						0,20	102	12,7	<0,1	4,03	—	
						0,40	51	12,5	<0,1	4,50	—	
»	Аралсорская сверхглубокая скв. СГ-1	2570	247	20	0	0	—	14,6	<0,1	2,18	—	[54]
						0,05	268	14,5	<0,1	2,34	—	
						0,10	134	14,4	<0,1	2,48	—	
						0,20	67	14,3	<0,1	2,68	—	
»	Волгоградская область, Антиповская площадь	4190	230	24	0,1	0	—	15,5	119,0	0,94	3,24	[53]
						0,05	—	15,3	113,0	1,00	3,48	
						0,15	119	15,1	108,0	1,05	3,80	
						0,35	51	14,9	104,0	1,08	4,13	
»	Калмыцкая АССР, Садовская площадь	4170	230	24	0,1	0	—	15,8	16,6	1,98	3,72	[53]
						0,05	—	15,6	14,7	2,11	3,97	
						0,15	110	15,5	13,1	2,30	4,27	
						0,35	47	15,3	12,2	2,50	4,53	
»	Татарская АССР, Муслимовская площадь	1685	25	27	0,1	0	—	22,8	580,0	0,50	3,23	[53]
						0,05	—	22,7	550,0	0,53	3,57	
						0,15	69	22,5	520,0	0,54	3,86	
						0,25	41	22,4	492,0	0,54	3,97	

Песчаник тонкозернистый кварцевый	Татарская АССР, Ромашкино	1670	230	73	0,1	0	—	22,8	—	0,26	3,23	[53]
						0,05	—	22,7	—	0,27	3,57	
						0,15	69	22,5	—	0,28	3,86	
						0,25	41	22,4	—	0,28	3,97	
То же	Волгоградская область, Верхне-Добринская площадь	3545	230	20	0,1	0	—	13,3	<0,1	1,92	3,87	[53]
						0,05	226	13,2	<0,1	2,05	3,99	
						0,10	113	13,1	<0,1	2,14	4,12	
						0,25	45	12,9	<0,1	2,27	4,39	
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Губкинская площадь	2685	10	22	0,1	0	—	14,1	<0,1	25,10	3,38	[70]
						0,05	547	13,9	<0,1	26,75	3,52	
						0,15	182	13,6	<0,1	28,55	3,83	
						0,37	73	13,3	<0,1	31,60	4,07	
Песчаник мелкозернистый кварцевый	Калмыцкая АССР, Садовская площадь	4190	230	21	0,1	0	—	14,4	<0,1	2,06	3,80	[53]
						0,05	—	14,2	<0,1	2,22	4,06	
						0,15	92	14,0	<0,1	2,43	4,34	
						0,35	46	13,9	<0,1	2,60	4,50	
Песчаник тонкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Аганская площадь	2260	25	17	0,1	0	—	14,5	<0,1	13,80	3,70	[53]
						0,05	510	14,2	<0,1	15,50	3,92	
						0,15	171	13,8	<0,1	17,00	4,14	
						0,30	85	13,6	<0,1	17,20	4,32	
Песчаник неравномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Губкинская площадь	2740	10	20	0,1	0	—	14,5	<0,1	36,8	3,47	[70]
						0,05	443	14,3	<0,1	39,9	3,29	
						0,10	221	14,2	<0,1	42,1	3,72	
						0,20	111	14,0	<0,1	44,9	3,89	
Песчаник полимиктовый	Мангышлак, Узень	1311	247	20	0,15	0	—	14,6	<0,1	0,70	—	[65]
						0,05	460	14,5	<0,1	0,75	—	
						0,20	116	14,2	<0,1	0,86	—	
						0,30	78	14,0	<0,1	0,89	—	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	С, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п.кбар}$	$\rho_{п.кбар}$	$\rho_{п.кбар}^{-1}$	$k_{п. \%}$	$k_{пр. мД}$	$\rho, Ом \cdot м$	$v, км/с$	Источник	
Песчаник крупнозернистый полимиктовый	То же	1725	247	22	0,15	0	—	14,8	<0,1	0,44	—	[65]	
						0,05	312	14,6	<0,1	0,47	—		
						0,20	78	14,3	<0,1	0,53	—		
						0,30	52	14,1	<0,1	0,54	—		
Песчаник мелкозернистый по лимиктовый	Мангышлак, Жетыбай	2986	247	22	0,15	0	—	15,0	<0,1	2,91	—	[65]	
						0,05	—	14,8	<0,1	3,14	—		
						0,20	85	14,6	<0,1	3,67	—		
						0,40	57	14,4	<0,1	3,93	—		
Песчаник мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Самотлор	2125	25	21	0,1	0	—	18,6	46,2	6,75	3,20	[53]	
						0,05	312	18,4	41,5	7,30	3,45		
						0,15	104	18,1	38,1	7,70	3,74		
						0,30	52	17,9	36,8	8,00	3,89		
					75	0,1	0	—	18,6	—	2,75	3,27	
							0,05	312	18,4	—	3,05	3,45	
							0,15	104	18,1	—	3,20	3,66	
							0,30	52	17,9	—	3,30	3,80	
То же	То же	1675	18	21	0,1	0	—	20,4	<0,1	6,22	3,02	[70]	
						0,05	495	20,1	<0,1	6,87	3,15		
						0,10	247	19,9	<0,1	7,30	3,24		
						0,23	108	19,4	<0,1	7,87	3,38		
»	»	1640	18	22	0,1	0	—	19,0	<0,1	11,5	3,15	[70]	
						0,05	339	18,8	<0,1	12,1	3,22		
						0,10	169	18,6	<0,1	12,5	3,30		
						0,23	74	18,4	<0,1	13,2	3,51		
»	»	1395	18	23	0,1	0	—	19,2	<0,1	6,77	2,98	[70]	
						0,05	434	18,9	<0,1	7,47	3,22		
						0,10	217	18,7	<0,1	7,93	3,34		
						0,23	92	18,3	<0,1	8,50	3,47		

Песчаник мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Уренгой	2500	10	21	0,1	0	—	19,2	1,36	12,90	3,19	[70]
						0,05	269	19,0	1,25	13,69	3,42	
						0,10	135	18,9	1,19	14,11	3,58	
						0,20	67	18,8	1,11	14,54	3,78	
То же	Западная Сибирь, Самотлор	2125	25	25	0,1	0	—	21,0	<0,1	4,75	3,21	[53]
						0,05	—	20,9	<0,1	5,15	3,42	
						0,15	116	20,6	<0,1	5,40	3,72	
						0,30	58	20,4	<0,1	5,63	4,00	
»	То же		10	78	0,1	0	—	21,5	<0,1	3,50	2,94	[70]
						0,05	343	21,3	<0,1	3,64	3,06	
						0,15	214	21,1	<0,1	3,79	3,35	
						0,35	49	20,8	<0,1	3,89	3,65	
»	»	1665	18	19	0,1	0	—	21,6	<0,1	6,92	2,84	[70]
						0,05	360	21,4	<0,1	7,30	3,02	
						0,10	180	21,2	<0,1	7,61	3,09	
						0,23	78	20,9	<0,1	7,92	3,24	
»	»	1645	18	21	0,1	0	—	24,0	<0,1	5,60	2,78	[70]
						0,05	421	23,7	<0,1	5,87	2,92	
						0,10	210	23,5	<0,1	6,11	3,02	
						0,23	92	23,1	<0,1	6,46	3,18	
»	»	1690	18	24	0,1	0	—	24,1	5,0	5,81	2,78	[70]
						0,05	322	23,9	4,6	6,00	2,89	
						0,10	161	23,8	4,4	6,19	2,98	
						0,24	67	23,5	4,2	6,46	3,20	
»	»			50	0,1	0	—	24,1	4,6	3,65	2,78	
						0,05	326	23,9	4,2	3,82	2,89	
						0,10	163	23,8	4,1	3,95	2,98	
						0,24	68	23,5	3,8	4,12	3,15	
»	»	1650	18	22	0,1	0	—	24,8	<0,1	4,70	2,78	[70]
						0,05	347	24,6	<0,1	4,87	2,88	
						0,10	174	24,4	<0,1	5,00	2,96	
						0,23	75	24,1	<0,1	5,21	3,07	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	С, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п.}$ кбар	$\rho - \rho_{п.}$ кбар	$\beta_{п.}$ Мбар ⁻¹	$k_{п.}$ %	$k_{пр.}$ мД	$\rho_{ОМ.м}$	v, км/с	Источник	
Песчаник мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Арктическая площадь	1725	25	22	0,1	0	—	24,7	79,5	3,37	2,65	[53]	
						0,05	245	24,4	66,0	3,57	3,02		
						0,15	82	24,2	59,5	3,70	3,32		
						0,25	49	24,0	53,5	3,75	3,45		
То же	Западная Сибирь, Усть-Балык	2030	25	22	0,1	0	—	23,8	<0,1	0,76	3,28	[53]	
						0,05	—	23,7	<0,1	0,79	3,48		
						0,15	93	23,5	<0,1	0,81	3,63		
						0,30	46	23,3	<0,1	0,83	3,75		
Песчаник мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Усть-Балык	2260	25	20	0,15	0	—	23,9	110,0	0,74	—	[65]	
						0,05	20	23,7	111,2	0,77	—		
						0,20	55	23,4	105,7	0,83	—		
						0,30	37	23,4	103,0	0,85	—		
	То же	Западная Сибирь, Варь-Еган	2125	25	23	0,1	0	—	24,2	<0,1	5,0	3,14	[70]
							0,05	278	23,0	<0,1	5,31	3,33	
							0,10	139	22,8	<0,1	5,50	3,45	
							0,20	69	22,6	<0,1	5,65	3,51	
»	Западная Сибирь, Самолор	1650	18	22	0,1	0	—	26,3	<0,1	4,47	2,70	[70]	
						0,05	260	26,0	<0,1	4,77	2,81		
						0,10	130	26,8	<0,1	4,96	2,89		
						0,23	54	25,6	<0,1	5,15	2,98		
»	То же	1650	18	24	0,1	0	—	26,0	6,9	4,00	2,79	[70]	
						0,05	332	25,7	6,0	4,11	2,89		
						0,10	166	25,5	5,6	4,26	2,98		
						0,23	72	25,3	5,2	4,42	3,01		
»	»	1705	25	20	0,1	0	—	27,5	101,0	2,75	2,97	[53]	
						0,05	191	27,3	89,6	2,92	3,11		
						0,15	64	27,1	85,4	3,02	3,26		
						0,25	38	27,0	79,6	3,07	3,38		
»	»	1670	18	23	0,1	0	—	27,2	40,5	3,36	2,71	[70]	
						0,05	226	27,0	38,0	3,44	2,81		
						0,10	113	26,9	36,4	3,50	2,89		
						0,24	47	26,7	35,2	3,60	2,96		
»	»	1655	18	21	0,1	0	—	26,5	<0,1	4,15	2,57	[70]	
						0,05	434	26,1	<0,1	4,40	2,70		
						0,10	217	25,8	<0,1	4,59	2,78		
						0,23	94	25,4	<0,1	4,83	2,90		
»	»	1665	18	18	0,1	0	—	25,8	3,2	4,56	2,69	[70]	
						0,05	321	25,6	2,8	4,77	2,81		
						0,10	161	25,4	2,6	4,91	2,91		
						0,23	69	25,0	2,5	5,11	3,09		
Песчаник мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Усть-Балык	2040	25	21	0,1	0	—	22,6	528,0	3,47	2,12	[53]	
						0,05	175	22,5	490,0	3,57	3,34		
						0,15	58	22,4	470,0	3,64	3,56		
						0,30	29	22,2	458,0	3,70	3,68		
Песчаник среднезернистый	Казахстан, Чувашкинская площадь	3245	247	22	0,15	0	—	15,0	<0,1	5,30	—	[65]	
						0,05	368	14,8	<0,1	5,85	—		
						0,20	92	14,5	<0,1	7,09	—		
						0,40	46	14,3	<0,1	7,74	—		
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Медвежья площадь	3230	10	23	0,1	0	—	15,4	0,85	18,70	3,34	[70]	
						0,05	438	15,2	0,75	19,95	3,49		
						0,20	110	14,8	0,65	21,60	3,84		
						0,37	58	14,6	0,63	22,64	3,98		
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Медвежья площадь	3230	10	76	0,1	0	—	15,4	0,74	7,60	3,34	[70]	
						0,05	451	15,2	0,65	8,13	3,49		
						0,20	113	14,8	0,55	8,98	3,86		
						0,37	60	14,6	0,53	9,47	4,01		

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п}$, кбар	$\rho - \rho_{п}$, кбар	$\beta_{п}$, Мбар ⁻¹	$k_{п}$, %	$k_{пр}$, мД	ρ , Ом·м	v, км/с	Источник
Песчаник неравномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Губкинская площадь	3200	10	23	0,1	0	—	15,6	<0,1	25,4	3,38	[70]
						0,05	365	15,4	<0,1	27,1	3,61	
						0,20	91	15,1	<0,1	29,8	3,98	
						0,38	47	14,9	<0,1	31,0	4,16	
То же	Западная Сибирь, Уренгой	250	10	21	0,1	0	—	16,6	50,5	10,77	3,15	[70]
						0,05	339	16,5	46,5	11,03	3,33	
						0,20	85	16,3	43,4	11,62	3,72	
						0,35	48	16,1	41,4	11,73	4,85	
Песчаник неравномерно-мелкозернистый кварцево-полевошпатовый	Предкарпатье, Залужаны	2020	15	22	0,1	0	—	16,0	<0,1	8,80	3,13	[70]
						0,05	330	15,8	<0,1	9,24	3,29	
						0,15	110	15,6	<0,1	9,67	3,41	
						0,28	59	15,4	<0,1	10,00	3,51	
Песчаник среднезернистый кварцевый	Краснодарский край	2400	247	22	0,15	0	—	17,1	<0,1	1,36	—	[65]
						0,05	278	16,9	<0,1	1,39	—	
						0,20	69	16,6	<0,1	1,48	—	
						0,40	35	16,4	<0,1	1,53	—	
Песчаник равномерно-среднезернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Уренгой	2810	10	23	0,1	0	—	17,6	62,8	11,50	3,21	[70]
						0,05	312	17,3	61,7	11,81	3,36	
						0,20	78	17,1	59,4	12,12	3,77	
						0,40	39	16,8	57,3	12,20	3,96	
Песчаник среднезернистый полимиктовый	Мангышлак, Жетыбай	2660	247	20	0,15	0	—	17,5	<0,1	2,90	—	[65]
						0,05	400	17,4	<0,1	3,02	—	
						0,20	100	17,1	<0,1	3,41	—	
						0,40	50	16,8	<0,1	3,57	—	
Песчаник равномерно-мелкозернистый кварцево-полевошпатовый	Предкарпатье, Залужаны	1690	15	23	0,1	0	—	19,4	<0,1	5,70	2,86	[70]
						0,05	403	19,2	<0,1	6,01	3,01	
						0,10	202	19,0	<0,1	6,21	3,15	
						0,25	81	18,6	<0,1	6,54	3,38	

То же	То же	1690	15	22	0,1	0	—	20,7	33,8	6,10	2,88	[53]
						0,05	286	20,5	30,6	6,36	2,99	
						0,10	143	20,3	30,0	6,57	3,06	
						0,25	57	20,1	27,2	6,80	3,29	
»	»	1820	15	22	0,1	0	—	19,5	<0,1	7,20	2,86	[70]
						0,05	408	19,2	<0,1	7,50	2,99	
						0,10	204	19,0	<0,1	7,78	3,15	
						0,25	82	18,6	<0,1	8,18	3,35	
Песчаник равномерно-среднезернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Уренгой	2350	10	17	0,1	0	—	20,5	50,6	12,40	2,91	[70]
						0,10	126	20,2	44,0	12,90	3,37	
						0,20	63	20,0	41,6	13,17	3,66	
						0,35	36	19,8	41,0	13,33	3,87	
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	То же	2345	10	21	0,1	0	—	20,5	5,1	11,20	3,23	[70]
						0,10	126	20,2	4,3	11,89	3,58	
						0,20	63	20,1	4,0	12,19	3,77	
						0,35	36	19,9	3,9	12,38	3,81	
Песчаник алевритовый полимиктовый	Западная Сибирь, Варьеган	2105	25	21	0,1	0	—	21,8	44,0	5,00	2,98	[53]
						0,05	270	21,5	40,2	5,35	3,17	
						0,15	90	21,2	37,6	5,60	3,37	
						0,30	45	21,0	35,1	5,90	3,57	
»	»	»	25	75	0,1	0	—	21,8	—	2,15	2,98	[70]
						0,05	270	21,5	—	2,40	3,17	
						0,15	90	21,2	—	2,50	3,37	
						0,30	45	21,0	—	2,60	3,57	
Песчаник полимиктовый	Западная Сибирь, Усть-Балык	2040	247	20	0,15	0	—	22,0	3,04	0,78	—	[65]
						0,05	443	21,8	3,04	0,81	—	
						0,20	111	21,4	2,90	0,85	—	
						0,40	55	21,1	2,70	0,88	—	
То же	То же	2040	247	20	0,15	0	—	23,0	33,8	0,82	—	[65]
						0,05	243	22,7	34,3	0,84	—	
						0,20	61	22,5	32,1	0,89	—	
						0,40	30	22,4	30,1	0,92	—	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{пкбар}$	$\rho - \rho_{пкбар}$	$\beta_{пкбар}^{-1}$	$k_{пкбар}$, %	$k_{пр}$, мД	ρ , Ом·м	σ , км/с	Источник
Песчаник полимиктовый	Западная Сибирь, Усть-Балык			138	0,15	0	—	23,0	34,9	0,17	—	
						0,05	243	22,7	0,18	—		
						0,20	61	22,5	0,19	—		
						0,40	30	22,4	0,20	—		
Песчаник неравномерно-мелкозернистый полимиктовый	Западная Сибирь, Самотлор	2100	18	23	0,1	0	—	23,7	<0,1	4,93	2,84	[70]
						0,05	373	23,4	<0,1	5,37	2,94	
						0,10	187	23,2	<0,1	5,60	3,03	
						0,23	81	22,9	<0,1	5,89	3,12	
Песчаник среднезернистый полимиктовый	То же	1700	25	23	0,1	0	—	23,8	84,2	4,42	2,90	[53]
						0,05	234	23,6	68,0	4,63	3,20	
						0,15	78	23,5	53,0	4,80	3,53	
						0,25	47	23,4	43,0	4,91	3,70	
То же	»	1700	25	23	0,1	0	—	24,0	106,0	3,85	2,86	[53]
						0,05	305	23,8	101,0	4,00	3,16	
						0,15	101	23,5	99,0	4,10	3,46	
						0,25	60	23,3	98,0	4,20	3,57	
»	»	2065	25	25	0,1	0	—	24,4	1920,0	3,03	2,80	[53]
						0,05	253	24,0	1510,0	3,20	3,60	
						0,15	84	23,8	1200,0	3,30	3,30	
						0,30	42	23,6	800,0	3,38	3,46	
»	»	1700	18	25	0,1	0	—	25,8	51,0	4,28	2,78	[70]
						0,05	260	25,6	46,9	4,45	2,84	
						0,10	130	25,4	44,9	4,54	3,11	
						0,24	54	25,1	43,1	4,69	3,20	
»	»	1700	25	18	0,1	0	—	25,8	61,5	4,00	2,88	[53]
						0,05	234	25,7	55,5	4,20	3,21	
						0,15	78	25,5	47,2	4,33	3,42	
						0,25	47	25,3	40,4	4,40	3,50	

»	»	2000	25	24	0,1	0	—	27,2	635,0	2,65	2,54	[53]
						0,05	234	27,0	562,0	2,76	2,75	
						0,15	117	26,7	522,0	2,82	2,98	
						0,30	39	26,5	498,0	2,90	3,20	
»	»	2085	25	23	0,1	0	—	27,3	—	2,65	2,75	[53]
						0,05	244	27,0	—	2,80	2,92	
						0,15	81	26,8	—	2,87	3,11	
						0,30	40	26,7	—	2,90	3,26	
»	»	2090	25	25	0,1	0	—	25,2	500,0	2,45	2,80	[53]
						0,05	277	24,6	430,0	2,58	3,10	
						0,15	93	24,6	400,0	2,67	3,40	
						0,30	46	24,5	380,0	2,76	3,58	
Песчаник мелкозернистый, алевроитовый полимиктовый	»	1670	18	22	0,1	0	—	24,4	1,4	6,46	2,94	[70]
						0,05	269	24,2	1,3	6,69	3,05	
						0,10	134	24,1	1,3	6,82	3,10	
						0,23	57	23,9	1,2	7,01	3,19	
То же	»	1670	18	20	0,1	0	—	24,4	<0,1	5,30	2,73	[70]
						0,05	339	24,0	<0,1	5,53	2,90	
						0,10	169	23,8	<0,1	5,71	3,00	
						0,23	74	23,7	<0,1	5,97	3,11	
»	Западная Сибирь, Арктическая площадь	1730	25	22	0,1	0	—	24,7	79,5	3,37	2,65	[53]
						0,05	245	24,5	66,0	3,57	3,02	
						0,15	82	24,2	—	3,70	3,32	
						0,25	49	24,0	—	3,75	3,45	
»	Западная Сибирь, Самотлор	1650	18	22	0,1	0	—	24,8	<0,1	4,70	2,78	[70]
						0,05	347	24,6	<0,1	4,87	2,88	
						0,10	174	24,4	<0,1	5,00	2,96	
						0,23	75	24,1	<0,1	5,21	3,07	
»	То же	1660	18	24	0,1	0	—	24,8	<0,1	5,42	2,70	[70]
						0,05	339	24,6	<0,1	5,62	2,78	
						0,10	169	24,4	<0,1	5,80	2,97	
						0,23	74	24,1	<0,1	6,05	3,02	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{\text{п}}$, кгбар	$\rho - \rho_{\text{п}}$, кгбар	$\beta_{\text{п}}$, Мбар ⁻¹	$k_{\text{п}}$, %	$k_{\text{пр}}$, мД	ρ , Ом·м	v , км/с	Источник		
Песчаник, мелкозернистый, алевритовый полимиктовый	Западная Сибирь, Самотлор	1655	18	22	0,1	0	—	24,8	<0,1	6,33	2,74	[70]		
						0,05	347	24,6	<0,1	6,53	2,83			
						0,10	174	24,4	<0,1	6,73	2,92			
						0,23	75	24,1	<0,1	7,06	3,02			
»	»	1655	18	22	0,1	0	—	24,9	1,7	4,70	2,86	[70]		
						0,05	339	24,7	1,6	4,83	2,93			
						0,10	169	24,5	1,5	4,97	2,99			
						0,23	74	24,2	1,4	5,18	3,11			
		»	»	1655	18	50	0,1	0	—	24,9	1,5	2,70	2,82	[70]
								0,05	342	24,7	1,2	2,78	2,90	
								0,10	171	24,5	1,1	2,86	2,96	
								0,23	75	24,2	1,0	3,00	3,04	
»	»	1670	18	22	0,1	0	—	25,0	207,9	3,18	2,69	[70]		
						0,05	278	24,8	198,5	3,28	2,87			
						0,10	139	24,6	193,3	3,34	2,98			
						0,23	59	24,3	186,0	3,46	3,09			
»	»	1655	18	22	0,1	0	—	25,1	<0,1	5,70	2,74	[70]		
						0,05	352	24,9	<0,1	5,93	2,84			
						0,10	176	24,7	<0,1	6,12	2,92			
						0,23	76	24,4	<0,1	6,40	3,05			
»	»	1655	18	19	0,1	0	—	25,1	2,7	4,81	2,75	[70]		
						0,05	339	24,8	2,5	5,14	2,91			
						0,10	169	24,7	2,4	5,33	3,01			
						0,23	74	24,3	2,4	5,58	3,12			
»	»	1655	18	21	0,1	0	—	25,5	1,3	4,20	2,63	[70]		
						0,05	391	25,2	1,2	4,41	2,78			
						0,10	195	25,0	1,1	4,54	2,87			
						0,23	85	24,7	1,0	4,70	3,02			
»	»	1670	18	21	0,1	0	—	25,5	3,2	5,41	2,74	[70]		
						0,05	252	25,3	2,9	5,57	2,90			
						0,10	126	25,2	2,7	5,69	3,00			
						0,23	54	25,0	2,6	5,87	3,12			
»	»	2100	18	21	0,1	0	—	25,7	<0,1	5,20	2,71	[70]		
						0,05	304	25,5	<0,1	5,44	2,82			
						0,10	152	25,3	<0,1	5,61	2,94			
						0,23	66	25,1	<0,1	5,86	3,06			
Песчаник равномерно-мелкозернистый полимиктовый	»	1670	18	20	0,1	0	—	27,1	255,4	3,32	2,66	[70]		
						0,05	347	26,9	231,6	3,48	2,77			
						0,10	174	26,7	221,9	3,56	2,85			
						0,23	74	26,4	217,1	3,95	2,95			
То же	»	1670	18	20	0,1	0	—	27,9	176,8	3,54	2,75	[70]		
						0,05	234	27,7	167,5	3,68	2,83			
						0,10	117	27,5	165,4	3,74	2,90			
						0,23	60	27,3	161,9	3,84	2,98			
»	»	1670	18	23	0,1	0	—	8,22	4,7	3,70	2,75	[70]		
						0,05	269	28,0	4,4	3,89	2,89			
						0,10	13	27,8	4,2	3,98	2,95			
						0,23	58	27,6	4,0	4,07	3,03			
Песчаник полимиктовый с прослоями глины	Западная Сибирь, Самотлор	1650	18	22	0,1	0	—	26,0	6,7	4,20	2,80	[70]		
						0,05	373	25,8	5,8	4,41	2,92			
						0,10	187	25,6	5,4	4,56	3,00			
						0,23	81	25,3	4,9	4,77	3,10			
Песчаник тонкозернистый кварцевый	Волгоградская область, Ермолинская площадь	2285	230	22	0,1	0	—	27,9	—	0,74	2,83	[53]		
						0,05	—	27,8	—	0,78	3,04			
						0,15	113	27,5	—	0,82	3,41			
						0,25	68	27,3	—	0,83	3,52			
						0,35	48	27,1	—	0,84	3,61			

