

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ НА СТРУКТУРУ ЗОНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА

Александр Игоревич Макаров

Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 4А, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (383)332-94-43, e-mail: alexanderi.makarov@bakerhughes.com

Александр Викторович Серяков

Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 4А, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (383)332-94-43, e-mail: alexander.seryakov@bakerhughes.com

Олег Борисович Боcharов

Новосибирский технологический центр компании «Бейкер Хьюз», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 4А, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, тел. (383)332-94-43, e-mail: oleg.bocharov@bakerhughes.com

Проникновение фильтрата бурового раствора в процессе вскрытия коллектора сопровождается образованием слабопроницаемой глинистой корки на стенке скважины, которая значительно замедляет фильтрационный процесс. При этом начинает сильнее сказываться гравитационный эффект, связанный с разностью плотности пластовой нефти и фильтрата бурового раствора. В данной работе на основе двумерного фильтрационного и электромагнитного моделирования высокопроницаемого пласта показано влияние гравитационных сил на структуру зоны проникновения и измерения электрического каротажа, а также приведены оценки, когда такое влияние существенно.

Ключевые слова: двухфазное фильтрационное моделирование, зона проникновения, корка бурового раствора, гравитационный эффект, электрический каротаж.

GRAVITY EFFECT ON THE INVASION ZONE STRUCTURE AND RESISTIVITY LOG DATA

Alexander I. Makarov

Baker Hughes Novosibirsk Technology Center, 630128, Russia, Novosibirsk, 4A Kutateladze, Ph. D., Scientist, tel. (383)332-94-43, e-mail: alexanderi.makarov@bakerhughes.com

Alexander V. Seryakov

Baker Hughes Novosibirsk Technology Center, 630128, Russia, Novosibirsk, 4A Kutateladze, Ph. D., Scientist, tel. (383)332-94-43, e-mail: alexander.seryakov@bakerhughes.com

Oleg B. Bocharov

Baker Hughes Novosibirsk Technology Center, Russia, 630128, Novosibirsk, 4A Kutateladze, Ph. D., Scientist, tel. (383)332-94-43, e-mail: oleg.bocharov@bakerhughes.com

Mud filtrate penetration into a reservoir formation while drilling is accompanied by the build up of thin low-permeable mudcake on the borehole wall, which significantly slows the invasion

process. In this case a gravity effect related to the density difference of the mud filtrate and the formation oil become more appreciable. In our study we estimated the conditions at which the gravity effect can be have a significant effect on the invasion zone structure and the resistivity logging data. For this purpose we used a two-dimensional invasion simulation and forward electromagnetic modeling of laterolog tool signals.

Key words: two-phase filtration simulation, invasion zone, mudcake, gravity effect, laterolog.

В процессе бурения нефте- и водонасыщенных проницаемых песчаников под воздействием превышения давления в скважине над поровым давлением происходит внедрение фильтрата бурового раствора в пласт, что приводит к вытеснению пластовых флюидов из прискважинной области вглубь формации. Процесс формирования зоны проникновения сопровождается образованием–слабопроницаемой глинистой корки на стенке скважины, которая замедляет фильтрацию через контур скважины. На фоне замедления процесса проникновения начинает сказываться гравитационный эффект, связанный с разностью плотности пластовой нефти и фильтрата бурового раствора.

Это вызывает движение фильтрата бурового раствора в вертикальном направлении к подошве пласта. Длительное воздействие гравитационных сил может привести к перераспределению флюидов, при котором глубина зоны проникновения станет неоднородной по вертикали и значительно увеличится у подошвы пласта. При этом глубинность исследования электромагнитного каротажа может не позволить охватить всю зону внедрения. Это может привести к неверной интерпретации электромагнитных измерений, а следовательно, и к неправильной оценке значений пластовой пористости и нефтенасыщенности.

