



АНОМАЛЬНО ПРОНИЦАЕМЫЙ «ТРЕЩИННО-ЖИЛЬНЫЙ» И «КАРСТОВО-ЖИЛЬНЫЙ» КАРБОНАТНЫЙ КОЛЛЕКТОР В РИФЕЕ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПО ГЕОЛОГО-ПРОМЫСЛОВЫМ ДАННЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БУРЕНИЯ)

А. Г. Вахромеев, Е. М. Данилова, Р. К. Разяпов, В. М. Иванишин, Р. У. Сираев

По геологическим данным эксплуатационного бурения горизонтальных стволов протяженностью до 1000 м в сложных нефтенасыщенных карбонатных коллекторах рифея Юрубчено-Тохомского нефтегазоконденсатного месторождения сделан вывод о вскрытии аномально-проницаемых трещинно-карстовых коллекторов «жильного» подтипа. Актуальность детализации градаций трещинно-карстовых коллекторов в верхнем, наиболее проницаемом и самом проблемном для бурения, интервале значений обоснована сложностью горно-геологических условий первичного вскрытия нефтяной залежи горизонтальным бурением. Это крайне важно для обеспечения качества первичного вскрытия нефтяной залежи в закарстованной анизотропно-трещиноватой карбонатной толще рифея в условиях АНПД, а также обуславливает принципиальную необходимость смены традиционной технологии бурения на более эффективную технологию «с замкнутым контуром».

Ключевые слова: сложные карбонатные коллекторы Юрубчено-Тохомского месторождения, «жильный» коллектор, технология первичного вскрытия, нефтяная залежь, горизонтальное бурение.

ANOMALOUSLY-PERMEABLE FRACTURED VEIN AND KARST VEIN CARBONATE RESERVOIR IN RIPHEAN OF THE YURUBCHEN-TOKHOMO PETROLEUM FIELD (BY FIELD-GEOLOGICAL DATA OF HORIZONTAL DRILLING)

A. G. Vakhromeev, E. M. Danilova, R. K. Razyapov, V. M. Ivanishin, R. U. Siraev

The conclusion is made on drilling-in of anomalously-permeable fractured karst reservoirs of "vein" subtype. Such consequence is based on field-geological data of exploitation drilling of horizontal wellbores up to 1000m in complex oil-saturated carbonate Riphean reservoirs of the Yurubchen-Tokhomskeye oil-gas condensate field (YuT OGCF). Relevance of gradations specification for fractured karst reservoirs in the upper, the most permeable and the most problem limit for drilling is proved by complexity of mining and geological conditions of primary tapping of oil pool by horizontal drilling. This is extremely important for quality maintenance of primary tapping of oil pool in the karst anisotropically fractured carbonate Riphean stratum in subpressure conditions and dictates fundamental necessity for replacement of traditional drilling technology by more effective closed loop one.

Keywords: complex carbonate reservoirs of YuTF, "vein" reservoir, technology of primary drilling-in, oil pool, horizontal drilling.

Изучая, оценивая и проектируя разработку и освоение новых месторождений нефти и газа, особенно сложных по геологическому строению продуктивной части разреза, геологи стараются привлечь максимально широкий комплекс исследований месторождения. Такой подход позволяет сохранить объективность при обосновании параметров концептуальной геологической модели залежи, в первую очередь модели емкостного и транзитного пространства.

Этот тезис весьма актуален для нового этапа изучения юрубченской залежи Юрубчено-Тохомского нефтегазоконденсатного месторождения-гиганта (ЮТМ) [22], этапа эксплуатационного бурения горизонтальных стволов большой протяженности (до 1000 м). Этап крайне важен в аспекте как получения новой геологической информации, так и уточнения модели залежи. Суммарная длина пробуренных горизонтальных участков уже превышает 10000 м.

