

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ЗЕРЕН НА ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЯМР ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

*Никита Александрович Голиков*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, старший научный сотрудник, e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, доцент кафедры геоинформационных систем

*Тимофей Александрович Якушенко*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, студент геолого-геофизического факультета, e-mail: YanushenkoTA@ipgg.sbras.ru

В статье описаны результаты исследований петрофизических свойств и изучения образцов методом ядерно-магнитный резонанса (ЯМР). Измерения проведены на коллекции искусственных образцов с различающимся размером зерен. Описаны методика изготовления образцов, приведено сопоставление результатов измерения петрофизических свойств разными методами. Исследованы количественные связи между размером зерен песка, из которого изготовлены образцы, фильтрационно-емкостными свойствами и распределением времен релаксации ЯМР спектра образцов.

**Ключевые слова:** петрофизические свойства, размер зерен, ядерно-магнитный резонанс, время релаксации

## STUDY OF THE INFLUENCE OF GRAIN SIZE ON PETROPHYSICAL PROPERTIES AND NMR CHARACTERISTICS OF ARTIFICIAL SAMPLES

*Nikita A. Golikov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD., Senior Researcher, e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, st. Pirogova 2, Senior Lecturer, Department of Geology of Oil and Gas Fields; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, K. Marx Ave., 20, Associate Professor of the Department of Geographic Information Systems, e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

*Timofey A. Yanushenko*

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, st. Pirogova 2, Department of Geology and Geophysics, student e-mail: YanushenkoTA@ipgg.sbras.ru

The article presents the results of studies of petrophysical properties and the study of samples by the method of nuclear magnetic resonance (NMR). The measurements were carried out on a collection of artificial core samples with different grain sizes. The procedure for preparing the samples is described, and the comparison of the results of measuring the petrophysical properties by different methods is given. The quantitative relationships between the size of the sand grains from which the samples are made, the filtration-capacity properties and the distribution of the relaxation times of the NMR spectrum of the samples are investigated.

**Keywords:** petrophysical properties, grain size, nuclear magnetic resonance, relaxation time

Метод ЯМР-релаксометрии является относительно новым методом исследования структуры порового пространства коллекторов нефти и газа. Метод основан на зависимости времен релаксации ядер атомов водорода во внешнем магнитном поле от расстояния до поверхности пор. Результатом ЯМР-измерений является релаксационная кривая, из которой при помощи математических преобразований получают распределение времен релаксации [1,2]. Интерпретация данных ЯМР основана на представлении порового пространства в виде набора сфер различного диаметра, что принципиально не соответствует структуре гранулярных горных пород. Сложное строение скелета учитывается с помощью параметра «релаксивности», что требует отдельного измерения этой величины. Поэтому возникает задача установления связей между параметрами структуры зернистых горных пород (частности размером зерен) и результатами стандартной интерпретации релаксационной кривой ЯМР [3].

Для проведения исследований создана коллекция искусственных образцов (10 штук) из песка различной фракции (с диаметром песчинок от 1мм до 0,04мм) кондиционированных криогелем [4]. Для изготовления образцов отмытый и просушенный песок сначала отсеивали на наборе сит. Из каждой фракции отбирали порцию песка и утрямбовывали во влажном виде в специальные цилиндрические формы одинакового размера. Отмеренные таким образом порции просушивали и смешивали с 10% раствором криогеля ПВС-10. Количество криогеля рассчитывали, так, чтобы его объем составил 36% общего объема образца, что соответствует естественной пористости утрямбованного песка. Смесь тщательно утрямбовывали в формы и подвергали 5 –циклам заморозки- разморозки. Каждый цикл длился 24 часа, что гарантировало полное промерзание и оттаивания образцов. Затем образцы сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянного веса. При сушке из образца удаляется вода, входящая в состав криогеля (90% по объему) и образуется пустое поровое пространство.

