

УДК 622.276

ПРИЧИНЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБВОДНЕННОСТИ В СКВАЖИНАХ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА В НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТАХ

Валеев Азамат Салаватович¹,
Azamat.Valeev@lukoil.com

Дулкарнаев Марат Рафаилович¹,
marat.dulkarnaev@lukoil.com

Котенев Юрий Алексеевич^{2,3},
geokot@inbox.ru

Султанов Шамиль Ханифович^{2,3},
ssultanov@mail.ru

Бриллиант Леонид Самуилович⁴,
ting@togi.ru

¹ Территориально-производственное предприятие «Повхнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь»,
Россия, 628486, г. Когалым, ул. Широкая, 40.

² Уфимский государственный нефтяной технический университет Республики Башкортостан,
Россия, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

³ Институт стратегических исследований Республики Башкортостан,
Россия, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3.

⁴ ЗАО «Тюменский институт нефти и газа»,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Герцена, 64.

Актуальность. Вопросы снижения доли воды в объеме добываемой продукции в настоящее время являются весьма актуальными. Добыча углеводородов, которые залегают в сложном и неоднородном коллекторе, с применением высокопроизводительных технологий может привести к осложнениям, в том числе, связанным с ростом обводненности и невозможностью последующего ее снижения. Причина указанной проблемы – часто недостаточное понимание геологического строения залежи.

Цель работы: на примере Ватьеганского нефтяного месторождения обосновать причины высоких значений обводненности добываемой продукции скважин после проведения гидравлического разрыва пласта, в том числе, учитывая влияние анизотропии пласта в условиях различного расположения добывающих и нагнетательных скважин.

Методы: геолого-промысловый анализ разработки эксплуатационного объекта; анализ, сопоставление и интерпретация результатов геофизических исследований скважин; методы литолого-фациального анализа; методы статистической обработки геолого-промысловых и геолого-геофизических данных.

Результаты. Определен тип геологического разреза продуктивного пласта, в котором отмечаются высокие значения доли воды в «запусковых» дебитах скважин после проведения гидравлического разрыва пласта. Выделено три основных типа разреза пласта ЮВ, Ватьеганского нефтяного месторождения. В случае с гидродинамически связанным коллектором приоритетной является интенсификация притока из кровельной части (реперфорация), при вовлечении в работу водонасыщенных интервалов при «двухслойном» типе строения коллектора, определяющими являются водоизоляционные работы. Наименьшая вероятность обводнения продукции скважин после проведения гидравлического разрыва пласта отмечена в скважинах с выдержанным песчаным телом, расположенным в кровельной части разреза, с заглинизированной подошвенной частью.

Ключевые слова:

Гидравлический разрыв пласта, неоднородный пласт, низкие фильтрационно-емкостные свойства, анизотропия пласта, обводненность скважины, пласт ЮВ.

С целью вовлечения в разработку недренируемых или слабодренируемых запасов нефти на месторождениях Западной Сибири выполняют работы по бурению боковых стволов, бурению скважин с целью уплотнения сетки скважин и освоения малотолщинных нефтенасыщенных пластов. Как правило, незадействованные в разработке зоны продуктивного пласта характеризуются: плохими коллекторскими свойствами, осложненным геологическим строением, более высокой неоднородностью и другими неблагоприятными геолого-геофи-

зическими условиями и параметрами. Для решения вопроса эффективной выработки запасов данных участков на «новых» скважинах перед вводом в эксплуатацию проводят гидравлический разрыв пласта (ГРП). Среди основных проблем при проведении ГРП на вновь пробуренных скважинах является высокая обводненность добываемой продукции, а на скважинах с горизонтальным окончанием, кроме этого, – определение эффективности «работы» интервалов воздействия многостадийным ГРП [1–4].

Часто технологический эффект от проведения геолого-технического мероприятия сводится к оценке полученной дополнительной нефти, увеличения дебита жидкости, снижения обводненности продукции скважин. Кроме того, используются универсальные подходы расчета эффективности работ на основе единой базовой системы уравнений. Уравнения учитывают механику многофазных сред, и алгоритм их решения реализован в гидродинамически симуляторах [5–10]. Качественная оценка полученных результатов от выполнения работ на скважине сводится к общему пониманию возможного влияния отдельных геолого-промысловых факторов, характеризующих пласт в целом, а иногда и объект разработки.

С целью более детального понимания причин добычи жидкости с высокой долей воды в объеме продукции скважины на отдельном участке Ватъеганского месторождения по пласту ЮВ₁ выполнен анализ эффективности ГРП на новых скважинах.

Продуктивные отложения верхней юры Нижневартовского свода характеризуются сложным строением, в том числе изменчивостью литологических особенностей и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), обусловленных различной обстановкой седиментации и степенью наложенного изменения (эпигенез) пород. Анизотропные свойства пород-коллекторов сформированы не только в результате седиментогенеза, но и посредством воздействия со стороны флюидных систем, оказывающих различное влияние на технологию эксплуатации [11–14].