Пустотное пространство рифейской карбонатной залежи характеризуется сложным кавер-

ново-трещинным типом коллектора [5, 10–13]. Отдать приоритет емкостного пространства только субвертикальной трещинной системе, осложненной кавернами выщелачивания или гидравлически связанной с субгоризонтальными кавернами, – это тонкости, на которых настаивают некоторые авторы [11, 13]. Транзитное пространство рифейской залежи практически полностью отождествляется с трещинной системой. Среднее значение проницаемости трещин по данным исследований керна и ГИС в пределах 100–300 мД. Рифейский резервуар сложен плотными древними доломитами, разбитыми густой сетью микро- и макротрещин, обуславливающих емкость коллектора и его проводимость. Условно данный тип коллектора можно считать блоковым, где роль блока (матрицы) выполняет густая система микротрещин, обеспечивающих до 90 % всего пустотного объема залежи, а межблоковое пространство представлено системой субвертикальных макротрещин, разделяющих блоки с ми-

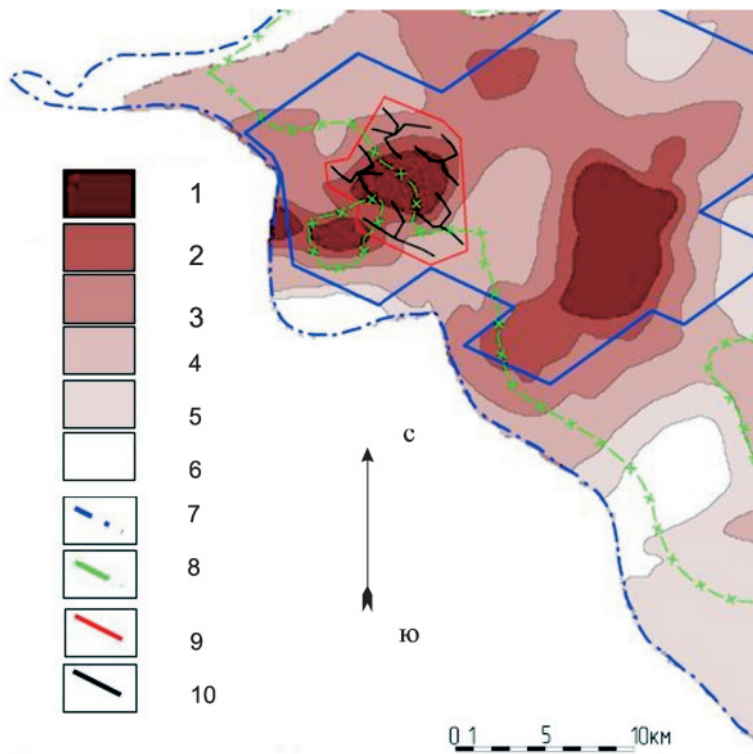


Рис. 1. Формализованная осредненная модель проницаемости и допустимых депрессий при освоении горизонтальных скважин Юрубченской залежи, участок первоочередного освоения ЮТМ (по данным ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», 2013 г.)

$K_{пр}$: 1 – >300 мД, 2 – 150–300 мД, 3 – 50–150 мД, 4 – 10–50 мД, 5 – 3–10 мД, 6 – > 3 мД; контуры: 7 – ВНК, 8 – ГНК, 9 – первоочередного участка, 10 – расширенного первоочередного участка

Результаты оценки гидродинамических параметров по данным длительных ГДИ вертикальной разведочной скважины (Юрубченская залежь)

d, мм	Дата исследования	Дебит, м ³ /сут	Параметр			
			Гидропроводность, Д·см/сП	Проницаемость, мД	Пьезопроводность, см ³ /с	Скин-фактор
4	08.05.03–10.05.03	26	13500	9460	1024300	4,0
8	30.04.03–04.05.03	161	11500	8060	872000	2,7
16	02.06.03–05.06.03	385	12800	8940	967500	3,5
8	07.10.10–12.10.10	165	13957	9770	1023356	1,3
16	16.10.10–18.10.10	374	10700	7490	784538	5,1

кротрещиноватостью и являющихся основными проводящими каналами.