Коэффициенты сжимаемости порового пространства β_p , пористости k_p , удельное электрическое сопротивление ρ карбонатных пород

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C, г/л NaCl	t, °C	ρ_p , кбар	$\rho - \rho_p$, кбар	β_p , Мбар ⁻¹	k_p , %	ρ , Ом · м	Источник	
Доломит плотный, равномерно-тонкозернистый	Белорусская ССР, Осташковичи	2720	250	20	0,1	0	—	2,2	35,8	[39]	
						0,05	520	2,2	41,2		
						0,15	173	2,1	60,5		
						0,35	74	2,1	77,5		
					100	0,1	0	—	2,2		18,5
							0,05	538	2,2		21,3
То же	То же	2740	250	20	0,1	0	—	2,9	34,3	[39]	
						0,05	547	2,8	39,4		
						0,15	—	—	—		
						0,35	78	2,6	61,5		
					20	0,1	0	—	3,0		30,4
							0,05	287	2,9		35,0
Доломит тонкозернистый микротрещиноватый	»	2735	250	20	0,1	0	—	2,9	54,0	[39]	
						0,05	95	2,9	54,0		
						0,15	41	2,9	76,8		
						0,35	—	—	—		
					100	0,1	0	—	3,0		14,9
							0,05	365	3,0		17,2
Доломит тонкозернистый микротрещиноватый	»	2745	250	20	0,1	0	—	3,1	22,9	[39]	
						0,05	606	3,0	26,4		
						0,15	202	2,8	34,3		
						0,35	87	2,7	48,2		

Доломит неравномерно-тонкозернистый с включениями органического вещества	»	2730	250	20	0,1	0	—	3,3	40,4	[39]
						0,05	695	3,2	46,5	
						0,15	232	3,1	62,6	
						0,35	99	3,0	103,0	
Доломит кальцитизированный трещиноватый	»	2755	250	20	0,1	0	—	3,6	34,3	[39]
						0,05	269	3,5	39,5	
						0,15	90	3,4	59,0	
						0,35	38	3,4	94,5	
Доломит кавернозный микротрещиноватый	»	2720	250	20	0,1	0	—	5,0	24,7	[39]
						0,05	174	4,9	28,4	
						0,15	58	4,8	33,2	
						0,35	25	4,8	40,7	
Доломит неравномерно-тонкозернистый	»	2730	250	20	0,1	0	—	5,5	26,1	[39]
						0,05	256	5,5	30,0	
						0,15	85	5,4	38,3	
						0,35	37	5,4	51,8	
Доломит неравномерно-тонкозернистый кавернозный и микротрещиноватый	»	2740	250	20	0,1	0	—	—	13,5	[39]
						0,05	174	6,6	15,5	
						0,15	58	6,5	21,2	
						0,35	25	6,4	27,4	
				80	0,1	0	—	6,6	8,2	
						0,05	183	6,6	9,4	
Доломит равномерно-тонкозернистый мелко-кавернозный	»	2745	250	20	0,1	0	—	6,9	12,6	[39]
						0,05	226	6,8	14,5	
						0,15	75	6,7	17,4	
						0,35	32	6,7	21,2	

Порода	Место отбор в образца	Глубина, м	С, г/л NaCl	t, °C	$\rho_{п}$, кбар	$\rho - \rho_{п}$, кбар	$\beta_{п}$, Мбар ⁻¹	$k_{п}$, %	ρ , Ом · м	Источник
Мергель плотный с органическими остатками	Аралсорская сверх-глубокая скв. СГ-1	3400	247	20	0	0	—	3,9	12,1	[54]
						0,05	390	3,7	13,3	
						0,15	129	3,6	15,5	
						0,25	78	3,6	17,2	
						0,45	43	3,5	20,1	
Известняк органично-шламовый	То же	3380	247	20	0	0	—	1,0	11,1	[54]
						0,05	560	0,9	12,7	
						0,15	187	0,8	16,2	
						0,25	112	0,7	19,5	
						0,45	62	0,7	24,7	
Известняк окремнелый с остатками фауны	»	3500	247	20	0	0	—	1,6	93,0	[54]
						0,05	1480	1,6	114,8	
						0,25	294	1,5	185,0	
						0,45	164	1,4	218,0	
Известняк кристаллический	»	3610	247	20	0	0	—	1,9	27,6	[54]
						0,05	240	1,9	29,3	
						0,15	80	1,9	32,9	
						0,25	48	1,8	36,6	
						0,45	26	1,8	41,2	
То же	»	3630	247	20	0	0	—	2,0	30,4	[54]
						0,05	530	1,9	47,4	
						0,15	177	1,9	67,0	
						0,25	106	1,8	91,9	
						0,45	53	1,8	150,2	
Известняк мелкозернистый	Чечено-Ингушская АССР, Малгобек-Евзнесенское	2240	250	20	0,1	0	—	3,1	85,8	[39]
						0,05	348	3,1	86,7	
						0,10	174	3,0	89,0	
						0,25	70	3,0	92,0	

Известняк мелкозернистый	То же	2755	50	50	0,1	0	—	3,1	45,8	[39]
						0,05	365	3,1	46,3	
						0,10	182	3,0	47,5	
						0,25	73	3,0	49,1	
То же	»	3280	50	20	0,1	0	—	3,3	104,0	[39]
						0,05	434	3,3	105,0	
						0,10	217	3,2	106,0	
						0,25	87	3,2	108,0	
»	»	3280	50	20	0,1	0	—	3,6	61,4	[39]
						0,05	485	3,6	62,0	
						0,10	243	3,5	62,6	
						0,25	97	3,4	64,4	
Известняк пелитоморфный	»	2240	50	20	0,1	0	—	3,8	73,2	[39]
						0,05	52	3,8	73,9	
						0,10	26	3,8	74,6	
						0,25	10	3,7	76,9	
То же	»	2325	50	26	0,1	0	—	4,2	38,5	[39]
						0,05	372	4,2	38,9	
						0,10	186	4,1	39,7	
						0,25	74	4,1	41,3	
То же	»	2325	50	102	0,1	0	—	4,2	12,0	[39]
						0,05	512	4,2	12,2	
						0,10	256	4,1	12,5	
						0,25	102	4,1	12,7	
То же	»	2325	50	26	0,1	0	—	4,3	58,2	[39]
						0,05	356	4,2	58,8	
						0,10	178	4,2	58,9	
						0,25	71	4,1	59,4	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	С, г/л NaCl	t, °C	ρ_p , кбар	$\rho - \rho_p$, кбар	β_p , Мбар ⁻¹	k_p , %	ρ , Ом · м	Источник
Известняк пелитоморфный	Чечено-Ингушская АССР, Малгобек-Вознесенское	2325	50	20	0,1	0	—	5,0	41,3	[39]
						0,05	538	4,9	41,7	
						0,10	269	4,9	42,6	
						0,25	108	4,8	43,4	
		90	0,1	0	—	5,0	16,4			
				0,05	572	4,9	16,6			
				0,10	286	4,9	16,9			
				0,25	114	4,8	17,3			
То же	То же	2325	50	20	0,1	0	—	5,3	38,2	[39]
						0,05	191	5,2	38,6	
						0,10	96	5,2	38,9	
						0,25	38	5,1	39,4	
		103	0,1	0	—	5,3	12,3			
				0,05	226	5,2	12,5			
				0,10	113	5,2	12,6			
				0,25	45	5,1	12,8			
»	»	2325	50	20	0,1	0	—	5,5	33,6	[39]
						0,05	300	5,4	33,8	
						0,10	150	5,4	34,5	
						0,25	60	5,3	35,0	
»	»	2325	50	20	0,1	0	—	5,5	19,1	[39]
						0,05	296	5,4	19,3	
						0,10	148	5,4	19,7	
						0,25	59	5,3	20,0	

»	»	2325	50	20	0,1	0	—	5,6	44,6	[39]
						0,05	218	5,5	45,1	
						0,10	109	5,5	45,3	
						0,25	44	5,5	45,6	
»	»	2760	50	20	0,1	0	—	5,7	34,4	[39]
						0,05	148	5,7	34,8	
						0,10	74	5,7	35,1	
						0,25	30	5,6	36,5	
»	»	2325	50	20	0,1	0	—	5,7	39,9	[39]
						0,05	287	5,6	39,6	
						0,10	143	5,5	40,4	
						0,25	57	5,5	41,2	
		90	0,1	0	—	5,7	24,3			
				0,05	260	5,6	24,6			
				0,10	130	5,5	25,1			
				0,25	52	5,5	25,6			
»	»	2240	50	20	0,1	0	—	5,8	39,6	[39]
						0,05	278	5,8	40,0	
						0,10	139	5,7	41,6	
						0,25	56	5,7	42,0	
»	»	2240	50	106	0,1	0	—	5,8	11,4	[39]
						0,05	296	5,8	11,5	
						0,10	148	5,7	12,0	
						0,25	59	5,7	12,7	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	C , г/л NaCl	t , °C	p_p , кбар	$p - p_p$, кбар	β_p , Мбар ⁻¹	k_p , %	ρ , Ом · м	Источник
Известняк пелитоморфный	Чечено-Ингушская АССР, Малгобек	2400	50	20	0,1	0	—	6,3	42,6	[39]
						0,05	208	6,2	43,0	
						0,10	104	6,2	44,3	
						0,25	42	6,1	45,1	
		100	0,1	0	—	6,3	15,0			
				0,05	244	6,2	15,2			
				0,10	122	6,2	15,5			
				0,25	48	6,1	16,0			
То же	То же	2430	50	20	0,1	0	—	6,8	43,2	[39]
						0,05	269	6,7	43,6	
						0,10	134	6,7	45,4	
						0,25	54	6,6	47,1	
		90	0	0	—	6,8	12,7			
				0,05	296	6,7	12,8			
				0,10	148	6,7	13,3			
				0,25	54	6,6	13,7			
Известняк доломитовый	Аралсорская сверхглубокая скв. СГ-1	3480	247	20	0	0	—	7,1	5,20	[54]
						0,05	240	7,1	5,41	
						0,10	120	7,0	5,74	
						0,25	48	7,0	6,08	
						0,50	24	6,9	6,52	

глинистых минералов, приходящийся на единицу объема порового пространства чистого коллектора).

Наименьшие значения ($\beta_{п}^{\max}$) характерны для хорошо отсортированных кварцевых песчаников, сильно уплотненных песча-

но-глинистых пород с повышенным содержанием карбонатного цемента. Наиболее высокие значения ($\beta_{п}^{\max}$) наблюдаются для неотсортированных песчаников, слабоуплотненных песчаных пород полимиктовых песчаников,

Увеличение температуры от комнатной до температуры на глубине залегания породы (до 120—150°С в опытах) приводит к весьма небольшому (5—10%) увеличению коэффициента сжимаемости пор песчаных коллекторов. Коэффициент сжимаемости пор известняков и доломитов увеличивается с температурой на 10—17%. Наличие воды в порах коллектора увеличивает их сжимаемость. По данным [65], коэффициент сжимаемости скелета водонасыщенных песчаников на 10—30% выше, чем сухих.

Влияние эффективного давления на пористость коллекторов представлено в табл. 38 и 39. Теоретическая оценка изменения пористости на основе имеющихся данных о сжимаемости и термическом расширении породообразующих минералов дана в работе [32]. Это позволило определить полные обратимые изменения коэффициента пористости песчано-глинистых пород при выносе зерна из скважины на поверхность.

В табл. 40, составленной на основании большого экспериментального и теоретического материала, даны поправочные коэффициенты для приведения песчано-глинистых коллекторов к пластовым условиям. Поправочный коэффициент $k_{п}^* / k_{п}$ — это отношение коэффициентов пористости породы в пластовых и

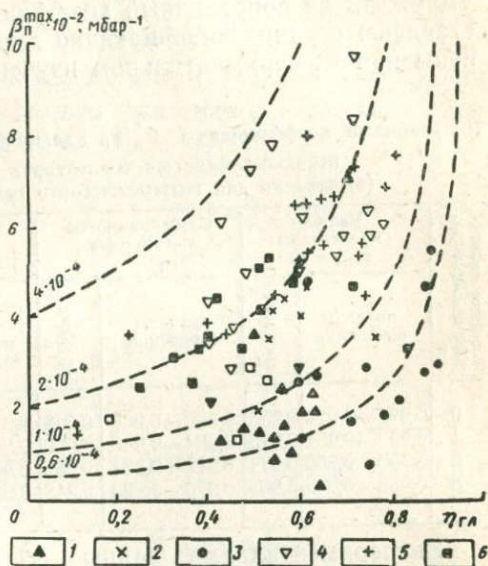


Рис. 22. Зависимость коэффициента максимальной сжимаемости пор $\beta_{п}^{\max}$ от относительной глинистости коллекторов $\eta_{гл}$.

1 — песчаники и алевролиты из скв. СГ-1; 2 — плохо отсортированные песчаники и алевролиты пермо-триаса Чувашкинской площади (Казхстан); 3 — песчаники и алевролиты Краснодарского края; 4 — полимиктовые песчаники Южного Мангышлака; 5 — кварцевые песчаники и алевролиты Прикумья; 6 — полимиктовые песчаники Западной Сибири. Шифр кривых — максимальный коэффициент сжимаемости пор чистых коллекторов

атмосферных условиях, которое учитывает лишь упругие изменения пористости пород. Для определения коэффициента пористости коллектора в пластовых условиях необходимо значение коэффициента пористости, найденное в атмосферных условиях, умножить на поправочный коэффициент [34]. В табл. 40 представлены средние, обобщающие данные. Они могут быть уточнены при экспериментальном изучении конкретных пород.

Таблица 40

Поправочные коэффициенты k_p^*/k_p для приведения коэффициентов пористости песчано-глинистых коллекторов к пластовым условиям (вычислено для геотермического градиента $\Gamma = 3^\circ \text{C}/100 \text{ м}$)

Глубина залегания коллектора, км	Чистые коллекторы ($\eta_{\text{гл}} = 0$)		Слабоглинистые коллекторы ($\eta_{\text{гл}} = 0,2$)		Глинистые коллекторы ($\eta_{\text{гл}} = 0,5$)		Сильноглинистые породы ($\eta_{\text{гл}} = 0,7$)	
	пределы изменения	среднее	пределы изменения	среднее	пределы изменения	среднее	пределы изменения	среднее
2	0,995—0,978	0,986	0,990—0,966	0,978	0,976—0,940	0,958	0,955—0,895	0,925
4	0,993—0,962	0,978	0,984—0,948	0,966	0,963—0,907	0,930	0,925—0,830	0,878
6	0,990—0,952	0,971	0,978—0,934	0,956	0,950—0,880	0,915	0,900—0,780	0,840
8	0,988—0,948	0,968	0,973—0,923	0,948	0,935—0,855	0,895	0,870—0,720	0,800

Экспериментальные данные об изменении водопроницаемости коллекторов в зависимости от эффективного давления приведены в табл. 38, 39. Эти измерения выполнены при постоянных значениях порового давления и температуры. Изменение порового давления и температуры (до 150°C) при неизменном эффективном давлении мало влияет на водопроницаемость коллектора.

В табл. 41 даны поправочные коэффициенты проницаемости $k_{\text{пр}}^*/k_{\text{пр}}$ для песчано-глинистых коллекторов. Для учета пластовых условий необходимо коэффициент проницаемости песчано-глинистых коллекторов, определенный при атмосферных условиях, умножить на поправочный коэффициент [34].

Таблица 41

Поправочные коэффициенты $k_{\text{пр}}^*/k_{\text{пр}}$

Глубина залегания коллектора, км	Чистые коллекторы ($\eta_{\text{гл}} = 0$)		Слабоглинистые коллекторы ($\eta_{\text{гл}} = 0,2$)		Глинистые коллекторы ($\eta_{\text{гл}} = 0,5$)	
	пределы изменения	среднее	пределы изменения	среднее	пределы изменения	среднее
2	0,94—0,86	0,90	0,87—0,81	0,84	0,78—0,72	0,75
4	0,91—0,78	0,84	0,81—0,71	0,76	0,67—0,61	0,64
6	0,88—0,72	0,80	0,76—0,66	0,71	0,58—0,42	0,55
8	0,86—0,68	0,76	0,71—0,61	0,66	0,51—0,45	0,48

Плотность осадочных пород зависит от их общей пористости, плотностей твердой и жидкой фаз. Все указанные величины изменяются под воздействием высоких давлений и температуры. Согласно [32], обратимое изменение плотности осадочной породы можно представить в виде

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = -\left(\frac{\Delta\delta}{\delta}\right)_{p, p_{п}} + \left(\frac{\Delta\delta}{\delta}\right)_t,$$

где $(\Delta\delta/\delta)_{p, p_{п}}$ — изменение плотности в результате изменения всестороннего давления p и порового давления $p_{п}$; $(\Delta\delta/\delta)_t$ — изменение плотности от температуры.

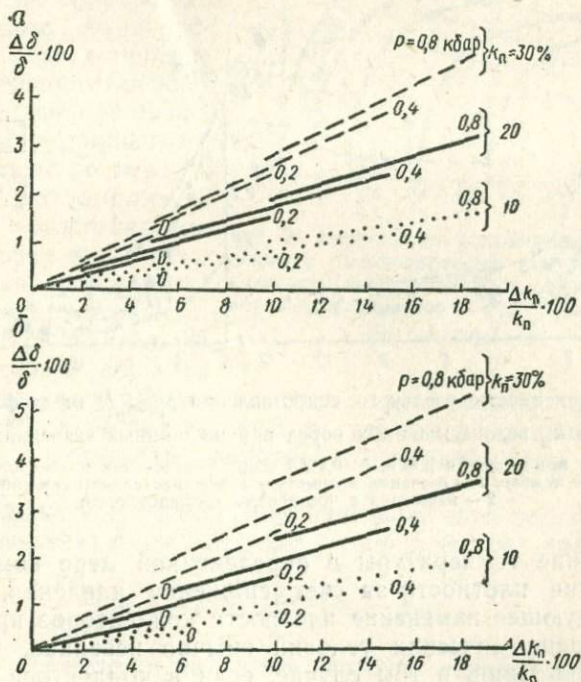


Рис. 23. Расчетные графики для определения упругого изменения плотности $\Delta\delta/\delta$ коллекторов при всестороннем изотермическом сжатии.

а, б — соответственно водоносные и нефтеносные коллекторы

На рис. 23 изображены графики, позволяющие определить величину $(\Delta\delta/\delta)_{p, p_{п}}$ для водоносных или нефтеносных коллекторов.

Уменьшение давления всестороннего сжатия и порового давления жидкости при извлечении пород на поверхность приводит к уменьшению плотности образцов за счет упругого увеличения пористости, уменьшения плотности твердой фазы и насыщающего коллектора флюида. При снижении температуры

увеличивается плотность насыщающей жидкости, а также плотность минеральных зерен:

$$(\Delta\delta/\delta)_t \approx -(B\alpha_{ж} + C\alpha_{ТВ}) \Delta t,$$

где $\alpha_{ж}$ — коэффициент теплового расширения жидкости; $\alpha_{ТВ}$ — средний коэффициент теплового расширения твердой фазы; Δt — разность температур;

$$B = \frac{k_{п}}{\frac{\delta_{ТВ}}{\delta_{ж}} - \left(\frac{\delta_{ТВ}}{\delta_{ж}} - 1\right) k_{п}}; \quad C = \frac{1 - k_{п}}{1 - \left(1 - \frac{\delta_{ж}}{\delta_{ТВ}}\right) k_{п}}$$

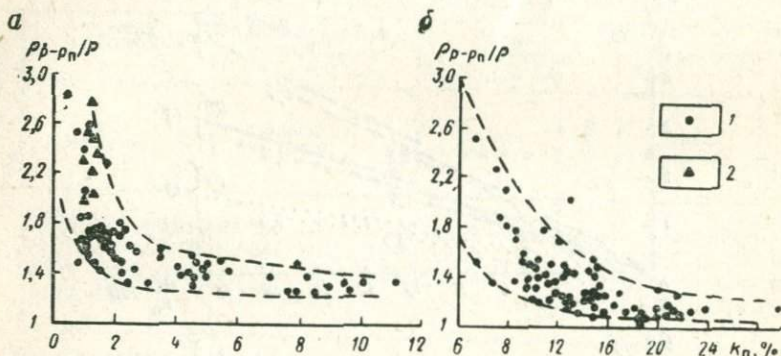


Рис. 24. Зависимость удельного сопротивления ρ_{p-p_n}/ρ от коэффициента пористости $k_{п}$ водонасыщенных пород при постоянных значениях p_n и t .

a — известняк при давлении $p = 0,35-0,4000$ кбар; *б* — песчаник и алевролит при давлении $p = 0,3-0,35$ кбар; 1 — песчаник и известняк с межкристаллическим типом пористости. 2 — известняк с признаками трещиноватости

Снижение температуры в определенной мере компенсирует уменьшение плотности за счет снижения давления. Поэтому результирующее изменение плотности коллекторов при изменении термодинамических условий обычно невелико. Последнее справедливо лишь в том случае, если в коллекторе не происходит никаких необратимых явлений во время изменения давлений и температуры.

Удельное электрическое сопротивление насыщенных минерализованной водой коллекторов увеличивается при возрастании эффективного давления, снижается при увеличении давления поровой воды и сложно зависит от температуры. Полные относительные изменения удельного сопротивления осадочных пород в зависимости от давлений и температуры определяют по формуле [32]

$$\frac{\rho_{p, p_n, t}}{\rho} \approx \frac{\rho_{p-p_n}}{\rho} \frac{\rho_{p_n}}{\rho_{p_n}} \frac{\rho_t}{\rho}$$

где ρ_p, ρ_{pn}, t — удельное сопротивление породы в пластовых условиях; ρ — то же, в атмосферных условиях; $\rho_p - \rho_{pn} / \rho$, ρ_{pn} / ρ_{pn1} и ρ_t / ρ — относительные изменения удельного сопротивления породы в зависимости от эффективного напряжения, пластового давления (при условии $p - p_n = \text{const}$) и температуры; ρ_{pn1}, ρ_{pn} — удельные электрические сопротивления при начальном и текущем поровых давлениях.