Особенности осадконакопления васюганской свиты Ватъеганского нефтяного месторождения свидетельствуют о формировании продуктивных отложений в прибрежных, преимущественно мелководно-морских условиях в процессе проградации побережья при участии небольшой дельты типа «птичья лапа». Распределение пористости и проницаемости с резко различающимися значениями объясняется эпигенетическим влиянием химически активных термальных флюидов, поступающих из глубинных разломов по зонам разуплотнения в осадочных породах чехла. Особенности распределения песчаного материала и параметров ФЕС по латерали и по разрезу позволяют связывать основные перспективы нахождения продуктивных терригенных пород-коллекторов, имеющих улучшенные значения ФЕС, с зонами распространения барьерных баров и островов, сложенных наиболее грубозернистыми и сортированными осадками и повышенной трещиноватостью [13–15].

В вертикальном разрезе отложений пласта ЮВ₁ Ватъеганского месторождения выделено три типа коллектора: «гидродинамически связанный коллектор», характеризующийся чередованием глинистых прослоев; «частично гидродинамически связанный коллектор», представлен выдержанным песчаным телом, расположенным в кровельной части разреза, и заглинизированной подош-

венной частью с незначительной долей водонасыщенной толщи; «двухслойный коллектор», отличающийся от предыдущего тем, что подошвенная часть представлена сопоставимым по толщине опесчаненным интервалом, насыщенным водой. Наибольшее распространение по площади имеют «частично гидродинамически связанный коллектор» и «двухслойный» тип коллектора. Гидродинамически связанный коллектор представлен небольшими «врезами» в центральной и восточной части исследуемого участка (рис. 1) [15, 16].

В существующих геологических условиях не следует ожидать высоких показателей, характеризующих выработку запасов нефти. Геолого-промысловый анализ текущего состояния разработки пласта ЮВ₁ свидетельствует, что 33 % добывающего фонда скважин работает в диапазоне обводнения от 0–50 %. С обводненностью более 50 % эксплуатируется 67 % скважин. Фонд малодебитных скважин с дебитом нефти менее 5 т/сут составляет 45 %. Приемистость нагнетательных скважин изменяется от 3 до 282 м³/сут, средняя приемистость по скважинам составила 68,4 м³/сут. В среднем на каждую скважину приходится 210,3 тыс. м³ закачанной воды.

Высокая дифференциация значений обводненности и объемов закачиваемого рабочего агента для поддержания пластового давления ставит задачу о понимании причин роста доли воды в объеме добываемой продукции скважин с вероятным выделением вод из водонасыщенных пластов и «закачиваемых», особенно после проведения гидравлического разрыва пласта.

Геолого-промысловый анализ показателей работы скважин, вводимых в эксплуатацию без проведения гидравлического разрыва пласта («входная» обводненность) в первый год работы, показывает различные интервалы изменения значений обводненности продукции по различным типам разрезов. Так, интервалы изменения значений обводненности скважин, разрабатывающих зону пласта с гидродинамически связанным коллектором, составляет 0–38 %, с частично гидродинамически связанным коллектором – 0–22 %, с двухслойным коллектором – 0–34 %. Значительная доля скважин исследуемого участка пласта ЮВ₁ Ватъеганского месторождения характеризуется высокой обводненностью продукции добываемых скважин (рис. 2).

Анализ и сопоставление значений обводненности добываемой продукции до и после проведения гидроразрыва пласта в различных типах развития коллекторов, а также результаты расчетов, выполненных на керновых материалах, показали высокую сходимость (таблица). Наибольший прирост после выполнения ГРП (27 %) наблюдается в скважинах, характеризующих гидродинамически связанный коллектор, по причине отсутствия глинистой перемычки и вовлечения в работу водонасыщенных подошвенных интервалов. В случае с частично гидродинамически связанным коллектором