Схема кустового бурения эксплуатационных наклонно направленных скважин спроектирована таким образом, что горизонтальный ствол вскрывает нефтенасыщенную толщу перпендикулярно преобладающему направлению простирания субвертикально-проницаемой трещиноватости [12]. Это обеспечивает равномерное формирование воронки депрессии при разработке (или равномерное падение пластового давления в залежи).

Таким образом, относительно продуктивной толщи рифея сформировалось единое представление о каверново-трещинном типе пустотного пространства с ярко выраженной анизотропией фильтрационного поля. Приводя неравномерную (до 5 порядков) каверново-трещинную систему пустотного пространства к равномерной, авторы модели приняли, что проницаемость транзитных трещин не превышает 300–500 мД. Исходя из этого допущения оценена проектная продуктивность горизонтальных стволов и рассчитаны их оптимальная длина, а также расстояние между скважинами и кустами. Горизонтальными стволами предполагается вскрыть суммарное количество трещин с осреднен-

ной проницаемостью 300 мД, что обеспечит дренирование рифейского массива максимально равномерно, без искажения воронки депрессии. С другой стороны, в таком представлении содержится определенное расхождение с реальными геологическими условиями: проницаемость каверново-трещинного массива весьма неравномерна и каждый горизонтальный ствол вскрывает анизотропную по фильтрационным параметрам систему. Согласно принятой геологической модели горизонтальное эксплуатационное бурение в пределах первоочередного участка разработки Юрубченской залежи спроектировано в области наиболее высокой, порядка 1200–1600 мД, проницаемости коллектора (рис. 1). Действительно, наиболее высокие значения проницаемости (до 9770 мД) рассчитаны по данным ГДИ вертикальных скважин (см. таблицу).

Результаты фактического вскрытия горизонтальным бурением показали совершенно разные геологические условия в нефтяной залежи. Процесс первичного вскрытия бурением и проходки по горизонту можно представить в двух различных вариантах:

1) горизонтальный ствол постепенно (по мере углубления) вскрывает равномерно трещиноватый

