

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА НА БАВЛИНСКОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Шакурова А.Ф.

ОАО НПФ «Геофизика»

*Приводится анализ эффективности применения ГРП для увеличения нефтеотдачи различных терригенных коллекторов Бавлинского нефтяного месторождения. Исследовано влияние фильтрационно-емкостных и коллекторских свойств на прирост добычи нефти после ГРП. Показано, что эффективность этой технологии существенно зависит не только от указанных свойств, но также от реологии жидкости разрыва и режима ГРП.*

Проведение геолого-технических мероприятий, предназначенных для интенсификации притока нефти к скважинам и снижения обводненности добываемой продукции, является одним из перспективных и быстроразвивающихся направлений технического прогресса в нефтяной промышленности. Во всех нефтегазодобывающих регионах ухудшение структуры запасов и истощение высокопродуктивных залежей приводит к возрастанию доли трудноизвлекаемых запасов с низкими дебитами скважин. При этом успешность геолого-технических мероприятий снижается, что особенно проявляется в связи с обводнением скважин.

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из наиболее эффективных средств повышения дебитов скважин, поскольку не только интенсифицирует выработку запасов, находящихся в зоне дренирования скважины, но и при определенных условиях существенно расширяет эту зону, приобщив к выработке слабодренируемые зоны и прослой, и, следовательно, позволяет достичь более высокой конечной нефтеотдачи.

В работе были проанализированы факторы, влияющие на эффективность ГРП в зависимости от фильтрационно-емкостных и коллекторских свойств пластов на примере Бавлинского нефтяного месторождения НГДУ «Бавлынефть». При этом рассматривались два различных коллектора: бобриковский горизонт и пашийский горизонт, которые имеют различные коллекторские свойства.

Продуктивные пласты бобриковского горизонта, залегающие на глубине порядка 1215 м, сложены преимущественно чистыми мономинеральными кварцевыми песчаниками, содержащими глинистый материал с концентрацией до 9-10 %.

Причем распределение глины в пласте носит достаточно неравномерный характер, доля пластов с глинистостью менее 4 % составляет 40 %, а с глинистостью менее 4 % от 5 до 10 - 60 % [1].

В соответствии с этим очевидно ожидать, что распределение проницаемости в бобриковском горизонте так же будет носить неравномерный характер, доля пластов с относительно низкой проницаемостью ( $< 80$  мд) составляет 75 %, а с более высокой проницаемостью ( $> 90-100$  мд) составляет только 25 %. Распределение значений пористости также отличается достаточно большой неравномерностью, которая проявляется в том, что пласты с пористостью ниже 17 % составляют только 40 %, а пласты с пористостью более 18 % составляют 60 % и более.

Для анализа геолого-промысловых факторов, влияющих на эффективность ГРП, были исследованы промысловые данные по 20 скважинам.

Технологический эффект по каждому ГРП оценивался исходя из динамики изменения текущего (помесячного) дебита нефти или воды относительно начального (базового) уровня, по которой вычислялась не только величина полученной накопленной добычи нефти или воды ( $\Delta Q_n, \Delta Q_v$ ), но также ее продолжительность ( $\Delta t_n, \Delta t_v$ ).

Все предварительные (исходные) данные были систематизированы и сведены в таблицу, в которой представлены сведения не только о промысловых данных, но также значения коллекторских ( $K_{пор}, K_n, K_{гл}$ ) и фильтрационно-емкостных ( $K_{пр}$ ) свойствах пластов вскрытых ГРП. Они были использованы для изучения наличия корреляционных связей между результатами ГРП и фильтрационно-емкостными и коллекторскими свойствами пластов бобриковского горизонта (рис. 1).

На рис. 1 представлена корреляционно-статистическая связь между величиной накопленной добычи нефти после ГРП ( $\Delta Q_n$ ) и нефтенасыщенностью коллектора, из которой следует, что, начиная с  $K_n$  равного 50 %, наблюдается рост величины накопленной добычи по мере роста начальной нефтенасыщенности коллектора.

Таблица сводных данных по результатам ГРП

№ п/п	№ СКВ	h <sub>перф</sub> , м	K <sub>н</sub> , %	K <sub>пор</sub> , %	K <sub>гл</sub> , %	K <sub>пр</sub> , мд	ΔQ <sub>н</sub> , т/ мес	ΔQ <sub>в</sub> , т/мес	Δt <sub>н</sub> , мес	Δt <sub>в</sub> , мес
Бобриковский горизонт										
1	246	3	73,1	17	4,2	313,8	2956,3	4584,5	55	69
2	255	2	87,5	17	4,4	92,3	6402	19279	46	52
3	280	2,2	84,4	18	4,1	36,6	4994	9606,4	64	80
4	442	5	84,4	17,78	2,1	78,2	4857,9	14747,5	29	55
5	893	1,2	62	19	2,3	199,6	1733	4369,1	33	54
		1	71,2	13	4,8	52,5				
6	1785	3	56,2	19,8	7,7	76,9	3402	19270,4	40	75
7	2306	2	50,1	13,7	9	11,5	2373	9828,6	42	59
8	247	2,2	71,3	16	4,2	76,6	907,6	3995,2	28	32
9	279	3	81,2	18	6,3	66,7	1602,6	4424	57	78
10	760	3	90,8	20,3	4	61,2	5005,3	8016,8	71	84
11	1226	0,8	73,6	17	6,8	11,2	9812,92	17800,3	61	70
		1,8	79,5	19,3	4,4	36,6				
12	2020	2,2	74	18	0,6	146,1	2924,3	13249,7	56	63
13	3314	2	65,2	22,3	1,2	374,7	3826,5	9161	28	32
Пашийский горизонт										
1	10545	1,2	70,2	17,8	62	0,7	2668,6	10188,8	55	67
2	22426	1,2	62,6	18,1	66,9	7,8	530,2	1013	23	31
		1,2	71,2	20,5	160	1,3				
3	49К	2,8	59,5	14,6	23,9	4,1	4330,7	6235,9	44	51
4	365Д	4,4	49,5	14,1	24,9	2,7	1537	17297,3	63	71
5	2571	1,8	81,1	14	166,7	0,2	44	463	42	42
6	10549	1	73,8	16,3	43	0,7	1310	10601,9	54	61
		1,8	65,8	16,9	50	0,9				
7	22687	2,2	79	20,2	113	1,6	-304	1426	9	9
		1,2	52,2	18,5	61,2	4,1				

