



ПРОТОКОЛ № 32
Заседания секции углеводородного сырья
Экспертно-технического совета Государственной комиссии по запасам
полезных ископаемых

г. Москва

01 декабря 2020 г.

Дата проведения заседания: 01 декабря 2020 г.

Присутствовали согласно списку (Приложение №1 к настоящему Протоколу):

Члены ЭТС ГКЗ: Шпуров И.В. (Председатель заседания), Браткова В.Г., Трофимова О.В., Курамшин Р.М., Давыдов А.В., Афанасьев В.С., Бриллиант Л.С., Волков В.П., Закревский К.Е., Кирсанов Н.Н., Колбиков С.В., Петерсилье В.И., Примха В.А., Сутормин С.Е., Тимчук А.С., Шандрыгин А.Н., Ямпольская Е.Н.

Представители организаций:

- **ФБУ «ГКЗ»:** Базаревская Н.И.
- **ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»:** Дорофеев Н.В., Саетгараев А.Д., Тихонова О.А.
- **ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»:** Калугин А.А., Копылов В.Е., Осипова Ю.С.
- **ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг ПермНИПИнефть»:** Мелехин С.В., Чижов Д.Б., Гурбатова И.П., Кубарев В.Г., Коновалова Э.И., Сушкова О.А., Сушкова Ю.А., Потехин Д.В., Хомякова И.А., Соснина Е.А., Демьшина Н.А., Пермякова И.А., Чистяков И.Н., Федорова Д.В., Куданов Е.А., Жаков Н.А., Каменских Л.С., Мустаева М.И., Зиньковская Д.А., Ладейщиков С.В., Петров А.Н., Резвухина Д.В.,
- **ПАО «ЛУКОЙЛ»:** Винокуров Р.С., Гарифуллин И.И., Погонищева Е.В., Шейкина А.Ф., Кристя Е.Е., Кузьмичева А.В., Якубовский С.Ю., Кузнецов В.А.,
- **НТ «НИЦ»:** Терентьев В.Ю.
- **МГУ им. М.В. Ломоносова:** Дьяконова Т.Ф., Лейла Бата Кифак
- **Приглашенные:** Бобров С.Е., Михайлов Н.Н.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Рассмотрение работы в области геологического изучения недр и разработки месторождений полезных ископаемых в части оценки методических рекомендаций по определению коэффициента нефтенасыщенности негидрофильных коллекторов при подсчете запасов нефти месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

1. Слушали:

1.1. Сообщение авторов: Дьяконовой Т.Ф. (приложение №2 к настоящему Протоколу).

Целью Методических рекомендаций является изложение разработанной технологии комплексного изучения карбонатных и терригенных отложений с негидрофильной смачиваемостью по данным керна и ГИС, основой которой является методическое обеспечение определения коэффициента нефтенасыщенности с целью корректной оценки

запасов углеводородов месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПНП).

Актуальность данной работы обусловлена установленным систематическим завышением коэффициентов нефтенасыщенности по методике Дахнова-Арчи из-за неучета поверхностных свойств продуктивных пород с негидрофильной смачиваемостью, широко развитых на месторождениях ТПНП, что послужило причиной разработки специальной технологии изучения петрофизических свойств пород на образцах керна в ООО «ЛУКОЙЛ-Коми».

Характер преимущественного типа смачиваемости является важным физико-химическим и геологическим свойством коллектора, влияющим на его фильтрационные свойства, коэффициенты нефтенасыщенности, вытеснения, фазовые проницаемости. Не учет типа смачиваемости в первую очередь может быть одной из причин осложнения разработки, несоответствия добычи степени выработки запасов, снижения темпов отбора нефти. Большинство научных отечественных публикаций, начиная с 70-х годов прошлого века, а зарубежных – еще раньше, рассматривает вопрос смачиваемости горных пород в связи с разработкой месторождений, что подчеркивает большое значение этой проблемы. Однако часть проблемы смачиваемости заложена с момента подсчета геологических запасов, а именно - с некорректного определения в негидрофильных породах одного из основных подсчетных параметров – коэффициента нефтенасыщенности по данным УЭС с использованием методики Дахнова-Арчи.

В настоящее время в отечественных регламентных документах действует стандартная технология подготовки и исследований керна, предназначенная преимущественно для гидрофильных пород. Поэтому зависимости для гидрофильных коллекторов используются при определениях коэффициента нефтенасыщенности пород с негидрофильной смачиваемостью порового пространства. Такой подход к изучению керна для петрофизического обоснования интерпретации ГИС предусматривает на подготовительном этапе к исследованиям обязательную экстракцию сильными растворителями с подогревом с целью очистки образцов от остаточных УВ. Стандартная технология подготовки образцов, практически не вносящая искажений в свойства гидрофильных пород, при изучении пород с гидрофобной поверхностью приводит к получению недостоверных результатов, таких как упрощение строения структуры порового пространства за счет частичного уничтожения пленок нефти на поверхности негидрофильной породы и неконтролируемому изменению типа смачиваемости.