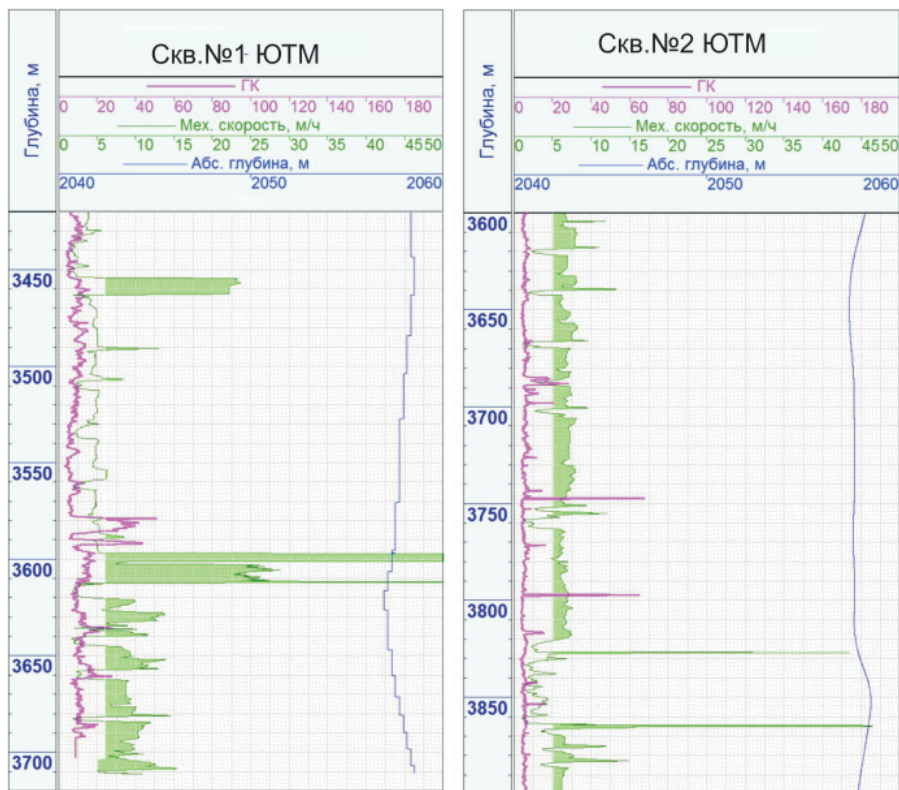


Рис. 2. Дискретность поглощающих интервалов разреза в горизонте (рифей): скачкообразное изменение механической скорости при вскрытии высокопроницаемых разломных зон (по данным горизонтального бурения, Юрубченская залежь)

массив с небольшим диапазоном проницаемости (это, по существу, проектный вариант);

2) осуществляется продолжительное бурение горизонтального ствола по монолитным породам до 150–300 м, после чего – резкий провал бурильной колонны от 30 см до первых метров, потеря или падение давления циркуляции, скачок мгновенной скорости, и с этого момента начинается поглощения с расходом 10–20 м³/ч вплоть до катастрофического (рис. 2).

Такие провалы зафиксированы в некоторых горизонтальных скважинах. Это свидетельствует о вскрытии карстово-трещинного коллектора с аномальными значениями проницаемости [3] – на порядки больше 1000 мД. По В. М. Степанову [17], такой коллектор относится к самостоятельному «жильному» типу гидрогеологических структур. Отметим, что зоны аномального коллектора (АК) вскрыты как «на равновесии», так и на репрессии, причем величина эквивалентного забойного давления в процессе первичного вскрытия по возможности поддерживается минимальной и постоянно контролируется [18, 23]. Буровой цикл геологически осложняется, идет поиск оперативных технологических решений для восстановления циркуляции. В скважину закачиваются вязкие пакки с кольматантами размером до 12 мм. Кольматация аномально проводящих зон неэффективна, или эффект ограничен по времени: фиксируется только временное падение интенсивности поглощения. Если допустить, что раскрытость поглощающих трещин сопоставима с размерами частиц кольматанта (3–12 мм), и рассчитать проницаемость [2], то значения (от 1000 до 300000 мД и бо-

лее) превышают проектные на 2–3 порядка и более (рис. 3).

Предположительно в рифейской толще ЮТМ горизонтальным стволом вскрывается фильтрационная неоднородность «трещинно-жильного»¹ [14, 17] или «дренажно-канального» [7] типа, внутренняя структура пустотного пространства которой представляет собой полостную систему зияющих трещин, проницаемую зону дробления либо карстовую полость (пещеру) или систему полостей [18]. При подсчете запасов УВ авторы модели сопоставили выделенные ранее типы пустотности, участвующие в фильтрации, в том числе межблоковую пустотность, включающую каверны и макротрещины. К макротрещинам и пустотам выщелачивания по ним отнесены пустоты с экви-

¹ Термины «трещинно-жильный» и «карстово-жильный» – подтипы сложного карстово-трещинного коллектора – приняты по аналогии с [3, 8, 17, 18, 22]. Характеризуют зоны аномально высокой проницаемости при весьма неравномерном гидравлическом строении карбонатного резервуара, с локализацией подвижных флюидов в зонах разломов или карстовых пустотах, каналах [7, 18], а также транзитным, «межблоковым» [6, 7] характером перераспределения фильтрационного поля при формировании воронки депрессии по модели с «двойной пустотностью» [6]. Общие термины «трещинный», «трещинно-карстовый», отражая строение элементарной ячейки пустотного пространства [6, 14, 18], охватывают как микротрещины и трещины блоков, матрицы, так и транзитные межблоковые каналы фильтрации. Очевидно, что диапазон эффективной пустотности с раскрытостью каналов более 250 мкм по мере изученности бурением необходимо детализировать в верхней, наиболее проницаемой его части.