В данной статье на основе фильтрационного и электромагнитного моделирования определены условия, при которых эффект гравитационных сил скажется на структуре зоны проникновения и на измерениях электромагнитного каротажа. Для фильтрационного моделирования процесса формирования зоны проникновения использовалась двумерная осесимметричная модель Баклея-Левретта [1, 2] с учетом роста глинистой корки, скорости бурения интервала пласта, режима бурения скважины и гравитационного эффекта.

Для анализа влияния эффекта гравитационных сил рассмотрен однородный высокопроницаемый пласт мощностью 15 м, залегающий между непроницаемыми глинистыми сланцевыми прослоями с бесконечной мощностью. Свойства пласта и режим бурения, необходимые для моделирования, представлены в табл. 1.

На их основе рассчитываются распределения водонасыщенности и концентрации соли на интервале коллектора на заданный момент времени. Эти результаты используются для расчета распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) с использованием формулы Арчи [3].

Входные параметры для моделирования
формирования зоны проникновения

Группа	Параметр	Значение
Свойства пласта	Абсолютная проницаемость	6000 мД
	Константы фазовых проницаемостей воды и нефти	2.0, 3.0
	Пористость	25 %
	Начальная водонасыщенность	10 %
	Остаточная нефтенасыщенность	10 %
	Температура	80 °С
	Давление	200 атм
Свойства флюидов	Вязкость водной фазы	0.3 сП
	Вязкость пластовой нефти	3.0 сП
	Плотность пластовой нефти	0.8 г/см ³
	Сопротивление бурового раствора	0.1 Ом·м
	Сопротивление пластовой воды	0.05 Ом·м
	Плотность фильтрата бурового раствора	1.0 г/см ³
Параметры бурения	Время с момента вскрытия коллектора	6, 12, 30 суток
	Проницаемость глинистой корки	0.001 мД
	Превышение давления в скважине над пластовым в процессе бурения	40 атм
	Превышение давления в скважине над пластовым в период гидростатического воздействия	20 атм
	Продолжительность бурения	1 сутки
	Скорость бурения скважины	5 км/ч
	Радиус скважины	0.108 м

На рис. 1 приведены результаты моделирования: распределение водонасыщенности и УЭС в прискважинной области на момент времени 6 суток после вскрытия пласта. К этому моменту фильтрационное сопротивление глинистой корки практически полностью изолирует формацию, заниженные значения водонасыщенности на уровне кровли пласта, на расстоянии 0.5–1.5 м, свидетельствуют о проявлении эффекта гравитационных сил, наблюдается повышение глубины зоны проникновения с 1.2 до 1.4 м на интервале хх03 – хх14 м. Рассчитанные распределения УЭС используются для моделирования измерений бокового электрического каротажа. Для этого рассматривается двумерная осе-

симметричная геоэлектрическая модель с произвольным количеством зон, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, в рамках которой рассчитываются синтетические измерения бокового каротажного (БК) зондирования, которые приведены на рис. 1 в правой колонке. В ней представлены 4 измерения кажущихся электросопротивлений, сфокусированных на глубинах исследования 9, 13, 19, 50 дюймов.

