

# **МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН  
(ГЕОХИ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ИФЗ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН)

Петрофизическая комиссия Межведомственного  
Петрографического комитета при Отделении Наук о Земле РАН

## **ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ**

Москва, 27 - 29 сентября, Борок, 1 октября 2021 г.

### **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**



2021

# ПАСПОРТ ПРОЧНОСТИ КОЛЛЕКТОРА ЛЕНИНГРАДСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Жуков В.С.**

Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта (ИФЗ) РАН, [Zhukov@ifz.ru](mailto:Zhukov@ifz.ru)

**Введение.** Процессы разработки месторождений УВ вызывают изменения напряженного состояния коллекторов нефти и газа [Жуков, 2010; Жуков, Семенов, Кузьмин, 2018; Zoback, 2007], что обуславливает необходимость оценки их деформационно-прочностных свойств, которые необходимо знать, как при строительстве скважин, так и при разработке месторождений УВ [Жуков, Кузьмин, 2003; Жуков 2020]. Все это определяет актуальность получения фактических экспериментальных данных о прочности коллекторов углеводородов, в частности, о пределах прочности породы на сжатие и растяжение.

**Методика.** Были испытаны сухие цилиндрические образцы песчаника пористостью от 15,72 до 29,86%. Определения прочности и статических упругих свойств выполнялись в атмосферных условиях. Деформация образцов измерялась с точностью  $\pm 0,001$  мм.

Нарушение прямолинейной зависимости «напряжение-деформация» свидетельствовало о переходе от упругой деформации к пластической деформации образца, сопровождающемуся возникновением большого числа трещин. Испытания образцов продолжали до их разрушения, которое фиксировалось по наибольшей нагрузке, выдержанной им.

Испытания образцов при одноосном сжатии и растяжении позволили определить их пределы прочности, статические модуль Юнга  $E$  и модуль сдвига  $G$  и коэффициент Пуассона (таблица).

Образец	К-т пористости, %	К-т проницаемости, мД	Прочность на сжатие, МПа	$E$ (стат), ГПа	$G$ (стат), ГПа	К-т Пуассона, б/р	Прочность на растяжение, МПа	К-т пластичности, б/р.
004	30,10	852	6,674	0,966	0,424	0,139	1,4836	1,732
079	29,90	1137	7,409	1,195	0,536	0,116	2,3389	1,300
102	31,90	628	14,70	1,390	0,662	0,050	1,8393	1,299
111	26,80	12,4	16,33	2,363	1,077	0,096	2,5094	1,485
141	31,20	602	20,68	2,725	1,255	0,086	2,207	1,207

Сопоставление прочности на сжатие исследованных образцов с модулем Юнга и модулем сдвига, определенных статическим способом, показало (рис. 1а), что достоверности аппроксимации линейными зависимостями довольно высокие (0,87 и 0,84) а коэффициент корреляции превышает 0,9, что позволяет рекомендовать их использование для оценки прочностных свойств

исследованных образцов при геомеханическом моделировании и анализе процесса разработки Ленинградского месторождения.