Изменение извилистости поровых каналов под воздействием эффективного давления увеличивает удельное сопротивление осадочных пород на десятки и даже сотни процентов. При этом изменение объемной влажности породы имеет второстепенное значение. Поскольку извилистость пород возрастает по мере их уплотнения, то амплитуда изменения сопротивления осадочных пород при всестороннем сжатии контролируется коэффициентом пористости (см. рис. 24 и табл. 38 и 39). Изменение порового давления при постоянном значении эффективного давления ($p - p_n = \text{const}$) вызывает изменение удельного сопротивления коллекторов в результате деформации твердой фазы породы (рис. 25).

Для приближенной оценки этих изменений для песчаников в работе [32] рекомендуется следующее эмпирическое уравнение:

$$\frac{\rho_{pn}}{\rho_{pn1}} = 1 - 1,5 \cdot 10^{-4} (p_n - p_{n1}),$$

где p_n и p_{n1} — текущее и начальное давления поровой жидкости.

При изменении температуры осадочной породы изменяются электропроводность как самой породы, так и насыщающего ее электролита:

$$\frac{\rho_t}{\rho} = \frac{(P_n)_t (\rho_v)_t}{P_n \rho_v},$$

где ρ_t , $(P_n)_t$, $(\rho_v)_t$ — соответственно удельное сопротивление породы, параметр пористости и удельное сопротивление минерализованной воды при температуре t ; ρ , P_n , ρ_v — то же, при стандартной температуре (например, при 20°C).

Изменение электропроводности электролита $(\rho_v)_t / \rho_v$ от температуры учитывается с помощью специальных палеток или номограмм [30].

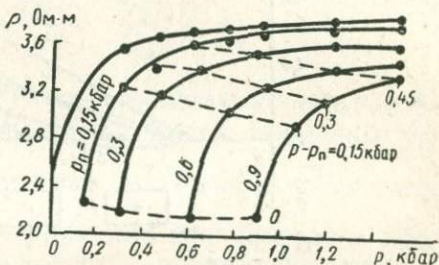


Рис. 25. Зависимость удельного сопротивления ρ высокопористого песчаника от внешнего всестороннего давления p и порового давления p_n электролита при $t = \text{const}$ [1]

На рис. 26 дано изменение параметра пористости песчано-глинистых пород от температуры. Из рис. 26 следует, что параметр пористости песчаников с небольшим содержанием глинистого материала с увеличением температуры возрастает.

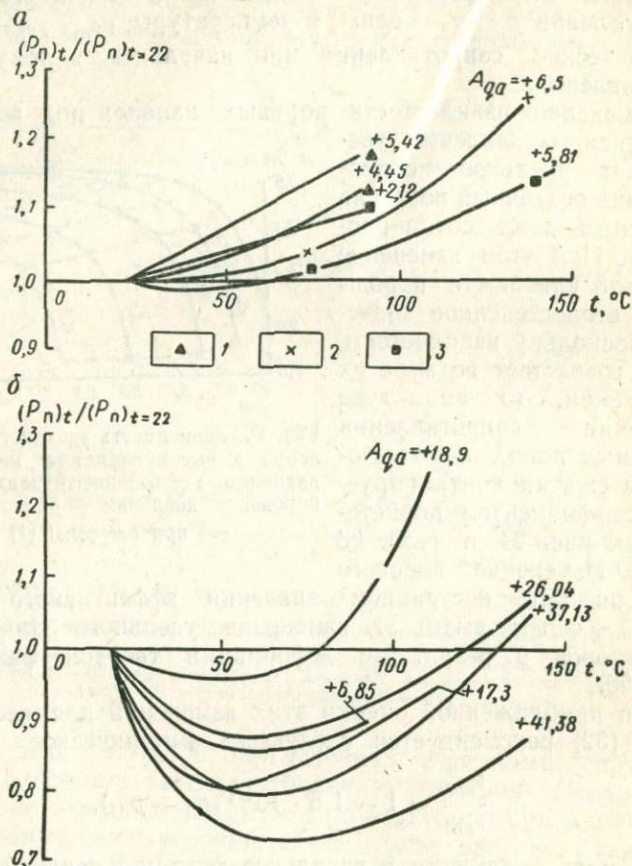


Рис. 26. Изменение параметра пористости $(P_n)_t / (P_n)_{t=22}$ песчано-глинистых пород от температуры t при $p - p_{II} = 0,05$ кбар, $p_{II} = 0,1 - 0,15$ кбар и различном коэффициенте диффузионно-адсорбционной активности $A_{да}$ [32].

а — слабоглинистые песчаники; *б* — сильноглинистые песчаники. Месторождения: 1 — Узень, 2 — Усть-Балык, 3 — Жетыбай

В глинистых песчаниках вид зависимостей усложняется за счет влияния повышенной электропроводности глинистых материалов [32].

Скорость распространения продольных волн в коллекторах существенно зависит от термодинамической обстановки, в которой залегает коллектор. Так же как

и для других физических свойств наибольшее влияние оказывает эффективное давление, меньшее — температура и абсолютная величина порового давления. Учитывая, что не всегда удается измерить v при воздействии всех трех отмеченных факторов, целесообразно знать соотношение, которое применимо при деформировании коллектора в упругой области:

$$\frac{v_{p, p_n, t}}{v} \approx \frac{v_{p-p_{n1}}}{v} \frac{v_{p_n}}{v_{p_{n1}}} \frac{v_t}{v},$$

где $v_{p, p_n, t}$ — скорость распространения продольных волн в условиях естественного залегания пород; v — то же, при атмосферных условиях; $\frac{v_{p-p_{n1}}}{v}$, $\frac{v_{p_n}}{v_{p_{n1}}}$ — относительные изменения скорости распространения упругих волн соответственно при изменении эффективного давления (при $p_{n1} = \text{const}$), порового давления (от p_{n1} до p_n) и температуры.

Для коллекторов всех типов скорость распространения продольных волн возрастает при увеличении эффективного давления (см. табл. 38). Причем с уменьшением пористости коллектора эти изменения становятся меньше. В интервале эффективных давлений от $(p - p_n)_{\min} = 25 - 50$ бар до давления $(p - p_n)_h$, наблюдаемого на глубине залегания коллектора, можно использовать зависимость

$$\frac{v_{p-p_n}}{v} = \left[\frac{(p - p_n)_h}{(p - p_n)_{\min}} \right]^{1/n}.$$

Показатель n , равный 6 для модели нецементированного песка, возрастает до значений $9 \div 35$ для цементированных песчаников. С увеличением глубины залегания коллектора n уменьшается.

С увеличением порового давления при постоянном эффективном давлении ($p - p_n = \text{const}$) скорость распространения продольных волн незначительно возрастает (рис. 27). Даже для глинистых высокопористых песчаников, в которых указанный эффект проявляется наиболее ярко, увеличение скорости не превышает 1% при увеличении порового давления на 100 бар.

При увеличении температуры скорость продольных волн в нефтенасыщенных коллекторах снижается больше, чем в водонасыщенных и газонасыщенных. Представление о величине этого снижения для трех пород дает табл. 42.

Результаты измерения скорости распространения продольных волн при различных термодинамических условиях находят практическое применение при построении зависимостей для определения коэффициента пористости пород по акустическому методу (рис. 28).

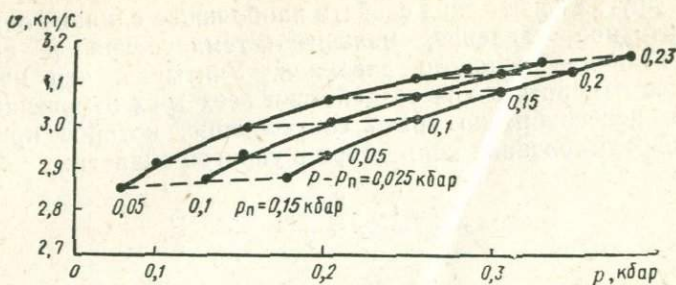


Рис. 27. Зависимость скорости распространения продольных волн v в водонасыщенном полимиктовом песчанике Самотлорского месторождения от всестороннего давления p , эффективного давления $p - p_n$ и порового давления p_n при $t = \text{const}$

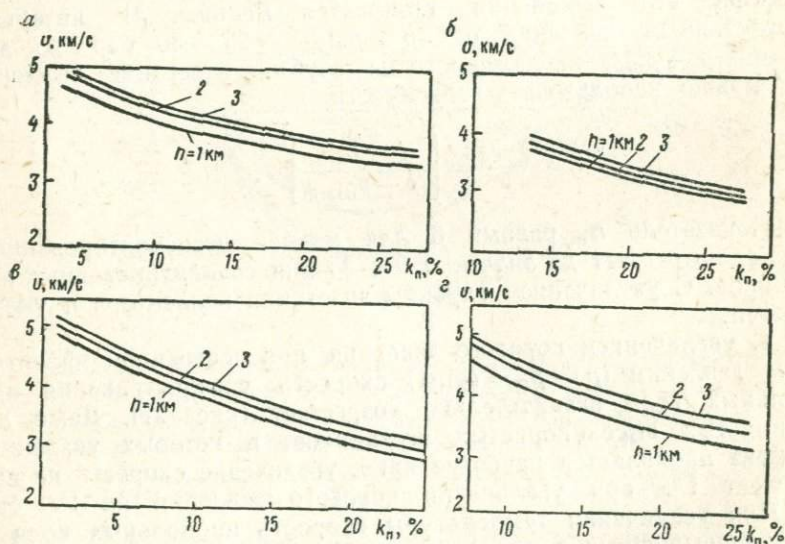


Рис. 28. Зависимость скорости распространения продольных волн v от коэффициента пористости k_n водонасыщенных коллекторов и глубины их залегания h .
 а — полимиктовые песчаники пласта БВ, Западной Сибири; б — полимиктовые песчаники пласта АВ Самотлора; в — полимиктовые песчаники нижнесарматских отложений Предкарпатья; г — кварцевые песчаники девона Волгоградской области

Относительное уменьшение скорости продольных волн $\Delta v/v$ (в %) при повышении температуры для водо- и нефтенасыщенных пород [1] ($p - p_n = 100$ бар, $p_n = 100$ бар)

Порода	k_n , %	Насыщающий раствор	$\Delta v/v$ при t , °C				
			50	100	150	175	200
Алевролит с карбонатным цементом	3,2	2н. NaCl	1,5	3,5	8,0	9,0	—
		Нефть	2,0	5,0	8,5	—	—
Алевролит с серицит-гидрослюдистым цементом	27	2н. NaCl	0,5	2,0	6,5	8,0	9,5
		Нефть	3,0	8,0	11,5	13,0	14,0
Известняк	14,4	2н. NaCl	2,0	4,0	8,0	11,0	—
		Нефть	2,0	10,0	19,0	23,0	—

§ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

Мощность осадочного чехла в платформенных областях достигает 20 км. Учитывая, что средняя плотность осадочных пород составляет $2,5 \text{ г/см}^3$, а геотермическая ступень для различных регионов колеблется в пределах $12\text{--}170 \text{ м/}^\circ\text{C}$, можно ожидать, что на глубинах, доступных в настоящее время для эксплуатации нефтяных и газовых залежей, давление и температура будут соответственно 1,5 кбар и 250°C . Естественно полагать, что указанные термодинамические условия залегания пород должны оказать заметное влияние на физические свойства пород и особенно осадочных пород, являющихся пористыми слабоуплотненными средами.

С помощью разработанных во ВНИИГеофизике установок высоких давлений и температур и методики измерений на этих установках [1, 4] были изучены основные закономерности изменения комплекса физических параметров различных типов сцементированных осадочных пород при изменении термодинамических условий залегания. Влияние давления и температуры на физические свойства слабосцементированных (неконсолидированных) пород в справочнике не рассматривается. Были исследованы породы, отобранные из скважин Южного Мангышлака, Предкавказья, Русской платформы, Средне-Германской

впадины, Предкарпатья, Пермской и Кировской областей и др. Поскольку изменение физических параметров пород от давления и температуры главным образом зависит от литолого-петрографических характеристик породы, то в табл. 43—46 приведены наряду со значениями физических параметров также сведения о составе породы, типе и составе цемента, значения

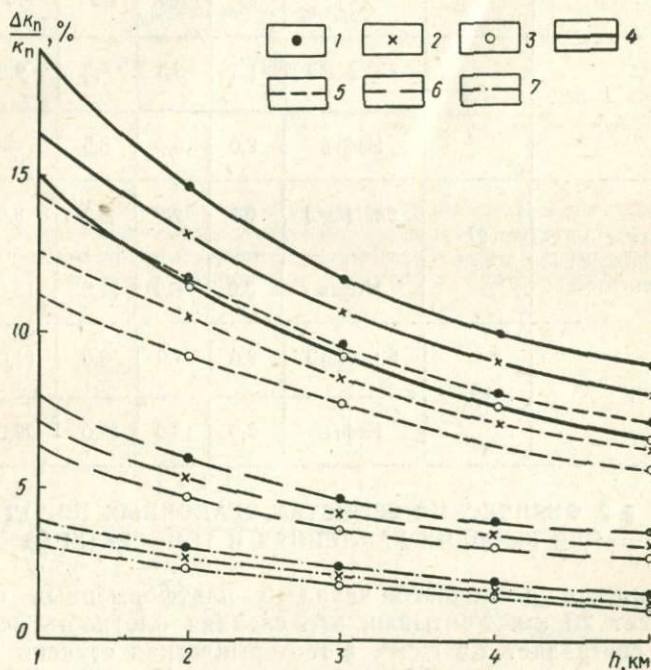


Рис. 29. Поправка $\Delta k_{\text{п}}/k_{\text{п}}$ для песчано-глинистых пород с глинистым цементом базального и контактного типов, учитывающая изменение давления.

1 — $k_{\text{п}} = 10\%$; 2 — $k_{\text{п}} = 20\%$; 3 — $k_{\text{п}} = 30\%$; 4 — относительная глинистость $\eta = 0,8$;
5 — $\eta = 0,75$; 6 — $\eta = 0,5$; 7 — $\eta = 0$

пористости и т. д. Из физических параметров рассмотрены скорость распространения упругой продольной волны в массиве v , удельное электрическое сопротивление ρ с указанием концентрации насыщающих породу растворов солей, коэффициенты пористости $k_{\text{п}}$ и сжимаемости порового пространства $\beta_{\text{п}}$, т. е. параметры, наиболее часто используемые в практике геофизических исследований. Все значения физических параметров получены при одновременном их измерении на одном образце.

Пористость песчано-глинистых осадочных пород при уменьшении давления (табл. 43) увеличивается от 3 до 20% для пород, отобранных с глубин менее 1 км, от 2,5 до 8,5% для пород, отобранных с глубин 2—3 км, и от 2 до 6% для пород,

отобранных с глубин 4—5 км. Максимальное относительное изменение пористости свойственно породам с высокими значениями коэффициента заполнения пор (относительной глинистости η) с базальным или контактным цементом. Поправка $\Delta k_{п}/k_{п}$ для песчано-глинистых пород с глинистым цементом базального и контактного типов, учитывающая уменьшение давления при выносе керна на поверхность, приведена на рис. 29. В случае глинисто-карбонатного цемента порово-контактного типа цементации (см. рис. 29) необходимо величину поправки $\Delta k_{п}/k_{п}$ умножить на коэффициент 0,8; в случае пленочного или регенерационного типа цементации или кварцевого цемента — на 0,5.

Изменение плотности осадочных пород в первом приближении можно оценить по изменению пористости. Обратимое изменение плотности песчано-алевритовых и карбонатных пород при изменении давления до 1,5 кбар не превышает 2—3%.

Скорость v при изменении давления (см. табл. 43) изменяется тем больше, чем меньше начальная упругость породы [1, 6]. Породы с высокой пористостью и сжимаемостью пор обладают большей сжимаемостью скелета и, тем самым, им свойственно минимальное значение начальной скорости и максимальное ее изменение при изменении давления. Максимальное изменение, достигающее 60—80% при повышении давления до 1,5 кбар, свойственно водонасыщенным высокопористым породам с большой сжимаемостью пор (песчано-глинистые породы). В случае кремнистого или опалового цемента породы обладают низкими значениями сжимаемости пор, и скорость при изменении давления изменяется на 25—40%. В карбонатных породах скорость при указанных давлениях увеличивается на 15—25% [1]. Увеличение давления, обуславливающее рост упругости скелета, уменьшает также различие в скоростях, вызванное типом насыщающего флюида.

Минералогический состав породы определяет степень изменения электрического сопротивления от давления в основном за счет деформационных особенностей минералов, обуславливающих, в свою очередь, структурные изменения породы. По экспериментальным данным максимальное изменение свойственно песчаникам с глинистым цементом и составляет от 30 до 70% под действием давления до 0,5 кбар, а при давлении 2,5 кбар оно достигает 120%. Минимальное изменение ρ при тех же давлениях характерно для песчаников с опаловым цементом (10—20%) [1, 6, 93]. Изменение сопротивления пород связано с пористостью, извилистостью поровых каналов, степенью уплотненности, относительным количеством мест сужения поровых каналов, удельной поверхностью породы, размером, формой и отсортированностью зерен, типом цементации и др. Наибольшее влияние оказывает пористость и извилистость каналов,

Скорость распространения продольных волн v (в км/с), удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом · м), коэффициент сжимаемости объема пор $\beta_{\text{п}}$ (в Мбар⁻¹) и коэффициент пористости $k_{\text{п}}$ (в %) осадочных пород при различных всесторонних давлениях, насыщении различными флюидами и комнатной температуре

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{\text{п}}$, %	Флюид	Параметр	$v, \rho, \beta_{\text{п}}, k_{\text{п}}$ при p , кбар							
						0,001	0,1	0,35	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
Алевролит кварцевый с глинисто-карбонатным цементом	Пред-кавказье, Арбали	3460	8,9	2н.	v	3,84	5,05	5,40	5,49	5,57	5,63	5,74	5,74
					ρ	5,20	6,96	8,12	—	—	—	—	—
					$\beta_{\text{п}}$	—	187	130	89	73	—	—	—
Алевролит кварцево-полевошпатовый с глинисто-карбонатным цементом	Пред-кавказье, Русский Хутор	3550	12,2	2н.	v	3,32	4,17	4,78	4,95	5,13	5,24	—	5,33
					ρ	4,00	5,23	5,78	5,86	5,90	5,93	—	6,00
					$\beta_{\text{п}}$	—	172	94	50	40	—	—	—
Ангидрит с примесью пелитоморфного карбоната	ГДР	3000	1,1	1н.	v	12,2	12,1	11,8	11,7	11,6	11,4	—	11,2
					ρ	5,00	5,20	5,70	5,88	6,13	6,25	—	6,34
					$\beta_{\text{п}}$	59,0	73,2	99,6	105	121	156	—	169
Ангидрит с примесью карбонатного вещества	То же	2590	2,2	1н.	v	5,80	5,98	6,24	6,26	6,28	6,36	—	6,60
					$\beta_{\text{п}}$	—	760	245	151	141	142	—	72
					$k_{\text{п}}$	2,16	2,07	1,91	1,86	1,78	1,73	—	1,64
Глина карбонатная каолинистая	Туркмения	—	—	Сухой Керосин	v	3,58	3,76	3,99	4,03	4,18	4,22	—	4,34
						3,74	3,86	4,04	4,12	4,21	4,29	—	4,39
То же	»	—	13,0	То же Масло	v	3,14	3,18	3,36	3,48	3,58	3,73	—	3,91
»	»	—	28,5	»	v	3,82	4,00	4,11	4,14	4,21	4,27	—	4,30
»	»	—	25,0	Сухой	v	2,08	2,26	2,39	2,45	2,55	2,65	—	2,77
					v	1,72	1,95	2,08	2,12	2,11	2,24	—	2,46
Глина слабокарбонатная	»	—	18,6	»	v	2,98	3,05	3,15	3,22	3,22	3,43	—	3,65
Глина слюдисто-карбонатная	»	—	22,2	»	v	2,04	2,33	2,45	2,55	2,74	2,88	—	2,90
То же	»	—	—	»	v	2,82	2,89	2,99	3,04	3,10	3,20	—	3,37
Доломит кристаллический с включением линз кварцевого песчаника	ГДР	2176	5,0	1н.	v	4,40	4,66	4,78	4,78	4,88	5,00	—	5,20
					ρ	4,16	4,21	4,30	4,35	—	—	—	—
					$\beta_{\text{п}}$	—	578	122	90	66	55	—	45
Доломит известняковый мелкозернистый ангидритизированный	»	1201	5,0	1н.	v	5,0	4,89	4,74	4,67	4,59	4,53	—	4,45
					ρ	4,20	4,38	4,72	4,89	4,96	5,13	—	5,24
					$\beta_{\text{п}}$	9,55	10,1	10,8	11,1	11,7	12,3	—	13,3
Доломит мергелистый ангидритизированный	»	1222	2,0	1н.	v	—	258	191	191	189	148	—	96
					ρ	5,0	4,92	4,67	4,66	4,31	4,16	—	3,8
					$\beta_{\text{п}}$	4,40	4,53	4,71	4,84	4,91	4,96	—	5,01
Известняк детритовый	Под-московье, карьер Коробчеево	—	11,0	2н.	v	37,0	43,6	47,5	49,5	51,5	53,1	—	56,6
					ρ	—	405	188	175	142	—	—	—
					$\beta_{\text{п}}$	2,0	1,94	1,83	1,78	1,71	1,56	—	1,43
Известняк массивный	Туркмения	—	10,9	Сухой 4н.	v	4,30	4,41	—	4,70	4,73	4,81	—	4,85
					$\beta_{\text{п}}$	—	110	40	44	28	26	—	44
То же	»	—	16,2	Сухой	v	3,90	4,07	—	4,29	4,38	4,38	—	4,54
Известняк плотный доломитизированный	Район г. Саратова	—	2,5	2н.	v	5,35	5,72	5,98	6,06	6,15	6,20	—	6,22
					v	3,45	3,55	3,63	3,80	3,80	3,81	—	4,23
					v	5,57	5,69	5,83	5,87	5,89	5,90	—	—

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п}$, %	Флоид	Параметр	$v, \rho, \beta_{п}, k_{п}$ при ρ, κ бар							
						0,001	0,1	0,35	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
Известняк мелкозернистый	ГДР	1069	1,2	1н.	v	4,60	4,85	5,31	5,43	5,65	5,71	—	5,92
					ρ	36,4	38,5	42,8	45,5	47,7	56,5	—	65,0
					$\beta_{п}$	—	678	390	445	250	104	20	20
					$k_{п}$	1,24	1,2	1,055	1,0	0,93	0,89	0,88	0,88
Известняк пелитоморфный	»	2349	0,6	2,7н.	v	4,35	4,63	4,85	4,95	5,07	5,20	—	5,33
					$k_{п}$	0,60	0,58	0,52	0,49	0,48	0,46	—	0,46
					$\beta_{п}$	—	632	360	270	140	100	—	60
					$k_{п}$	3,10	2,98	2,86	2,77	2,69	2,63	—	2,53
Известняк мелкокристаллический	»	2394	3,1	2,7н.	v	4,06	4,36	4,64	4,73	4,82	4,93	—	5,15
					ρ	12,90	14,50	15,10	15,30	15,70	15,20	—	16,60
					$\beta_{п}$	—	500	241	105	80	96	—	40
					$k_{п}$	3,10	2,98	2,86	2,77	2,69	2,63	—	2,53
То же	»	2036	1,7	2н.	v	4,35	4,59	4,72	4,82	4,92	5,00	—	5,07
					ρ	42,9	45,0	46,8	48,6	52,0	56,0	—	60,0
					$\beta_{п}$	—	366	100	74	53	34	—	30
					$k_{п}$	1,71	1,68	1,64	1,62	1,60	1,58	—	1,57
»	»	1977	1,9	2н.	v	4,03	4,44	4,60	4,65	4,67	4,70	—	4,75
					ρ	16,40	22,10	22,60	23,00	23,30	23,70	—	24,00
					$\beta_{п}$	—	386	160	79	50	45	—	40
					$k_{п}$	1,89	1,85	1,81	1,78	1,78	1,76	—	1,74
Мергель доломитизированный	»	1229	6,8	4н.	v	3,94	4,25	4,70	4,83	4,97	5,05	—	5,10
					ρ	7,00	7,54	9,40	10,13	11,20	12,40	—	14,35
					$\beta_{п}$	—	262	194	146	109	72	—	88
					$k_{п}$	6,8	6,7	6,3	6,1	5,9	5,8	—	5,6