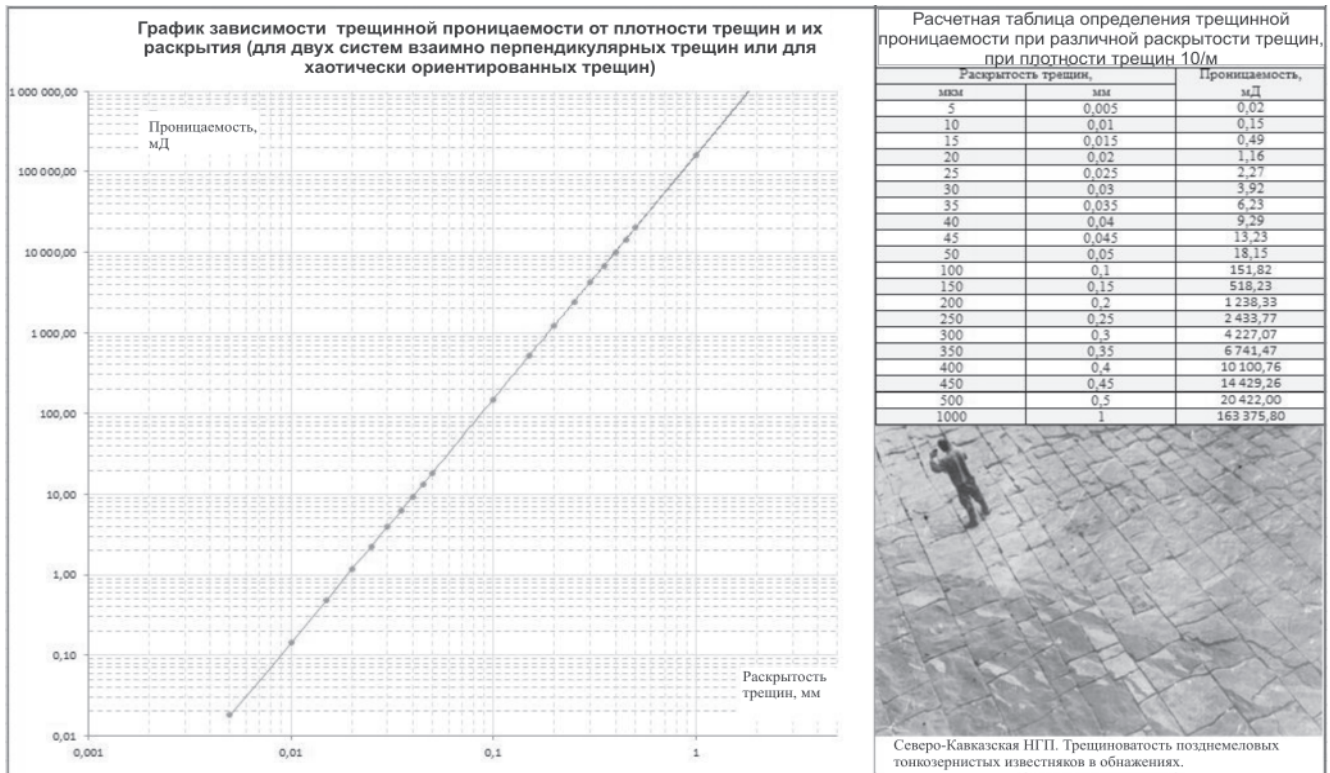


Рис. 3. График зависимости величины трещинной проницаемости от их раскрытия (для двух систем взаимно перпендикулярных трещин или для хаотически ориентированных трещин); расчетная таблица определения трещинной проницаемости при различной раскрытости трещин, при плотности трещин 10/м (по формуле Е. С. Ромма [2]) (по Л. Г. Белоновской [2])

