



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 209–217  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 209–217  
<http://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-3-209-217>

Научная статья  
УДК 553.98

## Исследование масштабного эффекта пористости и анизотропии упругих свойств в образцах известняков башкирского яруса



Д. И. Хасанов, О. Ю. Андрушкевич, М. А. Лоншаков✉

Казанский федеральный университет, Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Хасанов Дамир Ирекович, кандидат геолого-минералогических наук, [damir.khassanov@mail.ru](mailto:damir.khassanov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8168-3848>

Андрушкевич Олег Юрьевич, заведующий лабораторией пробоподготовки Института геологии и нефтегазовых технологий, [gemmaol@bk.ru](mailto:gemmaol@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0099-5397>

Лоншаков Марат Андреевич, магистрант, [maratlonsh@gmail.com](mailto:maratlonsh@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0439-7514>

**Аннотация.** В статье представлена методика определения элементарного представительного объема интервала керна длиной 1 м по данным пористости. Проанализирована литература, посвященная изучению основных факторов, влияющих на упругие свойства карбонатных пород. Рассмотрены понятия аддитивности и неаддитивности физических свойств горных пород. Применена методика отбора образцов стандартного размера в трех взаимоперпендикулярных направлениях относительно слоистости для оценки анизотропии упругих свойств интервала керна по значениям модуля Юнга и скорости распространения продольных волн. Представлено сравнение значений коэффициента открытой пористости однометрового интервала керна в форме параллелепипеда, установленных по данным пористости образцов первоначального размера и образцов объемом 133 см<sup>3</sup>. Проанализированы особенности проявления масштабного эффекта в образцах известняков башкирского яруса, расположенных на разных глубинах.

**Ключевые слова:** представительный элемент объема (элементарный представительный объем), межформенная пористость, каверна, стилолитовый шов, коэффициент открытой пористости, масштабный эффект, метод жидкостенасыщения, образец керна стандартного размера, пакстоун

**Для цитирования:** Хасанов Д. И., Андрушкевич О. Ю., Лоншаков М. А. Исследование масштабного эффекта пористости и анизотропии упругих свойств в образцах известняков башкирского яруса // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 209–217. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-3-209-217>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### The investigation of the porosity scale effect and elastic anisotropy in Bashkirian limestones

D. I. Khassanov, O. Yu. Andruskevich, M. A. Lonshakov✉

Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya St., Kazan 420008, Russia

Damir I. Khassanov, [damir.khassanov@mail.ru](mailto:damir.khassanov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8168-3848>

Oleg Yu. Andruskevich, [gemmaol@bk.ru](mailto:gemmaol@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0099-5397>

Marat A. Lonshakov, [maratlonsh@gmail.com](mailto:maratlonsh@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0439-7514>

**Abstract.** The article presents the methodology of the representative elementary volume definition for 1 m long whole core segments. Scientific articles focused on factors controlling elastic properties are analysed. Terms of additivity and nonadditivity for physical properties of rocks are discussed. The algorithm of core sampling including drilling out of three perpendicular core samples for estimation of elastic anisotropy was used. Porosity values of 1 m long whole core fragment evaluated in two ways using original core samples in the first approach and core samples having volume 133 cm<sup>3</sup> in the second way have been compared. Peculiarities of scale effect of porosity in core samples of limestones are analysed.

**Keywords:** representative elementary volume, intergranular porosity, cavern, stylolite, connected porosity, scale effect, buoyancy method, core plug, packstone

**For citation:** Khassanov D. I., Andruskevich O. Yu., Lonshakov M. A. The investigation of the porosity scale effect and elastic anisotropy in Bashkirian limestones. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 209–217 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-3-209-217>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)



## Введение

Актуальность рассматриваемой проблемы заключается в том, что масштабный фактор (размер образца керна) оказывает влияние на результаты определения пористости и упругих характеристик горных пород в лабораторных условиях. Данный феномен называется масштабным эффектом [1, 2]. Необходимо отметить, что пористость – аддитивное свойство, в то время как основные упругие характеристики, такие как скорость продольных и поперечных волн, модуль Юнга, являются неаддитивными свойствами, а следовательно, зависят от направления выбуривания образцов и характеризуются анизотропией [3, 4]. Пренебрежение масштабным эффектом и анизотропией упругих свойств может привести к возникновению ошибок при установлении зависимости между модулем Юнга и пористостью для изучаемых образцов керна [5]. Более того, результаты определения пористости непредставительных образцов могут оказаться недостоверными и, как следствие, недостаточно точными для построения петроупругих моделей [6].