Измерение фильтрационно-емкостных свойств проводилось по стандартным методикам

Таблица 1

Характеристика образцов

Образец	Размер сита	Фракция	Средний размер зерен, мм
Д1	1-0,630	Крупная фракция	0,815
Д2	0,630-0,315		0,4725
Д3	0,315-0,250		0,2825
Д4	0,250-0,200	Средняя фракция	0,225
Д5	0,200-0,160		0,18
Д6	0,160-0,125		0,1425
Д7	0,125-0,100	Мелкая фракция	0,1125
Д8	0,100-0,063		0,0815
Д9	0,063-0,050		0,0565

Пористость и проницаемость сухих образцов по гелию измерена газовольюметрическим методом на установке АР-608, позволяющей измерить оба параметра одновременно. Кроме того, измерена проницаемость по газу на установке Горояна (ГОСТ 26450.2-85) и пористость методом жидконасыщения (ГОСТ 26450.1-85), при этом образцы насыщали водой с минерализацией 30 г/л и затем проведены исследования на ЯМР спектрометре МСТ 025 при 100% насыщенности

Затем ЯМР исследования проводили повторно при остаточной водонасыщенности, которая создавалась методом центрифугирования

Результаты измерений петрофизических свойств представлены в табл. 2 и рис.1.

Как видно из приведенных данных, пористость и проницаемость при измерении разными методами различны. Пористость по жидконасыщению занижена по сравнению с прибором АР-608,

Таблица 2

Пористость и проницаемость образцов, измеренная разными методами

Образец	Фракция мм	АР-608		ГОСТ 26450 -85		ЯМР
		Кп, %	Кпр, Д	Кп, %	Кпр, Д	Кп, %
Д1	0.815	38.06	28.6	34.4	11.7	24.34
Д2	0.4725	38.83	19.1	36.6	17.3	30.94
Д3	0.2825	40.16	8.8	33.2	7.9	29.2
Д4	0.225	43.07	2.2	36.2	2.5	31.48
Д5	0.18	44.04	1.8	33.8	2.4	28.08
Д6	0.1425	45	2	35.4	2.5	27.29
Д7	0.1125	45.77	3.3	40.8	4.5	10.86
Д8	0.0815	42.55	0.9	37.6	1.1	4.76
Д9	0.0565	43.11	2	42.7	2.6	14.55