На основании изучения опыта исследований отечественных и зарубежных компаний, научных публикаций и проведения большого объема собственных экспериментальных исследований предложена технология комплексного изучения по данным керна и ГИС карбонатных и терригенных пород с негидрофильной смачиваемостью, разработанная и апробированная на тестовых месторождениях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции по всему продуктивному разрезу - от нижней перми P1 до нижнего силура S1.

Авторами предложена методика специальных исследований керна негидрофильных коллекторов, включающая в себя следующие основные этапы:

- определение смачиваемости образцов до процедуры экстрагирования для максимального сохранения исходных поверхностных свойств.
- экстрагирование образцов слабыми растворителями без подогрева для возможного сохранения поверхностных свойств («мягкая экстракция»).
- определение проницаемости и открытой пористости методом жидкостенасыщения после выполнения «мягкой экстракции». Определение параметра пористости. Построение зависимости R_p - K_p с учетом пластовых условий.
- определение остаточной водонасыщенности по капилляриметрическим исследованиям в групповом капилляриметре в системе «вода-газ». Определение параметра насыщенности в системе «вода-газ». Построение зависимости R_n - K_v для системы «вода-газ».
- моделирование остаточной водонасыщенности в системе «вода-нефть» методом центрифугирования или методом полупроницаемой мембраны в индивидуальном

капилляриметре при термобарических условиях. Замеры УЭС, расчеты параметра насыщенности R_n в системе «вода-нефть» после центрифугирования или после капилляриметрии. Построение зависимостей R_n - K_v для системы «вода-нефть».

- Восстановление поверхностных свойств пород при полном насыщении образцов нефтью - «старение керна». Определение параметра насыщенности R_n после «старения». Построение зависимости R_n - K_v после «старения».

- Определение коэффициента вытеснения нефти водой и относительных фазовых проницаемостей на образцах керна с восстановленными поверхностными свойствами.

Схема обработки и интерпретации материалов ГИС для определения подсчетных параметров в разрезах с гидрофобными коллекторами остается неизменной по сравнению с работой с гидрофильными породами, кроме этапа определения коэффициента нефтенасыщенности с применением методики Дахнова-Арчи.

Авторы предложили критерий для оценки предрасположенности пород к негидрофильной смачиваемости по превышению УЭС по ГИС над УЭС по керну, получаемому в ходе стандартных исследований в системе «вода-газ». Подобное превышение наблюдается на всех месторождениях тестовой выборки. Выбор адекватной зависимости R_n - K_v для негидрофильных пород производится по близости УЭС керновых данных к УЭС по ГИС в виде сравнения средних величин сопротивления или в виде сопоставления УЭС- K_p с фактическими точками по ГИС.

Известным и общепринятым способом обоснования достоверности любой методики определения коэффициента нефтенасыщенности по ГИС является исследование керна из скважины на РНО. С целью определения истинных значений остаточной водонасыщенности ($K_{во}$) в коллекторах с негидрофильной смачиваемостью была пробурена оценочная скважина с использованием раствора на нефтяной основе (РНО) - скважина №3 Ярейюского месторождения с отбором сохраненного керна из карбонатных отложений нижнепермского возраста. Получение истинных значений $K_{во}$ по Заксу на керне скв. 3 на РНО в породах с негидрофильной смачиваемостью позволило подтвердить получаемые косвенными методами значения $K_{во}$. Критерий выбора адекватной зависимости R_n - K_v из серии экспериментов на керне - по близости среднестатистических значений УЭС по керну к значениям УЭС по ГИС - подтвержден величинами $K_{во}(K_n)$ прямым методом по Заксу.

Обобщение опыта работы с негидрофильными коллекторами по представительному числу месторождений ТПНП, включающему результаты исследования кернового материала, интерпретации ГИС, определений $K_{во}$ прямым способом по скважине на РНО, позволило сделать следующие выводы.

1. Показано, что основные продуктивные отложения нефтяных месторождений ТПНП имеют четкую предрасположенность к преимущественно негидрофильной смачиваемости, что было подтверждено прямыми и косвенными признаками по критериям смачиваемости. Тип негидрофильной смачиваемости – смешанный и свидетельствует о сложной гетерогенной смачиваемости поверхности порового пространства коллекторов.

2. Доказано, что не только карбонатные породы, но и, вопреки широко распространенному мнению, терригенные коллекторы месторождений ТПНП являются негидрофильными. Базовые геологические признаки негидрофильной смачиваемости обусловлены - карбонатным и кварцевым составом коллекторов, хлоркальциевыми пластовыми водами высокой минерализации, наличием смолисто-асфальтеновых веществ в нефтях более 1%, сложной структурой порового пространства карбонатных коллекторов.