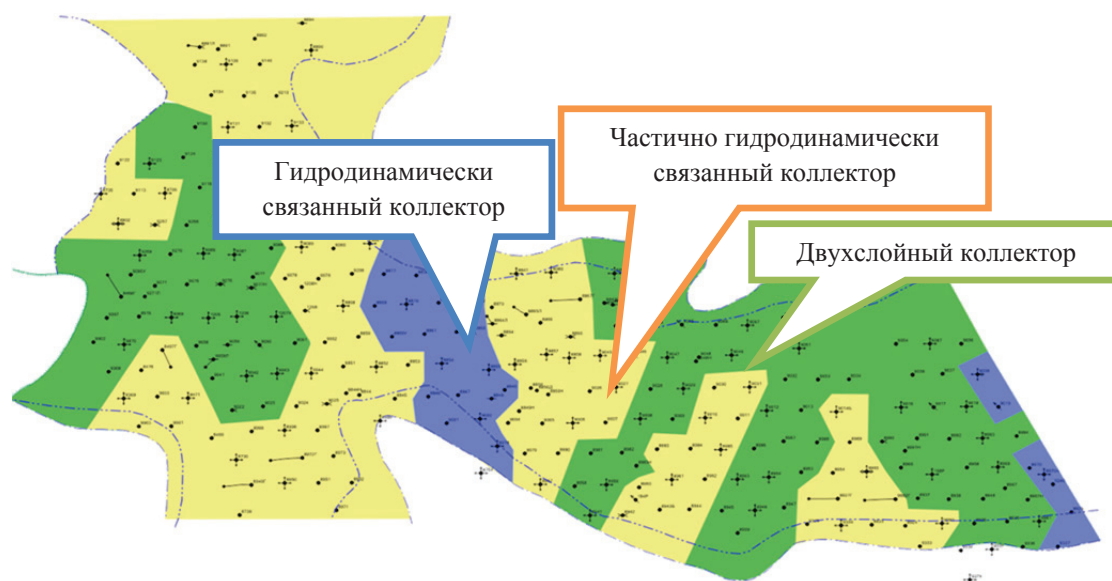


Рис. 1. Распространение типов коллектора по площади

Fig. 1. Area distribution of the types of collectors

значения сопоставимы (15 и 18 %, соответственно) при двухслойном строении, в ряде случаев трещина ГРП вскрывает глинистый раздел, что является причиной увеличения обводненности до 22 %.

Выделение различных типов коллекторов в вертикальном разрезе позволяет сформировать представление о возможном обводнении скважин подошвенными водами. Для изучения причин продвижения воды по напластованию рассмотрен вопрос латеральной анизотропии и размещения на-

гнетательных и добывающих скважин [8, 9, 17–19]. Рассмотрены элементы «добывающая–нагнетательная» скважины, отличающиеся направлением вытеснения нефти: с запада на восток, с северо-запада на юго-восток, с северо-востока на юго-запад. Также в условиях Ватъеганского месторождения учтено два случая: добывающие скважины находятся в ряду с нагнетательными (вытеснение в направлении запад-восток), ряды состоят исключительно из добывающих скважин (рис. 4).

