

Н. А. Голиков^{1,2,3✉}, Д. М. Евменова⁴, М. В. Милованов³

Результаты экспериментальных исследований образования глинистой корки на образцах водо-газонасыщенных коллекторов

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

⁴ Институт вычислительной математики и математической геофизики,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Глинистая корка, образующаяся на стенке скважины, оказывает сильное влияние на формирование зоны проникновения в процессе бурения. Имеющееся в настоящий момент инструментальные и программные средства позволяют моделировать это влияние с учетом экспериментальных данных. В интервалах газонасыщенных коллекторов процессы формирования промытой зоны более сложные. При этом отсутствуют экспериментальные данные о свойствах как глинистой корки, так и о параметрах зоны проникновения. Для проведения экспериментальных исследований этого влияния была модифицирована разработанная ранее в ИНГГ СО РАН установка для моделирования процесса образования глинистой корки. На установке была проведена серия экспериментов на образцах песчаных пород пласта ЮС₂ Тевлинско-Русскинского месторождения. Впервые получены результаты исследования формирования глинистой корки на образцах с водогазовым насыщением.

Ключевые слова: зона проникновения, глинистая корка, водо-газонасыщенность, пористость, проницаемость

N. A. Golikov^{1,2,3✉}, D. M. Evmenova⁴, M. V. Milovanov³

Results of experimental studies of clay cake formation on samples of water-gas-saturated reservoirs

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

⁴ Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: GolikovNA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The mud cake formed on the borehole wall has a strong influence on the formation of the invasion zone during drilling. Currently available tools and software allow modeling this influence taking into account experimental data. In the intervals of gas-saturated reservoirs, the processes of formation of the washed zone are more complicated. At the same time, there are no experimental data on the properties of both the mud cake the parameters of the penetration zone. In order to conduct experimental studies of this influence, the installation for modeling the process of mud cake formation developed earlier

in IPGG SB RAS was modified. A series of experiments was carried out on the core samples sandstone from the YUS₂ formation of the Tevlinsko-Russkinskoye field. For the first time the results of the study of mud cake formation on samples with water-gas saturation were obtained.

Keywords: invasion zone, mud cake, water-gas saturation porosity, permeability

Введение

При бурении скважин в результате взаимодействия бурового раствора с породой в зоне проницаемых коллекторов на стенке скважины образуется глинистая корка. Часть частиц бурового раствора проникает в пласт, формируя зону кольматации, а фильтрат бурового раствора проникает в пласт и формирует зону проникновения. Процесс вытеснения пластовых флюидов фильтратом бурового раствора моделируется с помощью относительных фазовых проницаемостей [3], вид которых зависит от скорости движения фронта вытеснения. В свою очередь, скорость фронта вытеснения определяется в основном проницаемостью глинистой корки.

В породах с водогазовым насыщением процесс формирования зоны проникновения более сложный из-за большого различия подвижности газа и пластовых жидкостей. Экспериментальные данные о свойствах глинистой корки и параметрах зоны проникновения немногочисленны и получены на искусственных образцах [1]. Поэтому была выполнена модификация ранее разработанной в ИНГГ СО РАН установки для моделирования процесса образования глинистой корки для проведения экспериментов на образцах со смешанным водогазовым насыщением [2] и проведена серия экспериментов.

Модификация установки и методика проведения экспериментальных работ

Схема модифицированной установки приведена на рис. 1. Основным требованием было исключение контакта бурового раствора с образцом в процессе заполнения циркуляционной камеры до начала эксперимента (подачи давления в буровом растворе). В случае преждевременного контакта БР с образцом начинается неконтролируемая пропитка газонасыщенного образца фильтратом бурового раствора, что приводит к искажению экспериментальных данных. Для предотвращения этого процесса установка была переделана таким образом, чтобы исследуемый образец находился выше циркуляционной камеры и не смачивался БР до окончания заполнения камеры и начала эксперимента.