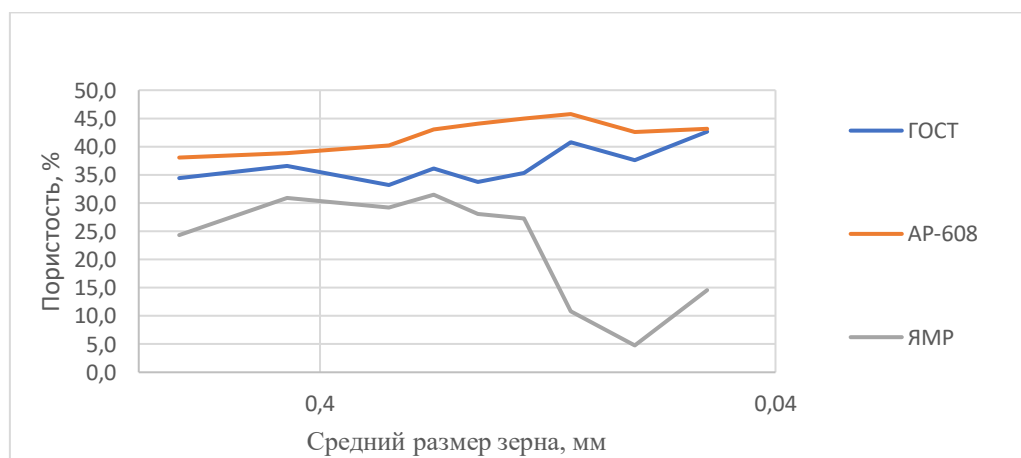


Рис.1. Пористость образцов, измеренная разными методами

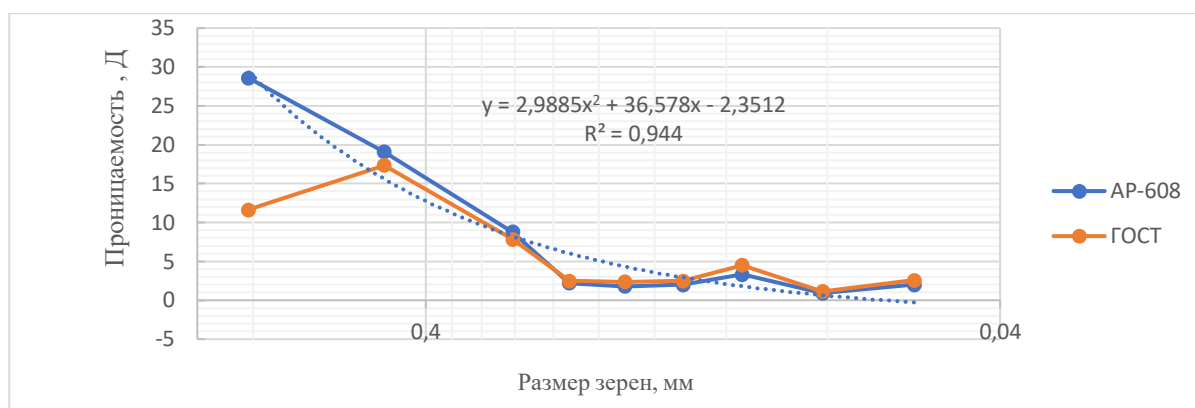


Рис. 2. Проницаемость образцов, измеренная разными методами

Проницаемость образцов, измеренная по ГОСТ26450.1-85 и порозиметром AP-608, отличаются незначительно, кроме образца Д1, который имеет очень большую проницаемость, выходящую за диапазон метода.

Проницаемость образцов закономерно уменьшается с уменьшением размера зерен по квадратичному закону с коэффициентом корреляции  $R=0,97$ , что согласуется теоретической зависимостью проницаемости от размера зерен Слихтера. При этом проницаемость образцов с размером зерен  $< 0,225$  мм остается приблизительно постоянной. По-видимому, это связано с наличием в порах криогеля.

Структура порового пространства, наряду с пористостью и проницаемостью, определяет количество связанной воды, которая остается неподвижной в коллекторе при фильтрации через него воды и нефти (газа). Результаты измерения водонасыщенности приведены на рис. 3.