валентными гидравлическими радиусами более 250 мкм. По мнению авторов модели, мощные зоны трещинно-жильного, или аномального, коллектора (АК), вскрытые при горизонтальном бурении Юрубченской нефтяной залежи, необходимо рассматривать как самостоятельный подтип открытой межблоковой пустотности, фиксируемый по перечисленному комплексу признаков. Зафиксировано двенадцать провалов в шести горизонтальных скважинах, что свидетельствует о вскрытии АК с проницаемостью, превышающей 1000 мД на несколько порядков.

Реальная природная геологическая модель первоочередного участка разработки Юрубченской залежи имеет более сложное геологическое строение в части распределения в плане и разрезе участков или зон карбонатных пород разной проницаемости. Она более дифференцирована, более дискретна, чем та, которая формализована для задачи подсчета запасов. Не особо влияя на результаты подсчета запасов (подсчетная модель усредняет через расчетный кластер структуру фильтрационного поля), дискретное геофильтрационное строение залежи крайне осложняет цикл горизонтального бурения в отложениях рифея.

Для бурения горизонтального ствола большой протяженности (до 1000 м) зоны улучшенных и аномальных коллекторов рифейской залежи – самые проблемные, а гидродинамические условия залежи (аномально низкое пластовое давление) дополнительно осложняют первичное вскрытие,

ограничивая допустимый диапазон эквивалентных забойных давлений. Поэтому технология горизонтального бурения должна быть подобрана под наиболее проблемный объект, который может характеризоваться катастрофическими поглощениями бурового раствора [4, 9, 16, 18, 25].

Таким образом, при горизонтальном бурении стволов большой протяженности установлено существенное отличие от модельных геологических допущений именно в дискретности фильтрационных параметров, в периодическом вскрытии скважиной зон катастрофических поглощений (АК), отождествляемых с транзитными зонами суперколлектора. Очевидно, что вскрытие АК более чем одной горизонтальной скважиной – это основание для пересмотра концептуальной модели залежи применительно к задачам горизонтального бурения. Кроме того, требуется корректировка технологических решений проекта кустового бурения относительно первичного вскрытия бурением проницаемых зон АК. При детализации нашего представления о сложном фильтрационном поле рифейского карбонатного коллектора ЮТМ через условное разделение его на «блоковую» и «межблоковую» (транзитную) составляющие, исходя из концепции «адаптивного подхода к изучению ЮТМ» по А. А. Трофимуку и др. [22], важно следующее:

- подчеркнуть само наличие АК в природном строении пустотного пространства рифейского карбонатного резервуара ЮТМ, оценить расширение диапазона изменений величины проницаемости;



- заострить внимание на необходимости включения данных бурения в перечень видов и объемов прямых исследований резервуара, коллектора [6, 18–20], что позволит более полно учесть параметры транзитной («межблоковой») фильтрационной системы «жильного» подтипа в проектировании технологии бурения и в моделировании разработки залежи;

- оценить применимость технологии первичного вскрытия бурением АК-АНПД-коллектора «на репрессии» и предложить оперативные решения по выходу из технологического тупика, в котором, по сути, находится эта технология [4, 9, 16, 18, 19, 23, 25].