3. Показано, что стандартные зависимости R_n - K_v для определения коэффициентов нефтенасыщенности по методике Дахнова-Арчи, полученные по действующим нормативным документам подготовки и исследования керна, нельзя считать достоверными для негидрофильных коллекторов из-за неучета смачиваемости поверхности порового пространства, так как это приводит к получению завышенных значений коэффициента нефтенасыщенности при определениях по ГИС.

4. В дополнение к регламентным методам исследования керна разработаны и рекомендуются для внедрения дополнительные технологические способы, предназначенные

для изучения негидрофильных коллекторов нефтяных отложений ТПНП с сохранением или восстановлением исходной смачиваемости, с целью:

- получения адекватных зависимостей R_n - K_v для определения коэффициента нефтенасыщенности K_n по данным ГИС с использованием методики Дахнова-Арчи,
- измерения динамических параметров при потоковых исследованиях керна с восстановленной смачиваемостью для получения коэффициентов вытеснения $K_{выт}$, остаточной нефтенасыщенности $K_{но}$ и относительных фазовых проницаемостей ОФП.

5. Получение истинных значений $K_{во}$ по Заксу на керне скв. 3 на РНО в породах с негидрофильной смачиваемостью позволило успешно решить основные задачи косвенного моделирования $K_{во}$ и окончательно сформировать цикл исследований в предлагаемой технологии:

- показана сходимость оценок $K_{во}$ при капилляриметрических исследованиях в индивидуальном капилляриметре в системе «вода-нефть» при пластовых условиях с восстановлением исходной смачиваемости;

- подтвердились в среднем значения $K_{во}$ по моделированию методом стандартного центрифугирования в системе «вода-нефть» после процедуры «старения».

6. Независимым показателем природной смачиваемости пород являются фактические значения УЭС коллекторов по ГИС. Критерий выбора адекватной зависимости R_n - K_v из серии экспериментов на керне - по близости среднестатистических значений УЭС по керну к значениям УЭС по ГИС - подтвержден величинами $K_{во}(K_n)$ по прямому методу по Заксу.

7. Применение предложенной технологии изучения коллекторов с негидрофильной смачиваемостью при определениях коэффициента нефтенасыщенности по методике Дахнова-Арчи приводит к снижению величин K_n в среднем на 10-17% абс. или 11-20% отн. и коэффициента вытеснения на 4-5% абс. или на 8-9% отн., что позволяет более реально оценивать геологические и извлекаемые запасы нефти.

1.2. Сообщение авторов экспертных заключений: Петерсилье В.И., Михайлова Н.Н., Боброва С.Е.

1.3. В обсуждении приняли участие: Шпуров И.В., Петерсилье В.И., Михайлов Н.Н., Бобров С.Е., Дьяконова Т.Ф., Колбиков С.В., Шандрыгин А.Н., Давыдов А.В., Терентьев В.Ю., Дорофеев Н.В., Тимчук А.С., Бриллиант Л.С., Афанасьев В.С., Кристя Е.Е.

2. Члены секции углеводородного сырья ЭТС ГКЗ отметили:

2.1. Изучение влияния фобизации пород до последнего времени носит эмпирический характер и сводится к уточнению способа оценки коэффициента нефтегазонасыщенности коллекторов. Вместе с тем фобизация нефте-газо-водонасыщенной поровой среды как физическое явление носит фундаментальный природный характер. Она приводит к уменьшению сечений фильтрующих поровых каналов и отражается в увеличении действия капиллярных сил на контактах углеводородов и пластовых вод в порах. Это выражается в более интенсивной пропитке порового пространства пластовой водой, приводит к увеличению водонасыщенности и снижению нефтегазонасыщения коллекторов, росту УЭС пород и изменению других физических свойств пород. Наиболее важно, что в любых ситуациях процесс фобизации внутренних стенок пор происходит до определенного предела, что свидетельствует о действиях внутри поровой среды физико-химических процессов, контролирующих масштаб его протекания. При этом даже при значительной фобизации породы гидрофильность поровой среды либо полностью, либо частично сохраняется. Таким образом, проблема изучения явлений, протекающих в поровой среде при фобизации, носит фундаментальный характер и ее решение требует постановки специальных теоретических и экспериментальных исследований.

Учитывая существенную роль фобизации коллекторов как фундаментального природного явления, контролирующего формирование фактической нефтегазонасыщенности пород коллекторов и ее динамическое изменение в процессе разработки продуктивных пластов, ЭТС считает целесообразной постановку специальных теоретических и экспериментальных исследований по комплексному изучению этого природного фактора.

