

СВЯЗЬ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ЯМР-ХАРАКТЕРИСТИК БУРОВОГО ШЛАМА С ЕГО ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Андрей Алексеевич Мезин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, младший научный сотрудник, тел. (923)707-27-11, e-mail: MezinAA@ipgg.sbras.ru

Мария Йоновна Шумскайте

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

Никита Александрович Голиков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, к.т.н., старший научный сотрудник; 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, тел. (383) 363-80-31, e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований диэлектрических и ЯМР-характеристик образцов бурового шлама. Показано, как меняется распределение флюида в поровом пространстве на разных этапах экстракции и насыщения. Показана возможность оценки степени насыщения образцов при совместной интерпретации спектров диэлектрических и ЯМР-характеристик.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, релаксационные характеристики, буровой шлам, ядерный магнитный резонанс

RELATIONSHIP OF COMPLEX DIELECTRIC PERMEABILITY AND NMR CHARACTERISTICS OF DRILL CUTTINGS WITH ITS RESERVOIR PROPERTIES

Andrey A. Mezin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Junior Researcher, tel. (923)707-27-11, e-mail: MezinAA@ipgg.sbras.ru

Mariya Y. Shumskayte

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, PhD, Senior Researcher, tel. (913)482-41-37, e-mail: ShumskaiteMI@ipgg.sbras.ru

Nikita A. Golikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, PhD, Senior Researcher; 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

The paper presents the results of experimental studies of the dielectric and NMR characteristics of drill cuttings. It is shown how the fluid distribution in the pore space changes at different stages of extraction and saturation. It is shown that it is possible to estimate the degree of saturation of samples by sequential interpretation the spectra of the dielectric and NMR characteristics.

Keywords: dielectric permittivity, relaxation characteristics, drill cuttings, nuclear magnetic resonance

Особенности диэлектрических свойств нефтенасыщенного шлама обусловлены наличием адсорбционных пленок на границе раздела фаз, образованных, как правило, из высокомолекулярных полярных соединений углеводородов (УВ) – смол и асфальтенов. Адсорбционные пленки на поверхности гранул горных пород и капель воды увеличивают значение диэлектрической проницаемости всей системы [1]. Некоторые авторы изучали процессы образования и влияния на диэлектрические параметры системы разрушения адсорбционной пленки нефти на границах раздела вода-нефть [2]. При этом значение реальной части комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) растет во время образования адсорбционной пленки и не увеличивается с ростом толщины пленки [3].

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) – мощный физический эффект, широко используемый в различных областях научных исследований для изучения свойств, структуры и состояния вещества. Метод ЯМР на сегодняшний день успешно применяется в крупнейших нефтегазовых компаниях и ведущих научных лабораториях мира для изучения фильтрационно-емкостных и физико-химических свойств горных пород и насыщающих их флюидов. Популярным становится комплексирование ЯМР-метода с методами, отличающимися разной чувствительностью к определенным характеристикам породы и пластового флюида, что позволяет получить дополнительную информацию об изучаемом образце при совместной интерпретации результатов. К таким методам можно отнести диэлектрическую спектроскопию. При изучении флюидонасыщенной горной породы значительную роль в формировании диэлектрической проницаемости играют поляризационные процессы, происходящие на границе порода-флюид. Релаксационные процессы, действующие на этих поверхностях, в значительной мере определяют и ядерно-магнитные свойства изучаемых пород.

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 буровом шлеме. Одним из методов оперативного изучения ФЕС бурового шлама является ЯМР-релаксометрия, которая хорошо зарекомендовала себя при изучении петрофизических параметров

образцов пород-коллекторов произвольной формы и размера [4-10]. Эффективность использования метода ЯМР для исследования шлама определяется тем, что результаты измерений в этом случае практически не зависят от формы и размеров исследуемых образцов [11].

Таким образом, целью работы является расширение возможностей применения методов ЯМР-релаксометрии и диэлектрической спектрометрии на примере совместной интерпретации данных этих методов для оперативного получения петрофизической информации о свойствах и структуре порового пространства нефтенасыщенного бурового шлама.