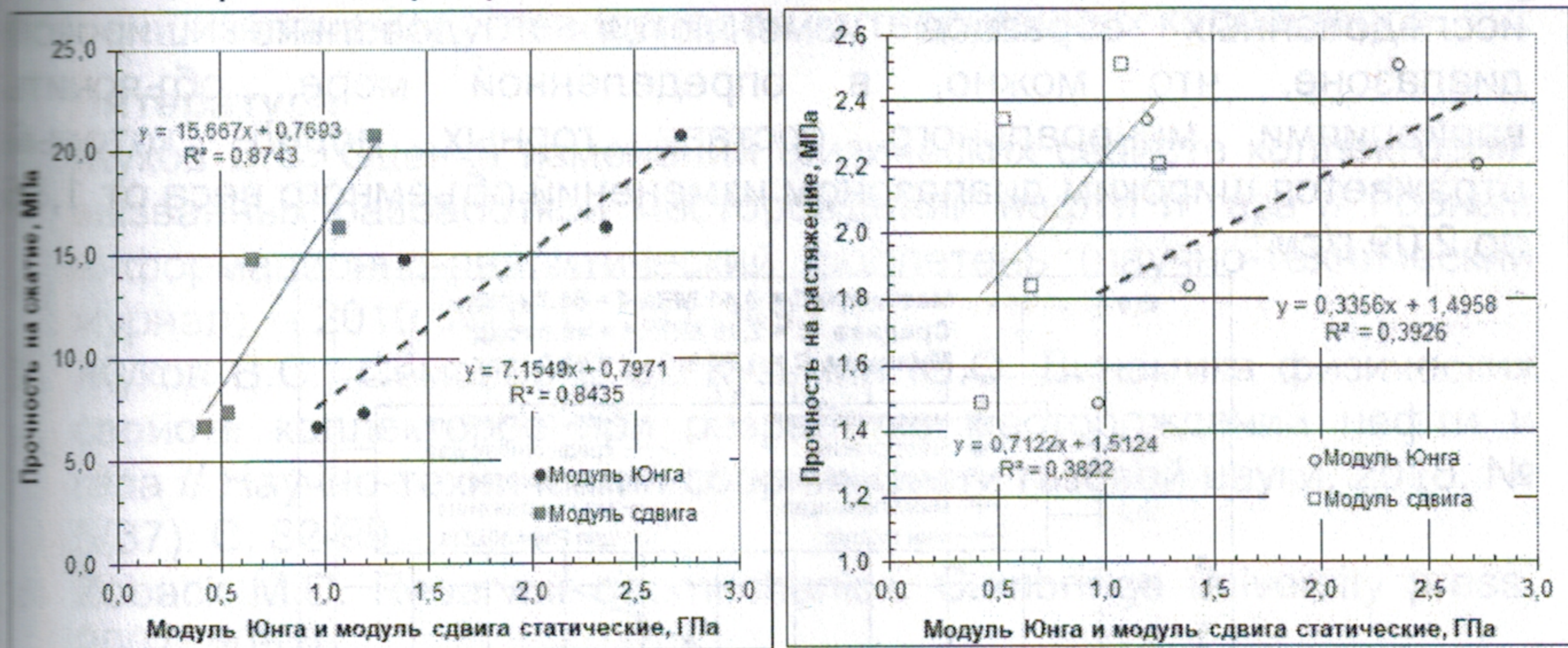


Рис. 1. Зависимость прочности на а) сжатие и б) растяжение от модуля Юнга и модуля сдвига.

Сопоставление прочности на растяжение с модулем Юнга и модулем сдвига, показало (рис. 1б), что достоверности аппроксимации линейными зависимостями гораздо меньше и не превышают 0,37, а коэффициент корреляции не более 0,63.

**Паспорт прочности.** Разрушение горной породы, т.е. переход от упругого состояния к пластичному в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора, вызывается совместным действием нормальных и касательных напряжений и показывает связь касательных и нормальных напряжений, действующих в горной породе [Карташев и др., 1979; Турчанинов и др., 1989]. Нормальные и касательные напряжения могут быть представлены в виде соответствующих кругов предельных напряжений. Напряженному состоянию при растяжении соответствует малый полукруг, а напряженному состоянию при сжатии большой полукруг (рис.2). Кривая, огибающая круги предельных напряжений, называется огибающей кругов Мора или паспортом прочности и представляет совокупность точек, характеризующих предельной напряженное состояние горной породы (рис. 2).

Для построения обобщенного паспорта прочности, были использованы максимальные, средние и минимальные значения пределов прочности исследованных образцов горных пород. Полученные огибающие кругов Мора позволяют для каждой точки, лежащей на них, оценить значения нормальных и касательных напряжений при переходе от упругого к пластичному деформированию, а также рассчитать сцепление (когезию) и угол внутреннего трения. Среднее значение сцепления 2,86 МПа,

изменения от 1,77 до 4,11 МПа. Изменения угла внутреннего трения от  $40,2^\circ$  до  $51,7^\circ$ . Очевидно, что прочностные свойства исследованных образцов изменяются в довольно широком диапазоне, что можно, в определенной мере, объяснить вариациями минерального состава горных пород, который отражается широким диапазоном изменений объёмного веса от  $1,85$  до  $2,09 \text{ г/см}^3$ .