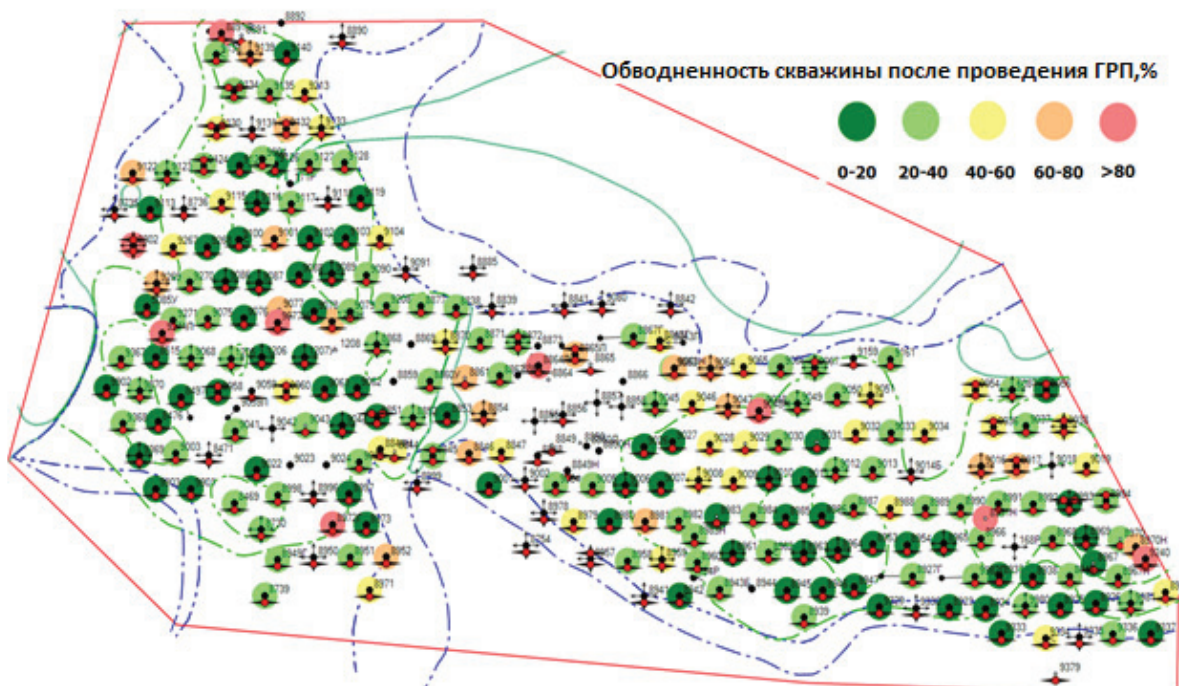


Рис. 2. Обводненность скважин после проведения ГРП

Fig. 2. Watercut of wells after hydraulic fracturing

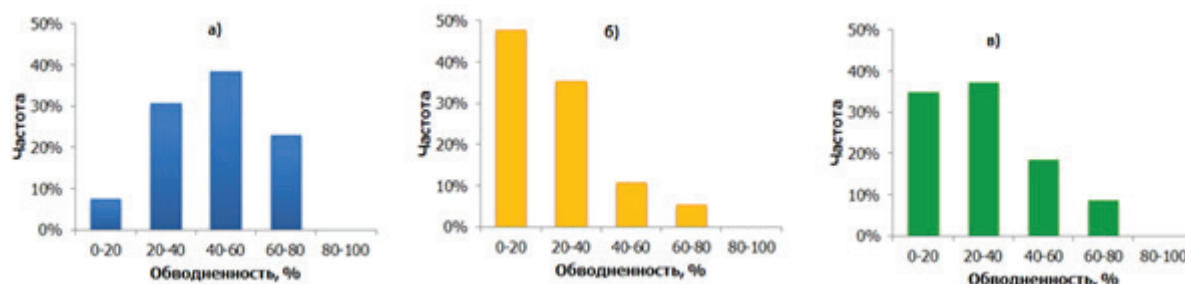


Рис. 3. Распределение обводненности после ГРП по типам разреза коллектора: а) гидродинамический связанный коллектор; б) частично гидродинамически связанный коллектор; в) двухслойный коллектор

Fig. 3. Distribution of watercut after fracturing by the types of the reservoir section: а) hydrodynamic bound reservoir; б) partly hydrodynamic bound reservoir; в) two-layer reservoir

Таблица. Обводненность после ГРП по типам разреза коллектора

Table. Watercut after fracturing by types of reservoir section

Тип разреза Section type	Обводненность, % / Watercut, %		
	После ГРП After fracturing	Разведочные скважины Exploration wells	По керну By core
«гидродинамически связанный коллектор» «hydrodynamic bound reservoir»	47	23	20
«частично гидродинамически связанный коллектор» «partially hydrodynamic bound reservoir»	18	15	14
«двухслойный коллектор» «two-layer reservoir»	22	13	11

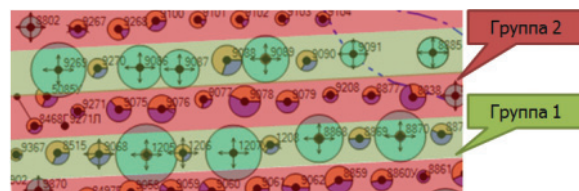


Рис. 4. Распределение рядов добывающих и нагнетательных скважин

Fig. 4. Distribution of production and injection wells

Анизотропия внутри каждого типа отдельно оценивалась по парам скважин. Гидродинамически связанный коллектор на участке исследования распространен в меньшей степени и выделить пару скважин – добывающая–нагнетательная, в пределах данного типа, при условии отсутствия влияния других нагнетательных скважин, являлось затруднительным. Изучение и сопоставление геологических материалов и результатов интерпретации сейсморазведочных работ позволило отметить сходимость распространения гидродинамически связанного коллектора и области распространения малоамплитудных и неамплитудных нарушений. Выявленные нарушения по морфологии можно определить в три системы тектонической трещиноватости: северо-западное и северо-восточное на-

правление; субширотную; субмеридиональную. Все три системы представляют собой транспортные артерии фильтрации пластового флюида и развиты в областях песчаных коллекторов – зоны трещинного коллектора [20]. Кроме того, анализ данных геофизических исследований скважин свидетельствует о гидродинамической связи по вертикали и явном улучшении коллекторских свойств с глубиной. Таким образом, основной причиной значительного роста обводнения продукции скважин для рассматриваемого типа разреза является улучшение фильтрационных свойств в «центральной» части эксплуатационного объекта в результате проведения гидравлического разрыва пласта. Следствием этого является как прорывы к добывающим скважинам закачиваемых вод, так и «подтягивание» подошвенных и краевых вод.

Для скважин, представляющих в разрезе «частично» гидродинамически связанный коллектор, водонефтяной фактор не зависит от направления вытеснения. Незначительный рост доли воды в объеме добываемой продукции после ГРП обусловлен заглинизированной подошвенной частью с незначительной долей водонасыщенной толщи и выдержанным песчаным коллектором (рис. 5). Выполнение мероприятий по улучшению ФЕС позволило вовлечь в разработку слабодренлируемые пропластки. Зоны продуктивного пласта, представленные «частично» гидродинамически связанным коллектором, являются наиболее благоприятными для проведения гидравлического разрыва пласта.