Экспериментальные ЯМР и диэлектрические исследования образцов шлама

Объектом исследования стали 10 образцов бурового шлама с разных глубин (2480-3100 м), на которых поочередно проводились ЯМР и диэлектрические исследования на неизмененных, промытых и насыщенных образцах. Такая последовательность позволила исследовать влияние на диэлектрические и ЯМР-характеристики насыщающего флюида и оценить открытую пористость путем взвешивания образцов после высушивания и после насыщения керосином. Спектры по временам поперечной релаксации показывают изменение коэффициента пористости и перераспределение пустотного пространства бурового шлама на каждом этапе экстракции (рис. 1).

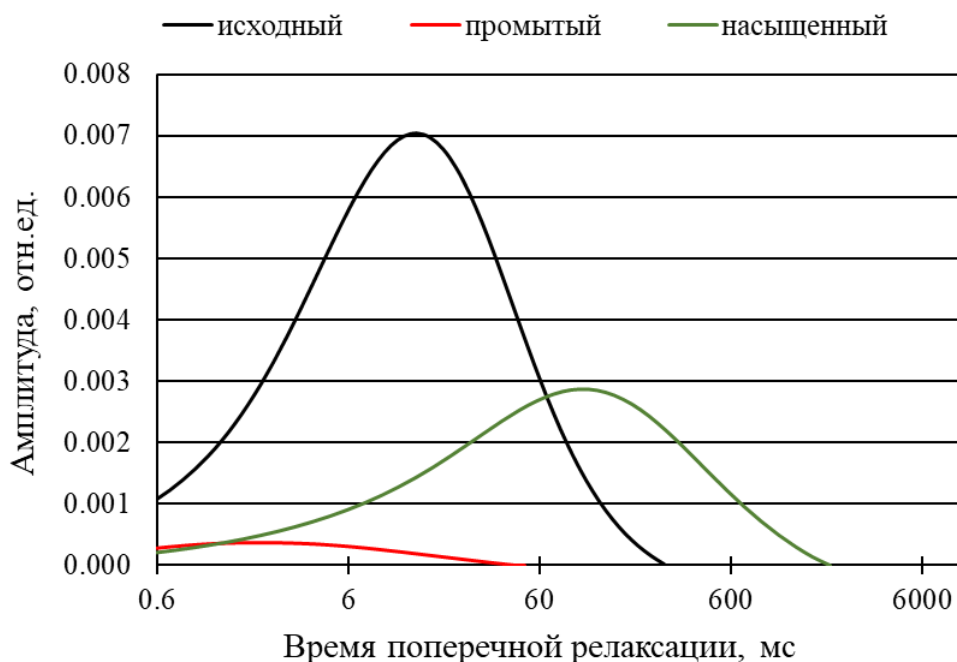


Рис. 1. Спектры по временам поперечной релаксации бурового шлама на разных этапах экстракции и насыщения

На графиках видно, что спектр исходного образца характеризуется наибольшей амплитудой, т.е. в образце содержится наибольшее количество флюида,

который занимает не только поры, но и каналы их соединяющие. Холодная экстракция хлороформом с последующей сушкой образца сопровождается уменьшением амплитуды, ЯМР-пористости и увеличением диапазона времен T_2 . Спектр сухого шлама имеет незначительную амплитуду и очень короткие времена поперечной релаксации, характеризующие остаточный глинисто-связанный флюид. Последующее насыщение бурового шлама керосином приводит к изменению времен релаксации и естественному увеличению амплитуды и ЯМР-пористости, поскольку заполняется все освободившееся после промывки хлороформом пустотное пространство. В керосинонасыщенных образцах бурового шлама большая часть флюида находится в свободном состоянии, глинисто-связанной флюида незначительное количество. Вышеописанные на примере образца №3 закономерности аналогичны для всех образцов коллекции.

По результатам диэлектрических измерений, представленных на рис. 2 видно, что значения ДП исходного состояния, равное 2 отн.ед. на 1 кГц снижаются до 1,2 отн.ед. на промытом образце, а при насыщении керосином увеличиваются до 3,5 отн.ед., что превышает значение ДП исходного состояния. Это объясняется тем, что после холодной экстракции хлороформом часть смеси пластового флюида и бурового раствора вымывается из порового пространства, за исключением очень мелких и закрытых пор – в результате наблюдаем ненулевой сигнал от промытого образца.