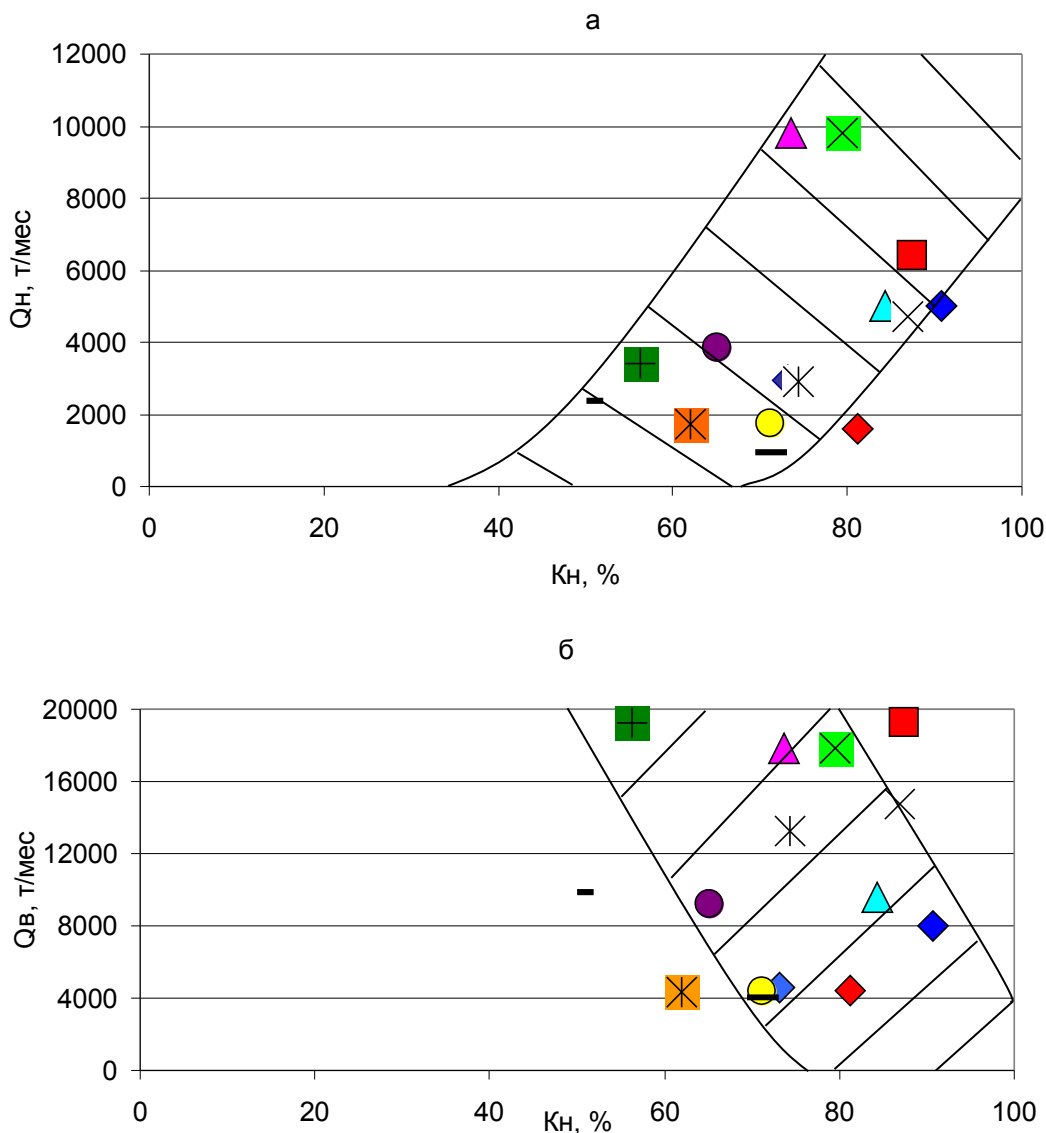


Рисунок 1. Корреляционная зависимость величины технологического эффекта при ГРП от коэффициента нефтенасыщенности:  
а – для добычи по нефти, б – для добычи по воде

Что касается величины накопленной добычи по воде после ГРП, то она с ростом величины начальной нефтенасыщенности, наоборот, имеет тенденцию к неуклонному снижению (рис. 1б).

В отношении поведения продолжительности эффекта после ГРП в зависимости от величины начальной нефтенасыщенности, можно отметить, что она по нефти и по воде имеет одинаковую тенденцию к росту по мере увеличения начальной нефтенасыщенности (рис. 2а, б).