Исследования анизотропии пород-коллекторов показало, что ориентировка миграции углеводородов внутри пласта ЮВ, выдерживается стабильной: около 30–90°, либо 30–45° на северо-восток [20]. Такие участки выделяются на юго-восточной окраине месторождения. В скважинах, вскрывших коллектора с двухслойным строением, водонефтяной фактор при вытеснении в направлении с севера на юг выше, чем у «частично» гидродинамически связанного коллектора, со значениями, соответственно, 1,2 и 0,85 (рис. 5). Причиной роста обводнения скважин для данного типа коллектора после проведения гидравлического разрыва

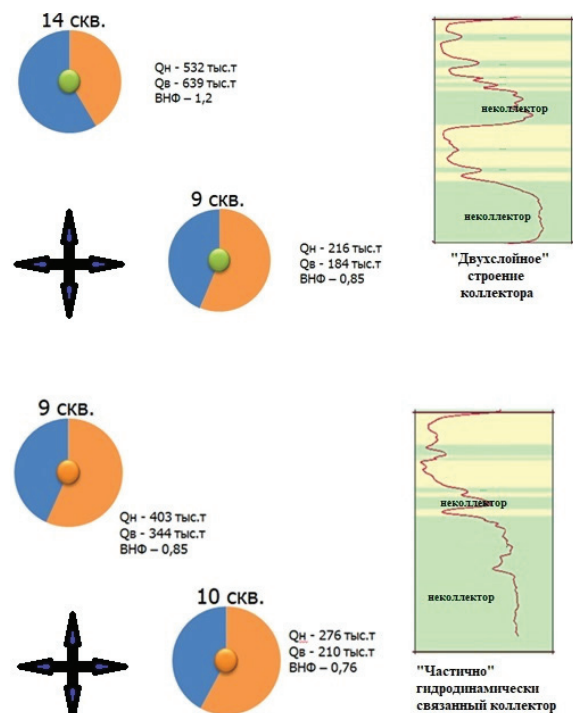


Рис. 5. Латеральная анизотропия в зависимости от типа коллектора

Fig. 5. Lateral anisotropy depending on the type of reservoir

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дияшев И.Р., Смаровозов А.А., Гиллард М.Р. Супер-ГРП на Ярайнерском месторождении // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 7. – С. 44–48.
- Кибирева А.С., Цыганова Э.Ф., Виноградова И.А. Опыт применения гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах на месторождениях ООО «Лукойл – Западная Сибирь» // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири: Тр. Междунар. академ. конф. – Тюмень, 2009. – С. 465–472.
- Boak J. Shale-Hosted Hydrocarbons and Hydraulic Fracturing // Future Energy. Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet. – 2014. – V. 2. – P. 117–120.
- Study of the borehole hydraulic fracturing and the principle of gas seepage in the coal seam / W. Peng, M. Xian-biao, L. Jin-bin, D. Chun-zhi // Procedia Earth and Planetary Science. – September 2009. – V. 1. – Iss. 1. – P. 1565–1568.
- Михайлов В.Н., Дулкарнаев М.Р., Волков Ю.А. Проблемы и опыт проектирования разработки длительно эксплуатируемых залежей нефти на примере Ватъеганского месторождения Западной Сибири // Высоковязкие нефти и природные битумы: проблемы и повышение эффективности разведки и разработки месторождений: труды международной научно-практической конференции. – Казань, 5–7 сентября 2012. – Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2012. – С. 255–257.
- Demidov A.V., Pyatibratov P.V. Justifying method of enhancing oil recovery of multizone reservoirs including hydrodynamic connected reservoirs // Indian Journal of Science and Technology. – November 2016. – V. 9 (42). – P. 2–8.
- Torres L., Yadav O.P., Khan E. A review on risk assessment techniques for hydraulic fracturing water and produced water management implemented in onshore unconventional oil and gas

пласта является создание трещин и благоприятных условий для фильтрации к эксплуатационным скважинам воды от фронта нагнетания, тем более что в условиях данного типа разреза скважины имеют «рядное» расположение. Регулирование системы заводнения для коллектора с двухслойным строением после проведения ГРП можно проводить с одновременной закачкой в нагнетательную скважину потокорегулирующих составов.

Заключение

При формировании программы геолого-технических мероприятий для снижения риска преждевременного обводнения скважин рекомендуется более детально понимать геологию продуктивной части пласта и определять тип разреза скважины.

В случае с гидродинамически связанным коллектором приоритетной является интенсификация притока из кровельной части (реперфорация). При вовлечении в разработку пластов с «двухслойным» типом строения коллектора определяющими являются водоизоляционные работы. Наименьшая вероятность обводнения продукции скважин после проведения ГРП отмечена в скважинах с выдержанным песчаным телом, расположенным в кровельной части разреза. С целью более полного учета фронта движения закачиваемых вод следует учитывать систему размещения скважин.