Цель данной статьи заключается в определении элементарного представительного объема интервала известняков башкирского яруса длиной 1 м по коэффициентам открытой пористости кернов разного размера с дальнейшим изучением упругой анизотропии при использовании этих образцов стандартного размера. Понятие элементарного представительного объема, применяемое в данной статье для пористости, детально рассмотрено в работе [3].

Модули Юнга и сдвига, а также коэффициент Пуассона могут быть определены как динамическим методом, основанным на распространении ультразвуковых волн в горных породах, так и статическим, суть которого заключается в деформировании образца внешними нагрузками, характеризующимися фиксированным давлением [7]. В настоящее время динамический метод более распространен, однако в отдельных случаях обязательным является определение статических упругих характеристик, к примеру при создании оптимального дизайна гидроразрыва пласта [8].

Корректная оценка результатов лабораторного определения скорости распространения продольных и поперечных волн в образцах горных пород возможна при учете основных параметров, влияющих на упругие свойства. Детальный анализ таких факторов приведен в работе [9]. Очевидно, что пористость является важнейшим физическим параметром, определяющим изменение скорости распространения волн в породах-коллекторах. Однако пустотное пространство карбонатных пород, рассматриваемых в данной статье, отличается большим разнообразием, может быть как первичным,

так и вторичным [10]. По этой причине даже при равных значениях пористости двух образцов карбонатных пород скорость распространения волн может значительно различаться. К примеру, скорость распространения упругих волн в образцах карбонатных пород, характеризующихся вторичной пористостью, образованной за счет выщелачивания раковин морских животных, намного больше скорости распространения волн в образцах карбонатных пород с межформенным поровым пространством [9].

Алгоритм исследования упругой анизотропии горных пород представлен в работе [11]. Цилиндрические образцы высотой 60 мм и диаметром 30 мм были отобраны из зон однородности полноразмерных кернов в трех взаимоперпендикулярных направлениях. Для каждого полноразмерного керна и выбуренных из него образцов была определена скорость распространения продольных и поперечных волн. Сравнение полученных значений позволит сделать вывод о наличии/отсутствии упругой анизотропии. Рассмотренный алгоритм применяется в данной статье.

## Объект исследования

Объектом исследования является интервал керна длиной 1 м, отобранный на глубинах 976.0–977.0 м скважины № А месторождения N Республики Татарстан. Изучаемый интервал представлен известняками башкирского яруса. По итогам микроскопического исследования образцов в шлифах был установлен литотип известняков – пакстоун [12].

Значения пористости, рассчитанные по данным метода нейтронного гамма-каротажа (НГК), варьируются от 10.5 до 19.9 %.

## Методика исследования

На первом этапе работ было проведено литолого-минералогическое исследование интервала керна длиной 1 м с дальнейшим отбором четырех образцов известняков в форме параллелепипеда. На втором этапе были установлены коэффициенты открытой пористости проэкстрагированных образцов керна разного размера методом жидкостенасыщения при использовании установки «Напор-РМ», согласно ГОСТ 26450.1-85 [13]. На третьем этапе в цилиндрических образцах стандартного размера (высотой и диаметром 3 см) определялась скорость распространения продольных и поперечных волн, а также значения коэффициента Пуассона и динамического модуля Юнга с помощью установки «ПИК-УЗ-УЭС-ПЛ» (частота излучения 1 МГц).

Информация о четырех отобранных образцах представлена в табл. 1.