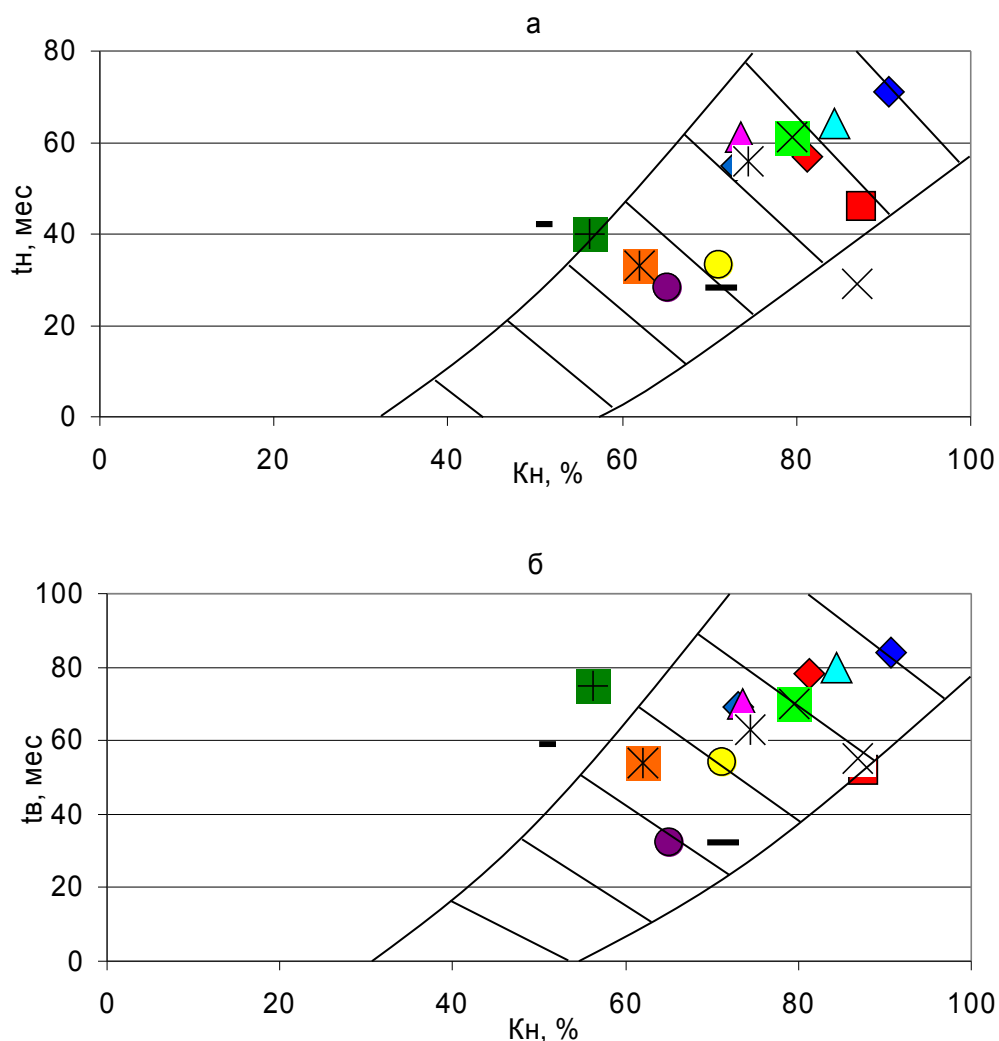


Рисунок 2. Корреляционная зависимость продолжительности технологического эффекта при ГРП от коэффициента нефтенасыщенности:  
а – для добычи по нефти, б – для добычи по воде

Исследование влияния значения коэффициента фазовой (для нефти) проницаемости на величину дополнительной добычи по нефти и воде показало, что оно носит обратно пропорциональный характер: чем больше фазовая проницаемость, тем меньше дополнительная добыча, и, наоборот (рис. 3а, б).

Данное явление можно объяснить тем, что при протекании процесса ГРП жидкость разрыва фильтруется в поры пласта тем интенсивнее, чем выше его проницаемость (пористость), что приводит к кольтатации порового пространства и создания вблизи трещины малопроницаемой оторочки из кольтатанта, что приводит к снижению эффекта от ГРП как по нефти, так и по воде.

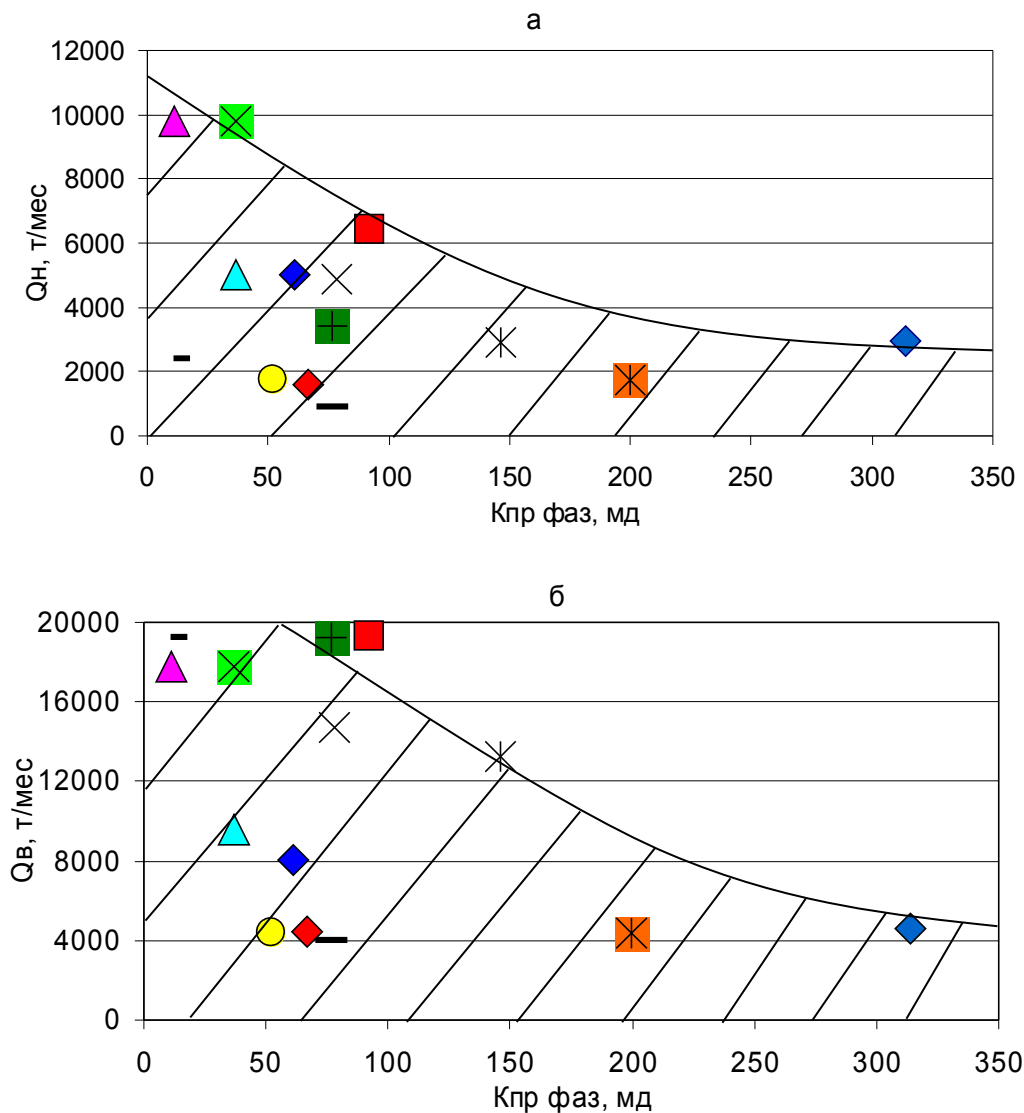


Рисунок 3. Корреляционная зависимость величины технологического эффекта при ГРП от коэффициента пористости:  
а – для добычи по нефти, б – для добычи по воде

Особый интерес представляет полученные статистические зависимости между величиной накопленной дополнительной добычи по нефти ( $\Delta Q_n$ ) и по воде ( $\Delta Q_v$ ) после ГРП и значениями глинистости бобриковского горизонта (рис. 4а, б). Из них со всей очевидностью следует, что с ростом содержания глинистости в коллекторе дополнительная добыча по нефти растет, а по воде, соответственно снижается.