- production // Science of The Total Environment. – 1 January 2016. – V. 539. – P. 480–482.
- Evaluation of heterogeneity impact on hydraulic fracturing performance / H. Parvizia, S. Rezaei-Gomaria, F. Nabhanian, A. Turner // Journal of Petroleum Science and Engineering. – June 2017. – V. 154. – P. 345–347.
- Osipov A.A. Fluid mechanics of hydraulic fracturing: a review // Journal of Petroleum Science and Engineering. – May 2017. – V. 156. – P. 513–535.
- Decheng Z.D., Ranjuth P.G., Perera M.S.A. The brittleness indices used in rock mechanics and their application in shale hydraulic fracturing: a review // Journal of Petroleum Science and Engineering. – July 2016. – V. 143. – P. 160–161.
- Котенев Ю.А., Дулкарнаев М.Р. Методические принципы комплексного обоснования выработки неоднородных и сильнорасчлененных пластов залежей нефти Когалымского региона // Нефтегазовое дело. – 2014. – Т. 12. – № 1. – С. 13–24.
- Дулкарнаев М.Р. Комплексное геотехнологическое обоснование выработки высоконеоднородных и сильнорасчлененных залежей нефти (Когалымский регион) // Нефтепромысловое дело. – 2014. – № 3. – С. 18–23.
- Особенности постседиментационного преобразования верхнеюрских отложений Западной Сибири / З.Я. Сердюк, Г.Д. Исаев, И.К. Микуленко, А.И. Кудаманов, А.Р. Сайфутдинов // НТЖ «Георесурсы». – 2008. – Т. 5 (28). – С. 29–31.
- Салимов Ф.С. Опыт применения ГРП на пластах с маломощными барьерами нефтяных месторождений Когалымского региона // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО–Югры: Двенадцатая научно-практическая конференция. – Ханты-Мансийск, 2009. – Т. 2. – С. 29–37.
- Simulation and experimental studies of mineral scale formation effects on performance of Sirri-C oil field under water injection / A. Taheri, M. Zahedzadeh, R. Masoudi, A. Ataei, E. Roayaei,

- Н. Fakhri // Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. – 2011. – V. 30 (3) – P. 9–24.
16. Методические основы планирования и организации интенсивных систем заводнения (на примере пластов Ватъеганского и Тевлинско-Русскинского месторождений) / А.С. Валеев, М.Р. Дулкарнаев, Ю.А. Котенев, Ш.Х. Султанов Л.С. Бриллиант, Д.Ю. Чудинова // НТЖ «Экспозиция. Нефть. Газ». – 2016. – № 3 (49). – С. 38–41.
17. Ушаков А.С., Самойлов А.С. Анализ результатов ГРП в горизонтальных скважинах месторождений ОАО «Сургутнефтегаз» // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. Междунар. симпозиума им. академика Усова. – Томск, 2010. – С. 337–341.
18. Муратшин Д.Р., Гуторов Д.А. Анализ влияния фильтрационно-емкостных свойств коллекторов Тарасовского месторождения на эффективность ГРП // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 3. – С. 103–112.
19. Юсифов Т.Ю. Гидроразрыв нефтяных пластов с низким давлением // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 3. – С. 179–184.
20. Отчет о научно-исследовательской работе лито-фациальные исследования и стадийный анализ керна верхнеюрских отложений Ватъеганского месторождения для оптимизации поисков залежей и эксплуатации / А.И. Кудаманов, Ю.К. Романов, О.В. Хорина и др. – Когалым: ООО «Когалымнипнефть», 2009. – Т. 7. – 404 с.

Поступила 29.11.2018 г.

Информация об авторах

Валеев А.С., генеральный директор территориально-производственного предприятия «Повхнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь».

Дулкарнаев М.Р., кандидат технических наук, заместитель генерального директора по разработке месторождений, главный геолог территориально-производственного предприятия «Повхнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ – Западная Сибирь».

Котенев Ю.А., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений Уфимского государственного нефтяного технического университета; заведующий лабораторией «Технология воздействия на пласт» Института стратегических исследований Республики Башкортостан.

Султанов Ш.Х., доктор технических наук, профессор кафедры геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений Уфимского государственного нефтяного технического университета; заведующий лабораторией «Математическое моделирование процессов нефтегазоизвлечения» Института стратегических исследований Республики Башкортостан.

Бриллиант Л.С., кандидат технических наук, генеральный директор ЗАО «Тюменский институт нефти и газа».

