

УДК 622.323

АНАЛИЗ СНИЖЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАШАГАН

Б.К. Хасанов, Ж.М. Серниязов

В статье рассматриваются причины образования минеральных отложений солей на забое скважин месторождения Кашаган. На уровне скважин представлены результаты изучения давления и температуры начала отложения солей, а также зависимость между вышеуказанными физическими параметрами работы скважин и значения продуктивности в процессе солеотложения.

Ключевые слова: Кашаган, скважина, забой, кальцит, солеотложения, осадконакопление, дегазация, продуктивность скважин, теплота кристаллизации, критическое давление начала отложения кальцита и интенсивного снижения продуктивности скважины, темп снижения продуктивности скважины.

На начальной стадии разработки месторождения в 4 скважинах острова D произошли интенсивные снижения продуктивности. В результате анализа глубинных проб, отобранных в 2 скважинах, выявлено отложение кальцита (CaCO_3) в скважинах.

Отложение солей – одна из многих проблем, возникающих в процессе разработки месторождения. Источником выделения солей являются пластовые воды. Равновесное состояние пластовых вод, являющихся сложными системами, легко нарушается с изменением пластовых условий: давление и температура, контакт с другими пластовыми или пресными водами [1].

Месторождение Кашаган характеризуется аномально высокими пластовым давлением, температурой и содержанием в пластовой воде ионов кальция, текущей обводненностью добываемой продукции 0,5%, а также отсутствием системы заводнения. В случае с данным месторождением причиной выпадения кальцита является изменение термобарических условий на забоях добывающих скважин в процессе эксплуатации.

Как известно, в добывающих скважинах по мере подъема продукции происходит:

- снижение температуры, при этом растворимость карбоната кальция увеличивается. Рентгеноструктурный и термический анализ образцов отложений на разных скважинах и оценка условий их формирования показывает, что кальцит формируется преимущественно при низких пересыщениях и высоких температурах [3];

- уменьшение давления, что вызывает понижение растворимости карбоната кальция. По мере снижения давления и де-

газации пластовых вод может существенно измениться показатель pH, влияющий на растворимость солей. Например, при дегазации сероводородсодержащих вод, пересыщенных ионами кальция, pH среды увеличивается вследствие выделения сероводорода и углекислого газа из пластовых вод, что приводит к образованию малорастворимого осадка карбоната кальция [1]. Растворимость большинства минералов уменьшается в 2 раза на каждые 480 бар уменьшения давления [2].

В большинстве добывающих скважин месторождения Кашаган, включая скважины, где обнаружены выпадения кальцита, установлены постоянные глубинные манометры и термометры. Непрерывная регистрация давления и температуры на забое дает возможность оценить на уровне скважин совместное проявление вышеприведенных 2 противоположно направленных факторов на процесс солеотложения.

Для всех скважин с наличием на забое постоянных глубинных манометров и термометров построены графики динамики добычи нефти, а также зависимости дебита нефти и температуры от забойного давления. На рис. 1–4 приведены примеры анализа скважины, в периоды эксплуатации которой на забое произошло отложение кальцита. Для удобства анализа время работы скважин поделено на несколько периодов (групп).

Из динамики показателей скважины установлено, что процесс осадконакопления сопровождается закономерным выделением тепла, или так называемой теплотой кристаллизации – резким ростом температуры, – и снижением продуктивности скважин.