В публикациях описаны разовые случаи вскрытия трещинно-карстового коллектора в рифейских доломитах вертикальными разведочными скважинами на Куюмбинском и Юрубчено-Тохомском нефтегазоконденсатном месторождениях (НГКМ) [10, 21]. Аномальные коллекторы изучены глубоким бурением в карбонатных отложениях нижнего кембрия на юге Сибирской платформы [3], где для них характерны дебиты фонтанирования рапы до 7000 м³/сут и АВПД, сопоставимое по величине с горным давлением. Вскрытые горизонтальными стволами на Юрубчено-Тохомском НГКМ и зоны АК высокоперспективны для последующей добычи нефти [4, 9, 18, 19], но в то же время они наиболее проблемны для первичного вскрытия бурением горизонтальных стволов, поскольку залежь характеризуется АНПД [4, 9, 16, 18, 23, 25]. Ранее при ГРП карбонатные рифейские отложения Юрубчено-Тохомского месторождения были изучены только вертикальным бурением. В настоящее время горизонтальными стволами АК вскрывается впервые, его нет в статистических данных. Можно констатировать, что горизонтальное бурение позволило открыть новый для рифейской залежи тип магистрально-гидропроводных зон АК, тем самым давая толчок к его исследованию [9, 18, 22].

Рассмотрим изученность трещинного карбонатного коллектора Юрубченской залежи на основе исследований керна. Ясно, что наиболее проницаемые зоны плохо охарактеризованы керном [4, 18, 20], его вынос низкий, при его исследовании описывают микропроцессы, которые привели к современному строению структуры пустотного пространства, но не получают истинной проницаемости керна по трещинной составляющей. Наклонно направленные пилотные стволы на каждом кусте пробурены с отбором керна из отложений венда и рифея и последующим геофизическим исследованием скважин. Суммарная проходка с керном составила 416 м. Анализ средней проходки за рейс по всем четырем наклонным стволам показывает резкое сокращение длины рейса после входа в рифейские породы [18]. Из сопоставлений с данными ГИС видно, что именно в рифее начиная с кровли наблюдается наличие трещиноватости, как суб-

вертикальной, так и разнонаправленной. Имеет место смена физико-механических, прочностных свойств горных пород от покрышки терригенного венда к карбонатным коллекторам рифея. Поэтому условия отбора керна в наклонных стволах резко дифференцированы в покрышке (венд) и в рифее, что требует принципиально разных подходов к отбору. Трещиноватость в породах рифея вскрывается под углом, это ведет к разрушению столбика керна, к его заклиниванию в керноприемной трубе. Дальнейшее углубление неизбежно приводит к разрушению керна, а значит, к потере принципиально важной геологической информации, представительности выборки именно по наиболее эффективному коллектору – трещинному и кавернозно-трещинному.

В настоящее время горизонтальное бурение Юрубченской залежи реализуется по геологической модели, составленной на основе анализа данных сейсморазведки, исследования керна, геофизических исследований скважин (ГИС), промыслово-геофизических (ПГИ) и гидродинамических (ГДИ) исследований (рис. 4). Зоны АК практически не охарактеризованы керном, глубинность исследований околоскважинного пространства методами ГИС относительно невелика, также возможно искажение характеристик транзитного пространства по ГИС. Транзитные «трещинно-жильные» зоны составляют малый процент выявленной по ГИС трещиноватости. Но главное в том, что именно мощные суперпроницаемые транзитные зоны будут дренировать залежь при разработке, от качественного вскрытия зон АК будет зависеть продуктивность горизонтальных скважин, кустов. По ним будет идти опережающее распределение воронки депрессии, и уже в них будут работать трещинная и трещинно-кавернозная система блокового пространства [11]. По данным ПГИ при общей длине горизонтального ствола 1080 м в одной из скважин приток в объеме 85 % обеспечивается интервалами общей длиной 304 м. Очевидно, что вскрытая зона АК (рис. 5) обеспечит расчетный дебит горизонтальной скважины, играя роль «границы с постоянным напором». Роль дрены, которая проектом отведена горизонтальному стволу 1000 м, выполнит магистральная зона АК «трещинно-жильного» (карстового) суперколлектора [12], внутренняя структура которого представляет собой гидравлически связанную систему зияющих трещин, карстовых каналов или активную проницаемую зону дробления «трещинно-жильного» подтипа.