UDC 622.276

REASONS OF WATER VOLUME INCREASING IN WELLS AFTER HYDRAULIC GAP IN HOMOGENEOUS PLATES

Azamat S. Valeev¹,
Azamat.Valeev@lukoil.com

Marat R. Dulkarnaev¹,
marat.dulkarnaev@lukoil.com

Yury A. Kotenev^{2,3},
geokot@inbox.ru

Shamil K. Sulnatov^{2,3},
ssultanov@mail.ru

Leonid S. Brilliant⁴,
ting@togi.ru

¹ Territorial production enterprise «Povneftegaz» JSC «LUKOIL – Western Siberia»,
40, Shirokaya street, Kogalym, 628486, Russia.

² Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia

³ Institute of Strategic Studies of the Bashkortostan Republic,
129/3, Oktyabrya avenue, Ufa, 450075, Russia.

⁴ Tyumen Institute of Oil and Gas,
64, Gertsen street, Tyumen, 625000, Russia.

Relevance. The issues of decreasing the share of water in the volume of output are currently extremely urgent and can be solved everywhere. Production of hydrocarbons that lie in a complex and heterogeneous reservoir, using high-performance technologies can lead to complications, including those associated with increased water cut and impossibility of its subsequent reduction. The reason for this problem is often insufficient understanding of geological structure of the deposit.

The main aim of the study is to justify the causes of high water cut values of well production after hydraulic fracturing on the example of the Vatyeganskoye oil field, taking into account the effect of formation anisotropy on watercut values in conditions of different locations of producing and injection wells.

Methods: geological and field analysis of the development of operational facility; analysis, comparison and interpretation of the results of geophysical methods of well research; methods of lithologic-facies analysis; methods of statistical processing of geological-field and geological-geophysical data.

Results. The authors have determined the characteristic of a reservoir section at which high values of water proportion in the «starting» well flow rates are observed after hydraulic fracturing of formation. Three main types of the JV_i section of the Vatiegan oil field are identified. In the case of hydrodynamically connected reservoir, the priority is the intensification of the inflow from the roofing part (reperforation), with involvement of water-saturated intervals in the «two-layer» type of the reservoir structure, the repair and insulation works are determinant. The least probability of watering the production of wells after fracturing was noted in the wells with an aged sandy body located in the roof of the section and clogged with a plantar part with a small fraction of the water-saturated strata.

Key words:

Hydraulic fracturing, heterogeneous bed, low filtration and capacitor properties, anisotropy of a reservoir, water cut, reservoir JV_i.

REFERENCES

1. Diyashev I.R., Smarozov A.A., Gillard M.R. Super-GRP at the Yaraynerskoye field. *Oil industry*, 2001, no. 7, pp. 44–48. In Rus.
2. Kibireva A.S., Tsyganova E.F., Vinogradova I.A. Opyt primeneniya gidravlicheskogo razryva plasta v gorizontalnykh skvazhinakh na mestorozhdeniyakh OOO «Lukoil– Zapadnaya Sibir» [Experience in applying hydraulic fracturing in horizontal huts at the fields of JSC «LUKOIL–Western Siberia»]. *Sostoyaniye, tendentsii i problemy razvitiya neftegazovogo potentsiala Zapadnoy Sibiri. Trudy Mezhdunarodnoy akademicheskoy konferentsii* [State, Trends and Problems of Development of Oil and Gas Potential of Western Siberia. Proc. International Academic conference]. Tyumen. 2009, pp. 465–472.
3. Boak J. Shale-Hosted Hydrocarbons and Hydraulic Fracturing. *Future Energy (Second Edition). Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*, 2014, vol. 2, pp. 117–120.
4. Peng W., Xian-biao M., Jin-bin L., Chun-zhi D., Study of the borehole hydraulic fracturing and the principle of gas seepage in the coal seam. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2009, no. 1, pp. 1565–1568.
5. Mikhaylov V.N., Dulkarnaev M.R., Volkov Yu.A. Problemy i opyt proektirovaniya razrabotki dlitelno ekspluatiruemykh zalezhey nefti na primere Vateganskogo mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri [Problems and experience in designing the development of long-term oil fields using the example of the Vatyeganskoye field in Western Siberia]. *Vysokovyzazkie nefti i prirodnye bitumy: pro-*