Учитывая характер зависимости дополнительной добычи нефти от величины коэффициента фазовой проницаемости представленной на рис. 3а можно предположить, что влияние глинистости на рост дополнительной добычи

(рис. 4а) обусловлено ее существенным воздействием на проницаемость порового пространства коллектора, что подтверждается также полученной зависимостью между коэффициентами фазовой проницаемости и величиной глинистости, представленной на рис. 5.

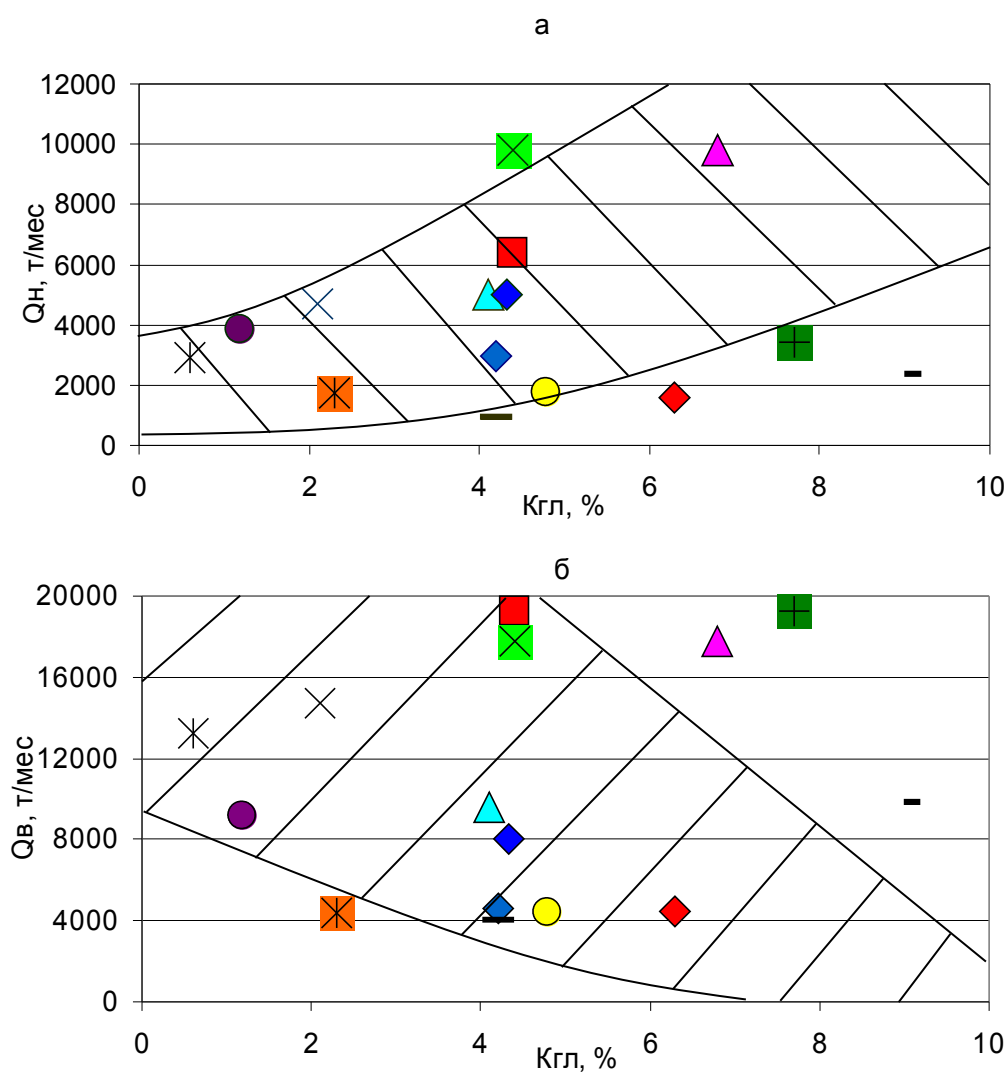


Рисунок 4. Корреляционная зависимость величины технологического эффекта при ГРП от коэффициента глинистости:  
а – для добычи по нефти, б – для добычи по воде

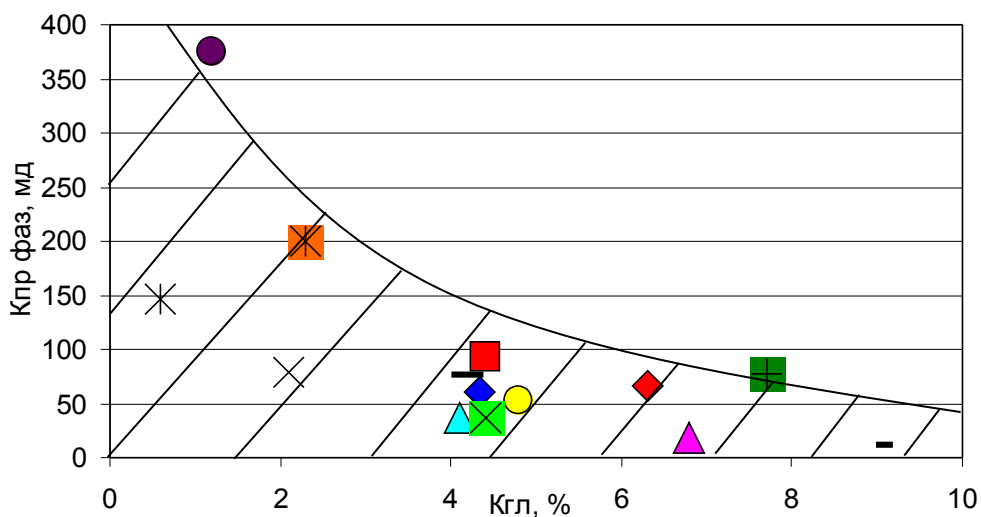


Рисунок 5. Корреляционная зависимость между коэффициентом фазовой проницаемости (по нефти) и величиной глинистости коллектора