То же	»	1118	9,7	1н.	ρ	9,0	13,4	20,4	23,6	27,8	31,9	36,1	40,0
					$\beta_{п}$	—	628	230	206	160	78	76	64
					$k_{п}$	9,68	9,5	8,6	8,33	8,09	7,85	7,74	7,07
»	»	1124	9,4	1н.	ρ	11,6	13,1	16,7	18,6	20,7	22,6	24,8	26,4
					$\beta_{п}$	—	312	180	113	108	88	84	84
					$k_{п}$	9,37	9,30	8,8	8,55	8,28	8,08	7,88	7,69
Песчаник кварцевый	Смоленская область	784	—	2н.	v	3,87	4,15	4,34	4,36	4,37	4,38	—	4,41
					$\beta_{п}$	—	88	40	32	30	28	—	27
То же	То же	1107	14,7	2н.	v	4,20	4,67	4,84	4,90	4,97	4,98	—	—
					$\beta_{п}$	—	93	40	31	26	26	—	20
»	»	1092	14,1	2н.	v	3,86	4,18	4,38	4,43	4,44	4,53	—	—
					$\beta_{п}$	—	108	48	36	30	29	—	—
»	»	1098	16,1	2н.	v	3,61	4,24	4,73	4,82	4,84	4,85	—	4,85
					$\beta_{п}$	—	100	66	50	34	28	—	25
»	»	1101	17,8	Нефть Сухой 2н.	v	3,38	3,77	4,02	4,10	4,14	4,18	—	4,22
					ρ	2,65	3,60	3,97	4,08	4,12	4,17	—	—
					$\beta_{п}$	3,18	4,02	4,30	4,35	4,37	4,38	—	4,41
»	»	1079	19,1	2н. Нефть 2н.	$\beta_{п}$	—	154	53	47	39	36	—	35
					v	3,70	4,00	4,17	4,24	4,30	4,34	—	4,38
					ρ	3,79	4,04	4,10	4,11	4,20	4,24	—	—
»	Предкавказье, Русский хутор	3540	11,6	2н.	v	3,42	3,82	4,58	4,84	5,16	5,30	—	5,42
					ρ	4,50	5,80	6,96	7,17	7,30	7,34	—	7,37
					$\beta_{п}$	—	340	148	108	78	—	—	—
					$k_{п}$	11,60	11,16	10,68	10,51	10,29	10,11	—	9,98

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п, \%}$	Флюид	Параметр	v, p, $\beta_{п,}$ $k_{п}$ при p, кбар							
						0,001	0,1	0,35	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
Песчаник кварцевый	Предкавказье, Восточная	3273	7,3	2н.	v	3,89	4,27	4,95	5,24	5,35	5,36	—	5,49
					p	14,2	34,6	52,4	58,0	64,6	69,2	—	73,8
					$\beta_{п}$	—	670	263	133	81	—	—	—
То же	ГДР	1612	24,6	1н.	$k_{п}$	7,31	6,92	6,67	6,27	6,15	6,40	—	6,07
					v	2,37	3,16	3,43	3,52	3,60	3,61	—	3,65
					p	2,95	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	—	3,2
»	»	2522	7,5	2,7н.	$\beta_{п}$	—	340	125	105	84	74	—	68
					$k_{п}$	24,6	24,2	23,1	22,6	22,2	21,7	—	20,8
					v	3,95	4,05	4,23	4,35	4,48	4,58	—	4,60
Песчаник кварцито-видный	»	3300	8,9	2,7н.	p	9,60	11,70	14,80	16,50	17,60	18,30	—	19,50
					$\beta_{п}$	—	784	380	145	92	84	—	48
					$k_{п}$	7,50	7,11	6,43	6,21	6,04	5,88	—	5,61
То же	»	3300	9,0	2,7н.	v	3,31	3,56	3,86	4,06	4,20	4,37	—	4,55
					p	3,40	6,10	6,93	7,24	7,40	7,70	—	8,00
					$\beta_{п}$	—	446	140	88	62	43	—	54
»	»	3216	1,3	2,7н.	$k_{п}$	8,93	8,70	8,39	8,25	8,11	8,01	—	7,79
					v	3,34	3,40	3,81	3,90	3,97	4,15	—	4,33
					p	6,70	7,20	7,86	8,51	8,85	9,20	—	9,57
»	»	3216	1,3	2,7н.	$\beta_{п}$	—	302	122	71	40	45	—	50
					$k_{п}$	9,06	8,92	8,62	8,49	8,41	8,18	—	8,00
					v	4,55	4,67	4,82	4,88	4,93	4,93	—	4,93
»	»	3216	1,3	2,7н.	p	32,0	33,50	35,10	35,60	35,80	36,10	—	36,60
					$\beta_{п}$	—	275	100	73	42	41	—	41
					$k_{п}$	1,29	1,28	1,25	1,23	1,22	1,20	—	1,18

Песчаник кварцевый с опаловым цементом	»	1249	25,8	4н.	p	0,74	0,78	0,81	0,83	0,83	0,84	0,85	0,86
					$\beta_{п}$	—	406	98	76	59	37	54	32
					$k_{п}$	25,8	25,4	24,7	24,4	24,1	23,9	23,7	23,1
То же	»	1249	26,6	4н.	v	2,85	2,94	3,21	3,31	3,42	3,50	—	3,59
					p	0,99	1,00	1,03	1,04	1,04	1,04	—	1,05
					$\beta_{п}$	—	140	100	73	42	52	—	62
»	»	1363	24,2	1н.	$k_{п}$	26,6	26,4	25,9	25,5	25,3	25,0	—	24,4
					v	3,21	3,20	3,47	3,58	3,62	3,62	—	3,65
					p	2,61	2,65	2,75	2,83	2,88	2,98	—	3,19
»	»	1289	25,2	1н.	$\beta_{п}$	—	206	107	79	62	59	—	52
					$k_{п}$	24,2	24,1	23,2	22,7	22,5	22,0	—	21,6
					v	3,02	3,12	3,38	3,43	3,49	3,50	—	3,54
»	»	1378	25,1	4н.	p	3,1	3,18	3,33	3,41	3,45	3,47	—	3,90
					$\beta_{п}$	—	182	128	105	73	48	—	52
					$k_{п}$	25,2	25,0	24,2	23,8	23,4	23,0	—	22,3
»	»	1612	20,0	1н.	v	0,695	0,734	0,805	0,82	0,835	—	—	—
					p	—	484	138	112	70	—	—	—
					$k_{п}$	25,1	24,6	23,6	23,4	22,9	—	—	—
Песчаник кварцевый с глинистым цементом	Предкавказье	3272	13,5	2н.	v	2,40	3,24	3,43	3,46	3,51	3,55	—	3,59
					p	3,2	3,29	3,3	3,3	3,3	3,3	—	3,3
					$\beta_{п}$	—	322	63	67	60	60	—	56
»	»	3272	13,5	2н.	$k_{п}$	20,0	19,7	19,2	19,0	18,6	18,4	—	17,8
					v	3,00	3,60	4,43	4,83	5,14	5,29	—	5,36
					p	4,30	5,48	6,32	6,51	6,69	6,75	—	6,78
»	»	3272	13,5	2н.	$\beta_{п}$	—	306	113	69	50	—	—	—
					$k_{п}$	13,50	13,25	12,82	12,64	12,50	12,45	—	12,34

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п, \%}$	Флюид	Параметр	v, p, $\beta_{п, k_{п}}$ при p, кбар							
						0,001	0,1	0,35	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
Песчаник кварцевый с глинистым цементом	Предкавказье	3273	6,4	2н.	v	3,44	4,45	5,15	5,29	5,42	5,48	—	5,54
					p	21,0	26,6	36,3	40,8	46,1	48,6	—	52,4
					$\beta_{п}$	—	462	131	106	63	—	—	—
То же	Предкавказье, Зимняя Ставка	3346	9,1	2н.	$k_{п}$	6,40	6,17	5,86	5,76	5,67	5,58	—	5,36
					p	5,70	6,38	7,01	7,15	7,32	7,38	—	7,50
					$\beta_{п}$	—	460	181	160	120	—	—	—
»	Предкавказье, Русский хутор	3553	8,7	2н.	$k_{п}$	9,10	8,64	8,14	7,97	7,76	7,56	—	7,32
					v	3,89	4,09	4,40	4,59	4,85	5,07	—	5,40
					p	5,60	7,44	9,80	10,62	11,01	11,24	—	11,36
»	Предкавказье, Арбали	3180	14,6	2н.	$\beta_{п}$	—	524	158	126	82	—	—	—
					v	3,31	4,05	4,65	4,90	5,11	5,25	—	5,35
					p	4,70	5,70	6,90	7,30	7,70	7,85	—	8,05
»	То же	2241	7,4	2н.	$k_{п}$	14,60	14,35	13,93	13,82	13,64	13,55	—	13,36
					v	9,3	16,6	23,8	26,9	28,6	30,6	—	32,8
					p	—	427	130	97	57	—	—	—
»	Предкавказье, Приозерское	3490	8,2	2н.	$k_{п}$	7,35	7,07	6,73	6,64	6,58	6,54	—	6,44
					v	4,12	4,40	4,75	4,85	5,00	5,05	—	5,20
					p	9,50	13,70	20,90	23,04	25,00	25,44	—	26,42
»	ГДР	1417	11,1	2,7н.	$\beta_{п}$	—	414	182	140	68	—	—	—
					v	8,16	7,89	7,51	7,40	7,26	7,20	—	7,12
					p	—	—	—	—	—	—	—	—
»	»	1355	—	2,7н.	$k_{п}$	11,1	10,30	9,97	9,80	9,60	9,42	—	8,93
					v	2,68	3,10	3,28	3,32	3,37	3,48	—	3,52
					p	3,80	4,50	5,05	5,35	5,55	5,82	—	6,40
Песчаник кварцевый с глинистым железным цементом	Предкавказье, Арбали	3135	12,6	2н.	$\beta_{п}$	—	236	125	86	83	73	—	40
					v	3,40	4,10	4,55	4,65	4,74	4,85	—	5,00
					p	6,65	8,60	10,8	11,35	11,90	12,35	—	12,75
Песчаник кварцевый с карбонатным цементом	ГДР	1333	14,5	2,7н.	$k_{п}$	12,60	12,10	11,60	11,50	11,35	11,25	—	11,10
					v	3,36	3,80	4,00	4,08	4,13	4,15	—	4,15
					p	3,50	3,97	4,09	4,10	4,10	4,12	—	4,15
То же	»	1333	13,2	2,7н.	$\beta_{п}$	—	360	93	61	40	34	—	30
					v	3,04	3,40	3,50	3,56	3,62	3,67	—	3,79
					p	1,70	3,33	3,60	3,64	3,67	3,70	—	3,75
Песчаник кварцевый с карбонатно-гематитовым цементом	»	3244	4,2	2,7н.	$k_{п}$	13,17	13,04	12,58	12,32	12,14	11,96	—	11,64
					v	3,35	3,48	3,70	3,78	3,88	4,06	—	4,26
					p	10,25	14,50	16,30	17,20	18,00	18,40	—	19,50
Песчаник кварцевый с хлоритово-карбонатным цементом	»	1352	7,4	2,7н.	$\beta_{п}$	—	384	180	127	62	49	—	50
					v	4,16	4,07	3,89	3,78	3,71	3,69	—	3,55
					p	—	—	—	—	—	—	—	—
»	»	1352	7,4	2,7н.	$k_{п}$	7,39	7,20	6,87	6,69	6,46	6,20	—	5,75
					v	3,07	3,51	3,64	3,71	3,77	3,85	—	4,08
					p	4,50	6,49	7,44	7,85	8,23	8,80	—	10,00
»	»	1352	7,4	2,7н.	$\beta_{п}$	—	512	170	148	127	133	—	132
					v	8,16	7,89	7,51	7,40	7,26	7,20	—	7,12
					p	—	—	—	—	—	—	—	—

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_p, \%$	Флюид	Параметр	v, p, β_p, k_p при p, кбар							
						0,001	0,1	0,35	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
Песчаник кварцевый с хлоритово-карбонатным цементом	ГДР	1323	6,8	2,7н.	v	3,15	3,32	3,63	3,81	3,88	3,88	—	3,88
					p	4,70	7,65	8,34	8,55	8,63	8,90	—	9,01
					β_p	—	388	140	80	60	70	—	50
					k_p	6,81	6,69	6,37	6,27	6,15	6,06	—	5,90
»	»	1323	10,6	2 7н.	v	3,12	3,44	3,60	3,90	4,05	4,08	—	4,19
					p	4,93	5,64	6,00	6,10	6,36	6,41	—	6,56
					β_p	—	186	95	60	50	40	—	54
					k_p	10,6	10,41	10,24	10,21	9,98	9,91	—	9,64
»	»	1422	6,4	2,7н.	v	3,51	3,64	3,68	3,86	3,92	4,00	—	4,20
					p	—	334	163	105	85	66	—	80
					k_p	6,40	6,22	6,04	5,91	5,91	5,67	—	5,33
Песчаник кварцевый с глинисто-карбонатным цементом	Предкавказье, Арбали	3135	9,7	2н.	v	3,53	4,21	4,63	4,75	4,85	4,90	—	4,95
					p	8,60	11,40	13,78	14,24	14,45	14,49	—	14,60
					k_p	9,70	9,45	9,22	9,15	9,10	9,03	—	8,92
То же	То же	3487	8,3	2н.	v	3,45	4,10	4,92	5,11	5,30	5,36	—	5,47
					p	11,0	16,9	22,7	24,8	26,1	27,2	—	29,1
					β_p	—	398	122	87	67	—	—	—
					k_p	8,30	8,00	7,62	7,50	7,37	7,35	—	7,30
»	»	3258	6,8	2н.	v	4,44	4,79	5,30	5,50	5,80	5,95	—	6,60
					p	10,6	14,2	19,0	20,6	22,6	24,0	—	24,7
					β_p	—	652	236	150	111	—	—	—
					k_p	6,80	6,32	5,98	5,85	5,70	5,59	—	5,45

»	Предкавказье, Приозерское	3435	8,8	2н.	p	7,85	8,81	10,0	10,5	10,9	11,2	—	11,3
					β_p	—	296	123	97	78	—	—	—
					k_p	8,85	8,55	8,25	8,16	8,04	7,96	—	7,76
»	ГДР	1361	18,4	2,7н.	v	3,42	3,58	3,88	3,94	4,02	4,07	—	4,20
					p	1,56	2,88	2,96	3,00	—	—	—	—
					β_p	—	232	117	63	60	50	—	56
					k_p	18,39	18,06	17,76	16,52	16,24	16,92	—	16,32
Песчаник кварцево-полевошпатовый с хлоритовым железненным цементом	»	3272	9,6	2,7н.	v	2,86	3,08	3,40	3,62	3,90	4,05	—	4,20
					p	2,50	3,04	3,23	3,28	3,28	3,30	—	3,35
					β_p	—	536	145	95	64	52	—	52
					k_p	9,56	9,26	8,90	8,72	8,58	8,44	—	8,12
Песчаник кварцево-полевошпатовый с глинистым цементом	Предкавказье, Арбали	3149	11,4	2н.	v	3,20	4,00	4,51	4,70	4,93	5,09	—	5,45
					p	5,60	7,51	9,15	9,51	10,0	10,2	—	10,3
					β_p	—	395	102	89	43	—	—	—
					k_p	11,4	11,1	10,67	10,5	10,42	10,23	—	10,16
То же	То же	3454	9,6	2н.	v	3,89	4,29	4,89	5,08	5,21	5,30	—	5,30
					p	7,00	9,20	12,50	13,43	14,42	15,00	—	15,70
					β_p	—	562	227	119	100	—	—	—
					k_p	9,64	9,11	8,44	8,31	8,12	7,96	—	7,75
»	ГДР	1314	18,1	2,7н.	v	2,83	3,01	3,23	3,32	3,37	3,37	—	3,37
					p	1,42	2,36	2,56	2,58	2,63	2,65	—	2,80
					β_p	—	396	125	81	70	70	—	68
					k_p	18,1	18,07	17,72	17,38	17,05	16,75	—	16,10
»	Предкавказье, Приозерское	3438	6,7	2н.	p	14,8	17,0	20,4	22,0	23,8	25,1	—	27,2
					β_p	—	453	224	160	117	—	—	—
					k_p	6,70	6,22	5,93	5,87	5,74	5,63	—	5,41

Перода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п}$, %	Флюид	Параметр	$v, \rho, \beta_{п}, k_{п}$ при $p, k_{бар}$							
						0,001	0,1	0,35	0,5	0,75	1,00	1,25	1,50
Песчаник кварцево-полевошпатовый с глинисто-карбонатным цементом	Предкавказье, Приозерское	3494	9,6	2н.	ρ	4,90	6,55	7,85	8,25	8,50	8,65	—	8,75
					$\beta_{п}$	—	567	190	160	65	—	—	—
					$k_{п}$	9,56	9,27	8,72	8,56	8,47	8,44	—	8,38
Песчаник полимиктовый с хлоритовым цементом	ГДР	3299	10,0	2,7в.	v	3,25	3,54	3,77	3,90	3,96	4,10	—	4,40
					ρ	6,53	6,85	7,59	7,90	8,00	8,05	—	8,10
					$\beta_{п}$	—	305	116	59	51	42	—	38
					$k_{п}$	10,02	9,86	9,61	9,47	9,35	9,26	—	9,03
Песчаник полимиктовый с хлорито-гематитовым цементом	»	3272	16,2	2,7в.	v	3,04	3,30	3,40	3,44	3,60	3,78	—	4,10
					ρ	1,27	1,73	1,80	1,82	1,84	1,86	—	1,86
					$\beta_{п}$	—	220	66	50	39	46	—	36
					$k_{п}$	16,15	15,96	15,69	15,53	15,37	15,19	—	14,82

Примечание Здесь и далее н. — нормальность раствора хлористого натрия.

Повышение порового давления p_n [1, 5] (см. табл. 44) наряду с уменьшением эффективного давления вызывает дополнительную деформацию пород, связанную не только с относительными изменениями объемов различных фаз породы, но и со структурными ее изменениями.

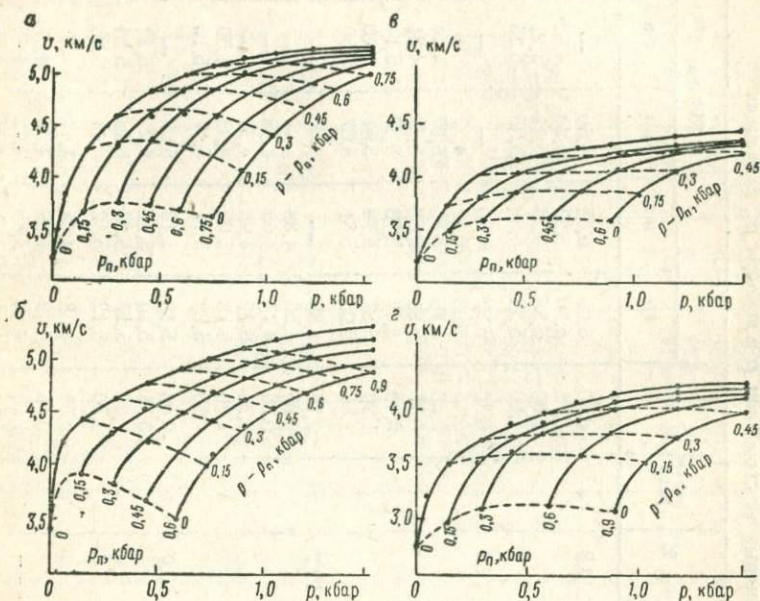


Рис. 30. Зависимость скорости распространения продольных волн v в песчано-глинистых породах от всестороннего p и порового p_n давлений и эффективного напряжения.

а — песчаник кварцевый с глинисто-карбонатным цементом; б — кварцево-полевошпатовый алеврит с глинисто-карбонатным цементом; в, г — кварцевый песчаник

При постоянном всестороннем давлении увеличение порового давления вызывает значительное уменьшение электрического сопротивления и скорости распространения продольных волн (см. табл. 44). При этом удельное сопротивление снижается в большей степени, чем скорость распространения продольных волн. Основное влияние на физические параметры оказывает разность давлений. При постоянной разности давлений $p - p_n$ максимальное изменение p и v наблюдается в диапазоне небольших изменений порового давления. При дальнейшем увеличении порового давления изменение сопротивления и скорости происходит медленнее (рис. 30 и 31).