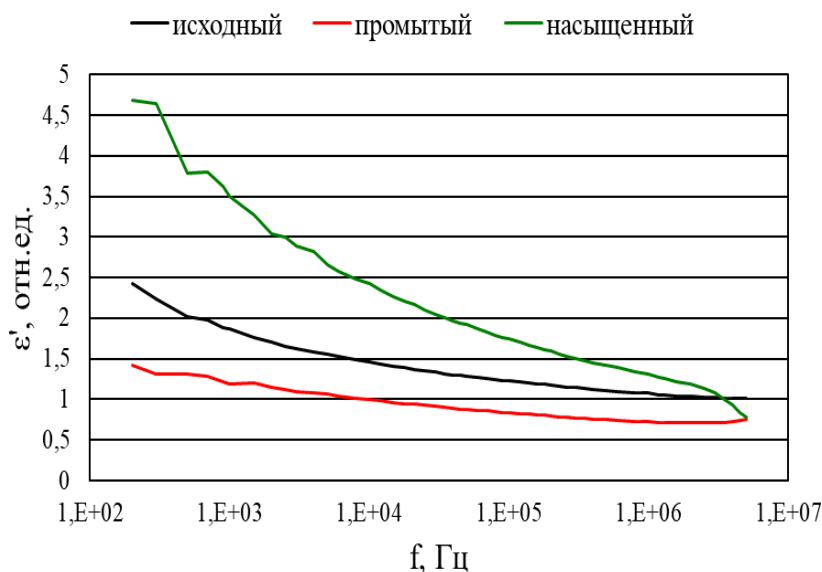


Рис. 2. Зависимость действительной части диэлектрической проницаемости бурового шлама от частоты на разных этапах экстракции и насыщения

ДП насыщенного керосином образца выше, чем у исходного, что, вероятно связано с разной степенью насыщения шлама. После промывки освобождается большая часть пустотного пространства, которую затем и заполняет керосин, приводя к увеличению значений ДП. Закономерности, описанные выше,

соответствуют образцам №2, 5-10. Значения ДП образцов №3 и 4 в исходном состоянии выше, чем у керосинонасыщенного, что можно объяснить наличием нефти на поверхности образцов, за счет чего и возрастает значение ДП в исходном состоянии. Образец №1 имеет примерно равные значения ДП в начальном и насыщенном керосином состояниях, отличие до 10%, это объясняется тем, что в начальном и в керосинонасыщенном состоянии насыщение флюидом одинаковое, поскольку керосин и нефть имеют примерно равные значения ДП.

В результате проведенных ЯМР-исследований образцов бурового шлама определены их фильтрационно-емкостные свойства. По спектрам диэлектрической проницаемости образцов на разных этапах экстракции можно судить о степени насыщения флюидом и о распределении флюида в поровом пространстве образца. Зная значения ДП для промытого образца и полностью насыщенного керосином, можно рассчитать значение коэффициента насыщения неизмененного состояния. Спектр диэлектрической проницаемости сухого шлама, в порах которого нет флюида, не имеет дисперсию (величина ДП не меняется с увеличением частоты), и таким образом можно судить о наличии флюида в мелких закрытых порах. Превышение значения ДП неизмененного образца над значением ДП керосинонасыщенного образца свидетельствует о 100%-м насыщении нефтью исходного образца и наличием нефти на поверхности зерен.

На ЯМР-характеристики, в частности на средне-логарифмическое время поперечной релаксации, влияет вязкость флюида (чем она выше, тем меньше времени релаксации), поэтому при насыщении промытого образца спектр смещается в область больших времен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалева Л.А., Миннигалимов Р.З., Зиннатуллин Р. Р. Исследование диэлектрических и реологических характеристик водонефтяных эмульсий // Теплофизика высоких температур. - 2008. - Т. 46. - №. 5. - С. 792-794.
2. Зиннатуллин Р. Р., Фатхуллина Ю. И., Камалтдинов И. М. Исследование образования адсорбционной пленки методом высокочастотной диэлектрической спектроскопии // Теплофизика высоких температур. - 2012. - Т. 50. - №. 2. - С. 316-316.
3. Cosenza P. et al. A physical model of the low-frequency electrical polarization of clay rocks // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. - 2008. - Т.113. - № В8. - 9 p.
4. Аксельрод С.М. Современные тенденции в геолого-технологических исследованиях, проводимых в процессе бурения скважин (по материалам зарубежной литературы) // Каротажник. - 2015. - №6. - С. 77-110.
5. Белорай Я.Л., Кононенко И.Я. Использование ядерно-магнитных исследований для геоинформационного обеспечения строительства скважин // Каротажник. - 2006. - №1. - С. 53-65.
6. 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.
7. Шумскайте М.Й., Глинских В.Н. Экспериментальное исследование зависимости ЯМР-характеристик от удельной поверхности и удельного электрического сопротивления песчано-алеврито-глинистых образцов // Геология и геофизика. - 2016. - Т.57. - № 10. - С. 1911-1918.
8. Шумскайте М.Й., Глинских В.Н., Бортникова С.Б., Харитонов А.Н., Пермяков В.С. Лабораторное изучение жидкостей, выносимых из скважины, методом ЯМР-релаксометрии //

Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2017. - Т.328. - № 2. - С. 59-66.