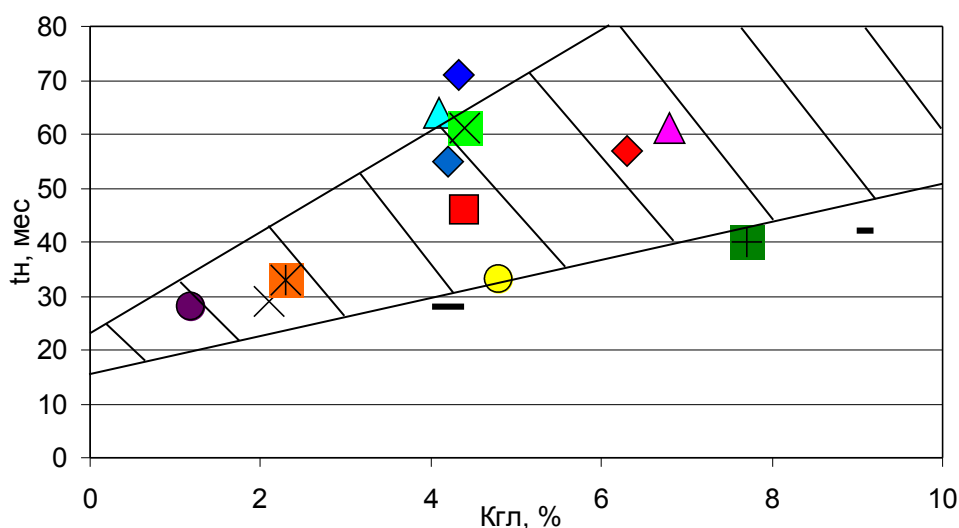


Рисунок 6. Корреляционная зависимость продолжительности технологического эффекта при ГРП от коэффициента глинистости коллектора

При этом было также установлено, что содержание глинистости в коллекторе бобриковского горизонта благотворно сказывается не только на росте величины дополнительной добычи нефти после проведения гидравлического разрыва пласта, но также и на увеличении продолжительности эффекта от этой технологии (рис. 6).

Таким образом, на основании выполненного анализа результатов промысловой эффективности ГРП на бобриковском горизонте и сопоставления их

с его коллекторскими и фильтрационно-емкостными свойствами, можно сделать следующие выводы:

1. Существенное влияние на технологическую эффективность ГРП оказывает проницаемость коллектора, с ростом которой наблюдается уменьшение величины дополнительной добычи нефти, что, по-видимому, связано с фильтрацией жидкости разрыва в поровое пространство пласта.

2. Влияние глинистости в коллекторе сводится к уменьшению его проницаемости по мере роста содержания глинистого материала в скелете горной породы и соответственно – к снижению возможности фильтрации жидкости разрыва в поровое пространство пласта.

3. Очевидно, что решить проблему увеличения эффективности ГРП в высокопроницаемых пластах бобриковского горизонта можно за счет изменения реологических свойств жидкости разрыва путем снижения ее способности фильтроваться в поровое пространство пласта.

Аналогичным образом были проанализированы коллекторские свойства пашийских отложений Бавлинского нефтяного месторождения.

Пашийские отложения залегают на глубине 1742 м. Нижняя граница отложений пашийского горизонта проводится по кровле глинистой пачки пород муллинского горизонта, а верхняя – по подошве репера «верхний известняк».

В целом, пашийский горизонт представлен переслаиванием песчано-алевролитовых пород иногда разделенных глинистыми породами, причем алевролитовые породы приурочены чаще к кровельной части разреза. Скважины, на которых проводился ГРП, вскрывают пласт Д<sub>1</sub>.

Продуктивные пласты горизонта слагаются, в основном, мелкозернистыми песчаниками, доля которых составляет 71 %. Для пород-коллекторов горизонта характерны высокая пористость, очень низкое содержание связанной воды и высокая проницаемость [1].

В пашийском горизонте доля кварца составляет 92,2 - 98,6 % с небольшой примесью полевых шпатов и др. Коллекторские свойства таких песчаников изменяются в широких пределах: пористость изменяется от 14 до 22 %; проницаемость от 50 до 170 мд, а глинистость от 1 до 7 %.

Причем доля коллекторов с пористостью выше 17 % составляет 70 %, с проницаемостью более 60 мд – 60 %, а с содержанием глины выше 3 % - только 30 %.

Сопоставление данных по пашийскому горизонту с аналогичными свойствами коллекторов бобриковских отложений, показывает, что породы пашийского горизонта обладают лучшими коллекторскими свойствами, обусловленными не в последнюю очередь меньшим содержанием глинистого материала в скелете горной породы.

Суммарная средняя эффективная нефтенасыщенная толщина на 84 - 92 % сложена высокопористыми коллекторами. Коллекторы пласта  $D_1$  имеют высокое площадное распространение, при котором вероятность вскрытия изменяется от 95 до 100 %.

На рис. 7 представлена статистическая (корреляционная) связь между величиной накопленной добычи нефти после ГРП ( $\Delta Q_n$ ) и нефтенасыщенностью коллектора, из которой следует, что начиная с  $K_n$  равного 50 % наблюдается уменьшение величины накопленной добычи по мере роста начальной нефтенасыщенности коллектора.

Что касается величины накопленной добычи по воде после ГРП ( $\Delta Q_v$ ), то она с ростом величины начальной нефтенасыщенности, также имеет тенденцию к неуклонному снижению (рис. 7б).

В отношении поведения продолжительности эффекта после ГРП в зависимости от величины начальной нефтенасыщенности можно отметить, что она имеет по нефти тенденцию к росту по мере увеличения начальной нефтенасыщенности (рис. 8).

Исследование влияния значения коэффициента фазовой (по нефти) проницаемости на величину дополнительной добычи по нефти и воде показано, что носит обратно пропорциональный характер: чем больше фазовая проницаемость, тем меньше дополнительная добыча нефти, и наоборот (рис. 9а, б).

Значительный интерес для сравнения с данными полученными при анализе данных бобриковского горизонта представляет статистическая (корреляционная) зависимость между величиной накопленной дополнительной добычи по нефти

( $\Delta Q_n$ ) и по воде ( $\Delta Q_v$ ) после ГРП и значениями глинистости пашийского горизонта девонских отложений (рис. 10 а, б).