Таким образом, из динамики изменения температуры и коэффициента про-

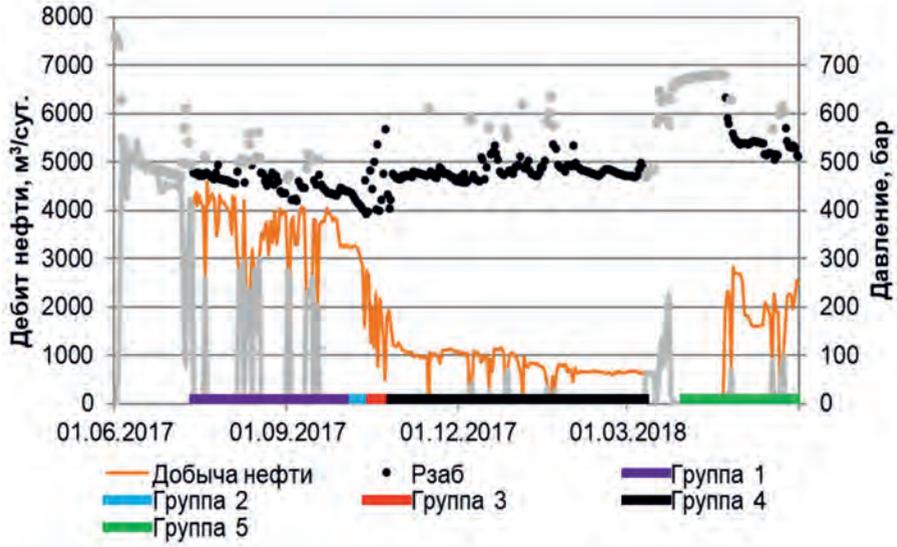


Рисунок 1. Динамика технологических показателей

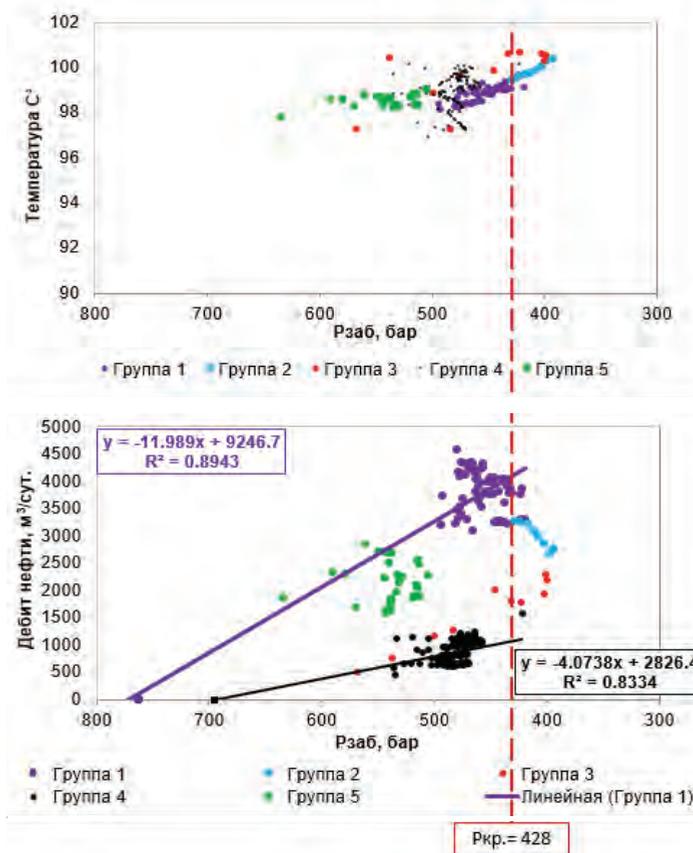


Рисунок 2. Зависимость дебита нефти и температуры от забойного давления

дуктивности можно выявить скважины с отложением кальцита, а также определить критическое давление (далее – $P_{кр.}$) начала отложения (рис. 2).

Как показывает анализ работ скважин, солеотложение имеет локальный характер. Интенсивные отложения кальцита выявлены только в 4 скважинах, расположенных в платформенной части, с начальной продуктивностью ниже $12 \text{ м}^3/(\text{сут}\cdot\text{бар})$. Это объясняется притоком флюида в скважины преимущественно из матричной части гидрофобного коллектора с содержанием рассеянной реликтовой воды. В скважинах, расположенных ближе к переходной

(транзитной) и в римовой зоне, характеризующейся трещиноватостями и наличием карстов, признаки интенсивного отложения кальцита не наблюдаются вследствие основного притока продукции из системы трещин и карстов, где отсутствует реликтовая вода.

Во всех скважинах с отложениями кальцита наблюдается снижение коэффициента продуктивности при снижении забойного давления ниже $P_{кр.}$ (рис. 3–4). Зависимость коэффициента продуктивности от забойного давления ниже $P_{кр.}$ выражается следующей эмпирической формулой:

$$K_{\text{прод}}^{t \text{ скв}} = K_{\text{прод}}^{\text{нач}} * e^{-S*(P_{кр.}-P_{\text{заб}})} \quad (1)$$

где:

$K_{\text{прод}}^{t \text{ скв}}$ – текущий коэффициент продуктивности;

$K_{\text{прод}}^{\text{нач}}$ – начальный коэффициент продуктивности;

S – темп снижения продуктивности;

$P_{кр.}$ – критическое давление начала осадконакопления;

$P_{\text{заб}}$ – забойное давление.