9. Howard J.J. Quantitative estimates of porous media wettability from proton NMR measurements // *Magnetic Resonance Imaging*. - 1998. - Vol.16. - №5. - P. 529-533.

10. Toumelin E., Torres-Verdin C., Bona N. Improving Petrophysical Interpretation with Wide-Band Electromagnetic Measurements // *SPE Journal*. - 2008. - Vol.13. - Is.2. - P. 205-215.

11. Вавилин В.А., Галиев Т.Р., Кунакасов А.А., Романов Ю.К., Сорокина Е.В. Опыт ЯМР-исследований структуры порового пространства пород из месторождений с трудноизвлекаемыми запасами // *Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы* - 2015. - С. 259-274.

REFERENCES

1. Kovaleva L.A., Minnigalimov R.Z., Zinnatullin R. R. Issledovanie dielektricheskikh i reologicheskikh harakteristik vodoneftyanyh emul'sij // *Теплофизика высоких температур*. - 2008. - Т. 46. - № 5. - S. 792-794.

2. Zinnatullin R. R., Fathullina YU. I., Kamaltdinov I. M. Issledovanie obrazovaniya adsorbционной пленки методом высокочастотной dielektricheskoy spektrometrii // *Теплофизика высоких температур*. - 2012. - Т. 50. - №. 2. - S. 316-316.

3. Cosenza P. et al. A physical model of the low-frequency electrical polarization of clay rocks // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. - 2008. - Т.113. - № B8. - 9 p.

4. Aksel'rod S.M. Sovremennye tendencii v geologo-tekhnologicheskikh issledovaniyah, provodimyyh v processe bureniya skvazhin (po materialam zarubezhnoy literatury) // *Karotazhnik*. - 2015. - №6. - S. 77-110.

5. Beloraj YA.L., Kononenko I.YA. Ispol'zovanie yaderno-magnitnyh issledovaniy dlya geoinformacionnogo obespecheniya stroitel'stva skvazhin // *Karotazhnik*. - 2006. - №1. - S. 53-65.

6. Mezin A.A., SHumskajte M.Y., Golikov N.A., Buruhina A.I. Svyaz' kompleksnoj dielektricheskoy pronicaemosti nefti s ee fiziko-himicheskimi svojstvami i YAMR-harakteristikami // *Geofizicheskie tekhnologii*. - 2019. - №4. - S. 24-34.

7. SHumskajte M.Y., Glinskih V.N. Eksperimental'noe issledovanie zavisimosti YAMR-harakteristik ot udel'noj poverhnosti i udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya peschano-alevrito-glinistyyh obrazcov // *Geologiya i geofizika*. - 2016. - Т.57. - № 10. - S. 1911-1918.

8. SHumskajte M.Y., Glinskih V.N., Bortnikova S.B., Haritonov A.N., Permyakov V.S. Laboratornoe izuchenie zhidkostej, vynosimyyh iz skvazhiny, metodom YAMR-relaksometrii // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. - 2017. - Т.328. - № 2. - S. 59-66.

9. Howard J.J. Quantitative estimates of porous media wettability from proton NMR measurements // *Magnetic Resonance Imaging*. - 1998. - Vol.16. - №5. - P. 529-533.

10. Toumelin E., Torres-Verdin C., Bona N. Improving Petrophysical Interpretation with Wide-Band Electromagnetic Measurements // *SPE Journal*. - 2008. - Vol.13. - Is.2. - P. 205-215.

11. Vavilin V.A., Galiev T.R., Kunakasov A.A., Romanov YU.K., Sorokina E.V. Opyt YAMR-issledovaniy struktury porovogo prostranstva porod iz mestorozhdenij s trudnoizvlekaemymi zapasami // *Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы* - 2015. - S. 259-274.

© А. А. Мезин, М. Й. Шумскайте, Н. А. Голиков, 2021