

## ОСОБЕННОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЯМР-ИССЛЕДОВАНИЙ БУРОВОГО ШЛАМА

### *Мария Йоновна Шумскайте*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (913)482-41-37, e-mail: ShumskaiteMI@ipgg.sbras.ru

### *Михаил Юрьевич Ревва*

Weatherford, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Челюскинцев, 10, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (982)537-50-22, e-mail: Mikhail.Revva@weatherford.com

### *Никита Александрович Голиков*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, доцент кафедры геоинформационных систем, тел. (383)363-80-31, e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

### *Вячеслав Николаевич Глинских*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор физико-математических наук, доцент, зав. лабораторией; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, профессор кафедры геофизических систем, тел. (383)330-45-05, e-mail: GlinskikhVN@ipgg.sbras.ru

Выполнены ЯМР-исследования образцов керна разной степени дезинтеграции для определения их фильтрационно-емкостных свойств в зависимости от степени измельчения. Установлено, что результаты не зависят от размера частиц измеряемого образца и согласуются с результатами стандартных петрофизических исследований, выполненных на образцах керна. Показано, что данные, оперативно полученные на буровом шлеме ЯМР-методом, могут использоваться в качестве начальной информации при интерпретации данных ГИС до проведения детальных петрофизических исследований керна. Результаты изучения бурового шлама позволяют получить фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов даже на интервалах без отбора керна.

**Ключевые слова:** буровой шлам, буровой раствор, релаксационные характеристики, ядерный магнитный резонанс.

## FEATURES OF LABORATORY NMR STUDY OF DRILL CUTTINGS

### *Mariya Y. Shumskayte*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (913)482-41-37, e-mail: ShumskaiteMI@ipgg.sbras.ru

***Mikhail Y. Revva***

Weatherford, 625000, Russia, Tyumen, Chelyskincev 10, Ph. D., Researcher, phone: (982)537-50-22, e-mail: Mikhail.Revva@weatherford.com

***Nikita A. Golikov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher; Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor of the Department of Geophysical Systems, phone: (383)363-80-31, e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

***Vyacheslav N. Glinskikh***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Associate Professor, Head of Laboratory; Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor of the Department of Geology of Oil and Gas Field; Novosibirsk State Technical University, 20, Prospect K. Marx St., Novosibirsk, 630073, Russia, Professor of the Department of Geophysical Systems, phone: (383)330-45-05, e-mail: GlinskikhVN@ipgg.sbras.ru

NMR studies of core samples of different disintegration degrees were carried out to determine their reservoir properties depending on the degree of size reduction. It was established that the results do not depend on the particle size of the measured sample and are consistent with the results of standard petrophysical studies performed on core samples. It is shown that the data operatively obtained on the drill cuttings by the NMR method can be used as initial information in interpreting production well logging before conducting detailed petrophysical core studies. The results of studying drill cuttings allow to obtain reservoir properties of productive layers even at intervals without core sampling.

**Key words:** drill cuttings, drill fluid, relaxation characteristics, nuclear magnetic resonance.

При разработке нефтяных и газовых месторождений самой важной информацией о пласте-коллекторе являются его фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), детальный анализ которых проводится в лабораторных условиях на образцах керна. Достоверность и представительность полученной петрофизической информации зависит от качества отобранного керна. На интервалах пласта-коллектора без отбора керна необходимую информацию о ФЕС могут дать исследования, проведенные на выносимом шламе как в лабораторных условиях, так и непосредственно на скважине в процессе бурения. Одним из методов оперативного изучения ФЕС шлама является ЯМР-релаксометрия, которая хорошо зарекомендовала себя при изучении петрофизических параметров образцов пород-коллекторов произвольной формы и размера [1-5]. Одним из вопросов, возникающих при таких исследованиях, является сопоставимость данных, полученных на кусочках шлама разного размера.