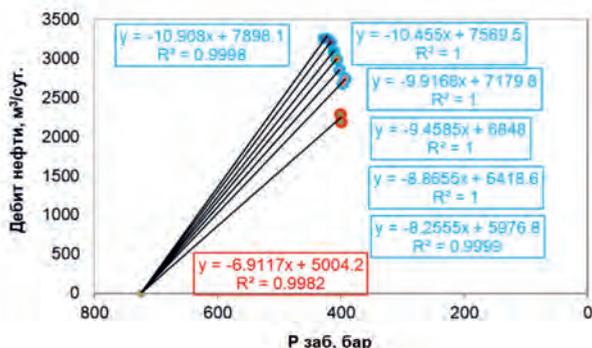


Рисунок 3. Зависимость дебита нефти и температуры от забойного давления процессе осадконакопления

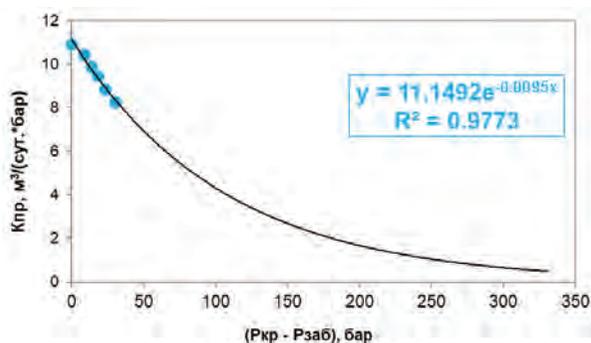


Рисунок 4. Зависимость коэффициента продуктивности от разницы критического давления и текущего забойного давления

Критическое давление начала отложения кальцита (Ркр) по скважинам варьируется от 405 до 485 бар. Расхождения значений критического давления можно объяснить начальной продуктивностью скважин (рис. 5, а). В относительно низкопродуктивных скважинах предполагается приток преимущественно из матричной части с содержанием реликтовой воды. При этом процесс отложения кальцита возможен при достижении объемов добычи, способствующих условию образования в забоях скважин самостоятельной фазы воды, достаточной для интенсивного выпадения кальцита.

Ниже приведена зависимость критического давления (Ркр.) от начальной продуктивности скважины (рис. 5, а):

$$P_{кр} = 18,648 * K_{прод}^{нач} + 254 \quad (2)$$

Необходимо отметить, что чем ниже начальная продуктивность, тем интенсивнее снижается продуктивность (рис. 5, б):

$$S = 5,0184 * e^{-0,617 * K_{прод}^{нач}} \quad (3)$$

На основе выше определённых закономерностей (формулы 1–3) получен обобщённый тренд снижения продуктивности, зависящий от начальной продуктивности и режима работы скважины:

$$K_{прод}^t = K_{прод}^{нач} * e^{-\left(5,0184 * e^{-0,617 * K_{прод}^{нач}}\right) * \left((18,648 * K_{прод}^{нач} + 254) - P_{заб}\right)} \quad (4)$$