Из них со всей очевидностью следует, что с ростом содержания глинистости в коллекторе дополнительная добыча по нефти и по воде неуклонно снижается в отличие от поведения аналогичных зависимостей, полученных при анализе коллекторских свойств бобриковского горизонта Бавлинского месторождения.

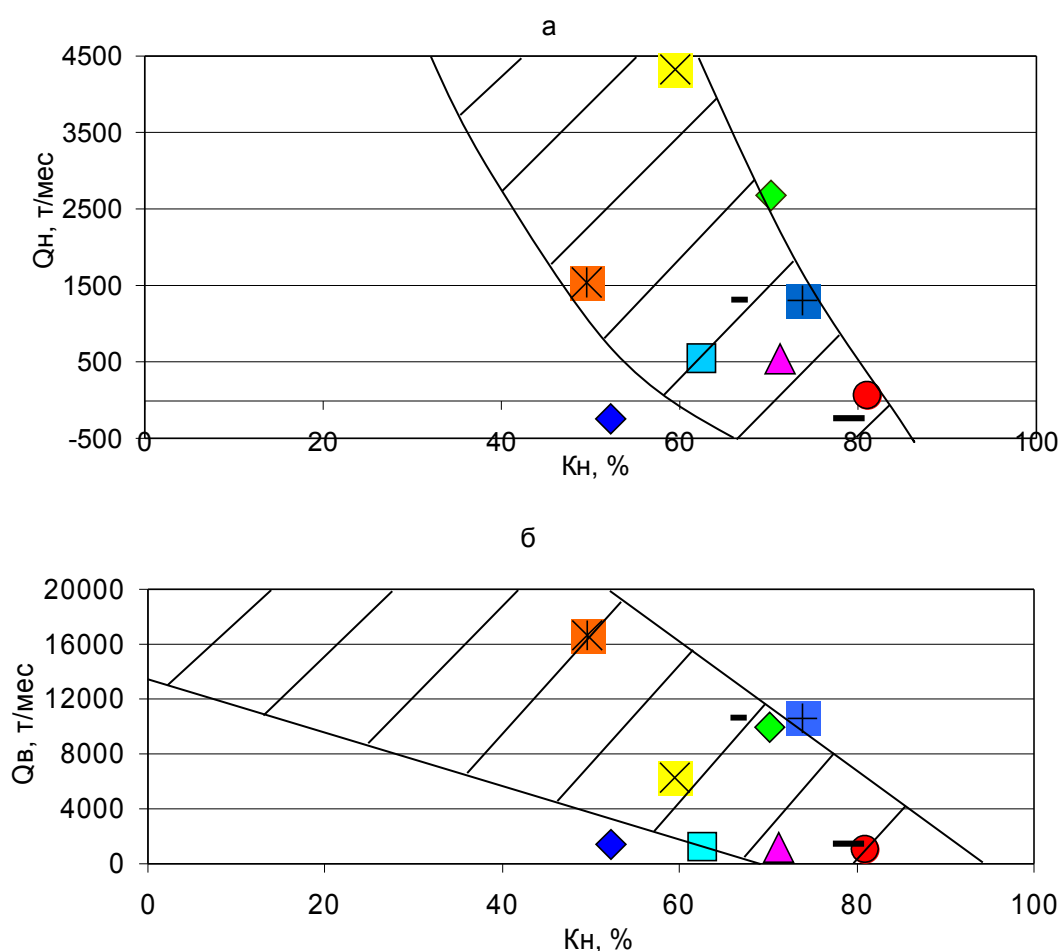


Рисунок 7. Корреляционная зависимость величины технологического эффекта при ГРП от коэффициента нефтенасыщенности:  
а – для добычи по нефти, б - для добычи по воде

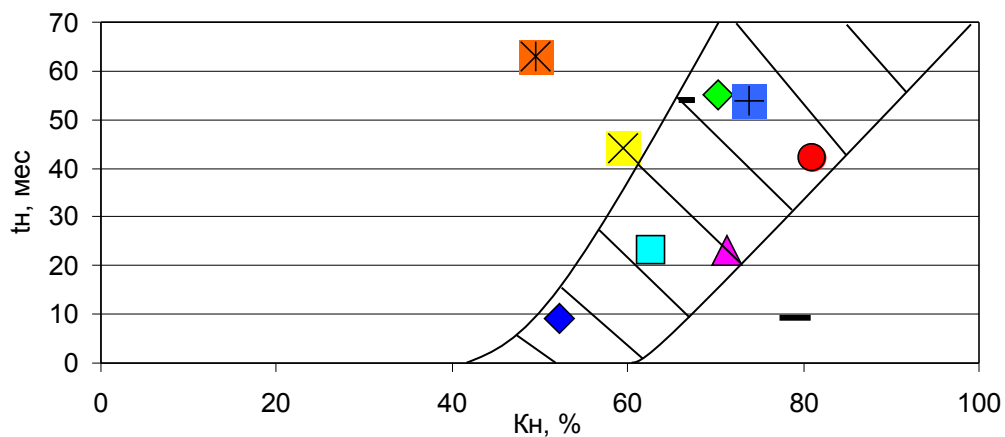


Рисунок 8. Корреляционная зависимость между продолжительностью технологического эффекта и величиной нефтенасыщенности коллектора