На первом этапе исследований для оценки сходимости данных ЯМР, полученных на шламе разного размера, выполнены измерения образцов керна при разной степени дезинтеграции на релаксометре «МСТ-05». Подготовка образцов заключалась в следующем. Сначала образец керна насыщается минерализованной водой (6 г/л) под вакуумом в течении 48 часов, выполняется

ЯМР-измерение. Затем образец аккуратно раскалывается пополам, помещается в емкость с водой на час, лишняя влага с поверхности убирается с помощью фильтровальной бумаги и снова проводится ЯМР-измерение. Далее каждая часть снова раскалывается пополам. После разрушения образцов обломки просеиваются через сито размером 1мм, чтобы избавиться от пыли, потом 2 мм для получения фракции 1-2 мм. Более крупные обломки добавляются к отсеянной фракции. Все ЯМР-эксперименты проводятся при одинаковых параметрах, чтобы учесть вклад от одних и тех же пор. На каждом этапе регистрировалась релаксационная кривая, которая после математической обработки переводится в распределение по временам поперечной релаксации, соответствующее распределению пор по размерам полностью флюидонасыщенной породы (рис. 1).

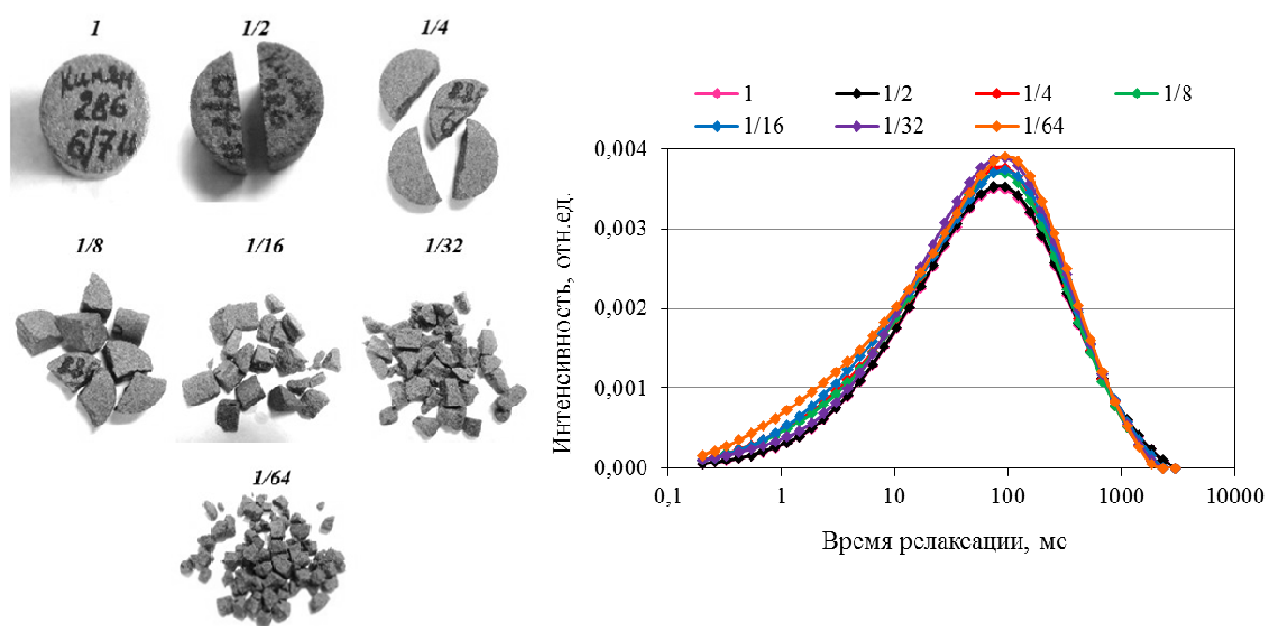


Рис. 1. Этапы получения образцов разной степени дезинтеграции и их спектры по временам поперечной релаксации

На графике видно, что с изменением размерности спектры по временам поперечной релаксации меняются незначительно. Амплитуда спектров увеличивается на 1-5% с увеличением степени дезинтеграции, при этом разница амплитуд спектров образца керна и его дискретного состояния 1/64 составляет 11%. Вероятно, это связано с увеличением удельной поверхности образца, который удерживает большее количество воды. Увеличение амплитуды также может быть связано с тем, что на поверхности мелких частиц остается водная пленка, которая не убирается фильтровальной бумагой. По этим же причинам наблюдаются и некоторые отличия в параметрах образцов на разной стадии дискретизации. Коэффициент пористости незначительно меняется с увеличением степени дезинтеграции (табл. 1).