Зависимость удельного электрического сопротивления породы от температуры (см. табл. 45) в основном определяется характером изменения проводимости насыщающего флюида

Скорость распространения продольных волн v (в км/с) и удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом·м) осадочных пород при различных всестороннем p и поровом p_{II} давлениях

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	k_{II} , %	Параметр	p , кбар	v , км/с при p_{II} , кбар										
						0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1					
Алевролит с опаловым цементом	Смоленская область	1045	3,0	v	0,50	5,05	5,02	4,60	—	—	—					
					0,75	5,30	5,29	5,20	4,92	—	—					
					1,00	5,35	5,34	5,31	5,21	5,00	—					
					1,50	5,38	5,38	5,38	5,35	5,26	5,10					
Алевролит кварцево-полевошпатовый	Предкавказье, Русский хутор	3552	12,2	ρ	0,30	5,37	4,85	—	—	—	—					
					0,45	5,63	5,37	4,37	—	—	—					
					0,60	5,75	5,55	5,07	4,44	—	—					
					0,75	5,81	5,68	5,37	4,81	—	—					
					0,90	5,84	5,73	5,37	5,14	4,57	—					
					1,20	5,87	5,78	5,61	5,40	5,00	—					
То же	То же	3552	12,2	v	0,15	3,88	—	—	—	—	—					
					0,35	4,53	4,33	—	—	—	—					
					0,50	4,77	4,63	4,18	—	—	—					
					0,75	5,02	4,95	4,71	—	—	—					
					1,00	5,13	5,09	4,95	4,69	4,15	—					
					1,50	5,23	5,21	5,17	5,10	4,92	—					
Алевролит с кальциевым цементом	Азербайджан, Бакинский карьер	—	3,0	v	0,50	5,13	5,12	5,08	—	—	—					
					0,75	5,19	5,21	5,22	5,22	—	—					
					1,00	5,27	5,28	5,28	5,28	5,26	5,13					
					1,50	5,42	5,42	5,41	5,40	5,39	5,24					
Известняк органогенно-детритовый	Подмосковье, Коробчевский карьер	—	14,4	v	0,50	4,58	4,54	4,48	—	—	—					
					0,75	4,62	4,59	4,58	4,57	—	—					
					1,00	4,64	4,63	4,62	4,62	4,62	—					
					1,50	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75					
Песчаник кварцевый с кремнисто-серицитовым цементом	США, штат Огайо, Песчаный карьер	—	18,3	ρ	0,30	1,63	1,54	—	—	—	—					
					0,45	1,67	1,61	—	—	—	—					
					0,60	1,71	1,66	1,61	1,44	—	—					
					0,75	1,75	1,70	1,65	1,58	—	—					
					0,90	1,77	1,71	1,67	1,64	1,53	—					
					1,20	1,80	1,76	1,71	1,69	1,68	—					
Песчаник кварцево-полевошпатовый	Предкавказье, Приозерское	3494	9,6	ρ	0,30	4,65	4,25	—	—	—	—					
					0,50	5,00	4,82	4,23	—	—	—					
					0,90	5,20	5,11	5,08	4,73	—	—					
					1,40	5,36	5,33	5,30	5,22	—	—					
					Песчаник кварцевый с глинисто-карбонатным цементом	Предкавказье, Арбали	3135	12,6	ρ	0,30	9,10	7,28	—	—	—	—
										0,45	10,0	8,96	6,36	—	—	—
0,60	10,86	10,28	8,60	5,42						—	—					
0,75	11,32	10,77	9,61	8,36						—	—					
0,90	11,80	11,32	10,34	9,59						—	—					
1,20	12,48	12,02	11,22	10,80						—	—					
То же	То же	3552	12,3	v	0,15	4,14	—	—	—	—	—					
					0,35	4,48	4,28	—	—	—	—					
					0,50	4,46	4,49	4,04	—	—	—					
					0,75	4,88	4,77	4,50	4,10	—	—					
					1,00	5,05	4,97	4,77	4,46	—	—					
					1,50	5,23	5,15	4,99	4,87	—	—					

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	k _п , %	Пара-метр	ρ, кбар	ρ, υ при ρ _п кбар					
						0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Песчаник кварцевый	Северный Кавказ	—	16,8	υ	0,15	3,59	—	—	—	—	—
					0,35	3,96	3,83	—	—	—	
					0,50	4,09	4,00	3,78	—	—	
					0,75	4,20	4,14	4,03	3,85	—	
					1,00	4,26	4,22	4,17	4,10	3,90	
					1,50	4,36	4,33	4,31	4,30	4,24	4,14
Песчаник кварцевый	Северный Кавказ	—	17,3	υ	0,15	3,23	—	—	—	—	—
					0,35	3,67	3,55	—	—	—	
					0,50	3,83	3,76	3,50	—	—	
					0,75	4,00	3,95	3,83	3,83	—	
					1,00	4,12	4,06	3,98	3,87	3,58	
					1,50	4,22	4,18	4,14	4,12	4,03	3,88
Песчаник кварцевый с кремнисто-глинистым цементом	Предкавказье, Арбали	3180	14,6	υ	0,175	2,00	—	—	—	—	—
					0,40	2,61	2,91	—	—	—	
					0,65	3,41	3,42	2,75	2,1	—	
					0,90	4,39	4,40	3,45	2,65	1,80	—
Песчаник кварцевый с опаловым цементом	Смоленская область	1078	17,9	υ	0,75	5,01	5,00	4,99	4,88	—	—
					1,00	5,04	5,04	5,03	4,98	4,85	—
					1,50	5,05	5,05	5,94	5,02	5,01	4,99
					2,00	5,06	5,06	5,05	5,04	5,03	5,01
					2,50	5,09	5,09	5,08	5,07	5,06	5,04

[9]. Наряду с этим немаловажное значение имеют также структурные изменения породы. Проводимость пород, содержащих глинистую фракцию, определяется возникающим на контакте твердая фаза — жидкость двойным электрическим слоем. Изменения структуры этого слоя и его проводимость при повышении температуры приводят к дополнительному изменению

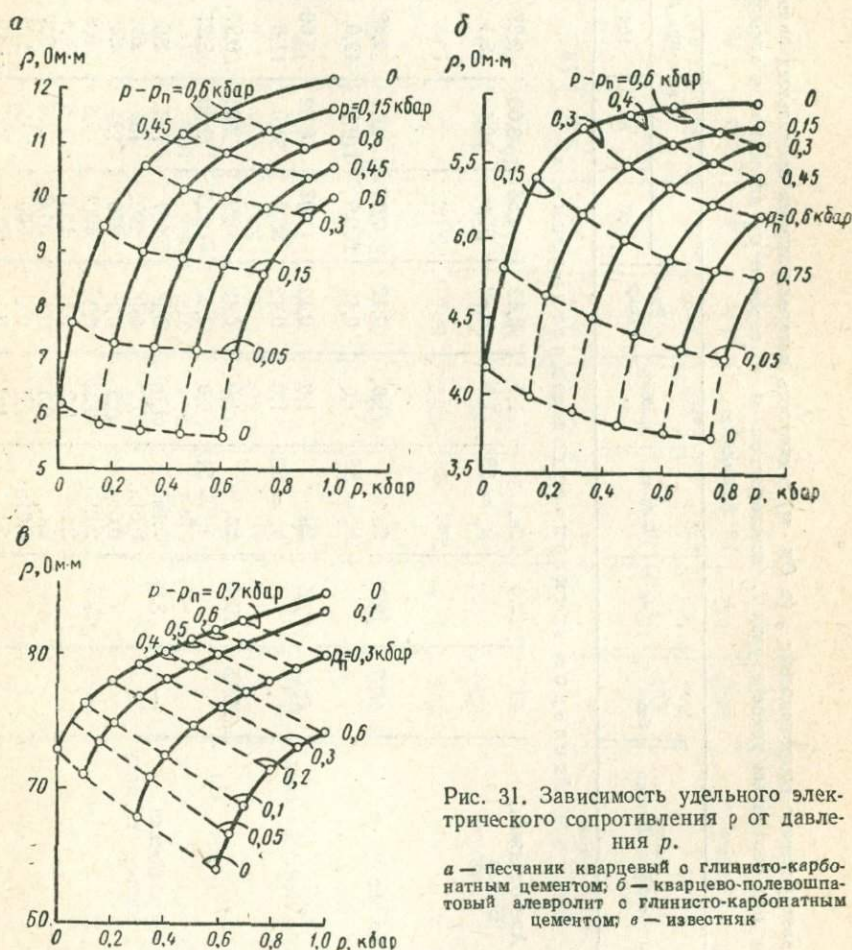


Рис. 31. Зависимость удельного электрического сопротивления ρ от давления p .

a — песчаник кварцевый с глинисто-карбонатным цементом; *b* — кварцево-полевошпатовый алевролит с глинисто-карбонатным цементом; *v* — известняк

удельного электрического сопротивления породы. С повышением температуры до 250°C удельное электрическое сопротивление осадочных пород уменьшается от 4 до 20 раз, а иногда и более. Значительные изменения сопротивления происходят в области температур от 20 до $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$. При дальнейшем увеличении температуры градиент изменения ρ уменьшается и в

Удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом · м) и скорость распространения продольных волн v (в км/с) осадочных пород при различных температурах t , всестороннем p и поровом $p_{п}$ давлениях и насыщении различными флюидами

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п}$, %	Флюид	p , кбар	$p_{п}$, кбар	ρ, v при $t, ^\circ C$				
							20	50	100	150	200
Удельное электрическое сопротивление ρ											
Алевролит кварцево-глауконитовый с карбонатно-хлоритовым цементом	Азербайджан, Бахар	4900	12,0	2н. $k_{п} = 36$	1,0	0,42	4,58	3,08	2,27	1,94	—
					1,0	0,42	25,9	12,4	5,1	3,1	—
То же	То же	4897	13,6	2н. $k_{п} = 85$	1,0	0,42	7,93	4,44	2,48	—	—
					1,0	0,42	260,0	119,0	42,0	—	—
Алевролит кварцевый	»	4241	7,5	2н. $k_{п} = 63$	1,0	0,42	11,02	6,32	3,60	2,40	—
					1,0	0,42	86,0	34,0	11,6	6,45	—
То же	»	4269,5	10,4	2н. $k_{п} = 51$	1,0	0,42	3,92	2,03	0,97	0,67	—
					1,0	0,42	20,7	9,30	3,21	1,96	—
Алевролит кварцевый с кальцитовым цементом	Азербайджан, карьер г. Баку	—	3,0	0,1н. 0,01н. 0,01н. 2н. 2н. 2н. 0,01н. 2н.	1,0	0,1	237	116	56	39	22
					0,2	0,1	290	131	61	42	23
					0,5	0,1	276	124	64	48	42
					0,15	0,1	16,2	9,8	5,8	5,3	5,3
					0,2	0,1	18,0	9,8	5,4	3,4	2,6
					0,5	0,1	34,0	17,0	9,3	7,5	7,5
					1,0	0,1	600	245	118	41	26
					1,0	0,1	60,0	30,2	18,0	15,1	—
Алевролит кварцевый с серицит-гидрослюдистым цементом	Карьер г. Грозного	—	25,3	2н. 2н.	0,5	0,02	0,68	0,42	0,23	0,17	0,14
					1,0	0,1	0,72	0,45	0,26	0,18	0,15
То же	То же	—	25,3	0,1н. 0,1н. 0,1н. 0,01н. 0,01н. 0,01н. 2н. 2н.	0,1	0,05	7,3	4,1	2,3	1,6	1,3
					0,5	0,05	7,9	4,6	2,4	1,6	1,3
					0,1	0,05	8,1	5,0	2,7	1,8	1,3
					0,1	0,05	28,8	17,2	8,0	5,2	4,2
					0,5	0,05	25,6	15,8	8,4	5,1	3,5
					1,0	0,1	36,0	18,2	9,5	6,0	2,0
					0,375	0,15	2,53	1,52	0,88	0,65	—
					0,375	0,15	3,11	1,88	1,07	0,78	—
Алевролит кварцево-полевошпатовый	Южный Мангышлак, Узень	1538	18,8	2н.	0,375	0,15	2,85	1,69	—	0,98	0,71
Алевролит полимиктовый	То же	1459,5	3,2	2н.	0,35	0,14	35,20	19,60	1,08	0,83	—
То же	»	1529	16,4	2н.	0,375	0,15	3,18	—	1,87	1,06	0,77
Глина каолинитово-гидрослюдистая	Азербайджан, Бахар	4680	10,3	2н. $k_{п} = 51$	1,0	0,42	5,36	2,98	2,15	1,75	—
					1,0	0,42	42,2	15,7	6,2	3,8	—
Глина алевритистая	Южный Мангышлак, Узень	260	3,9	2н.	0,5	0,05	47,2	25,4	13,9	11,8	—
					0,5	0,53	3,02	1,78	1,01	0,71	—
То же	»	1511	18,1	2н.	0,375	0,15	4,490	2,96	1,44	0,76	—
Песчаник кварцево-полевошпатовый	Азербайджан, Бахар	4203	17,4	2н. $k_{п} = 57$	1,0	0,42	3,43	2,17	1,35	1,01	—
					1,0	0,42	11,67	6,11	3,12	2,08	—

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{II}, \%$	Флюид	ρ , кбар	ρ_{II} , кбар	ρ, σ при $t, ^\circ C$				
							20	50	100	150	200
Песчаник кварцево-полевошпатовый	Азербайджан, Бахар	4416	19,4	2н.	1,0	0,42	2,14	1,30	0,79	0,64	—
				$k_{II} = 71$	1,0	0,42	10,40	5,80	2,98	2,00	—
То же	То же	4770	8,3	2н.	1,0	0,42	20,3	10,8	5,43	2,00	—
				$k_{II} = 89$	1,0	0,42	813,0	285,0	97,1	—	—
Песчаник кварцевый	»	4260	20,7	2н.	1,0	0,42	3,75	2,18	1,27	0,94	—
То же	»	4622	15,9	2н.	1,0	0,42	2,09	1,66	0,69	0,54	—
				$k_{II} = 36$	1,0	0,42	10,92	5,82	2,63	1,50	—
»	»	4657	15,1	2н.	1,0	0,42	2,69	1,50	0,77	0,53	—
				$k_{II} = 44$	1,0	0,42	9,14	5,12	2,53	1,57	—
»	»	4569	14,4	2н.	1,0	0,42	3,00	1,87	1,07	0,80	—
				$k_{II} = 44$	1,0	0,42	9,72	4,92	2,00	1,11	—
»	»	4503	11,7	2н.	1,0	0,42	13,1	7,20	3,60	—	—
				$k_{II} = 36$	1,0	0,42	15,03	8,70	5,48	—	—
Песчаник кварцево-полевошпатовый, глауконитовый	»	4299	16,1	2н.	1,0	0,42	5,82	3,08	1,59	1,18	—
				$k_{II} = 69$	1,0	0,42	34,8	18,1	8,9	5,9	—
Песчаник кварцево-глауконитовый	»	4317	21,3	2н.	1,0	0,42	2,12	1,37	0,86	—	—
				$k_{II} = 63$	1,0	0,42	15,5	8,8	4,6	—	—

То же	»	4260	20,0	2н.	1,0	0,42	2,44	1,38	0,94	0,79	—
				$k_{II} = 55$	1,0	0,42	6,23	3,97	2,23	1,28	—
»	»	3997	19,6	2н.	1,0	0,42	2,77	1,84	1,21	—	—
				$k_{II} = 80$	1,0	0,42	142,0	76,0	38,0	26,0	—
»	»	4680	14,4	2н.	1,0	0,42	4,40	2,67	1,36	0,82	—
				$k_{II} = 80$	1,0	0,42	245,0	106,5	48,2	32,3	—
»	»	4317	21,3	2н.	1,0	0,42	2,12	1,37	0,86	0,70	—
				$k_{II} = 63$	1,0	0,42	33,9	18,6	9,8	6,9	—
Песчаник полимиктовый с карбонатным цементом	Южный Мангышлак. Узень	1502	13,1	2н.	0,375	0,1	26,1	18,1	10,7	—	—
				$k_{II} = 20$	0,375	0,1	36,4	24,2	13,7	—	—
				$k_{II} = 40$	0,375	0,1	62,5	37,4	20,2	—	—
				$k_{II} = 60$	0,375	0,1	134,0	75,5	41,2	—	—
				$k_{II} = 80$	0,375	0,1	420,0	274,0	193,0	—	—
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом	То же	1483	22,7	2н.	0,375	0,115	3,33	2,00	1,18	—	—
				$k_{II} = 20$	0,375	0,115	5,23	2,91	1,53	—	—
				$k_{II} = 40$	0,375	0,115	9,60	5,30	2,65	—	—
				$k_{II} = 60$	0,375	0,115	22,3	12,4	6,1	—	—
				$k_{II} = 80$	0,375	0,115	95,0	52,5	25,2	—	—
Песчаник полимиктовый	»	2023	12,8	2н.	0,375	0,12	3,20	2,19	1,60	—	—
				$k_{II} = 20$	0,375	0,12	7,90	4,50	2,53	—	—
				$k_{II} = 40$	0,375	0,12	15,6	8,80	4,53	—	—
				$k_{II} = 60$	0,375	0,12	33,6	19,6	10,3	—	—
				$k_{II} = 80$	0,375	0,12	127,0	74,5	41,3	—	—

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п, \%}$	Флюид	ρ , кбар	$\rho_{п}$, кбар	ρ , ν при t , °C				
							20	50	100	150	200
Песчаник полимиктовый	Южный Мангышлак, Узень	1884	13,1	2н.	0,375	0,12	8,76	5,42	3,17	—	—
				$k_{Г} = 20$	0,375	0,12	16,8	10,3	6,2	—	—
				$k_{Г} = 40$	0,375	0,12	38,2	24,2	15,1	—	—
				$k_{Г} = 60$	0,375	0,12	121,0	79,5	51,5	—	—
				$k_{Г} = 80$	0,375	0,12	68,0	38,5	26,0	—	—
То же	То же	1783	18,3	2н.	0,40	0,18	2,63	1,56	0,91	0,67	—
				$k_{Н} = 61$	0,40	0,18	32,2	16,6	7,7	5,1	—
				2н.	0,40	0,18	2,78	1,62	0,93	0,67	—
				$k_{Н} = 94$	0,40	0,18	544,0	288,0	146,0	103,1	—
				2н.	0,40	0,18	2,63	1,53	0,78	0,59	—
				$k_{Н} = 92$	0,40	0,18	352,0	170,1	70,2	46,0	—
				2н.	0,30	0,10	2,60	1,59	0,95	0,72	—
				2н.	0,30	0,10	2,96	1,53	0,94	0,67	—
				2н.	0,30	0,10	3,10	1,88	1,08	0,73	—
				2н.	0,35	0,14	2,25	1,36	0,79	0,57	—
				2н.	0,35	0,14	1,43	0,88	0,51	0,38	—
				2н.	0,375	0,08	4,02	2,28	1,31	—	—
				$k_{Г} = 20$	0,375	0,08	5,25	2,98	1,76	—	—
				$k_{Г} = 40$	0,375	0,08	7,96	4,60	2,73	—	—
$k_{Г} = 60$	0,375	0,08	18,3	10,7	5,7	—	—				
$k_{Г} = 80$	0,325	0,08	99,5	54,2	25,6	—	—				

»	»	1841	18,4	2н.	0,375	0,1	2,61	1,62	1,27	—	—
				$k_{Г} = 20$	0,375	0,1	3,70	2,18	1,63	—	—
				$k_{Г} = 40$	0,375	0,1	6,10	3,30	2,50	—	—
				$k_{Г} = 60$	0,375	0,1	15,5	7,70	3,30	—	—
»	»	1944	15,4	2н.	0,375	0,115	2,82	1,73	1,05	—	—
				$k_{Г} = 20$	0,375	0,115	3,60	2,07	1,18	—	—
				$k_{Г} = 40$	0,375	0,115	5,35	2,83	1,53	—	—
				$k_{Г} = 60$	0,375	0,115	12,1	6,60	3,18	—	—
»	»	1947	16,5	2н.	0,375	0,115	3,14	1,87	1,49	—	—
				$k_{Г} = 20$	0,375	0,115	5,00	2,88	2,24	—	—
				$k_{Г} = 40$	0,375	0,115	8,90	5,01	3,92	—	—
				$k_{Г} = 60$	0,375	0,115	20,6	11,2	8,2	—	—
»	»	2020	14,5	2н.	0,37	0,11	5,40	3,19	1,87	—	—
				$k_{Г} = 20$	0,37	0,11	12,20	7,45	4,50	—	—
				$k_{Г} = 40$	0,37	0,11	26,7	16,1	9,0	—	—
				$k_{Г} = 60$	0,37	0,11	66,5	38,3	21,1	—	—
»	»	1858	17,1	2н.	0,40	0,18	2,77	1,60	0,96	0,74	—
				$k_{Н} = 86$	0,40	0,18	99,0	53,3	26,4	17,7	—
				2н.	0,45	0,2	4,50	2,83	1,55	1,19	—
				$k_{Н} = 11$	0,45	0,2	7,48	4,21	2,45	1,72	—

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_p, \%$	Флюид	$\rho, \text{кбар}$	$\rho_p, \text{кбар}$	$\rho, v \text{ при } t, ^\circ\text{C}$				
							20	50	100	150	200
Песчаник полимиктовый	Южный Мангышлак, Узень	1999	13,8	2н.	0,45	0,2	4,51	2,65	1,53	1,11	—
				$k_n = 46$	0,45	0,2	27,7	14,0	5,51	3,1	—
То же	То же	2070	12,8	2н.	0,5	0,2	5,95	3,55	1,94	1,45	—
				$k_n = 43$	0,5	0,2	19,10	9,53	4,47	—	—
»	»	1783	18,6	2н.	0,40	0,18	3,03	1,81	1,01	0,69	—
				$k_n = 76$	0,40	0,18	42,2	22,2	11,1	7,2	—
»	»	1783	18,0	2н.	0,40	0,18	2,96	1,75	1,00	0,72	—
				$k_n = 76$	0,40	0,18	81,8	41,3	20,2	12,8	—
»	»	2218	13,0	2н.	0,5	0,2	6,33	3,74	2,12	1,47	—
				$k_n = 35$	0,5	0,2	11,51	6,04	3,03	1,92	—
»	»	2218	13,1	2н.	0,5	0,2	6,03	3,53	2,00	1,73	—
				$k_n = 60$	0,5	0,2	33,60	17,41	8,45	5,30	—
»	»	1532	21,5	2н.	0,375	0,15	2,04	1,22	0,70	0,51	—
				»	0,2	0,1	37,3	22,4	11,9	7,7	—
»	»	469	5,1	2н.	0,2	0,1	37,3	22,4	11,9	7,7	—
				»	0,3	0,1	2,36	1,41	0,87	0,65	—
»	»	1190	20,3	2н.	0,3	0,1	2,36	1,41	0,87	0,65	—
				»	0,35	0,14	1,33	0,32	0,50	0,37	—

Скорость распространения продольных волн v

Алевролит с карбонатным цементом	Азербайджан	989	2,2	2н.	1,0	0,4	5,36	5,14	4,78	4,64	—												
То же	То же	996	2,7	2н.	1,0	0,4	5,56	5,16	4,96	4,74	—												
												»	»	1001	2,6	2н.	1,0	0,4	5,42	5,22	5,12	4,97	—
Алевролит кварцевый с кальциевым цементом	Азербайджан, карьер г. Баку	—	3,0	Сухой	0,05	—	4,10	4,20	3,90	3,75	—												
				2н.	0,05	0,025	5,36	5,31	4,94	4,75	4,58												
				2н.	0,55	0,05	5,90	5,85	5,70	5,50	5,20												
				Сухой	1,0	—	5,50	5,30	5,14	4,98	4,40												
				Нефть	0,55	0,05	5,72	5,62	5,40	5,25	—												
				»	1,05	0,05	5,82	5,60	5,45	—	—												
				»	0,05	0,025	5,26	5,16	4,80	4,5	—												
Алевролит кварцевый с серицит-гидрослюдистым цементом	Карьер г. Грозного	—	25,3	Сухой	0,05	—	3,72	3,65	3,50	3,40	3,32												
				Нефть	0,07	0,02	3,77	3,72	3,54	3,37	3,22												
				2н.	0,1	0,05	3,80	3,75	3,55	3,42	3,32												
Глина	Бассейн р. Вятки	—	31,5	4н.	0,05	0,025	2,46	2,44	2,41	1,99	—												
	То же	—	22,1	4н.	0,05	0,025	2,66	2,65	2,54	2,46	—												
Известняк массивный	Туркмения	—	10,9	Сухой	0,5	—	4,33	3,96	3,65	3,53	—												
				»	1,0	—	4,81	4,23	3,91	3,82	—												
				»	1,5	—	5,06	4,52	4,25	4,22	—												
Известняк органо-генно-детритовый	Подмосковье, карьер Коробчеево	—	15,0	Нефть	0,5	0,25	4,04	4,01	3,70	3,50	—												
				Сухой	1,0	—	4,42	4,48	4,40	4,08	—												
				»	0,05	—	3,96	3,96	3,58	3,17	—												
				»	0,5	—	4,20	4,35	4,25	3,96	—												
				2н.	0,52	0,02	4,70	4,81	4,78	4,53	—												
				Нефть	0,07	0,02	4,38	4,25	3,55	3,37	3,26												

Примечание. k_n, k_r — коэффициенты нефте- и газонасыщенности, в %.