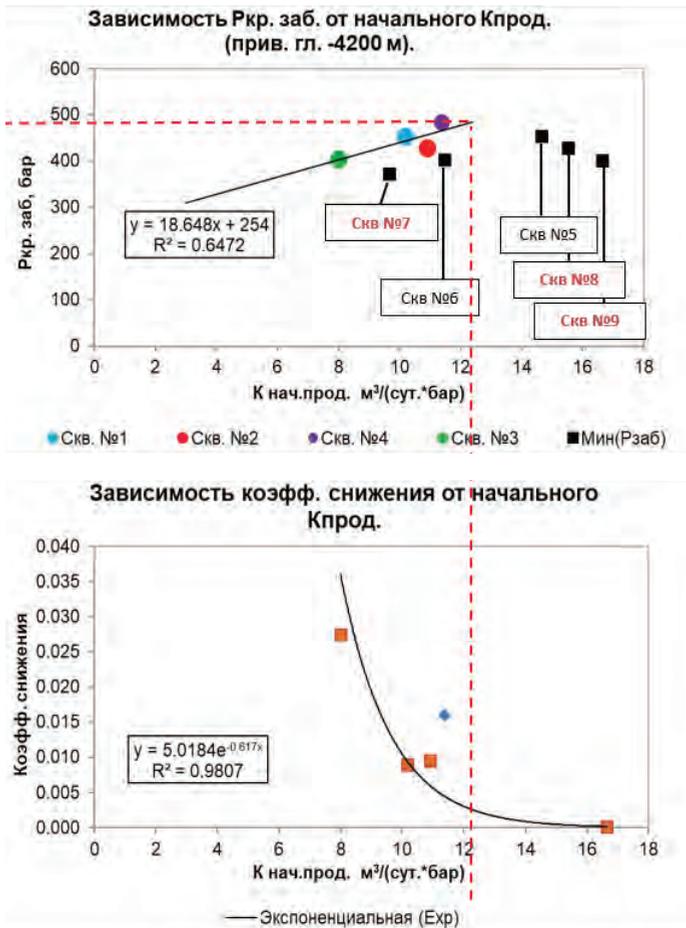


Рисунок 5. Зависимость Ркр. (а) и темпа снижения (б)

Данную зависимость предложено использовать при адаптациях гидродинамической модели на историю разработки скважин с продуктивностями ниже $12 \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{бар})$.

Также необходимо отметить, что на значение давления начала отложения кальцита ($P_{кр}$) влияет минеральный состав добываемой воды. С одной стороны, растворимость карбонатов кальция и магния повышается в присутствии их хлоридов, равно как и в присутствии NaCl , с другой стороны, можно полагать, что в присутствии NaHCO_3 растворимость карбонатов кальция и магния, вероятно, не претерпевает существенных изменений [4]. Относительно высокое содержание ионов Na^+ и Cl^- в подошвенных водах, возможно, является причиной отсутствия выпадения кальцита в скважине, расположенной в периферийной части месторождения в период прорыва подошвенной воды и роста обводненности до 20% (рис. 6).

Также необходимо отметить, что на интенсивность и скорость отложения солей влияет конструкция скважины. Местами выпадения кальцита являются такие дефекты поверхности, как неровности поверхности труб, область перфорационных отверстий эксплуатационных колонн, а также стыки и сварочные швы труб.

На месторождении Кашаган процесс отложения кальцита на забое скважин объясняется наличием в матричной части определенной доли реликтовой воды. Анализ показывает, что единое значение