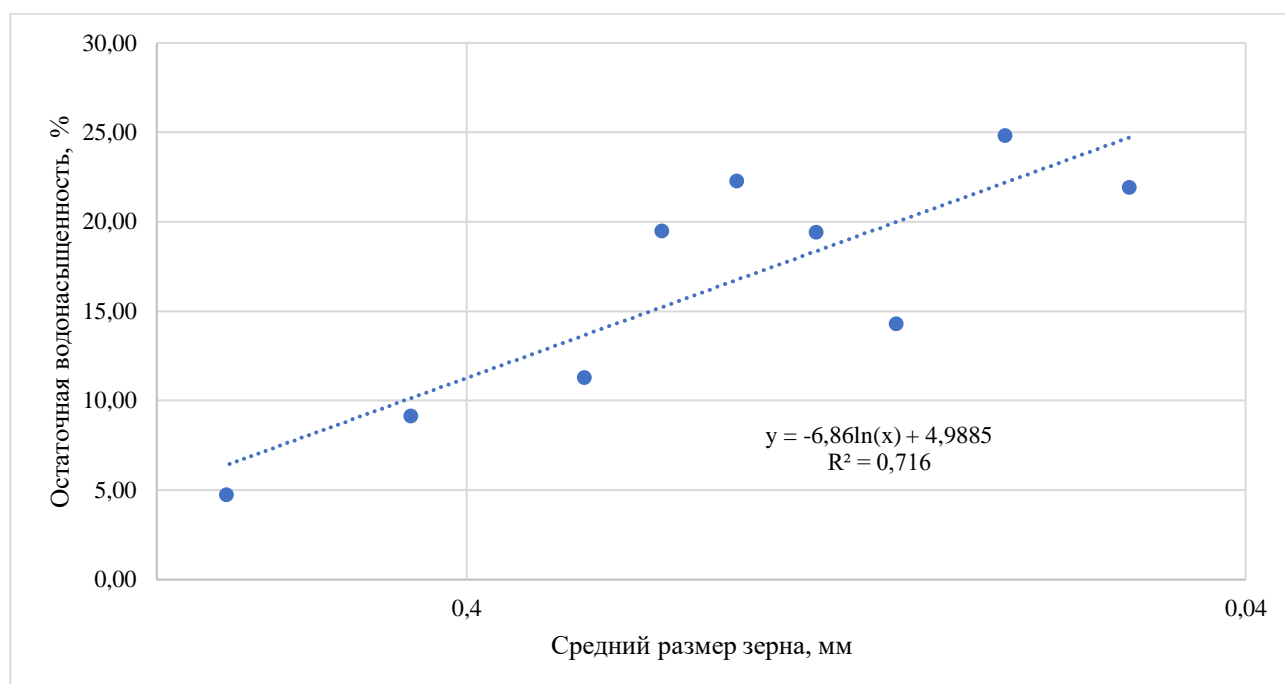


Рис. 3. Зависимость остаточной водонасыщенности от размера зерен

Остаточная водонасыщенность закономерно возрастает с уменьшением размера зерен по экспоненциальному закону. Однако, при уменьшении размера зерен меньше 0,225 мм, гладкая зависимость нарушается.

Распределение времен поперечной релаксации  $T_2$  в зависимости от размера зерен показано на рис. 4.

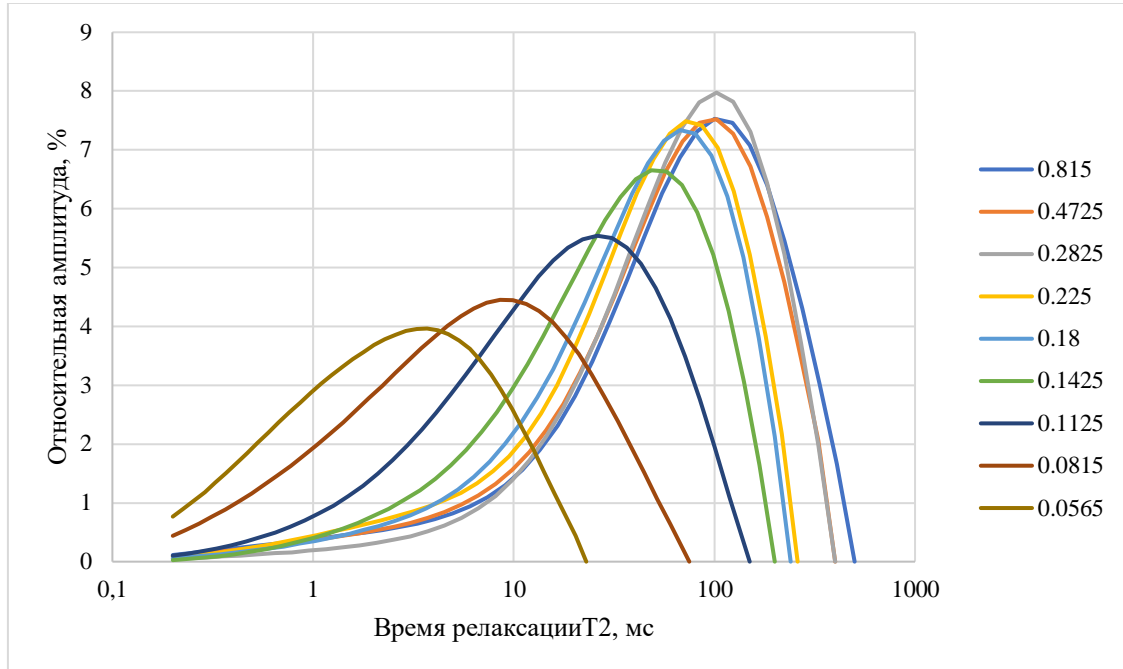


Рис. 4. Распределение времен поперечной релаксации  $T_2$  в зависимости от размера зерен

Максимум распределения для крупнозернистых образцов совпадает с распределением времен для свободной воды. Влияние поверхности пор начинает проявляться при уменьшении размера зерен меньше 0.225 мм. С уменьшением размера зерен и, соответственно, размера пор время максимума релаксации уменьшается со 102 мс до 3.7 мс, рис.5.