В ходе исследования происходило постепенное уменьшение высоты первоначальных образ-



Таблица 1

## Информация о четырех отобранных образцах первоначального размера

Номер образца	Параллелепипед				Интервал глубин, м	
	высота, см	длина основания, см	ширина основания, см	объем, см <sup>3</sup>		
1	11.678	4.591	4.2	225.178	976.100	976.217
2	13.175	4.871	4.307	276.404	976.270	976.399
3	19.407	3.937	4.243	324.188	976.499	976.693
4	16.227	5.996	4.592	446.788	976.793	976.955

цов в форме параллелепипеда. На каждом этапе данной работы определялись коэффициенты открытой пористости образцов разного объема, который варьировал от 66.8 до 446.7 см<sup>3</sup>. Отбор образцов стандартного размера проводился из отдельных фрагментов в форме параллелепипеда высотой не менее 4.5 см в трех взаимоперпендикулярных направлениях относительно горизонтальной слоистости:

- 1) параллельно слоистости в направлении № 1;
- 2) параллельно слоистости в направлении № 2;
- 3) перпендикулярно слоистости в направлении № 3 (рис. 1).

Определение значений модуля Юнга и коэффициента Пуассона для образцов зерна стандартного размера, выбуренных в разных направлениях, позволит изучить анизотропию упругих свойств в рассматриваемом интервале.

Расчет коэффициента открытой пористости интервала зерна в форме параллелепипеда длиной 1 м со средней площадью основания 21 см<sup>2</sup> был проведен двумя способами:

- 1) по данным пористости образцов в форме параллелепипеда первоначального размера (эталонное значение);
- 2) по данным пористости образцов в форме параллелепипеда, средний объем которых равен 133 см<sup>3</sup>.

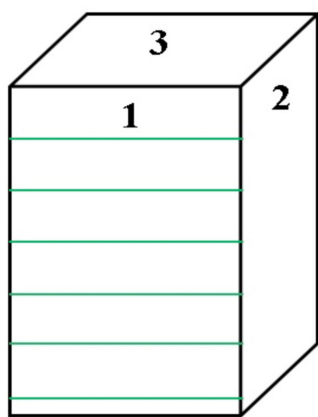


Рис. 1. Схематическое представление направлений выбуривания образцов стандартного размера из фрагментов параллелепипеда. Зелеными линиями на фронтальной стороне параллелепипеда представлены горизонтальные слои: направления выбуривания № 1 и № 2 расположены параллельно слоистости, направление № 3 – перпендикулярно слоистости (цвет онлайн)

## Практические результаты

Результаты определения значений коэффициента открытой пористости интервала зерна по данным пористости  $\varphi_{\text{con}} = K_{\text{о.п}}$  двух выборок представлены в табл. 2. С целью установления методов осреднения значений пористости образцов для каждой выборки был рассчитан коэффициент Дикстра–Парсонса  $V_k$  [14]. Следует отметить, что объем указанного в выборке № 2 фрагмента № 4.4 немного больше 133 см<sup>3</sup>, что объясняется отсутствием меньших фрагментов образца № 4. Согласно табл. 2, значения коэффициента открытой пористости интервала зерна длиной 1 м, рассчитанные по пористости образцов первоначального размера и объемом (средним) 133 см<sup>3</sup>, практически эквиваленты.

Установленные коэффициенты открытой пористости образцов разного размера в форме параллелепипеда представлены на рис. 2. В результате анализа полученной диаграммы были сделаны следующие выводы.

1. Заниженные коэффициенты открытой пористости фрагментов № 1.3, 1.4 по сравнению с пористостью цельного образца № 1 объясняются сокращением межформенного порового пространства вследствие уменьшения объема образцов. Высокая пористость фрагмента № 1.2 связана с распространением в нем пустот неправильной формы диаметром 2–3 мм (рис. 3). Емкость образца № 1 определяется кавернами и межформенными порами.

2. Исследование фрагмента № 2.3 позволило установить наличие довольно больших пустот диаметром 2–3 мм (каверн) (рис. 4). Увеличение размеров фрагментов значительно компенсирует влияние отдельных пустот в больших объемах за счет вклада межформенной пористости, что приводит к постепенному уменьшению коэффициентов открытой пористости фрагмента № 2.2 и целого образца № 2. Емкость порового пространства образца № 2 определяется кавернами и межформенными порами.