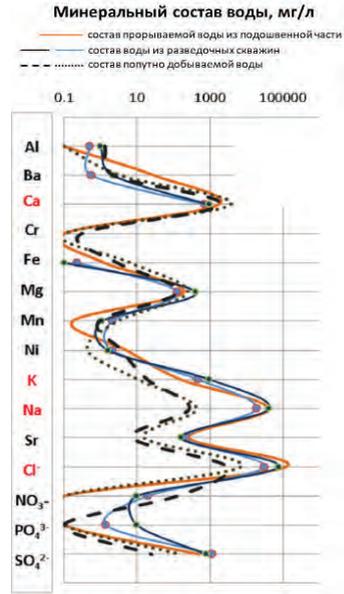


Рисунок 6. Минеральный состав воды

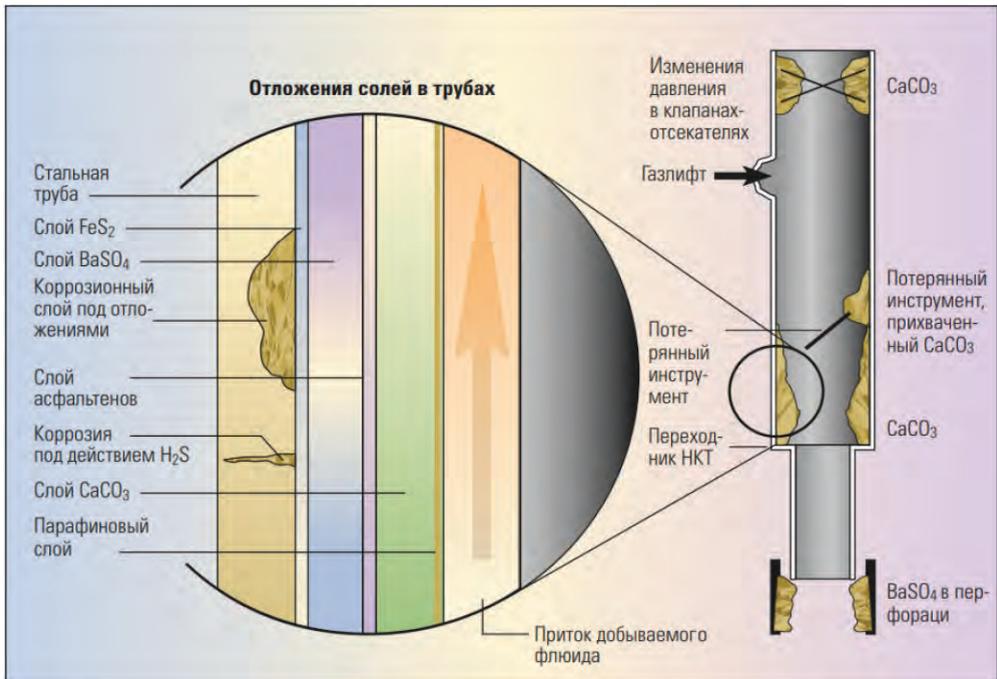


Рисунок 7. Пример солеотложения внутри труб [2]

Ркр для всех скважин установить невозможно ввиду влияния факторов, описанных выше. В условиях неопределённости точных значений давления отложения кальцита предлагается вести постоянный мониторинг динамики забойного давления, температуры и продуктивности скважин, особенно при изменении режимов работы. Также необходимо подобрать эффективные реагенты обработки скважин,

замедляющие процесс отложения кальцита.

Полученные значения Ркр. начала отложения кальцита находятся выше утверждённых ограничений по режиму работы добывающих скважин и являются дополнительными ограничениями режима, которые необходимо учитывать при планировании полномасштабного освоения месторождения.

Список использованной литературы

1. Хисамутдинов Н.И., Тахаутдинов Ш.Ф., Телин А.Г., Зайнетдинов Т.И., Тазиев М.З., Нурмухаметов Р.С. Проблемы извлечения остаточной нефти физико-химическими методами. – М., ОАО «ВНИИОЭНГ», 2001, 184 с.
2. Крабтри М., Эслингер Д. и др. Борьба с солеотложениями – удаление и предотвращение их образования. – Нефтегазовое образование, 2002, 54 с.
3. Ахмедов Г.Я. Твердые отложения карбоната кальция в геотермальных системах. – Альтернативная энергетика и экология, 2010, с. 81.
4. Перельман Ф.М. Изображение химических систем с любым числом компонентов. – М., Наука, 1965 г. 100 с.

ҚАШАҒАН КЕН ОРНЫНДАҒЫ ҰҢҒЫМА ӨНІМДІЛІГІНІҢ ТӨМЕНДЕУІН ТАЛДАУ

Б.К. Хасанов, Ж.М. Серниязов

Мақалада Қашаған кен орнының ұңғымаларының түбінде минералды тұздар пайда болу себептері талқыланады. Ұңғыма деңгейінде тұзды тұндырудың қысымы мен температурасын зерттеудің нәтижелері, сонымен қатар тұзды құю процесінде ұңғымалардың жоғарыдағы физикалық параметрлері мен өнімділігі арасындағы байланыс көрсетілген.

Түйінді сөздер: Қашаған, ұңғыма, ұңғыма түбі, кальцит, тұздың тұнуы, тұндыру, газсыздандыру, ұңғыманың өнімділігі, кристалдану жылуы, кальцит тұнуының критикалық қысымы және ұңғыма өнімділігінің қарқынды төмендеуі, ұңғыма өнімділігінің төмендеу қарқыны.

ANALYSIS OF THE WELL PRODUCTIVITY DECLINE IN THE KASHAGAN FIELD

B.K. Khassanov, Zh. M. Serniyazov

The article discusses causes of the mineral salt deposition at the bottomhole of wells in Kashagan fields. The results of analyzing the pressure and temperature at the beginning of scaling process and well productivity dependence on it are presented at the well level.

Key words: Kashagan, borehole, bottomhole, calcite, scaling, sedimentation, degassing, well productivity, heat of crystallization, critical pressure of the onset of calcite deposition and an intensive decrease in well productivity, rate of decrease in well productivity.

Информация об авторах

Хасанов Бахытжан Кенесович – генеральный директор (председатель Правления).
Серниязов Жалгас Манарбекович – ведущий инженер отдела секторного моделирования, zh.serniyazov@niikmg.kz.

ТОО «КМГ Инжиниринг», г. Нур-Султан, Казахстан