Скорость распространения продольных волн v (в км/с) и удельное электрическое сопротивление ρ (в Ом·м) осадочных пород (числитель) при различных всестороннем p и поровом p_p давлениях и температурах (в °C) (знаменатель)

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	$k_{п.}$ %	Флюид	Параметры	v, ρ при $p, p_p, \text{кбар}$															
						$p=0,05$		0,10		0,25		0,35		0,50		0,75		1,00		1,50	
						$p_{п.}=0,025$	0,050	0,10	0,14	0,25	0,375	0,50	0,60	0,75	1,00	1,50					
Ангидрит с примесью карбоната	ГДР	2457	0,2	4 н.	v	6,15	6,32	6,46	6,50	6,55	6,57	6,58	6,50								
						18	54	88	91	95	123	129	178								
Ангидрит	То же	2457	0,2	4 н.	ρ	64,7	42	57	72	96	137	151	210								
						18	54	88	91	95	123	129	178								
»	»	2445	0,2	1 н.	v	222	190	—	259	312	289	—	—								
						16	46	—	78	98	143	—	—								
»	»	2445	0,2	1 н.	ρ	5	5,46	5,78	5,78	5,98	6,13	6,28	6,44								
						16	50	86	90	94	135	140	180								
Глина	Русская платформа, бассейн р. Вятки	—	31,5	2 н.	v	4,91	5,09	5,23	5,25	5,23	5,13	4,92	—								
						17	40	67	80	97	122	151	—								
»	То же	—	22,1	2 н.	ρ	147,3	122,7	—	123,9	130,2	144,5	163,0	—								
						16	47	—	78	99	125	148	—								
Доломит известняковый, мелкозернистый, ангидритизированный	ГДР	1201	5	1 н.	v	2,27	2,33	2,46	2,51	2,54	2,57	2,55	2,52								
						20	30	51	63	75	99	130	171								
»	То же	—	22,1	2 н.	ρ	2,43	2,50	2,62	2,67	2,69	2,70	2,64	2,51								
						19	33	47	59	74	93	129	170								
»	ГДР	1201	5	1 н.	v	4,31	4,16	4,33	4,42	4,53	4,58	4,64	4,66								
						20	41	64	73	99	126	153	197								
»	ГДР	1201	5	1 н.	ρ	11,60	9,60	—	7,82	6,94	6,74	—	—								
						20	41	—	73	99	126	—	—								

Доломит мергелистый, ангидритизированный	»	1222	2	1 н.	v	4,38	4,38	4,45	4,46	4,47	4,39	4,31	—				
						28	58	75	99	98	147	150	—				
»	»	2176	5	1 н.	v	4,98	5	5,1	5,14	5,18	5,26	5,28	5,28				
						19	40	68	76	103	125	152	197				
Доломит кристаллический с включением линз кварцевого песчаника	»	2176	5	1 н.	ρ	42	39,5	—	38	39	42,1	44,7	—				
						19	48	—	76	103	125	152	—				
Известняк органогенно-детритовый	Подмосковье, карьер Коробчеево	—	18,7	Сухой	v	4,59	4,68	4,78	4,78	4,78	4,88	4,88	—				
						17	31	51	61	76	100	123	—				
»	»	2176	5	1 н.	ρ	3,7	3,22	2,39	2,1	1,86	1,47	1,19	—				
						17	31	51	61	76	100	123	—				
Известняк пелитоморфно-кристаллический с включением обломков кварца и пирита	ГДР	2349	0,6	2,7 н.	v	3,93	—	—	4,07	—	4,02	4,01	—				
						20	—	—	80	—	160	200	—				
»	»	2349	0,6	2,7 н.	ρ	4,64	—	—	4,62	—	4,78	—	—				
						20	—	—	89	—	165	—	—				
Известняк глинистый мелкозернистый	»	2604	1,0	1 н.	v	4,54	4,64	4,74	4,74	4,74	4,85	4,87	—				
						19	33	55	62	78	104	126	—				
»	»	2604	1,0	1 н.	ρ	9,00	8,50	6,40	5,80	5,10	4,15	3,42	—				
						19	33	55	62	78	104	126	—				
Известняк мелкозернистый	»	1069	1,24	1 н.	v	6,10	6,06	6,11	6,18	6,20	6,19	6,16	—				
						16	44	66	76	104	129	156	—				
»	»	1069	1,24	1 н.	ρ	130,0	74,0	—	60	50,6	50,7	52,5	—				
						16	44	—	76	104	129	156	—				
»	»	1069	1,24	1 н.	v	4,81	4,99	5,12	5,13	5,13	5,1	5,02	—				
						21	44	68	78	102	120	151	—				
»	»	1069	1,24	1 н.	ρ	75	40,4	—	34,6	34,7	36,2	38,6	—				
						21	44	—	78	102	120	152	—				

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	k _п , %	Флюид	Параметры	v, p при p. p _п , кбар															
						p=0,05		0,10		0,25		0,35		0,50		0,75		1,00		1,50	
						v _п =0,025	0,050	0,10	0,14	0,25	0,375	0,50	0,60								
Мергель доломитизированный	ГДР	1229	6,7	1 н.	v	4,2	4,36	4,47	4,54	4,59	4,62	4,64	4,6	203							
						18	56	88	90	94	144	148									
То же	»	—	6,8	1 н.	p	6,1	4	3	3,20	3,39	2,7	2,8	—								
						18	52	88	90	94	144	148									
»	»	2604	1,1	1 н.	v	—	4,46	4,55	4,68	4,76	4,81	4,73	—								
						56	84	90	128	134	178										
»	»	2604	1,1	1 н.	p	8,64	4,56	3,15	3,52	2,74	2,96	2,72	—								
						18	56	84	90	128	134	178									
Песчаник кварцевый с опаловым цементом	»	1249	25,8	4 н.	v	5,13	5,17	5,25	5,28	5,26	5,24	5,23	—								
						19	60	95	91	127	130	175									
»	»	1249	25,8	4 н.	p	—	55,8	51,5	88,3	95,5	108	167,3	—								
						60	95	98	127	130	175										
То же	»	1378	25,1	4 н.	v	2,30	2,95	3,26	3,35	3,39	3,39	3,33	—								
						18	59	86	90	94	127	146									
»	»	1378	25,1	4 н.	p	0,94	0,36	0,46	0,46	0,48	0,44	0,43	—								
						17	59	86	90	94	127	130									
То же	»	1378	25,1	4 н.	v	2,52	2,78	3,02	3,1	3,19	3,21	3,19	3,07								
						16	52	76	79	83	129	134	201								
»	»	1378	25,1	4 н.	p	2,88	1,7	1,28	1,24	1,21	0,9	0,94	—								
						16	52	76	79	83	129	134									

Песчаник кварцевый с опаловым цементом	ГДР	1363	24,6	1 н.	v	2,95	3	3,08	3,11	3,16	3,24	3,3	3,3
						20	54	75	94	94	94	94	129
То же	То же	1612	24,6	1 н.	p	2,26	1,26	—	1,01	0,81	0,68	0,64	—
						16	50	73	101	128	142		
»	»	1612	24,6	1 н.	v	2,74	2,95	3,1	3,14	3,17	3,17	3,12	—
						19	58	84	86	90	134	147	
»	»	2657	1,2	1 н.	p	2,74	1,24	0,94	0,91	0,89	0,74	0,67	—
						19	58	84	86	90	134	137	
»	»	2657	1,2	1 н.	v	5,64	5,76	5,8	5,86	5,98	6,04	6,18	6,22
						18	57	61	77	76	81	115	160
»	»	2657	1,2	1 н.	p	—	79,9	76,6	81,5	86,4	75	76,6	—
						57	77	76	81	115	120		
»	Русская платформа, Смоленская область	1078	17,9	2 н.	v	3,56	3,66	3,85	3,93	4,04	4,1	4,17	4,13
						16	30	53	61	69	94	131	173
»	То же	1079	19,0	2 н.	v	3,97	4,03	4,14	4,18	4,23	4,26	4,29	4,30
						17	36	51	63	80	101	130	175
»	»	1079	18,3	2 н.	v	3,98	4,07	4,21	4,25	4,28	4,31	4,32	4,32
						18	37	49	57	79	97	126	168
»	»	1098	20,4	2 н.	v	3,94	4,1	4,32	4,43	4,56	4,62	4,58	4,55
						19	35	50	59	74	98	121	169
»	»	1107	8,1	2 н.	v	4,7	4,85	5,06	5,14	5,22	5,30	5,35	5,33
						18	35	50	60	75	100	125	175
Песчаник кварцевый с глинистым цементом	ГДР	1350	7,5	2,7 н.	v	4,05	4,14	4,22	4,25	4,29	4,38	4,43	—
						17	33	54	62	75	103	127	
»	»	1350	7,5	2,7 н.	p	12,5	9,2	6,6	5,87	5,35	4,12	3,51	—
						17	33	54	62	75	103	127	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	k _п , %	Флюид	Параметры	v, p при p, p _п , кбар							
						ρ=0,05	0,10	0,25	0,35	0,50	0,75	1,00	1,50
						p _п =0,025	0,050	0,10	0,14	0,25	0,375	0,50	0,60
Песчаник кварцевый с глинистым цементом	ГДР	1365	15,2	2,7 н.	v	2,8 19	3,01 30	3,09 51	3,12 61	3,16 75	3,2 104	3,25 128	—
					p	3,09 19	2,46 30	1,95 51	1,8 61	1,69 75	1,11 104	0,95 128	—
То же	»	1417	11	2,7 н.	v	3,4 20	3,45 31	3,5 52	3,52 60	3,54 73	3,56 100	3,6 123	—
					p	3,3 20	2,76 31	2,27 52	2,06 60	1,9 73	1,42 100	1,2 123	—
Песчаник кварцевый с карбонатно-хлоритовым цементом	»	1323	10,6	2,7 н.	p	5,16 18	3,52 33	2,28 53	2 62	1,6 76	1,51 103	1,27 130	—
То же	»	1352	7,4	2,7 н.	v	3,32 18	3,44 33	3,5 54	3,54 63	3,62 78	3,7 105	3,77 127	—
					p	6,41 18	4,45 33	3,48 54	3,14 63	2,72 78	2,24 105	2 127	—

»	»	1323	10,6	2,7 н.	v	3,29 18	3,53 33	3,65 53	3,66 62	3,68 76	3,77 103	3,77 130	—
»	»	1423	5,7	2,7 н.	v	3,44 17	3,49 30	3,54 52	3,56 61	3,6 76	3,7 105	3,77 126	—
					p	11,8 17	8,36 30	6,67 52	6,5 61	6,5 76	4,5 105	3,77 126	—
Песчаник кварцевый с карбонатно-хлоритовым цементом	ГДР	1422	6,4	2,7 н.	v	3,4 18	3,46 30	3,5 51	3,52 61	3,56 76	3,68 102	3,74 126	—
					p	5,5 18	4,5 30	3,48 51	3,2 61	2,86 76	2,23 102	1,64 126	—
Песчаник кварцевый с карбонатным цементом	»	2522	7,5	2,7 н.	v	3,9 18	4 31	4,1 51	4,14 59	4,21 70	4,35 101	4,46 129	—
					p	12,9 18	10,2 1	8,43 51	8 59	7,6 70	6,1 101	5 129	—
То же	»	1361	18,4	2,7 н.	v	3,37 20	3,52 35	3,63 58	3,68 65	3,75 74	3,88 98	4 123	—
					p	2,07 20	1,39 35	1,07 58	1,01 65	0,93 74	0,76 98	0,64 123	—
»	»	3216	1,3	2,7 н.	v	4,64 19	4,70 31	4,77 53	4,82 60	4,88 72	4,95 102	4,95 125	—
					p	33,7 19	28,4 31	20,6 53	18,8 60	16,8 72	13,1 102	11,8 125	—

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	k _п , %	Флюид	Параметры	v, p при p, p _п , кбар							
						p=0,05	0,10	0,25	0,35	0,50	0,75	1,00	1,50
						p _п =0,025	0,050	0,10	0,14	0,25	0,375	0,50	0,60
»	»	1333	13,2	2,7 н.	v	3,4	3,45	3,5	3,52	3,56	3,62	3,62	—
						16	30	55	62	75	103	126	—
					p	3,5	2,53	1,92	1,8	1,6	1,27	1,1	—
						16	33	55	62	75	103	126	—
Песчаник кварцевый с карбонатно-гематитовым цементом	»	3244	4,16	4 н.	v	3,3	3,38	3,45	3,48	3,52	3,58	3,6	—
						20	33	55	62	75	104	126	—
					p	14	10,9	7,26	6,72	5,5	3,94	3,35	—
						20	33	55	62	75	104	126	—
Песчаник кварцево-полевошпатовый с глинистым цементом	»	1314	18,1	2,7 н.	v	2,63	2,83	3,06	3,07	3,1	3,2	3,2	—
						25	35	56	63	73	102	126	—
					p	2,41	1,56	1,22	1,10	1,05	0,84	0,78	—
						25	35	56	63	73	102	126	—
Песчаник кварцево-полевошпатовый с хлоритово-ожелезненным цементом	ГДР	3272	9,6	4 н.	v	3,04	3,22	3,4	3,46	3,56	3,6	3,62	—
						22	31	49	58	71	99	123	—
					p	3,78	2,98	2,28	2,01	1,77	1,5	1,38	—
						22	31	49	58	71	99	1,23	—
Песчаник кварцитовидный, цемент мозаичный	То же	3300	9,1	2,7 н.	v	3,3	3,56	3,86	3,94	4,02	4,06	4,06	—
						20	30	50	60	75	100	125	—
					p	6,66	5,6	4,06	3,23	3	2,45	2,08	—
						20	30	50	60	75	100	125	—

Песчаник полимиктовый с глинисто-слюдистым цементом	Южный Мангышлак, впадина Карагие	2874	9,4	2,7 н.	v	4,4	4,5	4,66	4,76	4,84	4,94	4,97	5
						17	28	59	61	77	102	128	179
То же	То же	2527	14,8	2 н.	v	3,77	3,86	4,01	4,09	4,15	4,22	4,24	4,22
						20	36	41	59	72	96	121	173
»	»	2049	19,6	2 н.	v	3,35	3,43	3,51	3,57	3,62	3,66	3,70	3,66
						21	37	49	57	69	98	120	175
Песчаник полимиктовый с глинисто-серицитовым цементом	»	—	15,7	2 н.	v	3,83	3,89	3,95	3,97	4	4,01	4,02	4
						16	35	54	60	76	101	118	181
Песчаник полимиктовый с хлоритовым цементом	ГДР	3299	10,0	4 н.	v	3,54	3,6	3,65	3,73	3,84	3,9	4,03	—
						15	32	52	60	75	102	124	—
					p	6,76	5,05	4,02	3,6	3,26	2,76	2,62	—
						15	32	52	60	75	102	124	—
Песчаник полимиктовый с хлорито-гематитовым цементом	ГДР	3272	16,1	4 н.	v	3,16	3,44	3,5	3,52	3,55	3,6	2,62	—
						17	32	53	62	75	100	127	—
					p	1,83	1,35	1,03	0,94	0,82	0,65	0,55	—
						17	32	53	62	75	100	127	—

пределах 50—250°С изменение ρ составляет всего 20—25% (рис. 32).

В водонасыщенных осадочных породах уменьшение скорости с ростом температуры происходит немонотонно, с различной интенсивностью изменения в различных диапазонах температур. В диапазоне 20—90°С скорость монотонно уменьшается

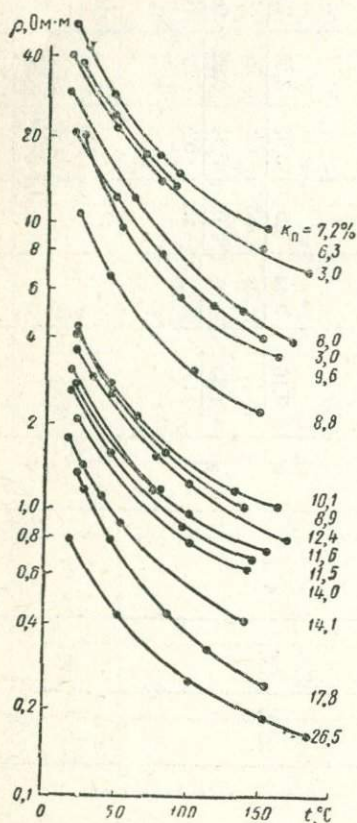


Рис. 32. Зависимость удельного электрического сопротивления ρ песчано-глинистых пород от температуры t

на 5—10%, затем скачкообразно уменьшается более интенсивно в диапазоне 90—150°С. В этом интервале уменьшение v достигает для глин и известняков 20%, для песчаников глинистых и глинисто-карбонатных 12—15%, для песчаников кварцевых 8%. При повышении температуры от 150 до 220°С уменьшение скорости не превышает 1—3 м/с на 1°С. Для водонасыщенных пород с ростом температуры изменение скорости снижается с увеличением разности всестороннего и порового давления. Для газонасыщенных пород зависимость v аналогична водонасыщенным породам. С ростом температуры до 200°С скорость уменьшается для высокопористых алевролитов на 5—8%, для

глин и известняков на 10—15%. Нефтенасыщенные породы отличаются равномерным уменьшением v при возрастании температуры. Это уменьшение, так же как для водо- и газонасыщенных пород зависит от литологического состава породы и ее пористости (рис. 33).

Удельное электрическое сопротивление почти для всех типов пород при приведении их к глубинным условиям (табл. 46) уменьшается, поскольку влияние температуры преобладает над влиянием давления. Это особенно заметно для высокопористых песчаников, для которых уменьшение ρ с приведением к глубинным условиям 5—6 км в среднем достигает 60%, тогда как при воздействии только давления, соответствующего этим глубинам, ρ увеличивается на 16—20%. Для низкопористых пород при совместном влиянии давления и температуры ρ уменьшается незначительно ввиду взаимной компенсации эффектов давления и температуры. Удельное электрическое сопротивление карбонатных пород с пористостью 5% в диапазоне давлений и температур, соответствующих глубинам 2—6 км, почти не изменяется. Незначительное изменение ρ , не превышающее 10%, наблюдается лишь для глубин 0—2 км.

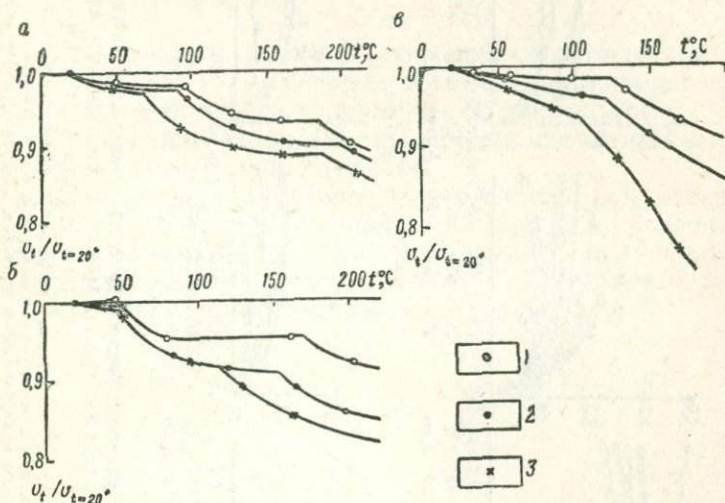


Рис. 33. Изменение скорости продольных волн $v_t/v_{t=20^\circ}$ от температуры t . а — кварцевые алевролиты с серицит-гидрослюдистым цементом $p - p_{II} = 0,5$ кбар; б — алевролит карбонатный, $p - p_{II} = 0,05$ кбар; в — известняк органогенно-детритовый, $p - p_{II} = 0,5$ кбар; 1 — абсолютно сухие; 2 — 10%-ный раствор NaCl; 3 — нефть

Одновременное увеличение давления и температуры до значений, соответствующих глубинам 3 км, приводит к увеличению скорости, т. е. значения ее, измеренные в лаборатории без учета давления и температуры глубины залегания, занижены. При более высоких давлениях и температурах, соответствующих

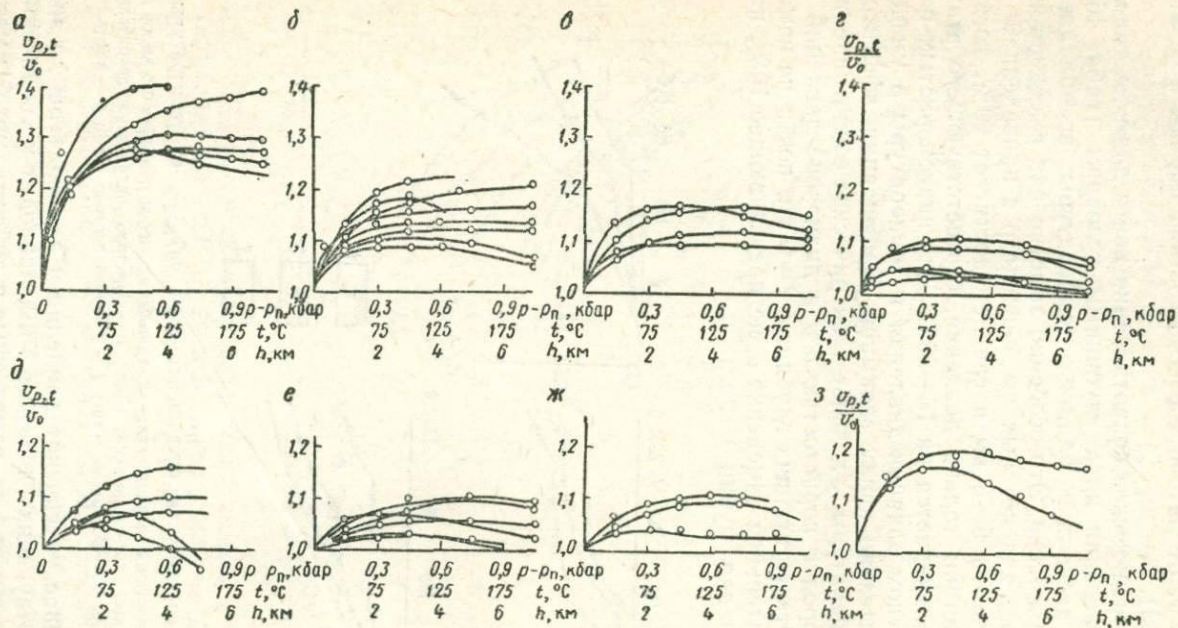


Рис. 34. Зависимость скорости распространения продольных волн в водонасыщенных осадочных породах (различные образцы) при одновременном воздействии всестороннего давления, пластового давления и температуры, соответствующих различным глубинам.

a — высокопористые глинистые песчаники и алевролит; *б* — высокопористый неглинизованный кварцевый песчаник; *в* — песчаник и алевролит с глинистым и карбонатным цементом; *г* — низкопористые песчаники и алевролит с большим содержанием глинистого и карбонатного вещества; *д* — доломит; *е* — известняк; *ж* — мергель; *з* — глина

глубинам 3—6 км, превалирующее влияние на v оказывает температура. В этом диапазоне давлений и температур почти для всех пород наблюдается уменьшение v , особенно для доломитов, мергелей, глинистых песчаников, у которых на глубинах 3—4 км скорость v отличается от измеренных значений в атмосферных условиях на 5% (рис. 34).

§ 3. Коллекторские свойства осадочных пород

Коэффициенты сжимаемости пород изучались при равномерном всестороннем сжатии путем непосредственных измерений деформаций объема (продольной и поперечной).

Коэффициент сжимаемости порового пространства β_p вычислялся по формуле, связывающей коэффициенты сжимаемости скелета породы $\beta_{ск}$, пор β_p , твердой фазы $\beta_{ТВ}$ и коэффициент пористости k_p ,

$$\beta_{ск} = \beta_p k_p + \beta_{ТВ}.$$

Коэффициент пористости k_p при эффективных давлениях определялся по формуле

$$k_p = k_{p \text{ атм}} - \varepsilon_V,$$

где $k_{p \text{ атм}}$ — коэффициент общей (открытой) пористости при атмосферном давлении; ε_V — изменение объемной деформации на данном уровне эффективного напряжения и температуры.

Коэффициенты проницаемости пород $k_{пр}$ изучались на установке КВО-1 конструкции ВНИГНИ.

Коэффициенты проницаемости измерялись при стационарной фильтрации газа в условиях всесторонних давлений до 1,2 кбар и температурах до 200° С. В табл. 47 и 48 приведены коллекторские параметры терригенных и карбонатных пород при различных эффективных давлениях и температурах.