3. Во фрагментах № 3.6 и 3.7, являющихся двумя равными частями фрагмента № 3.5 и представленных на рис. 5, отчетливо проявляются стилолитовые швы с частичным заполнением глинистым материалом. Резкое уменьшение пористости фрагментов № 3.6, 3.7 по сравнению с фрагментом № 3.5, вероятно, связано с тем, что больший фрагмент был разделен параллельно



Таблица 2

Коэффициент открытой пористости интервала керна длиной 1 м, рассчитанный по данным пористости

Номер выборки	Номер образца (фрагмента)	Интервал глубин, м		Объем, см <sup>3</sup>	$V_k$	Метод осреднения	$\varphi_{\text{сop}}$ интервала керна, %
		от	до				
1	1	976.100	976.217	225.178	0.74	Гармонический	11.68
	2	976.270	976.399	276.404			
	3	976.499	976.693	324.188			
	4	976.793	976.955	446.788			
2	1.2	976.100	976.172	137.868	0.30	Геометрический	11.63
	2.3	976.270	976.332	130.702			
	3.5	976.499	976.579	133.638			
	4.4	976.793	976.858	179.877			

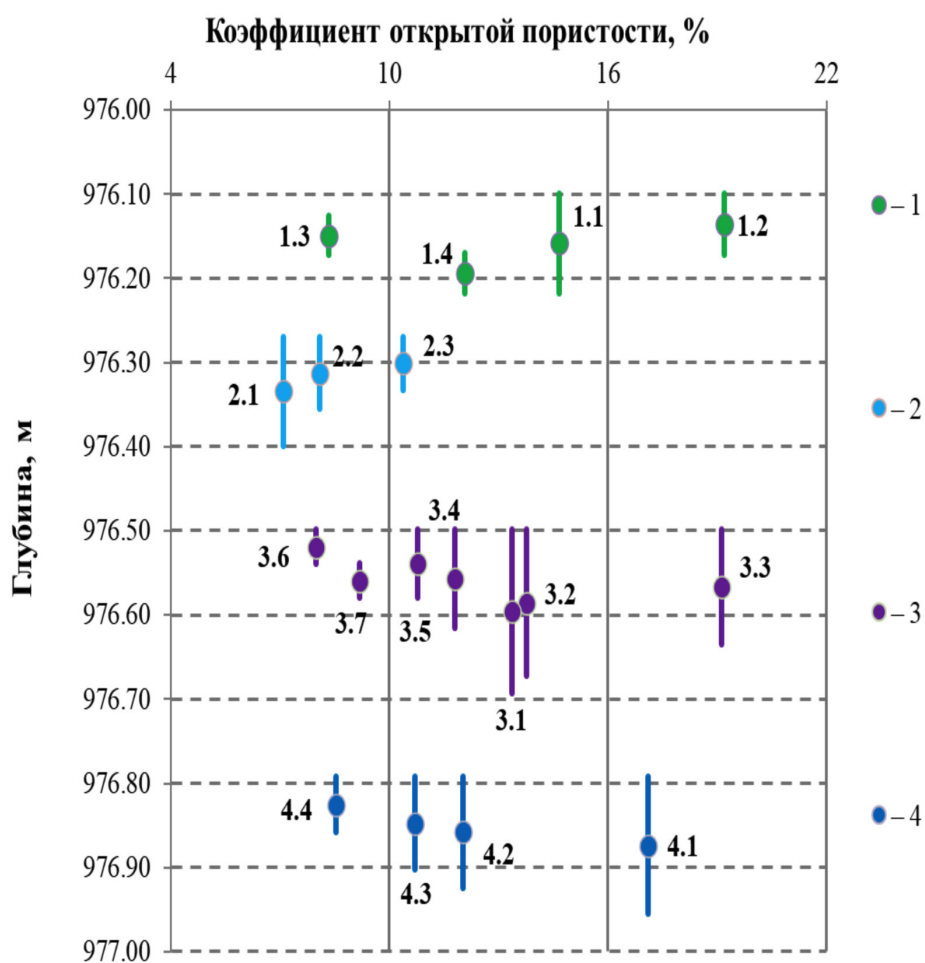


Рис. 2. Диаграмма изменения коэффициентов открытой пористости в зависимости от размеров образца. Номера точек соответствуют первоначальным образцам № 1–4 (обозначены как 1.1, 2.1, 3.1, 4.1) и их фрагментам разного размера (1.2, 2.2 и т.д.), длины которых по глубине отображены вертикальными цветными линиями. Цвета точек, обозначающих образцы и их фрагменты, представлены справа от графика (к примеру, образец 1 и его фрагменты обозначены зелеными точками). Вертикальный масштаб диаграммы 1:8 (цвет онлайн)