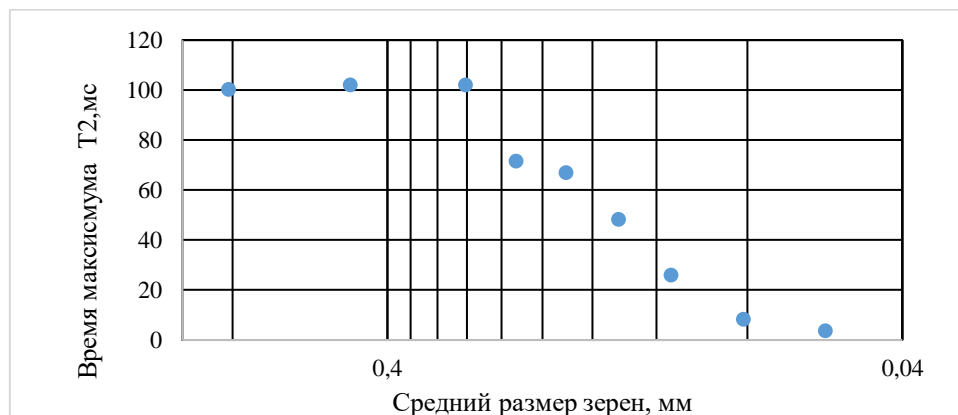


Рис. 5. Влияние размера зерен на максимум распределения времени релаксации  $T_2$

## Заключение

Проведены исследования влияния размера зерен на петрофизические и ЯМР характеристики искусственных образцов, изготовленных из зерен одинакового размера. Показано, что размер зерен сильно влияет на проницаемость и остаточную водонасыщенность образцов, получены количественные связи этих параметров с размерами зерен. Установлено, что распределение времен релаксации начинает «чувствовать» поверхность скелета начиная с размера зерен меньше 0.225 мм размера, что соответствует размеру пор  $\sim 0.045$  мм. полученные данные могут служить основой для правильной количественной интерпретации данных ЯМР спектроскопии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксельрод С.М. Современные тенденции в геолого-технологических исследованиях, проводимых в процессе бурения скважин (по материалам зарубежной литературы) // Каротажник. – 2015. – №6. – С. 77-110
2. Белорай Я.Л., Кононенко И.Я. Использование ядерно-магнитных исследований для геоинформационного обеспечения строительства скважин // Каротажник. – 2006. – №1. – С. 53-65.
3. Мезин А.А., Шумскайте М.Й., Голиков Н.А., Бурухина А.И. Связь комплексной диэлектрической проницаемости нефти с ее физико-химическими свойствами и ЯМР-характеристиками // Геофизические технологии. – 2019. – № 4. – С. 24-34
4. Шумскайте М.Й., Глинских В.Н. Экспериментальное исследование зависимости ЯМР-характеристик от удельной поверхности и удельного электрического сопротивления песчано-алевритно-глинистых образцов // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 10. С. 1911-1918.
5. Алтунина Л.К., Фуфаева М.С., Филатов Д.А., Сваровская Л.И., Ган-Эрдэнэ Т. Применение криогеля для стабилизации почв, подверженных дефляции. Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 3, с. 83–88

## REFERENCES

1. Aksel'rod S.M. Sovremennye tendencii v geologo-tekhnologicheskikh issledovaniyah, provodimyyh v processe bureniya skvazhin (po materialam zarubezhnoj literatury) // Karotazhnik. – 2015. – №6. – S. 77-110
2. Beloraj YA. L., Kononenko I.YA. Ispol'zovanie yaderno-magnitnyh issledovaniy dlya geoinformacionnogo obespecheniya stroitel'stva skvazhin // Karotazhnik. – 2006. – №1. – S. 53-65.
3. Mezin A.A., SHumskajte M.J., Golikov N.A., Buruhina A.I. Svyaz' kompleksnoj dielektricheskoy pronicaemosti nefiti s ee fiziko-himicheskimi svojstvami i YAMR-harakteristikami // Geofizicheskie tekhnologii. – 2019. – № 4. – S. 24-34
4. SHumskajte M.J., Glinskih V.N. Eksperimental'noe issledovanie zavisimosti YAMR-harakteristik ot udel'noj poverhnosti i udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya peschano-alevritoglinistykh obrazcov // Geologiya i geofizika. 2016. T. 57. № 10. S. 1911-1918.
5. Altunina L.K., Fufaeva M.S., Filatov D.A., Svarovskaya L.I., Gan-Erdene T. Primenenie kriogelya dlya stabilizacii pochv, podverzhennyh deflyacii. Kriosfera Zemli, 2013, t. XVII, № 3, S. 83–88.

© Н. А. Голиков, Т. А. Якушенко, 2021