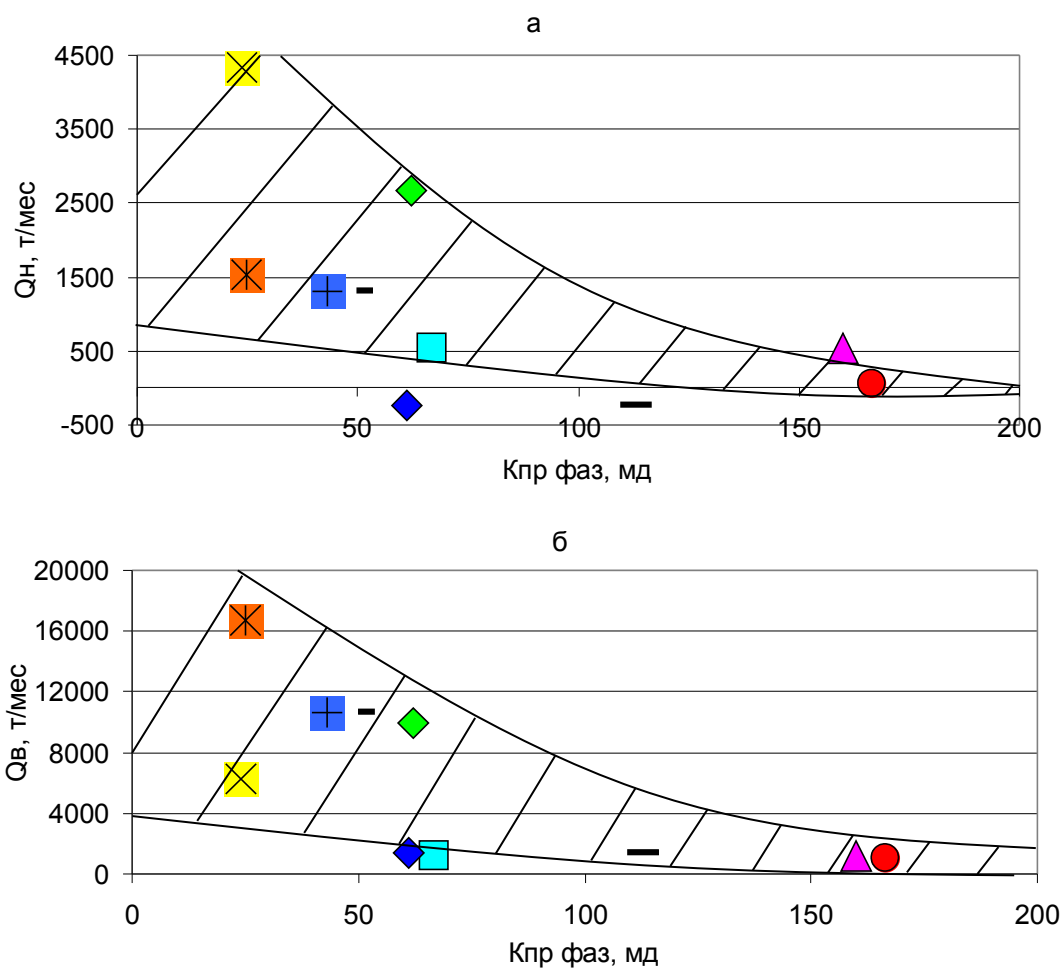


Рисунок 9. Корреляционная связь между величиной технологического эффекта при ГРП с фазовой проницаемостью по нефти:  
а – для добычи по нефти, б – для добычи по воде

Учитывая, характер полученных зависимостей приведенных на рис. 10а, б, а также на рис. 9а, можно предположить, что в случае пашийских отложений влияние глинистости на проницаемость порового пространства, незначительно.

Чтобы удостовериться в этом были построены корреляционно-статистические связи между продолжительностью получения положительного эффекта от ГРП и величиной глинистости, а также от величины пористости коллектора (рис. 11, 12). Из графиков представленных на рис. 11, 12 следует, что продолжительность эффекта с ростом глинистости и пористости неуклонно снижается. Что не противоречит полученным зависимостям, которые приведены на рис. 9, 10.

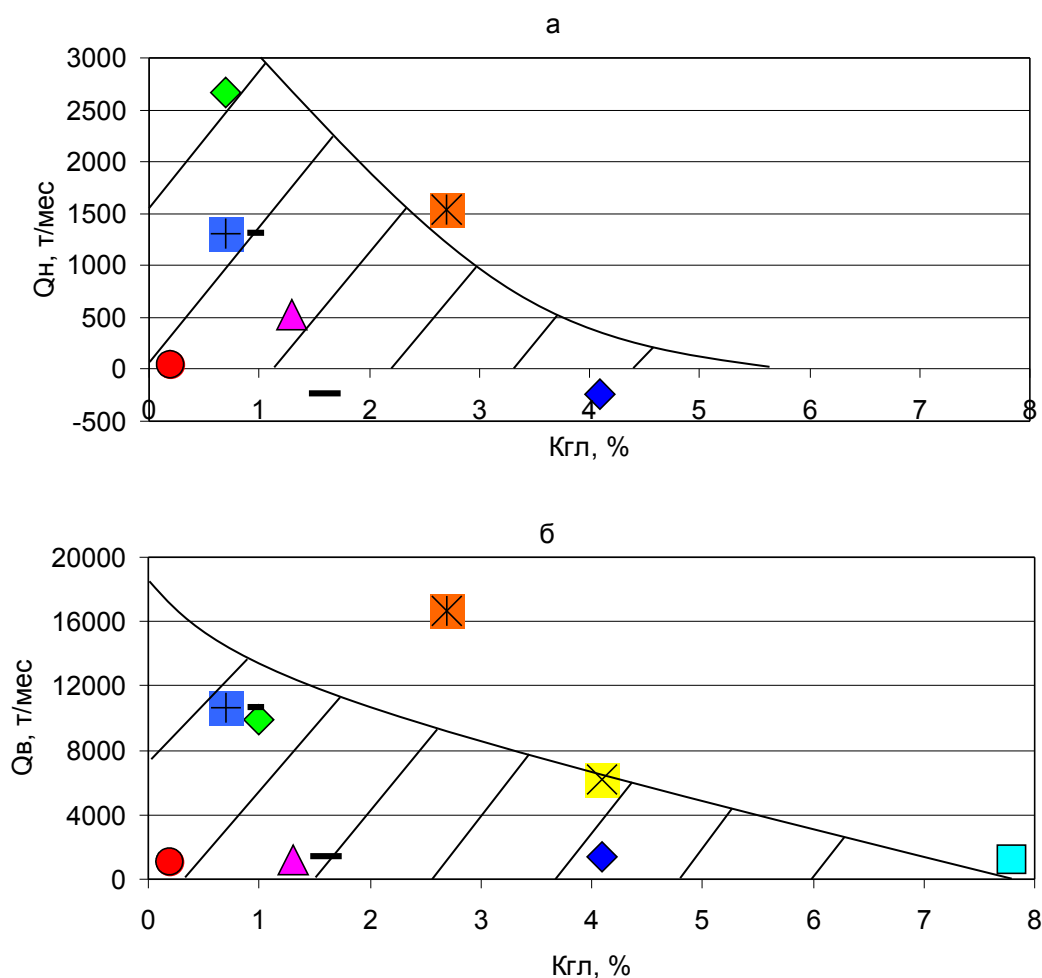


Рисунок 10. Корреляционная зависимость величины технологического эффекта при ГРП от содержания глины в коллекторе:  
а – для добычи по нефти, б – для добычи по воде