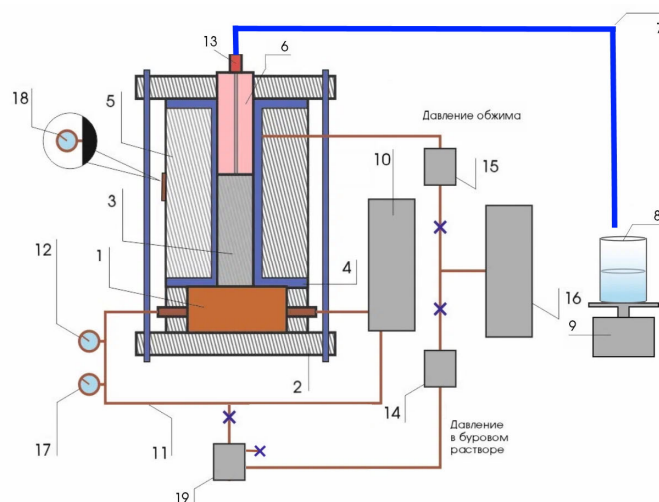


Рис. 1. Схема модифицированной установки для исследования процесса формирования глинистой корки для газонасыщенных образцов: 1 – камера с циркулирующим раствором, 2 – фланец, 3 – образец, 4 – резиновая манжета, 5 – корпус, 6 – проставка, 7 – капилляр, по которому проходит фильтрат, 8 – стакан, 9 – весы, 10 – циркуляционный насос, 11 – система трубопроводов, 12 – манометр, 13 – измерительная ячейка, 14, 15 – регуляторы давления, 16 – пневмостанция; 17 – датчик скорости циркуляции, 18 – датчик температуры; 19 – буферная емкость.

Подготовка образцов включала в себя:

- измерение геометрических размеров и веса образца;
- насыщение образцов моделью пластовой воды с минерализацией $C_m=30$ г/л;
- измерение проницаемости по воде при 100% насыщении;
- измерение сопротивления образца при 100% насыщении;
- центрифугирование образца при пошаговом увеличении скорости вращения центрифуги 500, 1000, 3000, и 5000 об/мин;
- измерение текущей водонасыщенности и электрического сопротивления на каждом шаге для получения зависимости параметра насыщения от водонасыщенности $R_n(K_v)$.

Образец после центрифугирования со скоростью 5000 об/мин моделировал зону предельной газонасыщенности.

Подготовленный образец помещался в камеру установки и затем проводился эксперимент. В процессе эксперимента контролировалось давление обжима и записывались следующие параметры эксперимента:

- давление в буровом растворе;
- скорость циркуляции БР;
- температура БР;
- вес фильтрата БР, прошедшего через образец;
- время между началом эксперимента и появлением первой капли БР (время задержки).

После окончания эксперимента проводилось взвешивание образца, глинистая корка отделялась от образца, очищенный образец взвешивался, измерялось его сопротивление. По изменению веса образца рассчитывалась конечная водонасыщенность образца.

На глинистой корке измерялись ее толщина и вес. Глинистая корка высушивалась и взвешивалась повторно для определения веса твердой фазы. По этим данным рассчитывалась пористость ГК.

По данным об изменении веса фильтрата БР и давлении в БР с использованием закона Дарси рассчитывалось проницаемость системы «образец-корка». Кроме того, после эксперимента с глинистой коркой проводилось измерение проницаемости кольматированного образца, после которого оценивалась отдельно проницаемость зоны кольматации и проницаемость глинистой корки.

Результаты экспериментов

Были проведены эксперименты на 10 образцах песчаника, извлеченного из пласта ЮС₂ (Тевлинско-Русскинское месторождение) длиной от 35 до 47 мм, диаметром 29-30 мм, проницаемостью 0.2-100 мД (преимущественно 2-10 мД) и пористостью 8-21% (преимущественно 12-15%). Использованы два типа бурового раствора – глинистого (минерализация 4 г/л, плотность 1.11 г/см³) и полимер-карбонатного (минерализация 70 г/л, плотность 1.15 г/см³). Результаты экспериментальных работ приведены в табл. 1.

Установлены следующие особенности глинистой корки при использовании различных типов бурового раствора.

Для глинистого бурового раствора характерно:

1. Толщина корки изменяется от 5 до 3 мм, что в основном зависит от проницаемости образца.
2. Плотность корки изменяется по толщине от очень плотной вблизи образца до рыхлой на поверхности. Пористость корки изменяется от 50 до 80%.
3. Средняя проницаемость корки 0,01 мД.
4. Зона кольматации уменьшает проницаемость образца примерно в 2 раза.