Значения коэффициента пористости в зависимости  
от степени дезинтеграции

Степень дезинтеграции	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64
К <sub>п</sub> , %	12,9	11,9	12,9	12,8	13,5	13,7	12,5

Среднее логарифмическое времени поперечной релаксации и доля капиллярно-связанного флюида меняется незначительно, тогда как доля свободного флюида становится меньше, а глинисто-связанного – больше. Это связано, как уже отмечалось, с увеличением удельной поверхности образца.

На следующем этапе исследованы 10 образцов бурового шлама с месторождения Медвежье, скважина 5С с глубин 960-1050 м с шагом 10 м. Месторождение расположено в ЯНАО, в 50 км к юго-востоку от пос. Ныда, входит в состав Западно-Сибирской НГП. Приурочено к Ныдинскому и Медвежьему локальным поднятиям Медвежьего вала. Сенманские отложения имеют мощность 270-300 м, средняя толщина продуктивного пласта – 24-113 м, эффективная толщина – 44 м. На рис. 2 представлен внешний вид промытых и высушенных образцов шлама, в табл. 2 приведено их литологическое описание.

Измерения ЯМР-характеристик проводились в несколько этапов:

1. Неизмененные образцы шлама вместе с буровым раствором;
2. Шлам после холодной экстракции хлороформом;
3. Шлам, насыщенный дистиллированной водой;
4. Шлам, насыщенный керосином.

Взвешивание образцов после насыщения дистиллированной водой и после высушивания позволили оценить открытую и общую пористость образцов. Такая последовательность измерений позволила оценить влияние на ЯМР-характеристики бурового раствора и насыщающего флюида по отдельности.



Рис. 2. Внешний вид промытых и высушенных образцов

## Литологическое описание исследуемых образцов шлама

№	Глубина, м	Литологическое описание исследуемых образцов
1	960	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
2	970	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
3	980	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
4	990	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
5	1000	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
6	1010	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
7	1020	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
8	1030	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ
9	1040	песок среднезернистый с примесью карбонатов
10	1050	алевролит глинистый с переслаиванием аргиллита, карбонатизированный, с запахом УВ

Начальные измерения проводились на образцах вместе с буровым раствором. Образцы помещались в емкость объемом 20 см<sup>3</sup>, взвешивались, затем проводились ЯМР-измерения. Затем образцы промывались хлороформом, после промывки проводились ЯМР-измерения. Далее образцы высушивались в печи в течение 8 часов при температуре 105°С и насыщались дистиллированной водой, после чего проводились ЯМР-измерения. Затем шлам снова высушивался, взвешивался и насыщался керосином с последующими ЯМР-измерениями. Коэффициент пористости исходного шлама меняется от 13 до 22% со средним значением 17,2%. Среднее время поперечной релаксации меняется от 0,5 до 1,7 мс со средним значением 1,07 мс.

Спектры по временам поперечной релаксации исходного шлама отличаются как по ширине, так и по амплитуде, что говорит о разной доли флюида в образцах. Все спектры являются бимодальными, что свидетельствует о наличии двух флюидов и/или наличии пор двух групп – микропоры и мезопоры. Используя стандартные времена отсечки для разделения глинисто- и капиллярно-связанного флюидов (3 мс), а также капиллярно-связанного и свободного флюидов (33 мс), можно сделать вывод, что в исследуемых образцах в исходном состоянии большая часть флюида находится в глинисто- и капиллярно-связанном состоянии, свободного флюида нет. С увеличением глубины увеличивается доля капиллярно-связанного флюида. Промывка бурового шлама хло-