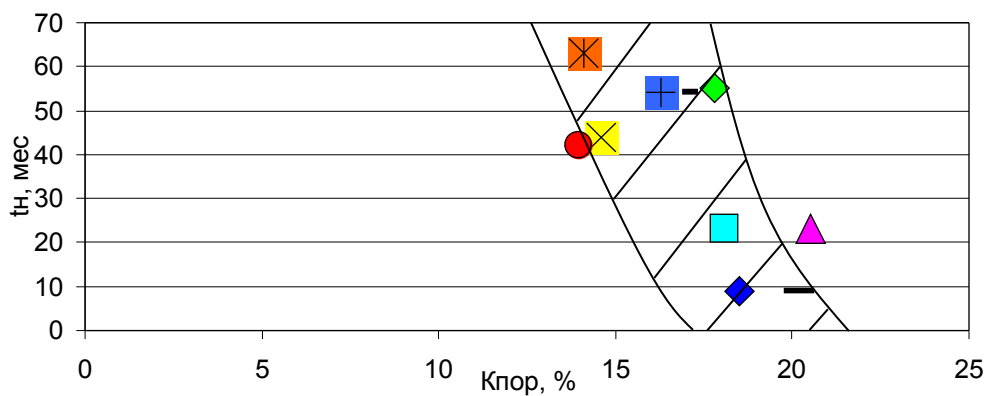


Рисунок 11. Корреляционная связь между продолжительностью эффекта при ГРП с величиной пористости коллектора

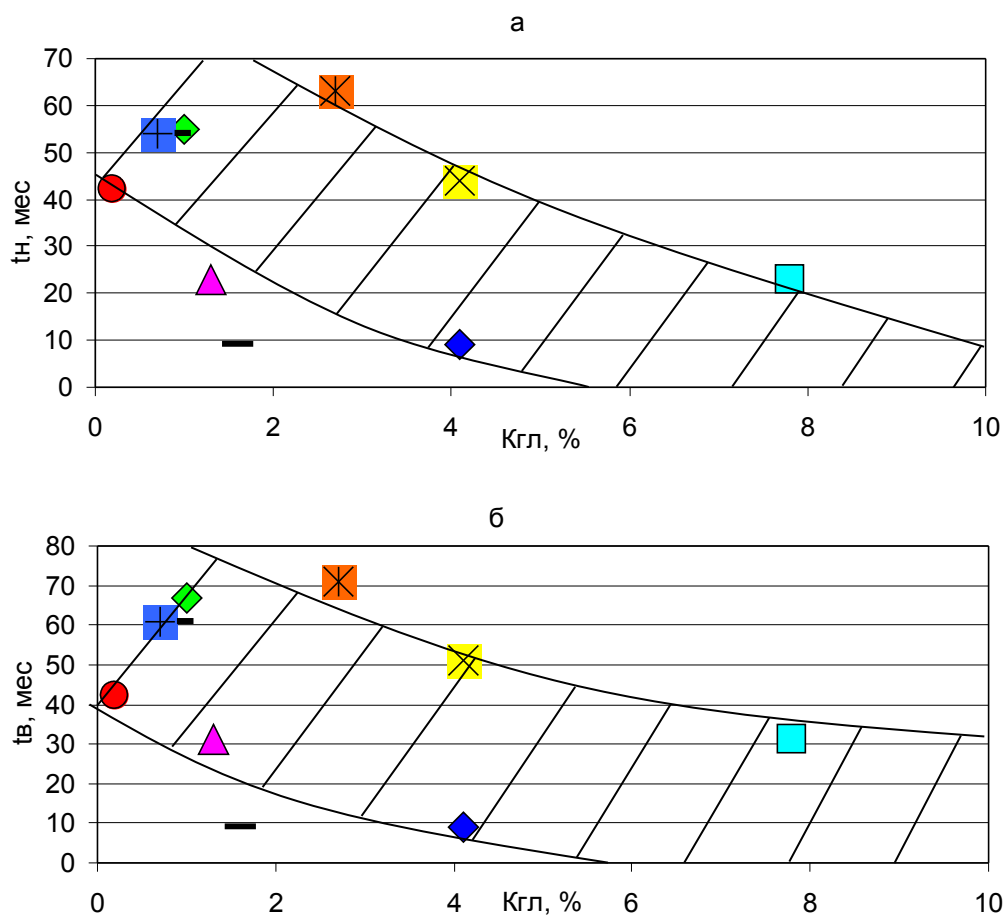


Рисунок 12. Корреляционная зависимость продолжительности эффекта при ГРП от содержания глинистого материала в коллекторе:  
а – для добычи по воде, б – для добычи по нефти

Полученные зависимости позволяют на основе их детального анализа сделать следующие выводы, которые достаточно убедительно объясняют механизм протекания ГРП в продуктивных пластах пашийских отложения, а именно:

1. Поскольку коллектора пашийских отложений обладают лучшими фильтрационно-емкостными свойствами по сравнению с коллекторами бобриковских отложений, жидкость разрыва активно фильтруется в их поровое пространство, создавая вблизи стенки трещины протяженную зону кольматации, которая тем глубже, чем выше пористость (проницаемость) коллектора.

2. Малое содержание глинистого материала в скелете породы в процессе его разбухания под действием проникающей в породу жидкости разрыва не может оказать существенного влияния на ее проницаемость.

3. С целью предотвращения отмеченных негативных эффектов необходимо отрегулировать реологические свойства жидкости разрыва с учетом фильтрационно-емкостных свойств пород, слагающих пашийский горизонт девонских отложений.

#### Литература

1. Муслимов Р.Х., Абдулмазитов Р.Г., Иванов А.И. и др. Геологическое строение и разработка Бавлинского нефтяного месторождения. Москва, ВНИИОЭНГ, 1996.

2. Каневская А.И., Дияшев И.Р., Некипелов Ю.В. Применение гидравлического разрыва пласта для интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. - 2002. - № 5. - С. 96-100.