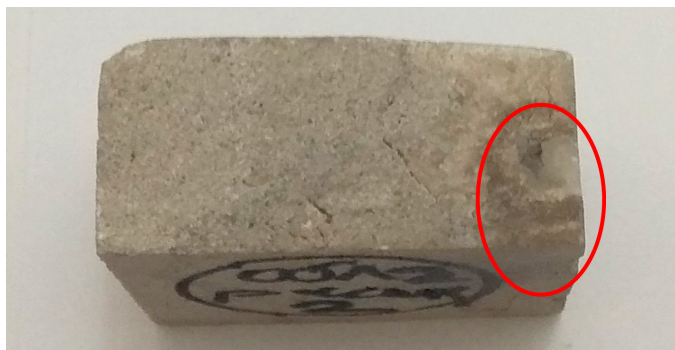


Рис. 3. Фрагмент образца № 1. Красным цветом выделена каверна диаметром 2–3 мм (цвет онлайн)



Рис. 4. Образец № 2 (а) и его фрагмент № 2.3 (б). Во фрагменте отчетливо проявляются пустоты (выделены красным) диаметром 2–3 мм (цвет онлайн)



Рис. 5. Фрагменты № 3.5 (слева) и № 3.6 (справа). Во фрагменте № 3.6 хорошо прослеживается стилолитовый шов с глинистым заполнением (цвет онлайн)

слоистости по стилолитовому шву (см. рис. 5), который вносил значительный вклад в емкость порового пространства фрагмента № 3.5.

Отсутствие видимых крупных трещин и стилолитовых швов в отдельных фрагментах известняков на глубинах 976.58–976.69 м (рис. 6) позволяет сделать вывод о росте межформенной пористости с увеличением объема рассматриваемого фрагмента. Высокая пористость фрагмента № 3.3 объясняется присутствием локальных каверн, что подтверждается более низкими значениями пористости фрагментов № 3.4, 3.5. В случае наличия довольно длинных макротрещин

во фрагментах № 3.3, 3.4 их показания были бы более сопоставимыми.

4. Трещиноватость и кавернозность верхней части цельного образца № 4 уменьшается с глубиной, что отчетливо проявляется при сравнении фрагмента № 4.4 (интервал 976.79–976.86 м) и фрагментов образца № 4 в интервалах 976.86–976.96 м (рис. 7).

Протяженность трещин во фрагменте № 4.4 составляет 5–6 см, диаметр каверн достигает 1–2 мм, однако пористость фрагмента № 4.4 значительно ниже, чем фрагментов № 4.1–4.3, следовательно, емкость порового простран-