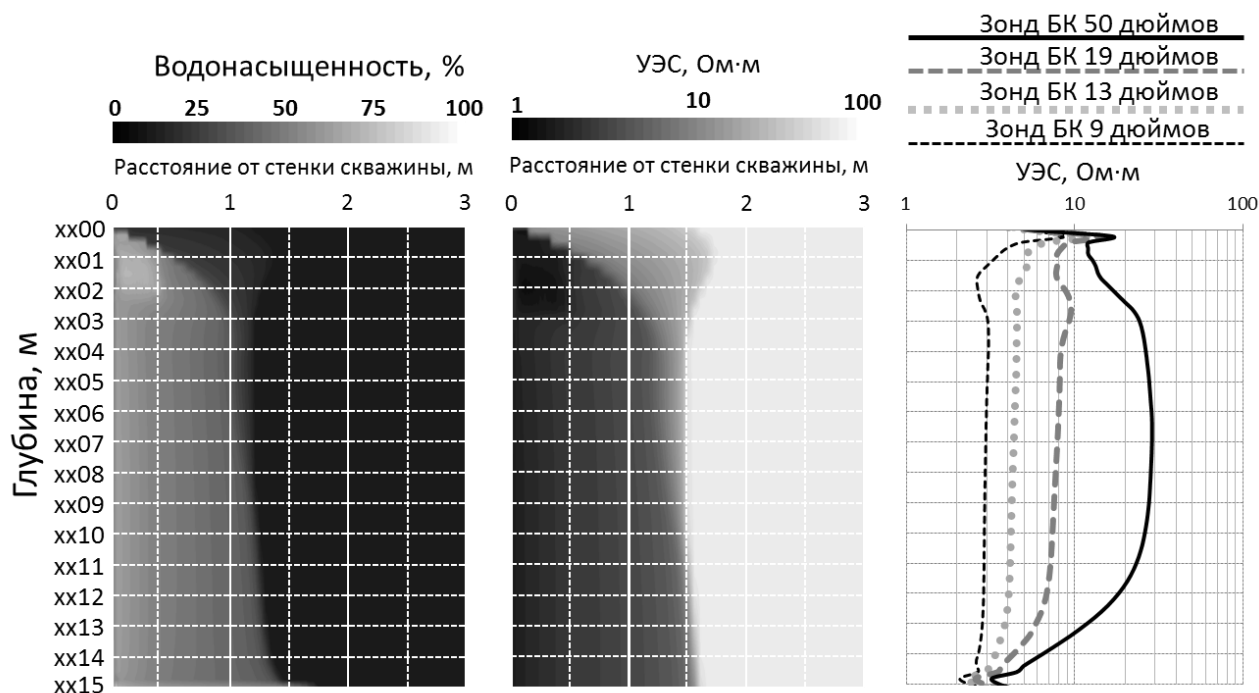


Рис. 1. Распределения водонасыщенности и УЭС, полученные в результате моделирования; синтетические измерения бокового каротажного зондирования на интервале коллектора спустя 6 суток после вскрытия пласта

На рис. 2 приведены распределения водонасыщенности и УЭС, полученные в результате моделирования на момент времени 12 суток после бурения. Наблюдается смещение фильтрата бурового раствора ближе к подошве пласта.

Также на рис. 2 приведены синтетические измерения кажущихся электросопротивлений, сфокусированных на глубинах исследования 9, 13, 19, 50 дюймов, рассчитанные на основе распределения электросопротивления, полученного в результате фильтрационного моделирования. Наблюдается повышение измерений кажущихся электросопротивлений на интервале xx00–xx02 м, что вызвано смещением фильтрата бурового раствора под действием гравитационных сил. Также наблюдается снижение значений, кажущихся электросопротивление при приближении к подошве коллектора, что объясняется скапливанием фильтрата бурового раствора на непроницаемой границе.