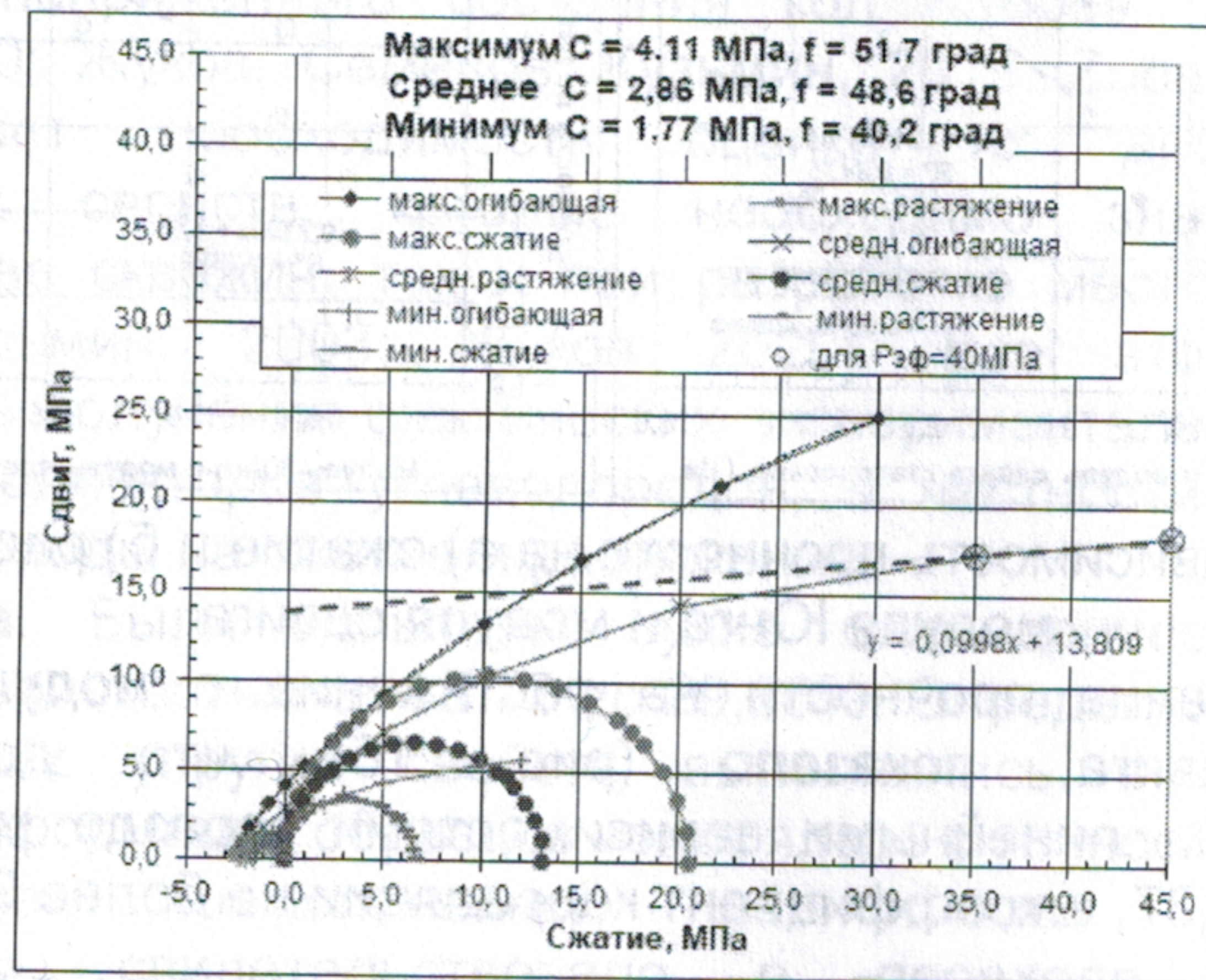


Рис. 2. Круги Мора и их огибающие.

Практический интерес представляет определение упругих характеристик, а также перехода от упругой деформации к пластической в условиях, моделирующих пластовые. Для этого нами была построена касательная к огибающей кругов Мора для средних величин прочности в диапазоне сжимающих напряжений 35-40 МПа, близких по величине к напряжениям, действующим в пластовых условиях (рис. 2), которая позволила получить угол внутреннего трения равный  $25,3$  градусов и сцепление  $13,8$  МПа, которые отражают границу перехода от упругого состояния к пластическому состоянию в условиях, близких к действующим в пласте.

**Заключение.** Экспериментальные исследования прочностных и упругих статических свойств коллектора Ленинградского газоконденсатного месторождения позволили выявить линейную зависимость предела прочности при сжатии от статических модулей Юнга и сдвига с высокой степенью достоверности аппроксимации и корреляции. Паспорт прочности, аппроксимированный для диапазона сжимающих напряжений 35-45 МПа, близких к действующим в пластовых условиях, позволил дать оценку угла внутреннего трения величиной  $25,3$  градусов и сцепления  $13,8$  МПа. Полученные экспериментальные оценки прочностных свойств

коллекторов могут быть использованы для геомеханического моделирования залежи и проектирования мероприятий повышения степени извлечения углеводородов из терригенных коллекторов.

### Литература

1. Жуков В.С. Оценка изменений физических свойств коллекторов, вызванных разработкой месторождений нефти и газа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. № 6. С. 341-349.
2. Жуков В.С., Семенов Е.О., Кузьмин Ю.О. Динамика физических свойств коллекторов при разработке месторождений нефти и газа // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2018. № 5(37). С. 82-99.
3. Zoback M.D. Reservoir geomechanics. Cambridge university press. 2007. 505 p.
4. Жуков В.С., Кузьмин Ю.О. Физическое моделирование современных геодинамических процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 5. С. 71–77.
5. Жуков В.С. Оценка прочностных и упругих свойств горных пород дагинского горизонта шельфа Сахалина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 4. С. 44-57.
6. Карташов Ю.М., Матвеев Б.В., Михеев Г.В. и др. Прочность и деформируемость горных пород. – М.: Недра, 1979. – 269 с.
7. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. М.: Недра, 1989, – 448с.

### THE STRENGTH CERTIFICATE OF THE COLLECTOR OF THE LENINGRAD GAS CONDENSATE FIELD

**Zhukov V.S.**

O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth (IFZ) RAS, [Zhukov@ifz.ru](mailto:Zhukov@ifz.ru)

Experimental studies of the strength and elastic static properties of the reservoir of the Leningrad gas condensate field have revealed a linear dependence of the compressive strength on the static Young and shear modules with a high degree of approximation and correlation reliability. The strength passport, approximated for the range of compressive stresses of 35-45 MPa, close to those operating under reservoir conditions, allowed us to estimate the internal friction angle of 25.3 degrees and the adhesion of 13.8 MPa. The obtained experimental estimates of the strength properties of reservoirs can be used for geomechanical modeling of the deposit and the design of measures to increase the degree of extraction of hydrocarbons from terrigenous reservoirs.