роформом показала, что пелитовая фракция легко вымывается. Песчанистые образцы «отмываются» после 1-2 промывок до состояния «чистых» песчинок с запахом нефти. Алевроитовые образцы «отмываются» только после 3-4 промывок, при этом частицы крупные, темного цвета с резким запахом нефти. Промывка хлороформом приводит к тому, что бимодальность становится менее выраженной, но все же остается, амплитуда спектров уменьшается. Следует отметить, что после промывки хлороформом коэффициент пористости уменьшается в 2-3 раза, т.е. происходит частичное вымывание исходного флюида из образцов, при этом времена релаксации увеличиваются, т.е. «освобождаются» более крупные поры. Последующее высушивание шлама и его насыщение дистиллированной водой приводит к тому, что коэффициент пористости резко увеличивается до 80-90%, времена релаксации увеличиваются в 5-10 раз. Это говорит о том, что после промывки хлороформом из пор вымывается исходный флюид, поры открываются, возможно, частично разрушается порода, что способствует увеличению доли флюида, который может удерживаться на поверхности образца. Дальнейшее насыщение керосином сопровождается уменьшением коэффициента пористости, времена релаксации продолжают увеличиваться. При этом коэффициент пористости по керосину отличается от пористости в исходном состоянии в 1,2-1,5 раза. Вероятно, это связано с тем, что в образце осталась часть воды в мелких порах и керосин проникает только в достаточно крупные поры.

Спектры по временам поперечной релаксации показывают перераспределение флюида в пустотном пространстве образцов шлама на каждом этапе промывки (рис. 3).

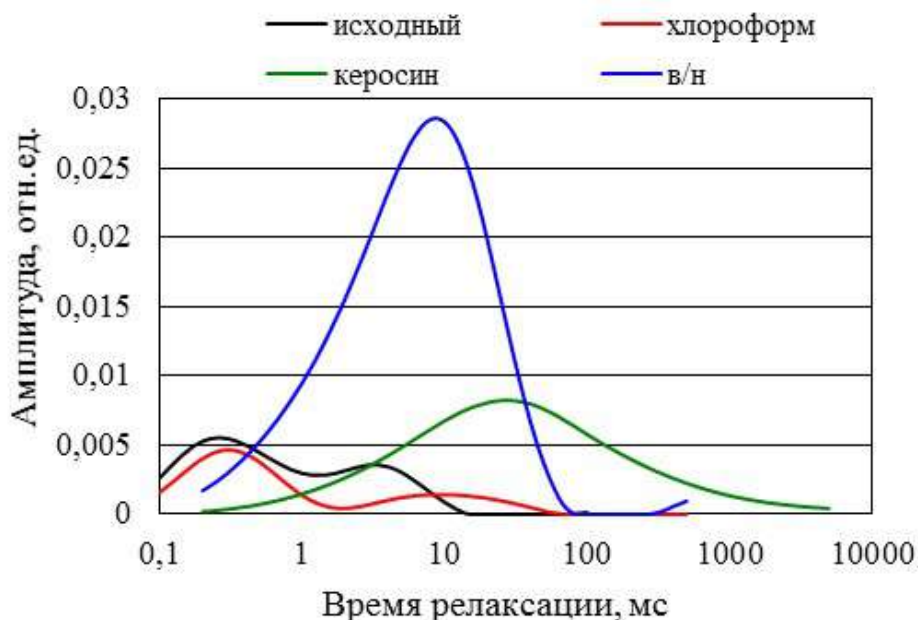


Рис. 3. Спектры по временам поперечной релаксации шлама на разных этапах промывки и насыщения

На графиках видно, что исходный сигнал характеризуется низкой амплитудой, т.е. в образце содержится незначительное количество флюида, который занимает внутрипоровое пространство, времена релаксации очень короткие, что свидетельствует о малом размере поровых каналов. Промывка хлороформом приводит к тому, что амплитуда спектра уменьшается в 1,5 раза, что свидетельствует о вымывании флюида из межзернового пространства и самых крупных пор. Времена релаксации при этом незначительно увеличиваются, т.е. освобождается дополнительное пустотное пространство. Последующее насыщение бурового шлама дистиллированной водой приводит к существенному увеличению амплитуды спектра и времен поперечной релаксации, т.е. после промывки хлороформом водой насыщается все освободившееся пустотное пространство. В водонасыщенных образцах бурового шлама большая часть флюида находится в капиллярно-связанном и свободном состоянии, глинисто-связанной воды незначительное количество.