2.2. Эксперты отметили:

В.И. Петерсилье

- отметил важность и актуальность проблемы неучета смачиваемости коллекторов при оценке коэффициента нефтенасыщенности, оригинальность методики и результатов керновых исследований и рекомендаций по интерпретации данных ГИС;

- считает, что если гидрофилизация за счет экстракции существенна, то величина $K_{во}$ будет завышена. Также выражает сомнение в достоверности предлагаемых в Методических рекомендациях определений $K_{во}$ в системе «вода-нефть» методами центрифугирования и капилляриметрических исследований;

- рекомендует авторам реализовать описанный комплекс исследований на коллекции очевидно гидрофильных коллекторов, чтобы доказать отсутствие возможной искусственной гидрофобизации пород при контакте с нефтью;

- указал на возможное влияние на УЭС геометрических факторов, что приводит к сомнениям в надежности УЭС по ГИС как основного критерия выбора достоверной зависимости $R_n-K_{в}$;

- отметил, что в связи с указанными выше замечаниями, рассмотрение работы как завершено методического документа по изучению негидрофильных коллекторов преждевременно.

Н.Н. Михайлов

- отметил, что проведение исследований отложений с негидрофильной смачиваемостью по разработанной технологии комплексного изучения по данным керна и ГИС позволит получить корректную информацию о нефтенасыщенности продуктивных пластов для дальнейшего использования при подсчете запасов углеводородов и проектировании разработки месторождений;

- считает, что необходимо включить детальное изучение поверхностных свойств пород в практику петрофизических лабораторных исследований. Для пород с установленным негидрофильным типом смачиваемости необходимо дополнить комплекс исследований в системе «вода-нефть»;

- рекомендует продолжить исследования по разработанной технологии для понимания физики протекающих процессов в коллекторах сложного строения с гетерогенным типом смачиваемости и изучить процесс изменения исходной смачиваемости пород в процессе разработки месторождений.

С.Е. Бобров

- отметил, что работа содержит инновационные приемы уточнения алгоритмов расчета K_n по ГИС, авторами проделана огромная работа по изучению и обобщению петрофизического и геофизического материала, разработана методика и обоснованы алгоритмы определения подсчетных параметров, сделано сравнение с результатами исследования керна из скважины, пробуренной на РНО;

- считает, что методика определения подсчетных параметров не содержит грубых методических ошибок, после представления авторами дополнительных пояснений материалы отчета могут быть рекомендованы к рассмотрению на заседании ЭТС ГКЗ РФ;

- считает, что возможно образцы в процессе эксперимента необходимо приводить к нейтральной смачиваемости, а не доводить до максимальной степени фобизации;

- отметил, что в результате потоковых исследований образцов с негидрофильной смачиваемостью получены отличные от описанных в литературе представления о гидрофильных и гидрофобных коллекторах, такие как: $K_{во}$ должно быть выше в гидрофильных коллекторах и снижаться в гидрофобных; $K_{но}$ должно быть ниже в гидрофильных коллекторах и повышаться в гидрофобных.

3. По результатам голосования членов ЭТС ГКЗ по вопросу повестки дня:

«За» - 20 голосов

«Против» - 0 голосов

«Воздержался» - 0 голосов

Члены секции углеводородного сырья ЭТС ГКЗ приняли решение:

3.1. Отметить актуальность представленных Методических рекомендаций по определению коэффициента нефтенасыщенности негидрофильных коллекторов при подсчете запасов нефти месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции» (далее – Методические рекомендации).

3.2. Одобрить представленные Методические рекомендации как временные и рекомендовать к использованию при подсчете запасов УВ по месторождениям Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции с 01.01.2021 сроком на 3 года с последующим обобщением результатов и представлением на ЭТС ГКЗ.

3.4. Рекомендовать авторам опубликовать результаты накопленного опыта по петрофизике негидрофильных пород в отраслевом журнале «Недропользование XXI век».

3.5. Рекомендовать ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» рассмотреть возможность продолжить исследования в области специальной технологии изучения негидрофильных пород для углубления понимания физики протекающих процессов в коллекторах сложного строения, доведения технологии петрофизических и потоковых исследований до промышленного использования и разработки подробных Методических указаний.

Приложения к протоколу:

- 1) Список присутствующих на заседании ЭТС ГКЗ (1 экз. на 4л.).
- 2) Презентация «Методические рекомендации по определению коэффициента нефтенасыщенности негидрофильных коллекторов при подсчете запасов нефти месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции» (1 экз. на 41л.)
- 3) Экспертные заключения

Ответственный секретарь Бюро ЭТС ГКЗ

В.Г. Браткова

Секретарь секции УВС ЭТС ГКЗ

В.А. Примха