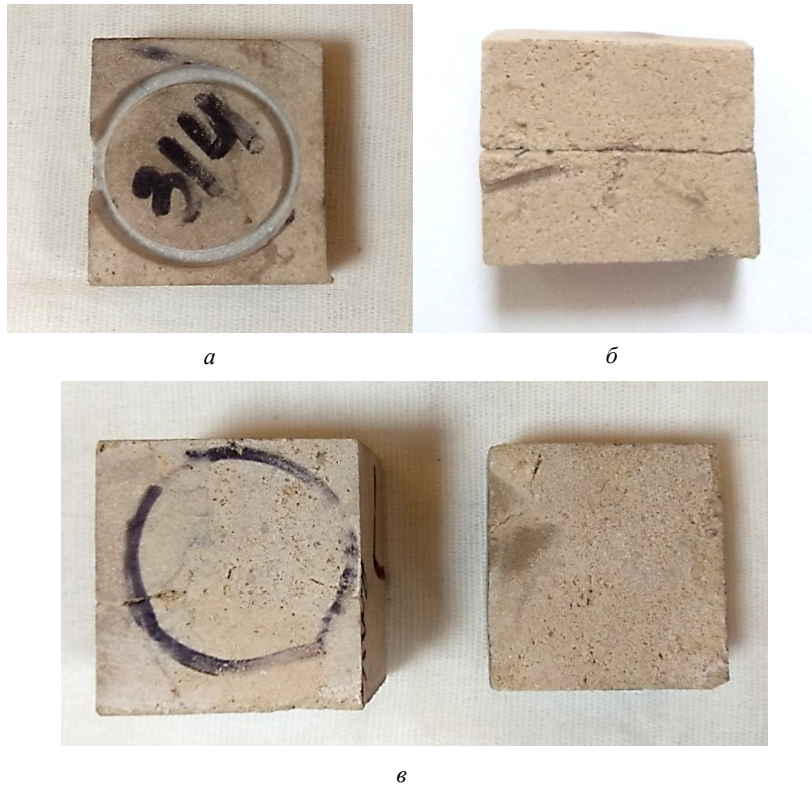


Рис. 6. Отдельные фрагменты образца № 3 на глубинах 976.58–976.69 м. Фрагмент (а), разделенный на две части перпендикулярно напластованию (б), позволяет судить об отсутствии стилолитовых швов и макротрещин по аналогии с фрагментом (в) (цвет онлайн)



Рис. 7. Фрагмент № 4.4 в разрушенном состоянии: вид сверху (а) и сбоку (б). Фрагменты образца № 4 (в), (г) в интервале 976.86–976.96 характеризуются отсутствием макротрещин и крупных каверн (цвет онлайн)



ства целого образца № 4 определяется не трещинами, а главным образом межформенными порами, количество которых растет с увеличением объема фрагмента.

Элементарный представительный объем интервала керна (первоначальный объем параллелепипеда 2112.49 см<sup>3</sup>) был определен по графику зависимости коэффициента открытой пористости от объема образца (рис. 8). Коэффициенты открытой пористости фрагментов А–Г, объем которых превышает 446.788 см<sup>3</sup> (табл. 3), были определены аналитическим способом по данным пористости образцов разного размера. Данные фрагменты являются расчетными («гипотетическими») объемами интервала керна с площадью основания 21 см<sup>2</sup>, объединяющими в себе фрагменты, представленные на рис. 2. Анализ флуктуации кривой средних значений пористости, установленных для каждого рассматриваемого объема, позволил установить интервал минимальных изменений пористости, находящийся в диапазоне от 776 до 2112 см<sup>3</sup>. Следовательно, минимальный представительный объем равен 776 см<sup>3</sup>, что соответствует образцу в форме параллелепипеда высотой 36 см с площадью основания 21 см<sup>2</sup>.

Результаты определения упругих свойств образцов стандартного размера № I–VIII, выбуренных в разных направлениях, представлены в табл. 4. Следует отметить, что глубина отбора каждого образца приурочена к середине его высоты. Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы.

1. Разность скоростей продольных волн и значений модуля Юнга для образцов № I, II, отобранных в направлениях № 1 и 2, равна соответственно 14.97 м/с и 11.59 ГПа.

2. Разность скоростей продольных волн и значений модуля Юнга для образцов № II, III, отобранных в направлениях № 2, 3, равна соответственно 349.12 м/с и 5.03 ГПа.

3. Разность скоростей продольных волн и значений модуля Юнга для образцов № IV, V, отобранных в направлениях № 2, 3, равна соответственно 930.06 м/с и 31.06 ГПа.

4. Разность скоростей продольных волн и значений модуля Юнга для образцов № V, VI, отобранных в направлениях № 2, 3, равна соответственно 179.04 м/с и 8.47 ГПа.

5. Разность скоростей продольных волн и значений модуля Юнга для образцов № VI, VII, отобранных в направлениях № 1, 3, равна соответственно 319.61 м/с и 6.17 ГПа.

Таблица 3

Объемы фрагментов А–Г

Фрагмент	Объем, см <sup>3</sup>
А	457.213
В	560.492
С	776.186
Д	1082.429
Е	1332.507
Ф	1461.660
Г	1779.484