Таблица 47

Коэффициенты сжимаемости порового пространства β_p , пористости k_p и проницаемости $k_{пр}$ терригенных пород при различных эффективных давлениях и температурах

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	p-p _{кбар}	$\beta_p \cdot 10^4$, Мбар ⁻¹	k _p , %	k _{пр} , мд	Источник
Песчаник кварцевый глинистый	Днепро-Донецкая впадина (ДДВ), Опошнянская площадь	2997—3005	100	0,001	—	22,2	4100,0	[59]
				0,050	100,0	22,05	3800,0	
				0,100	80,0	21,9	3683,9	
				0,200	58,0	21,8	3318,5	
То же	ДДВ, Середняковская площадь	4241—4246	130	0,001	—	2,6	5,8	
				0,050	147,0	2,0	5,75	
				0,100	126,0	1,7	5,7	
				0,200	84,0	1,4	5,6	
»	ДДВ, Малосорочинская площадь	3032—3043	90	0,001	—	52,5	15,1	[59]
				0,050	88,0	—	15,0	
				0,100	63,0	43,5	14,95	
				0,200	49,0	37,9	14,8	
Песчаник кварцевый	ДДВ, Грибово-Рудненская площадь	2593—2600	90	0,001	—	86,5	16,24	[59]
				0,050	93,0	—	16,16	
				0,100	76,0	76,3	16,10	
				0,200	60,0	71,4	15,99	
То же	ДДВ, Харьковцевская площадь	3824—3835	21	0,001	—	18,0	290,0	[59]
				0,050	102,0	17,8	270,0	
				0,100	77,0	17,75	263,1	
				0,200	50,0	17,65	255,2	
»	ДДВ, Чижевская площадь	3360—3363	90—130	0,001	—	20,6	708,0	[59]
				0,050	55,0	20,5	585,0	
				0,100	51,0	20,4	531,2	
				0,200	46,0	20,3	480,0	
Песчаник кварцевый карбонатный	ДДВ, Рыбальская площадь	3658—3666	110	0,001	—	14,3	33,0	[59]
				0,050	53,0	14,27	27,0	
				0,100	30,0	14,2	25,4	
				0,200	23,0	14,19	23,0	
Песчаник кварцевый среднезернистый	Мангышлак, Узень	1260	60	0,001	—	12,83	25,0	ИГиРГИ
				0,050	303,0	12,53	19,65	
				0,100	178,0	12,36	16,8	
				0,160	106,0	12,24	12,1	
То же	То же	1268	60	0,001	—	16,48	587,3	»
				0,050	185,0	16,20	522,4	
				0,100	149,0	16,07	462,2	
				0,160	75,0	15,91	237,9	

Продолжение табл. 47

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	p-p _{кбар}	$\beta_p \cdot 10^4$, Мбар ⁻¹	k _p , %	k _{пр} , мд	Источник
Песчаник кварцевый среднезернистый	Мангышлак, Узень	1268	60	0,001	—	14,41	47,5	ИГиРГИ
				0,050	276,0	14,14	41,10	
				0,100	157,0	13,99	32,75	
				0,160	79,0	13,88	26,5	
Песчаник полимиктовый с карбонатным цементом порового типа	ДДВ, Олишевская площадь	2814—2824	21	0,001	—	11,5	30,2	[59]
				0,050	97,0	11,45	28,0	
				0,100	91,0	11,3	26,6	
				0,200	71,0	11,2	25,0	
То же	ДДВ, Виноградовская площадь	3534—3591	21	0,001	—	9,6	0,37	[59]
				0,050	286,0	9,4	0,30	
				0,100	248,0	9,2	0,23	
				0,200	105,0	9,1	0,16	
Песчаник полимиктовый	То же	2593—2600	21	0,001	—	11,5	10,2	[59]
				0,050	283,0	11,38	9,1	
				0,100	241,0	11,25	8,3	
				0,200	199,0	11,5	7,6	
Песчаник полимиктовый бесцементный, участками с глинистым цементом сгустково-порового типа	»	2803—2814	21	0,001	—	13,4	5,2	[59]
				0,050	357,0	13,2	4,5	
				0,100	248,0	12,9	4,9	
				0,200	149,0	12,5	3,1	
Песчаник полевошпат-кварцевый, средне-мелкозернистый, нефтенасыщенный	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	2333—2338	21	0,001	—	24,9	490,0	ИГиРГИ
				0,050	130,0	24,5	432,4	
				0,100	65,0	24,4	375,4	
				0,200	60,0	24,3	337,4	
Песчаник полевошпат-кварцевый, среднезернистый	Западная Сибирь, Правдинское месторождение	2333—2338	80	0,001	—	21,4	560,0	То же
				0,050	84,0	21,26	512,8	
				0,100	54,0	21,18	482,0	
				0,200	30,0	20,9	439,2	
Песчаник полимиктовый разнозернистый	То же	2333—2338,8	80	0,001	—	18,8	500,0	»
				0,050	116,0	18,53	418,0	
				0,100	72,0	18,45	339,3	
				0,200	65,0	18,0	315,1	
Песчаник полевошпат-кварцевый, средне-мелкозернистый сильно нефтенасыщенный	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	2330—2333	21	0,001	—	19,2	290,0	»
				0,050	90,0	18,9	236,3	
				0,100	48,4	18,8	218,3	
				0,200	40,0	18,6	190,9	
				0,300	31,7	18,5	177,2	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$\rho - \rho_{п.кбар}$	$\beta_{п.кбар} - 1$	$k_{п. \%}$	$k_{пр. мл}$	Источник
Песчаник полевошпат-кварцевый, мелкозернистый, нефтенасыщенный	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	2310—2313	21	0,001	—	20,14	155,0	ИГиРГИ
				0,050	111,4	19,8	113,5	
				0,100	178,5	19,7	109,0	
				0,200	78,0	19,5	94,9	
0,300	77,0	19,4	80,4					
Песчаник алевритистый, мелкозернистый, слабо нефтенасыщенный	То же	2338—2349	21	0,001	—	22,6	—	То же
				0,050	99,0	22,15	187,1	
				0,100	63,5	22,0	97,0	
				0,200	47,0	21,8	71,9	
0,300	45,0	21,7	38,1					
Песчаник полевошпат-кварцевый, среднезернистый	Западная Сибирь, Правдинское месторождение	2338—2343	80	0,001	—	13,3	21,0	»
				0,050	178,0	13,16	18,7	
				0,100	142,0	13,02	17,33	
				0,200	90,0	12,9	15,44	
0,300	29,0	12,3	11,82					
Песчаник полевошпат кварцевый, мелкозернистый слабо нефтенасыщенный	Западная Сибирь, Западно-Сургутское месторождение	2288—2295	20	0,001	—	22,9	67,5	»
				0,050	113,0	22,6	61,5	
				0,100	78,0	22,5	57,14	
				0,200	50,0	22,3	46,48	
0,300	51,0	22,1	42,1					
Песчаник полевошпат-кварцевый, мелкозернистый, нефтенасыщенный	То же	2310—2313	22	0,001	—	22,2	35,0	»
				0,050	111,0	21,8	30,8	
				0,100	78,0	21,7	30,03	
				0,200	76,0	21,6	28,28	
0,300	77,0	21,5	27,49					
Песчаник полимиктовый глинистый, мелкозернистый	Мангышлак, Узень	1230	60	0,001	—	18,28	7,2	»
				0,050	276,0	17,92	5,61	
				0,100	147,0	17,73	4,56	
				0,170	68,0	17,59	3,61	
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом	То же	1230	60	0,001	—	20,57	21,15	»
				0,050	242,0	20,23	17,15	
				0,100	120,0	20,05	14,49	
				0,165	35,0	19,96	9,3	
Песчаник алевритовый с глинистым цементом, мелкозернистый	»	1232	60	0,001	—	24,29	15,4	»
				0,050	235,0	23,8	13,33	
				0,100	104,0	23,66	11,32	
				0,165	64,0	23,53	8,5	

Коэффициенты сжимаемости порового пространства $\beta_{п}$ и пористости $k_{п}$ терригенных и карбонатных пород при различных эффективных давлениях и температурах

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$\rho - \rho_{п.кбар}$	$\beta_{п.кбар} - 1$	$k_{п. \%}$	Источник
Терригенные породы							
Образцы насыщены керосином							
Алеврит кварц-полевошпатовый, среднезернистый	Краснодарский край, Ахтырско-Бугундырская площадь	1484—1486	20	0,001	—	17,3	[58]
				0,1	250,0	16,86	
				0,3	120,0	16,60	
				0,6	80,0	16,34	
Алеврит кварц-глауконитовый, мелкозернистый с глинисто-карбонатным цементом	То же	1580—1590	20	0,001	—	20,45	[58]
				0,1	150,0	20,12	
				0,3	70,0	19,95	
				0,6	65,0	19,55	
0,9	60,0	10,10					
Алеврит полевошпат-кварцевый, средне-крупнозернистый с карбонатным цементом	Краснодарский край, Староминская площадь	2038—2091	20	0,001	—	6,5	[58]
				0,1	500,0	6,15	
				0,3	215,0	6,0	
				0,6	115,0	5,8	
0,9	120,0	5,6					
Алеврит кварцевый, крупнозернистый с карбонатным цементом	Татария, Ромашкино	1757—1770	20	0,001	—	15,0	[58]
				0,1	190,0	14,68	
				0,3	66,0	14,6	
				0,6	45,0	14,45	
0,9	45,0	14,10					
Песчаник кварцевый, мелкозернистый с глинистым цементом	То же	1647	20	0,001	—	17,0	[58]
				0,1	130,0	16,75	
				0,3	57,0	16,62	
				0,6	32,0	16,49	
				0,9	31,0	16,26	
				1,2	30,0	16,07	
			100	0,1	135,0	16,74	
				0,3	55,0	16,63	
				0,6	32,0	16,59	
				0,9	31,0	16,25	
				1,2	30,0	16,07	
				200	0,1	140,0	16,72
0,3	60,0	16,60					
0,6	32,0	16,49					
0,9	34,7	16,20					

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$\rho - \rho_{п.}$ кбар	$\rho_{п.}$ Мбар	$k_{п.}$ %	Источник	
Песчаник кварцевый, мелкозернистый с глинистым цементом	Татария Муслюмовская площадь	1722— 1727	20	0,001	—	19,80	[58]	
				0,1	220,0	19,32		
				0,3	130,0	18,90		
				0,6	75,0	18,80		
				0,9	65,0	18,40		
То же	Татария, Мензелино-Актанышская площадь	1732— 1746	20	0,001	—	20,55	[58]	
				0,1	110,0	20,30		
				0,3	55,0	20,10		
				0,6	45,0	19,80		
				0,9	30,0	19,75		
				1,2	19,0	19,75		
»	Татария, Южно-Бондюжская площадь	1632— 1644	20	0,001	—	20,20	[58]	
				0,1	110,0	19,95		
				0,3	80,0	19,60		
				0,6	60,0	19,40		
				0,9	50,0	19,10		
				1,2	40,0	18,05		
Песчаник кварцевый, крупнозернистый с глинистым цементом порового типа	Татария, Усть-Икская площадь	1511— 1516	20	0,001	—	18,40	[58]	
				0,1	230,0	17,95		
				0,3	150,0	17,55		
				0,6	60,0	17,50		
				0,9	43,0	17,40		
Песчаник кварцевый алевритовый с глинистым цементом порового типа	Татария, Бакалинская площадь	1606— 1609	20	0,001	—	14,50	[58]	
				0,1	130,0	14,28		
				0,3	74,0	14,09		
				0,6	55,0	13,84		
				0,9	53,0	13,52		
			50	0,1	131,0	14,28		
				0,3	62,0	14,14		
				0,6	55,0	13,84		
				0,9	52,0	13,54		
				100	0,3	62,0		14,14
0,6	55,0	13,84						
Песчаник кварцевый, алевритовый с глинисто-карбонатным цементом	Татария, Сулеевская площадь	1707— 1712	20		0,001	—	19,80	[58]
					0,1	150,0	19,47	
					0,6	40,0	19,13	
				0,9	35,0	18,90		
				1,2	21,0	18,80		
Песчаник кварцевый, среднезернистый бесцементный	Татария, Миннибаевская площадь	1600— 1650	20	0,001	—	14,80	[58]	
				0,1	235,0	14,35		
				0,3	135,0	14,10		
				0,6	100,0	13,80		
				0,9	81,0	13,50		
				1,2	70,0	13,20		

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$\rho - \rho_{п.}$ кбар	$\rho_{п.}$ Мбар	$k_{п.}$ %	Источник				
Песчаник кварцевый, разнозернистый с глинистым цементом	Башкирия, Субханкулово	1741— 1746	20	0,001	—	16,2	[58]				
				0,1	150,0	15,9					
				0,3	62,0	15,86					
			50	0,6	44,0	15,65					
				0,9	42,0	15,37					
				0,1	163,0	15,96					
			Песчаник полимиктовый, полевошпат-кварцевый с карбонатным цементом порово-базального типа	Краснодарский край, Ахтырско-Бугундырская площадь	1862— 1865	20		0,001	—	5,63	[58]
								0,1	375,0	5,36	
								0,3	140,0	5,30	
50	0,6	70,0				5,20					
	0,1	446,0				5,32					
	0,3	164,0				5,24					
Песчаник полевошпат-кварцевый, мелкозернистый с карбонатно-глинистым цементом и сильной вторичной цементацией	Пермь, Бородулино	3036— 3039	20	0,001	—	8,90	ИГиРГИ				
				0,1	260,0	8,64					
				0,3	80,0	8,60					
			50	0,6	50,0	8,47					
				0,1	300,0	8,60					
				0,3	153,0	8,10					
<i>Образцы воздушно-сухие</i>											
Песчаник кварцевый глинистый	ДДВ, Ана-сасьевская площадь	4385— 4392	20	0,001	—	10,7	»				
				0,05	176,0	10,5					
				0,1	129,0	10,4					
				0,2	80,0	10,1					
				0,57	20,0	10,0					
Песчаник полимиктовый	ДДВ, Хрещатинская площадь	2536— 2548	20	0,001	—	13,9	[59]				
				0,05	240,0	13,7					
				0,1	120,0	13,59					
				0,2	82,0	13,40					
				0,325	60,0	13,25					
Песчаник полимиктовый с глинисто-карбонатным цементом порового и базального типов	ДДВ	3151— 3155	110	0,001	—	14,8	[59]				
				0,05	159,0	14,6					
				0,1	103,0	14,5					
				0,2	83,0	14,3					
				0,415	77,0	14,2					

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$\rho - \rho_{п.кбар}$	$\rho_{п.кбар} - 1$	$k_{п. \%}$	Источник
Песчаник полимиктовый с карбонатным цементом сгустково-порового типа	ДДВ, Видельцевская площадь	2884— 2889	20	0,001	—	14,0	[59]
				0,05	240,0	13,7	
				0,1	186,0	13,65	
				0,2	128,0	13,35	
				0,35	98,0	13,3	
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом контактово-порового типа	ДДВ, Малосорочинская площадь	3168— 3174	20	0,001	—	7,8	[59]
				0,05	261,0	7,67	
				0,1	208,0	7,55	
				0,2	119,0	7,4	
				0,35	41,0	7,2	
То же	ДДВ, Хрещатинская площадь	2796— 2803	100	0,001	—	10,8	[59]
				0,05	92,0	10,7	
				0,1	61,0	10,6	
				0,2	51,0	10,55	
				0,365	38,0	10,5	
Песчаник полимиктовый с глинистым цементом базального типа	ДДВ, Белоцерковская площадь	1810— 1815	20	0,001	—	11,1	[59]
				0,05	138,0	10,9	
				0,1	116,0	10,7	
				0,2	70,0	10,6	
				0,235	56,0	10,5	
Песчаник полимиктовый с цементом базального типа	ДДВ, Пирятинская площадь	2415— 2421	90	0,001	—	5,4	[59]
				0,05	157,0	5,3	
				0,1	135,0	5,18	
				0,2	99,0	5,15	
				0,340	98,0	5,1	
Песчаник полимиктовый с карбонатным цементом порового типа	ДДВ	4319— 4327	140	0,001	—	9,7	[59]
				0,05	223,0	9,5	
				0,1	165,0	9,4	
				0,2	137,0	9,0	
				0,56	78,0	8,9	

Карбонатные породы

Образцы насыщены керосином

Доломит с реликтами биоморфной структуры с пелитоморфным кальцитовым цементом	Северный Кавказ, Баксанская площадь	415— 421	20	0,001	—	3,11	[58]
				0,1	627,0	2,89	
				0,3	328,0	2,67	
				0,5	280,0	2,55	
				0,7	230,0	2,42	
				0,9	215,0	2,37	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$\rho - \rho_{п.кбар}$	$\rho_{п.кбар} - 1$	$k_{п. \%}$	Источники
Известняк микробрекчиевидный доломитизированный с микрозернистым кальцитовым цементом	Северный Кавказ	1103— 1106	20	0,001	—	1,04	[58]
				0,1	188,0	0,82	
				0,2	159,0	0,70	
				0,3	123,0	0,58	
				0,4	115,0	0,46	
				0,5	110,0	0,34	
0,6	104,0	0,22					
Известняк онколитовый микрогустковый с микротонкозернистым цементом базального типа	Северный Кавказ, Баксанская площадь	471— 477	20	0,001	—	0,68	[58]
				0,1	154,0	0,55	
				0,2	140,0	0,45	
				0,3	135,0	0,33	
				0,5	78,0	0,26	
				0,6	70,0	0,22	
Известняк микробрекчиевидный	То же	1952— 1957	20	0,001	—	2,91	[58]
				0,1	533,0	2,73	
				0,2	420,0	—	
				0,3	350,0	2,47	
				0,4	290,0	—	
				0,5	273,0	2,39	
Известняк онколитодетритовый	" "	—	20	0,001	—	3,30	[58]
				0,1	370,0	3,24	
				0,2	225,0	—	
				0,3	124,0	3,11	
				0,4	110,0	—	
				0,5	87,0	3,0	

Образцы воздушно-сухие

Доломит порфирировидный	Северный Кавказ, площадь Аргудан-Урух	2404— 2407	20	0,001	—	2,45	[58]
				0,1	880,0	2,21	
				0,2	680,0	2,0	
				0,3	600,0	1,96	
				0,5	453,0	1,77	
				0,7	350,0	1,67	
Известняк микрозернистый, плотный, слабо доломитизированный с глинистым цементом	Северный Кавказ, Баксанская площадь	402— 403	20	0,001	—	1,73	[58]
				0,1	838,0	1,56	
				0,3	364,0	1,47	
				0,5	237,0	1,40	
				0,7	200,0	1,32	
				0,9	140,0	1,28	

Порода	Место отбора образца	Глубина, м	t, °C	$p-p_{II}$, кбар	\bar{T} , Мбар	k_{II} , %	Источник
Известняк фораминиферовый, перекристаллизованный	Пермская область, Дуринская площадь	—	20	0,001	—	1,15	[58]
				0,1	1780	0,92	
				0,2	1220	0,84	
				0,3	1090	0,73	
				0,4	1080	0,53	
				0,5	1070	0,41	
				0,6	940	0,35	
Известняк фораминиферовый, детритовый	Пермская область, Тукачево	1400	20	0,001	—	8,70	[58]
				0,1	189,0	8,51	
				0,2	148,0	8,39	
				0,3	124,0	8,30	
				0,4	122,0	8,18	
				0,5	98,0	8,15	
Известняк мелкозернистый, глинистый	Пермская область, Тукачево	1426— 1429	20	0,001	—	11,10	[58]
				0,1	414,0	10,64	
				0,2	392,0	10,18	
				0,3	295,0	10,0	
				0,4	236,0	9,95	
				0,5	195,0	9,89	
				0,6	174,0	9,79	
Известняк микрогустковый с микрозернистым цементом	Северный Кавказ, Бажсамская площадь	2489— 2498	20	0,001	—	1,78	[58]
				0,1	927,0	1,59	
				0,2	535,0	1,54	
				0,3	387,0	1,50	
				0,4	264,0	1,49	
				0,5	219,0	1,46	
				0,6	197,0	1,42	
			200	0,1	1180,0	1,54	
				0,2	657,0	1,49	
				0,3	478,0	1,43	
				0,4	393,5	1,40	
				0,5	376,0	1,32	
				0,6	337,0	1,27	

Примечание. Поровое давление p_{II} изменялось от 0,005 до 0,4 кбар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авчян Г. М. Физические свойства осадочных пород при высоких давлениях и температурах. М., «Недра», 1972, с. 145 с ил.
2. Авчян Г. М., Матвеевко А. А. Влияние насыщающей жидкости на скорость распространения продольных волн в осадочных породах при высоких давлениях и температурах.—Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1965, № 3, с. 65—70 с ил.
3. Авчян Г. М., Матвеевко А. А. Влияние типа флюида на скорость упругих волн в осадочных породах при высоких термодинамических параметрах.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 300—303 с ил.
4. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкевич З. Б. О методике комплексного определения физических параметров пород при высоких давлениях.—«Прикладная геофизика», вып. 49. М., «Недра», 1967, с. 164—173 с ил.
5. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкевич З. Б. Влияние пластового давления на физические свойства песчаников.—«Разведочная геофизика», вып. 26. М., «Недра», 1969, с. 82—92 с ил.
6. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкевич З. Б. Влияние всестороннего давления на физические свойства песчаников.—«Прикладная геофизика», вып. 55. М., «Недра», 1969 с. 149—164 с ил.
7. Авчян Г. М., Матвеевко А. А., Стефанкевич З. Б. Упругие (обратимые) изменения пористости и плотности осадочных пород при выносе их из скважины.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 297—300.
8. Авчян Г. М., Стефанкевич З. Б. Влияние температуры на электрические свойства песчано-глинистых пород.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 303—305 с ил.
9. Авчян Г. М., Стефанкевич З. Б. Влияние давления и температуры на зависимость электрического сопротивления от водонасыщенности песчаных коллекторов.—«Разведочная геофизика», вып. 72. М., «Недра», 1976, с. 153—156 с ил.
10. Антонов Д. А. Экспериментальное определение коэффициента сжимаемости песчаников.—Тр. УФНИИ, вып. 11. М., Гостоптехиздат, 1957, с. 117—127 с ил.
11. Байдук Б. В. Механические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. М., Гостоптехиздат, 1963, 102 с. с ил.
12. Баранов Б. В., Баюк Е. И., Шагинян Г. Ш. Упругие свойства гранатосодержащих пород Приполярного Урала при высоких давлениях.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 66—67 с ил.
13. Баюк Е. И. Скорости упругих волн в образцах изверженных и метаморфических пород при давлениях до 4 кбар.— В кн.: Электрические и механические свойства горных пород при высоких давлениях. М., «Наука», 1966, с. 16—36 с ил.
14. Баюк Е. И. Об анизотропии скорости упругих волн в горных породах при высоких давлениях.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 68—70 ил.

15. *Баяк Е. И., Волярович М. П., Скворцова Л. С.* Скорость упругих волн при высоких давлениях в изверженных и метаморфических породах различных регионов.— В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971, с. 127—137 с ил.
16. *Баяк Е. И., Тедеев Р. В.* Скорость продольных волн в образцах горных пород при одновременном воздействии высоких давлений и температур.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», № 8, 1974, с. 63—70 с ил.
17. *Бёрч Фр., Шерер Дж., Спайсер Г.* Справочник для геологов по физическим константам. М., ИЛ, 1949, 303 с. с ил.
18. *Бондаренко А. Т.* Влияние высокого давления и температуры на диэлектрическую проницаемость горных пород Кольского полуострова.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», № 2, 1971, с. 92—96 с ил.
19. *Волярович М. П., Баяк Е. И., Ефимова Г. А.* Упругие свойства минералов при высоких давлениях. М., «Наука», 1975, с. 131 с ил.
20. *Волярович М. П., Бондаренко А. Т., Пархоменко Э. И.* Влияние давления на электрические свойства горных пород.— Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 23, 1962, с. 80—89 с ил.
21. *Волярович М. П., Киреевкова С. М., Баяк Е. И.* Исследование скоростей продольных волн и плотности эклогитов при давлениях до 17 кбар.— «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1971, № 7, с. 48—56 с ил.
22. *Волярович М. П., Левыкин А. И.* Измерение скоростей упругих продольных волн в образцах горных пород при давлениях до 40 000 кг/см²— «Докл. АН СССР», 1965, т. № 6, с. 1287—1289 с ил.
23. *Волярович М. П., Левыкин А. И., Галдин Н. Е.* Изучение скоростей продольных волн при давлениях до 20 000 кг/см².— В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., «Наука», 1968, с. 127—130 с ил.
24. *Волярович М. П., Левыкин А. И., Элевич В. Я.* Тектоническая обстановка серпентинизации гипербазитов Воронежского массива по данным изучения скоростей упругих волн в образцах пород при давлении до 25 кбар.— «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1972, № 12, с. 77—86 с ил.
25. *Волярович М. П., Скорикова М. Ф., Томашевская И. С.* Скорости упругих волн при давлениях до 10 000 кг/см² в хлоритовых сланцах Южного Сахалина.— В кн.: Электрические и механические свойства горных пород при высоких давлениях. М., «Наука», 1966, с. 61—67 с ил.
26. *Волярович М. П., Томашевская И. С., Бручев И. Т.* Исследование скоростей продольных волн и прочности на сжатие в образцах горных пород Болгарии при всесторонних давлениях до 9000 кг/см². В кн.: Электрические и механические свойства горных пород при высоких давлениях. М., «Наука», 1966, с. 118—129 с ил.
27. *Влияние тектонического фактора на петрофизические свойства гипербазитов Воронежского кристаллического массива.*— В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971, с. 144—152 с ил. Авт.: Е. И. Баяк, М. П. Волярович, А. П. Тарков, В. Я. Элевич.
28. *Влияние температуры на анизотропию скорости продольных волн в горных породах при высоких давлениях.*— «Докл. АН СССР», 1973, т. 209, № 1, с. ил. Авт.: Р. В. Тедеев, Е. И. Баяк, М. П. Волярович, Ф. М. Левитова.
29. *Галдин Н. Е.* Анизотропия скоростей упругих волн в ультраосновных породах Кольского полуострова.— В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971, с. 179—188 с ил.
30. *Дахнов В. Н.* Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М., Гостоптехиздат, 1962. 364 с. с ил.
31. *Деформация мрамора в субкристалльной обстановке.*— «Докл. АН СССР», 1968, т. 179, № 4, с. 951—953 с ил. Авт.: И. В. Луицкий, В. И. Громин, Г. Д. Ушаков, В. А. Надолинный.