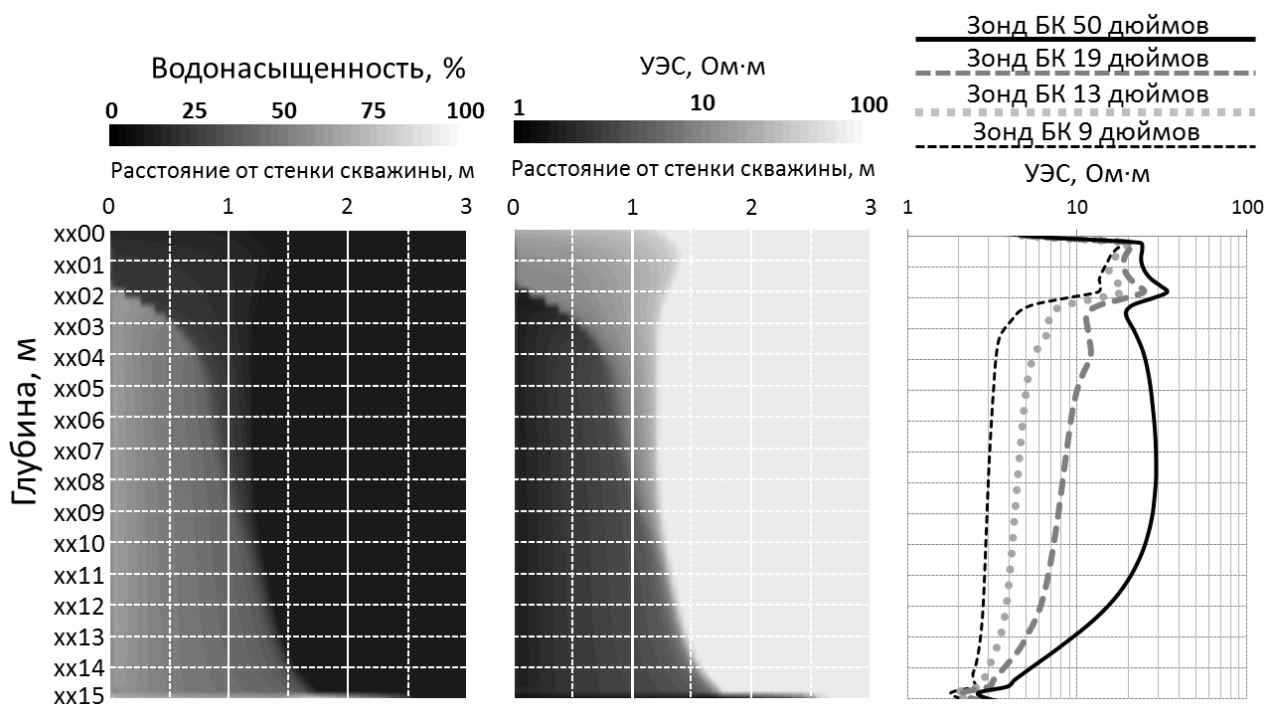


Рис. 2. Распределения водонасыщенности и УЭС, полученные в результате моделирования; синтетические измерения бокового каротажного зондирования на интервале коллектора спустя 12 суток после вскрытия пласта

В результате численного моделирования установлено, что при значениях плотностей фильтрата бурового раствора и пластовой нефти 1 и 0.8 г/см³ соответственно на временах от 12 до 30 суток с момента вскрытия пласта происходит смещение фильтрата бурового раствора к подошве коллектора. Установлено: чем выше проницаемость пласта (более 1000 мД), тем сильнее проявляется гравитационный эффект. Выявлено, что в случае высокопроницаемого пласта изменение отношения вязкостей фильтрата бурового раствора и пластовой нефти практически не влияет на структуру зоны проникновения по сравнению с эффектом гравитационных сил. Установлено, что только при длительном воздействии скважины на пласт (более 10 суток) начинает проявляться эффект гравитационных сил. В рассмотренных примерах показано, что измерения электромагнитного каротажа, проведенные спустя 12 и более суток после вскрытия пласта, могут привести к заниженным оценкам электросопротивления в нижней части пласта и неправильной оценке начальной пластовой водонасыщенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем / Пер. с англ. – М.: Недра, 1982. – 407 с.

2. Кашеваров А. А., Ельцов И. Н., Эпов М. И. Гидродинамическая модель формирования зоны проникновения при бурении скважин // ПМТФ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – Т. 44, № 6. – С. 148–157.

3. Torres-Verdín C., Alpak F.O., Nabashy T.M. Petrophysical inversion of borehole array-induction logs: Part II – Field data examples // Geophysics. – Tulsa: SEG, 2006. – V. 71, № 5. – P. G261–G268.

© А. И. Макаров, А. В. Серяков, О. Б. Бочаров, 2015