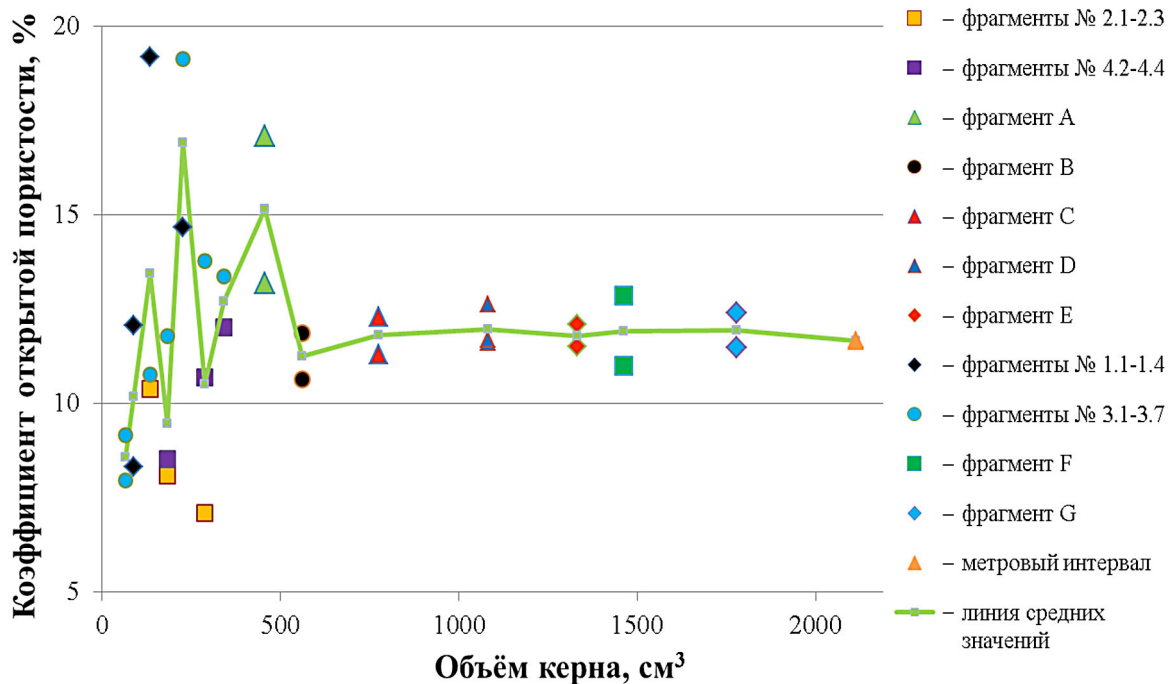


Рис. 8. График зависимости коэффициента открытой пористости от объема образца для интервала 976.0–977.0 м (цвет онлайн)



Коэффициент латеральной анизотропии был рассчитан как отношение модулей Юнга, определенных в направлениях № 1, 2, коэффициент вертикальной анизотропии – как отношение модулей Юнга, определенных в направлениях № 1, 3 или № 2, 3 [3, 15]. Полученные результаты представлены в табл. 5. Очевидно, что в случае минимальной анизотропии упругих характеристик коэффициент стремится к единице. Чем меньше коэффициент анизотропии, тем больше различия

между модулями Юнга по разным направлениям и, следовательно, тем больше неоднородность образца. Согласно табл. 5, латеральная анизотропия керна на глубинах 976.127–976.217 м выражена слабо, вертикальная анизотропия на всем интервале весьма значима (средняя анизотропия). Наличие упругой анизотропии связано с неоднородностью порового пространства, проявляющейся, как это было доказано, вследствие локального расположения каверн, стилолитовых швов.

Таблица 4

Упругие свойства образцов стандартного размера № I–VIII

№	Направление выбуривания	Глубина, м	Скорость продольной волны, м/с	Скорость поперечной волны, м/с	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона, д.е.
I	1	976.15	5087.72	2526.62	38.73	0.336
II	2	976.19	5102.69	2876.22	50.32	0.267
III	3	976.29	5451.81	2730.02	45.29	0.333
IV	3	976.32	5565.82	3287.86	67.66	0.232
V	2	976.52	4635.76	2486.68	36.6	0.298
VI	3	976.60	4456.72	3130.66	45.07	0.013
VII	1	976.65	4776.33	2501.89	38.9	0.31
VIII	1	976.88	5427.25	3001.28	56.95	0.279

Таблица 5

Коэффициенты латеральной и вертикальной анизотропии

Отношение направлений	Латеральная анизотропия, д.е.	Вертикальная анизотропия, д.е.	Глубины расположения образцов, м
1/2	0.770	–	976.127–976.217
2/3	–	1.111	976.171–976.301
2/3	–	0.541	976.301–976.539
2/3	–	0.812	976.499–976.614
1/3	–	0.863	976.579–976.672

## Заключение

Результаты исследования образцов разного размера позволили установить, что проявление масштабного эффекта пористости в известняках башкирского яруса на глубинах 976.0–977.0 м связано с наличием локальных пустот диаметром 2–3 мм (каверн) и трещин длиной до 4–5 см в образцах небольшого объема, влияние (вклад) которых уменьшается по мере увеличения линейных размеров кернов, что было показано на общем графике зависимости коэффициента открытой пористости от объема образца.