На рис. 4 представлен график изменения коэффициента пористости с глубиной на каждом этапе промывки и насыщения.

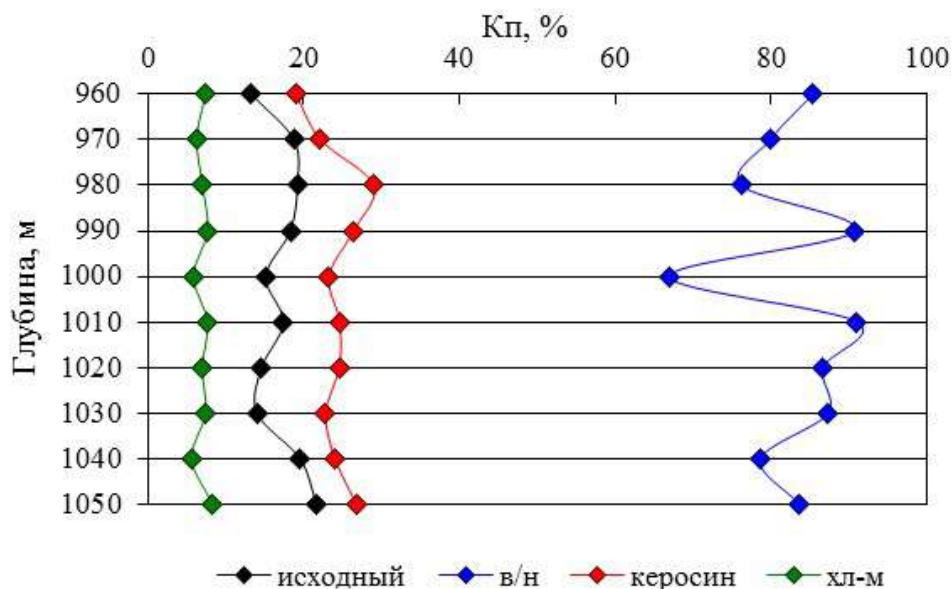


Рис. 4. Изменение значений коэффициента пористости с глубиной при разном насыщении

Видно, что Кп с глубиной меняется незначительно для бурового шлама в исходном состоянии, промытого хлороформом и насыщенного керосином. При этом для образца с глубины 1000 м, насыщенного дистиллированной водой, наблюдается «выброс» - резкое уменьшение коэффициента пористости до 67% по сравнению с другими образцами, у которых Кп не меньше 76%. Возможно, это связано с литологическим составом.

Таким образом, исследование шлама методом ЯМР-релаксометрии позволяет определить коэффициент пористости породы, доли свободного и связанно-

го флюида. Также можно определить степень изменения порового пространства и перераспределения флюида в нем в процессе промывки разными флюидами. Спектры по временам релаксации наглядно показывают, что происходит с поровым пространством при воздействии на образец разных реагентов.

#### 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. Шумскайте М.Й., Глинских В.Н. Анализ влияния объемного содержания и типа глинистых минералов на релаксационные характеристики песчано-алевритовых образцов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 7. – С. 35-38.

4. Шумскайте М.Й., Глинских В.Н. Экспериментальное исследование зависимости ЯМР-характеристик от удельной поверхности и удельного электрического сопротивления песчано-алевритоглинистых образцов // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 10. – С. 1911-1918.

5. Экспрессное изучение группового состава и реологических свойств углеводородов методом ЯМР-релаксометрии / А.Х. Тураханов и др. // 5-я междунар. науч.-практ. конф. «Тюмень-2017: Геонауки — ключ к рациональному освоению недр», Тюмень, 27-30 марта, 2017. – Тюмень, 2017. – С. 3–4 с.

© М. Й. Шумскайте, М. Ю. Ревва, Н. А. Голиков, В. Н. Глинских, 2019