32. Добрынин В. М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. М., «Недра», 1970, 239 с. с ил.

33. Добрынин В. М., Морозович Я. Р. Изменение физических свойств кернов пород из глубокой Аралсорской скважины СГ-1 под действием горного давления.— В кн.: Материалы НТС по глубокому бурению. Вып. 4. М., «Недра», 1965, с. 35—43 с ил.

34. Добрынин В. М., Авчян Г. М., Мarmorштейн Л. М. Влияние термодинамических условий на физические свойства горных пород.— В кн.: Петрофизика коллекторов нефти и газа.— «Тр. МИНХ и ГП», вып. 115. М., «Недра», 1975, с. 74—82.

35. Изучение некоторых физических и термодинамических параметров горных пород.— «Изв. АН СССР, сер. Физика Земли», 1975, № 6, с. 59—65 с ил. Авт. Н. С. Афанасьев, В. В. Вавакин, М. П. Волярович и др.

36. Исаков Г. В. О деформациях нефтяных коллекторов.— «Нефтяное хозяйство», 1963, № 11, с. 38—42.

37. Исследование скорости продольных волн в образцах горных пород при высоких давлениях в связи с изучением глубинного строения Центрального Казахстана.— В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971, с. 152—161 с ил. Авт.: М. П. Волярович, А. К. Курскеев, И. С. Томашевская и др.

38. Карманский А. Т. Влияние влажности на механические свойства крепких горных пород в условиях сложного напряженного состояния при широкой вариации скоростей деформирования. Автореф. на соиск. уч. степени канд. тех. наук. Л., ВНИМИ, 1976.

39. Куликов Б. Н. Влияние термодинамических условий на электрические и коллекторские параметры карбонатных пород. Автореф. на соиск. уч. степени канд. геол.-минер. наук. М., МИНХ и ГП, 1971, 27 с.

40. Лебедев Т. С. Экспериментальные исследования физических свойств вещества Земли при высоких термодинамических параметрах.— «Геофизический сборник», № 38. Киев, «Наукова думка», 1970, с. 36—47 с ил.

41. Лебедев Т. С. Физические свойства пород литосферы в условиях больших глубин.— В кн.: Проблемы физики Земли на Украине. Киев, «Наукова думка», 1975, с. 98—117 с ил.

42. Лебедев Т. С., Шаповал В. И., Корчин В. А. Новые данные о скорости продольных волн в горных породах при высоких термодинамических параметрах.— «Геофизический сборник», № 49. Киев, «Наукова думка», 1970, с. 9—27 с ил.

43. Лебедев Т. С., Шаповал В. И., Корчин В. А. Установка для исследования физических свойств горных пород при давлениях до 15 кбар и высоких температурах.— «Геофизический сборник», № 59. Киев, «Наукова думка», 1974, с. 30—35 с ил.

44. Лебедев Т. С., Корчин В. А., Василяка В. Т. Исследования в гидростатических условиях упругих свойств минерального вещества при высоких термодинамических параметрах.— «Геофизический сборник», вып. 69. Киев, «Наукова думка», 1976, стр. 26—34.

45. Левыкин А. И. Упругие свойства некоторых минералов и мономинеральных пород при давлениях до 55 кбар.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 90—92 с ил.

46. Левыкин А. И., Фарберов А. И. Упругие свойства гипербазитовых ксенолитов вулкана Авача при давлении до 27 кбар.— В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971, с. 162—169 с ил.

47. Луцицкий И. В., Громин В. И., Ушаков Г. Д. Влияние высоких давлений и температур на деформационные свойства гипербазитов.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Киев, «Наукова думка», 1971, с. 194—197 с ил.

48. *Луцицкий И. В., Ушаков Г. Д., Лобов А. Г.* Экспериментальные данные по физико-механическому поведению оливинсодержащего энстатита при давлениях до 10 000 кгс/см² и температурах до 500°С.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 263—265.

49. *Любимова Е. А.* Термика Земли и Луны. М., «Наука», 1968, 279 с. с ил.

50. *Магницкий В. А., Петрунин Г. И., Юрчак Р. П.* Поведение температуропроводности некоторых полевых шпатов и плагиоклазов при температурах 300—1200°С.— «Докл. АН СССР», 1971, т. 199, № 5, с. 1058—1060 с ил.

51. *Масленников А. И., Ганиев Ю. А.* Исследование теплопроводности горных пород при высоких давлениях и температурах.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 173—175.

52. *Моисеенко У. И., Соколова Л. С., Чегомин В. Е.* Электрические и тепловые свойства горных пород. Новосибирск, «Наука», 1970, с. 67 с ил.

53. *Морозович Я. Р.* Изучение влияния напряженного состояния на электрические и коллекторские свойства горных пород. Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геол.-минер. наук. М., МИНХ и ГП, 1965. 28 с.

54. *Мулин В. Б.* Физические свойства песчаных коллекторов нефтяных и газовых месторождений в условиях неравномерного сжатия. Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геол. минер. наук. 1973. 25 с.

55. *Некоторые* физические свойства гранитоидов Магнитогорского рудного района на Урале.— В кн.: Экспериментальные исследования процессов минералообразования. М., «Наука», 1970, с. 141—149 с ил. Авт.: Л. Н. Овчинников, М. П. Воларович, Е. И. Баюк, Б. В. Баранов.

56. *О физических* свойствах горных пород Панского массива при высоких давлениях.— В кн.: Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971, с. 173—179 с ил. Авт.: М. П. Воларович, Н. Е. Галдин, В. А. Тюремнов, А. Ю. Одинец.

57. *Павлова Н. Н.* Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. М., «Недра», 1968. 358 с. с ил.

58. *Павлова Н. Н.* Деформационные и коллекторские свойства горных пород. М., «Недра», 1975. 240 с. с ил.

59. *Павлова Н. Н., Индутный В. Ф., Коньшева Р. А.* Деформационные и коллекторские свойства коллекторов девона Днепровско-Донецкой впадины. М., «Наука», 1977. 93 с. с ил.

60. *Пархоменко Э. И.* Электрические свойства горных пород. М., «Наука», 1965. 164 с. с ил.

61. *Пархоменко Э. И., Бондаренко А. Т.* Электропроводность горных пород при высоких давлениях и температурах. М., «Наука», 1972. 278 с. с ил.

62. *Пархоменко Э. И., Дворжак З.* О зависимости электрических параметров горных пород от температуры и частоты электрического поля.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1971, № 5, с. 79—88 с ил.

63. *Пархоменко Э. И., Стефанкевич З. Б., Высокова И. М.* О роли влаги в электропроводности кристаллических пород при повышенных давлениях и температурах.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1972, № 5, с. 84—91 с ил.

64. Певзнер Е. Д. Исследование влияния скорости деформирования на прочность горных пород. Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. Л., ВНИИМ, 1973. 19 с.

65. Петров Л. П. Изучение физических свойств песчано-глинистых пород при высоких давлениях и температурах. Автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. геол.-минерал. наук. М., МИНХ и ГП, 1967. 19 с.

66. Сакарелидзе Е. А. Теплофизические свойства горных пород в интервале температур 20—500° С.— В кн.: Тепловые потоки из коры и верхней мантии Земли, № 12. М., «Наука», 1973, с. 125—136 с ил.

67. Силаева О. И., Баяк Е. И. Изменение анизотропии скорости продольных волн в горной породе при гидростатическом давлении.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1969, № 8, с. 91—94 с ил.

68. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н. В. Мельникова, В. В. Ржевского. М., «Недра», 1975, с. 279.

69. Справочник физических констант горных пород. Под ред. С. Кларка. М., «Мир», 1969. 542 с с ил.

70. Ставкин Г. П. Влияние термодинамических условий на физические свойства полимиктовых коллекторов нефти и газа. Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геол.-минер. наук. М., МИНХ и ГП, 1976. 25.

71. Ставрогин А. Н., Карманский А. Т. Деформация и прочность горных пород при разной влажности в условиях объемного напряженного состояния.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Киев, «Наукова думка», 1971, с. 201—204 с ил.

72. Ставрогин А. Н., Лодус Е. В. Механические свойства горных пород при различных видах напряженного состояния и широкой вариации скоростей деформирования.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 274—278 с ил.

73. Ставрогин А. Н., Певзнер Е. Д. Физико-механические свойства горных пород при динамических нагрузках в условиях сложных напряженных состояний.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Киев, «Наукова думка», 1971, с. 204—206 с ил.

74. Стаховская З. И. Исследование прочности на изгиб горных пород в условиях высокого всестороннего давления. Труды 6-го совещ. по эксперим. и технической минералогии и петрографии. М., изд-во АН СССР, 1962, с. 134—138 с ил.

75. Слуцкий А. Б. Изменение электропроводности при полиморфном превращении кианит-силлиманит (Al_2SiO_5) в условиях высоких температур и давлений.— «Докл. АН СССР», 1968, т. 179, № 4, с. 963—966.

76. Тектонофизика и механические свойства горных пород. М., «Наука», 1971. 195 с с ил.

77. Теплофизические свойства пород Печенгского региона и глубинные температуры.— В кн.: Физические свойства, состав и строение верхней мантии. М., «Наука», 1974, с. 103—107 с ил. Авт.: Любимова Е. А., Власова О. К., Смирнова Е. В. и др.

78. Ткач Г. Ф., Юрчак Р. П. Измерение тепловых параметров горных пород в широком интервале температур.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», № 5, 1973, с. 81—83 с ил.

79. Томашевская И. С. Исследование модуля сдвига у образцов горных пород при высоких всесторонних давлениях методом кручения.— «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», 1961, № 3, с. 438—442 с ил.

80. Томашевская И. С. Исследование модуля сдвига и прочности образцов горных пород при высоких всесторонних давлениях методом кручения.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких давлениях. М., изд-во АН СССР, 1962, с. 36—42 с ил.

81. *Томашевская И. С.* Скорости продольных волн в некоторых горных породах и минералах Хибинского массива при трехосном напряженном состоянии.— В кн.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М., «Наука», 1968, с. 143—148 с ил.

82. *Томашевская И. С.* Некоторые результаты лабораторных измерений свойств горных пород при сложном напряженном состоянии.— В кн.: Физические основания поисков методов прогноза землетрясений. М., «Наука», 1970, с. 37—41 с ил.

83. *Томашевская И. С., Звягинцев Л. И.* Особенности деформационного поведения пористых базальтов при сложном напряженном состоянии.— В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 283—285 с ил.

84. *Томашевская И. С., Звягинцев Л. И., Белова Л. И.* Роль контакта в развитии разрушения горных пород.— «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», 1975, № 7, с. 66—72 с ил.

85. *Томашевская И. С., Хамидуллин Я. Н.* Возможность применения кинетической концепции прочности к горным породам при трехосном сжатии.— В кн.: Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах. Киев, «Наукова думка», 1971, с. 208—211.

86. *Упругие* свойства горных пород при высоких давлениях. Киев, «Наукова думка», 1972, с. 184 с ил. Авт.: Т. С. Лебедев, Д. В. Корниец, В. И. Шаповал, В. А. Қорчин.

87. *Уразаев Б. М., Воларович М. П., Курсаев А. К.* Физические свойства горных пород в глубинных термодинамических условиях. Алма-Ата, «Наука», 1973. 204 с. с ил.

88. *Ушаков Г. Д.* Аппаратура и методы изучения деформации горных пород (при высоких давлениях и температурах). Новосибирск, «Наука», 1977, с ил.

89. *Физико-механические* свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М., «Наука», 1974. 222 с. с ил. Авт.: М. П. Воларович, Е. И. Ваюк, А. И. Левыкин, И. С. Томашевская.

90. *Физические* свойства горных пород при высоких давлениях.— «Труды Ин-та физики Земли АН СССР». 1962, № 23. 107 с. с ил.

91. *Физические* свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах.— «Труды 3-го Всес. совещ.». Киев, «Наукова думка», 1971, 283 с. с ил.

92. *Физические* свойства горных пород при высоких давлениях и температурах.— «Труды 4-го Всес. совещ.». Тбилиси, «Мецниереба», 1974. 372 с. с ил.

93. *Физические* свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. Под ред. Н. Б. Дортман. М., «Недра», 1976, 528 с. с ил.

94. *Физические* свойства горных пород в структурно-формационных зонах Северного Кавказа и их значение для интерпретации геофизических данных.— «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1965, № 9, с. 5—28 с ил. Авт.: Г. Д. Афанасьев, Е. И. Ваюк, Б. П. Беликов и др.

95. *Хитаров Н. И., Слуцкий А. Б.* Влияние давления на температуру плавления альбита и базальта (по данным измерения электропроводности).— «Геохимия», 1965, № 12, с. 1399—1403 с ил.

96. *Шрейнер Л. А.* Физические основы механики горных пород. М., Гостехиздат, 1950. 212 с. с ил.

97. Шрейнер Л. А., Байдюк Б. В., Павлова Н. Н. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. М., «Недра», 1968, 358 с. с ил.

98. Экспериментальные исследования физических свойств древнейших пород Кокчетавского поднятия при высоких давлениях — В кн.: Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. Тбилиси, «Мецниереба», 1974, с. 243—245. Авт.: Б. М. Уразаев, М. П. Волярович, А. К. Курскеев и др.

99. Электрические и механические свойства горных пород при высоких давлениях.— «Труды Ин-та физики Земли АН СССР», 1966, № 37. 254 с.

100. Akimoto S., Fujisawa H., Demonstration of electronical conductivity jump produced by the olivine-spinel transition.— «J. Geophys. Res.», 1965, vol. 70, No. 2, p. 443—449.

101. Birch F., Bancroft D. The effect of pressure on the rigidity of rocks.— «J. Geologist», 1938, vol. 46, No 1, p. 113—141.

102. Birch B. F., Clark H. The thermal conductivity of rocks and its dependence upon temperature and composition.— «Am. J. Sci.», 1946, No 228, p. 613—653.

103. Bradley R. S., Jamil A. K., Munro D. C. The electrical conductivity of olivine at high temperatures and pressures.— «Geochim. et cosmochim. acta», 1964, vol. 28, No 11, 1669—1678.

104. Bridgman P. W. Rough compression of 177 substances to 40000 kg/cm². «Pros. Amer. Acad. Arts and Sci.», 1948, vol. 76, No 3, p. 71—87.

105. Duba A., Heard H. C., Schock R. N. Electrical conductivity of olivine at high pressure and under controlled oxygen fugacity.— «J. Geophys. Res.», 1974, vol. 71, No. 11, p. 1667—1673.

106. Hurlig E. Zum Problem der Anisotropie Petrophysikalischer Parameter in Geologischen Körpern.— «Geophysics und Geologie», 1967, No 12, s. 3—36.

107. Fatt I. Compressibility of sandstones at low to moderate pressure.— «Bull. A. A. P. G.», 1958, vol. 42, No 8, p. 1934—1957.

108. Fujisawa H., Fujii N., Mizutani H., Akimoto S. Thermal diffusivity of Mg₂SiO₄, Fe₂SiO₄ and NaCl at high pressures and temperatures.— «J. Geophys. Res.», 1968, vol. 73, No 14, p. 4727—4733.

109. Kanamori H., Fujii N., Mizutani H. Thermal diffusivity measurement of rocks-forming minerals from 300 to 1109 K.— «J. Geophys. Res.», 1968, vol. 73, No. 2, p. 595—605.

110. Lawson A. W. On the high temperature heat conductivity of insulators.— «J. Phys. Chem. Solids.», 1957, No 5, p. 154—155.

111. Lebedev T. S. Investigations of some physical properties of mineral mater under thermodynamic conditions of the Earth's interior.— «Zeitschrift für Geol. Wissenschaften», 1975, Bd. 3, N 6, Berlin, S. 717—739.

112. Lebedev T. S., Shapovot V. I., Korchin V. A. Programmed modeling of deep thermodynamic conditions in experimental studies of elastic properties of mineral matter.— «Gerlands Beiträge zur Geophysik» Bd. 83, N 5, Leipzig, 1974, s. 340—346.

113. Mann R. L., Fatt I. Effect of pore fluids on the elastic properties of sandstones.— «Geophysics», 1960, vol. 25, No 2, p. 433—444.

114. *Pros Z., Babuska V.* A method for investigating the elastic anisotropy on spherical rock samples.—«Zeitschrift für Geophys.», 1967, vol. 33, No. 4, S. 289—291.

115. *Shankland T. J.* Electrical conduction in rocks and minerals: parameters for interpretation.—«Phys. of Earth and Planet. Int.», 1975, No 10, p.209—210.

116. *Volarovich M. P.* The investigation of elastic and absorption properties of rocks at high pressures and temperatures.—«Tectonophysics», 1965, vol. 2, No. 2/3, p. 211—217.

117. *Volarovich M. P.* An experimental investigation of rupture and elastic wave propagation and absorption in rocks under high confining pressure.—«Geophys. J.», 1967, vol. 14, N 1—4, p. 73—79.

118. *Volarovich M. P.* Geophysical aspects of the problems of elastic and electrical properties of rocks at tens kbars.—«Amer. Geophys. Union», 1968, No. 12, p. 517—522.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. М. П. Волярович	3
Глава I. Плотность минералов и горных пород. Е. И. Баюк	6
Глава II. Упругие свойства минералов и горных пород	11
§ 1. Коэффициент сжимаемости. Е. И. Баюк, Г. Е. Кузьменкова	11
§ 2. Модули Юнга, сдвига и коэффициент Пуассона. Е. И. Баюк, Т. С. Лебедев	28
§ 3. Скорость распространения упругих продольных волн. Е. И. Баюк, Т. С. Лебедев	30
§ 4. Коэффициент поглощения упругих волн. Е. И. Баюк	64
Глава III. Электрические свойства минералов и горных пород. Э. И. Пархоменко	66
Глава IV. Тепловые свойства минералов и горных пород. Э. И. Пар- хоменко	102
Глава V. Деформационные и прочностные свойства горных пород. Г. Е. Кузьменкова, <u>Н. Н. Павлова</u> , И. С. Томашевская .	107
Глава VI. Физические свойства осадочных пород	141
§ 1. Физические свойства осадочных пород в пластовых услови- ях. В. М. Добрынин, Б. Н. Куликов	141
§ 2. Физические свойства осадочных пород при высоких давлени- ях и температурах. Г. М. Авчян, А. А. Матвеевко, З. Б. Стефанкевич	181
§ 3. Коллекторские свойства осадочных пород. Г. Е. Кузьменко- ва, <u>Н. Н. Павлова</u>	219
Список литературы	229

ИБ № 853

Справочник по физическим свойствам минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах

Редактор издательства *Т. И. Борущико*

Переплет художника *С. А. Смирновой*

Технические редакторы *Т. Г. Сизова, Л. Г. Лаврентьева*
Н. В. Жидкова

Корректор *Т. М. Ствярова*

Сдано в набор 24.08.77. Подписано в печать 23.06.78. Т-11246. Формат 60×90/16. Бумага № 2. Гарнитура литер. Печать высокая. Печ. л. 15.0. Уч.-изд. л. 15.73. Тираж 4000 экз. Заказ 7-380. Цена 95 коп

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.
Харьковская книжная фабрика «Коммунист» республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР. 310012,
Харьков-12, Эн гельса, 11.

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

*Издательство «Недра»
готовит к печати новые книги*

ДОБРЫНИН В. М., СЕРЕБРЯКОВ В. А. Методы прогнозирования аномально высоких пластовых давлений. 20 л. 1 р. 32 к.

Книга посвящена одной из актуальных проблем — изучению аномально высоких пластовых давлений (АВПД) —, имеющей важное значение при разведке, бурении и разработке глубокозалегающих залежей нефти и газа. В ней описаны теоретические основы и практическая возможность прогнозирования АВПД по геологическим и геофизическим данным, а также в процессе бурения, рассмотрены методы прогнозирования, приведены результаты и перспективы прогнозирования в различных нефтегазоносных областях (Азово-Кубанской, Ферганской, Афгано-Таджикской, Прикаспийской) и районах (Терско-Сунженском, Салымском, Предкарпатском, Керченском).

Книга предназначена для инженерно-технических работников: нефтепромысловых геологов, геофизиков, специалистов, занятых бурением глубоких скважин и разработкой нефтяных и газовых месторождений.

ЛЕОНТЬЕВ Е. И. Моделирование в петрофизике. 10 л. 1 р. 25 к.

В книге рассмотрены вопросы моделирования горных пород, помогающего объяснять экспериментальные данные петрофизики. Описано использование моделей пород для определения характера изменения петрофизических параметров в зависимости от состава и структуры пород, термобарических условий. Приведена классификация петрофизических моделей, и проанализировано поведение их в различных условиях. Даны рекомендации по использованию теоретических формул для разработки способов интерпретации данных промысловой и полевой геофизики.

Книга предназначена для научных работников, аспирантов и специалистов, занимающихся вопросами петрофизики. Она может быть полезна студентам нефтяных вузов при изучении курса «Петрофизика».

СКВАЖИННАЯ ядерная геофизика. Справочник геофизика. Под ред. В. М. Запорожца. 20 л. 1 р. 59 к.

Справочник является самостоятельным томом серии «Справочник геофизика». В нем приведены данные по ядерно-геофизическим методам исследования скважин: теории, методике работ, применяемой аппаратуре, способам обработки и интерпретации материалов.

Рассмотрено применение методов на месторождениях нефти, газа, рудных и нерудных твердых полезных ископаемых для решения геологических задач (расчленения разрезов скважин, выявления и оценки полезных ископаемых, контроля технического состояния скважин и др.).

Справочник предназначен для геофизиков и геологов производственных, научных и учебных организаций. Он представляет интерес для специалистов, занимающихся вопросами ядерной физики, и студентов геологических, горных, нефтяных вузов и факультетов.

ЯДЕРНАЯ геофизика при исследовании нефтяных и газовых месторождений. 25 л. 1 р. 69 к. Авт.: Беспалов Д. Ф., Гулин Ю. А., Дворкин И. Л. и др.

В книге систематизирован материал по применению методов ядерной геофизики для решения задач нефтегазопромысловой геологии (определения пористости, проницаемости, глинистости пород, контроля за разработкой месторождений, контроля технического состояния скважин и др.). В ней даны теоретические основы методов (гамма-каротажа, гамма-гамма-каротажа, нейтронных и др.), описаны аппаратура, применяемая при исследованиях, геолого-технические условия и методика измерений.

Книга рассчитана на инженеров и техников, работающих в области нефтегазопромысловой геофизики и геологии. Она может быть полезна научным работникам, занимающимся разработкой и совершенствованием методов ядерной геофизики.

*Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов:
№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;
№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

95 коп.

2750

НЕДРА