- blemy i povyshenie effektivnosti razvedki i razrabotki mestorozhdenii. Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [High viscosity oil and natural bitumen: problems and increasing the efficiency of exploration and development of deposits. Proc. of the International scientific and practical conference]. Kazan, 2012. pp. 255–257.
6. Demidov A.V., Pyatibratov P.V. Justifying method of enhancing oil recovery of multizone reservoirs including hydrodynamic connected reservoirs. *Indian Journal of Science and Technology*, November 2016, vol. 9 (42), pp. 2–8.
 7. Torres L., Yadav O.P., Khan E. A review on risk assessment techniques for hydraulic fracturing water and produced water management implemented in onshore unconventional oil and gas production. *Science of the Total Environment*, 2016, no. 539, pp. 480–482.
 8. Parvizia H., Rezaei-Gomaria S., Nabhanian F., Turner A. Evaluation of heterogeneity impact on hydraulic fracturing performance. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2017, no. 154, pp. 345–347.
 9. Osipov A.A. Fluid mechanics of hydraulic fracturing: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Available online, 2017, vol. 156, pp. 513–535.
 10. Decheng Z.D., Ranjuth P.G., Perera M.S.A. The brittleness indices used in rock mechanics and their application in shale hydraulic fracturing: a review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2016, no. 143, pp. 160–161.
 11. Kotenev Yu.A. Methodical principles of complex justification of development of non-uniform and fractured layers of oil deposits of in Kogalym region. *Oil and gas business*, 2014, no. 1, pp. 13–24. In Rus.
 12. Dulkarnayev M.R. Complex geotechnological justification of development of high-non-uniform and strongly dissociated oil deposits (Kogalym region). *Oil-field business*, 2014, no. 3, pp. 18–23. In Rus.
 13. Serdyuk Z.Ya., Isaev G.D., Mikulenko I.K., Kudamanov A.I., Sayfutdinov A.R. Peculiarities of post-sedimentation transformation of Upper Jurassic deposits of Western Siberia. *Georesursy*, 2008, vol. 5 (28), pp. 29–31. In Rus.
 14. Salimov F.S. Opyt primeneniya GRP na plastakh s malomoshchnymi barerami neftyanykh mestorozhdeniy Kogalymskogo regiona [Experience in applying hydraulic fracturing in reservoirs with low-power barriers in oil deposits in Kogalym region]. *Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsiala KhMAO–Yugry: Dvenadtsataya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Ways of implementing oil and gas and ore potential of Khanty-Mansiysk Autonomous District–Yugra. The twelfth scientific and practical conference]. Khanty-Mansiysk, 2009. No. 2, pp. 29–37.
 15. Taheri A., Zahedzadeh M., Masoudi R., Ataei A., Roayaei E., Fakhri H. Simulation and experimental studies of mineral scale formation effects on performance of Sirri-C oil field under water injection. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2011, no. 30 (3), pp. 9–24.
 16. Valeev A.S., Dulkarnayev M.R., Kotenev Yu.A., Sultanov S.Kh., Brilliant L.S., Chudinova D.Yu. Methodical bases of planning and organizing intensive flooding systems (on the example of the Vategansky and Tevlinsko-Russkinskoye deposits). *Exposition. Oil Gas*, 2016, no. 3 (49), pp. 38–41. In Rus.
 17. Ushakov A.S., Samoylov A.S. Analiz rezultatov GRP v gorizontalnykh skvazhinakh mestorozhdeniy OAO «Surgutneftegaz» [Analysis of the results of fracturing in horizontal wells of the fields of OJSC «Surgutneftegaz»]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr. Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma im. akademika Usova* [Problems of geology and subsoil development. Proc. International symposium named after academician Usov]. Tomsk, 2010. pp. 337–341.
 18. Muratshin D.R., Gutorov D.A. Analysis of the effect of the reservoir properties of Tarasovskoe field on fracturing efficiency. *Electronic scientific journal «Oil and gas business»*, 2011, no. 3, pp. 103–112. In Rus.
 19. Yusifov T.Yu. Hydrofracturing of low-pressure oil reservoirs. *Electronic scientific journal «Oil and gas business»*, 2012, no. 3, pp. 179–184. In Rus.
 20. Kudamanov A.I., Romanov Yu.K., Khorina A.V. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote lito-fatsialnykh issledovaniy i stadial'nogo analiza kerna verkhneyurskikh otlozheniy Vatyeganskogo mestorozhdeniya dlya optimizatsii poiskov zalezhey i ekspluatatsii* [Report on the research work of lithological and facies studies and stadal analysis of core samples of the upper Jurassic sediments of Vatyegansk field to optimize exploration and exploitation]. Kogalym, Kogalymnipeft Publ., 2009. 404 p.

Received: 29 November 2018.

Information about the authors

Azamat S. Valeev, general director of the territorial production enterprise «Povheftegaz» JSC «LUKOIL – Western Siberia».

Marat R. Dulkarnayev, Cand. Sc., deputy general manager in exploration, chief geologist of the territorial production enterprise «Povheftegaz» JSC «LUKOIL – Western Siberia».

Yury A. Kotenev, Dr. Sc., professor, head of the department, Ufa State Petroleum Technological University; head of the laboratory, Institute of Strategic Studies of the Bashkortostan Republic.

Shamil K. Sulnatov, Dr. Sc., professor, Ufa State Petroleum Technological University; head of the laboratory, Institute of Strategic Studies of the Bashkortostan Republic.

Leonid S. Brilliant, Cand. Sc., general manager, Tyumen Institute of Oil and Gas.