Таблица 1

Результаты экспериментов по исследованию роста глинистой корки

№ обр	Вес образца, г			Кв, %		Робр, Ом		t зад	h корки, мм	Кп корки, %	Кпр корки, мД
	Кв 100%	до эксп.	после эксп.	до	после	до	после				
2249/6109-4	74,88	72,1	74,63	46,78	95,28	1313	2049	3014	1,68	82,59	0,002
6516/6254-3	58,98	56,6	58,74	39,19	93,86	1316	1704	3262	3,47	48,34	0,001
6516/6255-1	75,97	73,36	75,55	34,68	89,52	1248	2347	3321	1,89	57,65	0,001
6520/6242-6	72,96	70,25	72,3	50,07	87,88	1275	1920	2564	3,23	49,5	0,005

На рис. 2 показана глинистая корка на образце 6239-1 (скважина 6758).

Для полимер-карбонатного раствора характерно:

1. Толщина корки меньше, чем для глинистого раствора от 3.5 до 1 мм.
2. Средняя проницаемость корки ниже, чем для глинистого раствора 0.001 мД.
3. Средняя пористость корки 85%, структура корки рыхлая, неоднородная.
4. Зона кольтматации уменьшает проницаемость образца примерно в 5 раз.

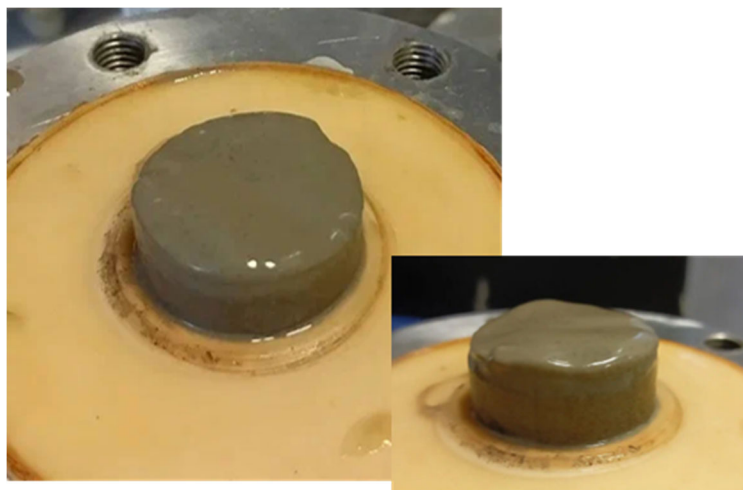


Рис. 2. Глинистая корка, образованная на образце 6239-1 (скважина 6758), глинистый буровой раствор

По результатам эксперимента можно сделать вывод о влиянии газонасыщенности на задержку фильтрации воды. Протекание процесса зависит от пористости и проницаемости используемого керна. Результаты измерения сопротивления образца до и после лабораторного эксперимента показывают, что сопротивление образца после фильтрации увеличивается, это говорит о том, что часть пластовой воды была вытеснена с замещением фильтрата бурового раствора. Также о вытеснении воздуха фильтратом свидетельствует увеличение коэффициента водонасыщенности (K_v) после эксперимента. Оставшиеся 10% в K_v указывают на сохранение газа в поровом пространстве.

Заключение

Впервые проведены экспериментальные работы по получению глинистой корки и зоны кольтматации для водо-газонасыщенных образцов. Проведена серия экспериментов на образцах песчаных пород пласта ЮС₂ Тевлинско-Русскинского месторождения на модифицированной для этой цели ранее созданной экспериментальной установке. Эксперименты проведены на двух типах бурового раствора: глинистого и полимер-карбонатного. Определены толщина, пористость и проницаемость глинистой корки, а также коэффициент водонасыщенности до и после эксперимента. Результаты экспериментальных работ могут использоваться как для повышения достоверности интерпретации данных ГИС, так

и для тестирования различных типов бурового раствора, а также оценки коэффициента извлечения газа.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта ФНИ № FWZZ-2022-0026.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гридин В. А. Дубенко В. Е. Димитриади Ю. К. Серов А. В. Экспериментальные исследования влияния технологических жидкостей на газопроницаемость песчаных коллекторов // Наука. Инновации. Технологии. – 2017. – № 1. – С. 141-148.
2. Евменова Д.М., Голиков Н.А., Ельцов И.Н. Экспериментальное исследование образования глинистой корки на образцах песчаника с низкой проницаемостью // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 5. – С. 47-54.
3. Ельцов И.Н., Нестерова Г.В., Кашеваров А.А. Моделирование зоны проникновения при использовании буровых растворов на водной и нефтяной основе // Прикладная механика и техническая физика. – 2012. – Т. 53. – № 4. – С. 97-104.

© Н. А. Голиков, Д. М. Евменова, М. В. Милованов, 2025