Значения открытой пористости интервала керна в форме параллелепипеда длиной 1 м при площади основания 22 см<sup>2</sup>, установленные по данным пористости параллелепипедов первоначального размера и образцов объемом 133 см<sup>3</sup>, практически совпадают, что объясняется сильной неоднородностью порового пространства образцов любого размера. Другими словами, образцы объемом 133 см<sup>3</sup> расположены в зонах

неоднородности, следовательно, довольно точно отображают поровое пространство всего интервала.

Исследование репрезентативного образца керна минимального объема, равного 776 см<sup>3</sup>, позволит с высокой точностью определить достоверную пористость метрового интервала известняков башкирского яруса методом жидкостенасщения.

Значения модулей Юнга свидетельствуют о значительной вертикальной анизотропии упругих свойств на всем интервале керна, связанной с неоднородностью порового пространства.

## Библиографический список

1. Гурбатова И. П., Кузьмин В. А., Михайлов Н. Н. Влияние структуры порового пространства на масштабный эффект при изучении пористости сложнопостроенных карбонатных коллекторов // Геология нефти и газа. 2011. № 2. С. 74–82.
2. Гурбатова И. П., Михайлов Н. Н. Масштабные и анизотропные эффекты при экспериментальном опреде-





- лении физических свойств сложнопостроенных коллекторов // НТВ Каротажник. 2011. № 7. С. 138–145.
3. Гурбатова И. П., Еникеев Б. Н., Михайлов Н. Н. Элементарный представительный объем в физике пласта. Ч. 1. Основные положения и их физическая интерпретация // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 6. С. 62–68.
4. Дортман Н. Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика) : справочник геофизика. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Недра, 1984. 455 с.
5. Батулин Ю. Е. Проектирование и разработка нефтяных и газонефтяных месторождений Западной Сибири : в 2 кн. Кн. 2. Разработка месторождений. Тюмень : ТИУ, 2016. 205 с.
6. Гасеми М. Ф., Баюк И. О. Петроупругое моделирование карбонатных пород : обзор некоторых методов теории эффективных сред и аспектов их применимости // Экспозиция Нефть Газ. 2018. № 5 (65). С. 21–25
7. Фролова Ю. В., Патрушева Н. А. Сравнительный анализ статистического и динамического модулей упругости гранитов и гнейсов Алданского щита // СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. 2016. № 18. С. 100–105.
8. Haimson B., Fairhurst C. Hydraulic fracturing in porous permeable materials // Journal of Petroleum Technology. 1969. Vol. 21, № 7. P. 811–817.
9. Eberli G. P., Baechle G. T., Anselmetti F. S., Incze M. L. Factors Controlling Elastic Properties in Carbonate Sediments and Rocks. The Leading Edge, 2003. P. 665–660.
10. Недоливко Н. М., Ежова А. В. Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов : учеб. пособие. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 172 с.
11. Тихоцкий С. А., Фокин И. Л., Баюк И. О., Белобородов Д. Е., Березина И. А. Комплексные лабораторные исследования керна в ЦПГИ ИФЗ РАН // Наука и технологические разработки. 2017. Т. 96, № 2. С. 17–32.
12. Dunham R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1962. Vol. 1. P. 108–121.
13. ГОСТ 26450.1–85. Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщенным. Москва : Издательство стандартов, 1985. 12 с.
14. Tiab D., Donaldson E. C. Petrophysics : theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Gulf Publishing Company, Houston Tx., 2012. 950 p.
15. Шацов Н. И., Федоров В. С., Кулиев С. М. Бурение нефтяных и газовых скважин : учеб. пособие. Москва : Гостехиздат, 1961. 666 с.

Поступила в редакцию 01.01.2021, после рецензирования 08.04.2021, принята к публикации 15.05.2021  
Received 01.01.2021, revised 08.04.2021, accepted 15.05.2021