Процессы образования магистральных высокопроницаемых зон дробления в осадочном чехле детально изучены, описаны в литературе и доказательства не требуют [6, 11, 14, 17]. Процесс формирования трещинного пустотного пространства и развития по нему карста для продуктивной толщи рифея ЮТМ также детально изучен [5, 17, 18]. Практически все исследователи едины в том, что

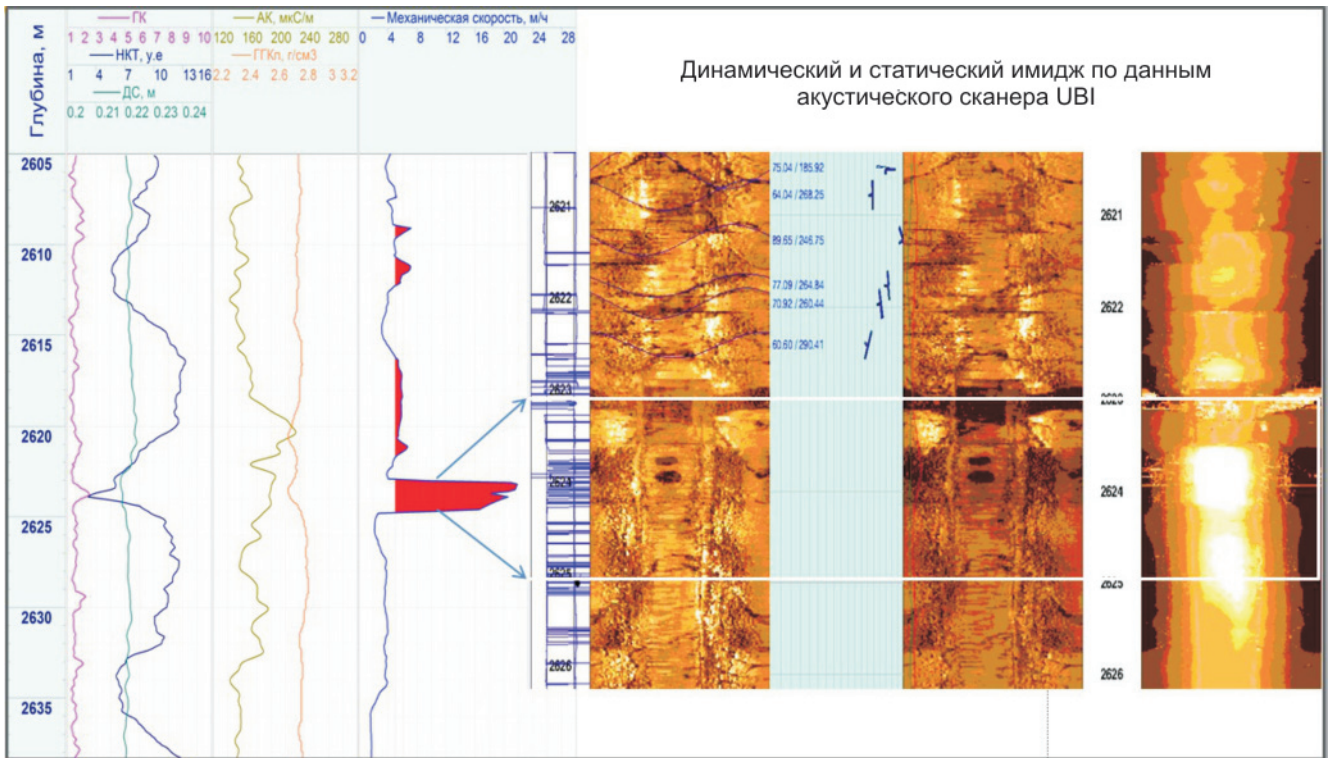


Рис. 4. Сопоставление данных ГИС (UBI) и ГТИ (механическая скорость) в зоне провала бурового инструмента и катастрофического поглощения (Юрубченская залежь, наклонный ствол, угол 86°, рифей, газовая часть, ствол 215,5 мм)

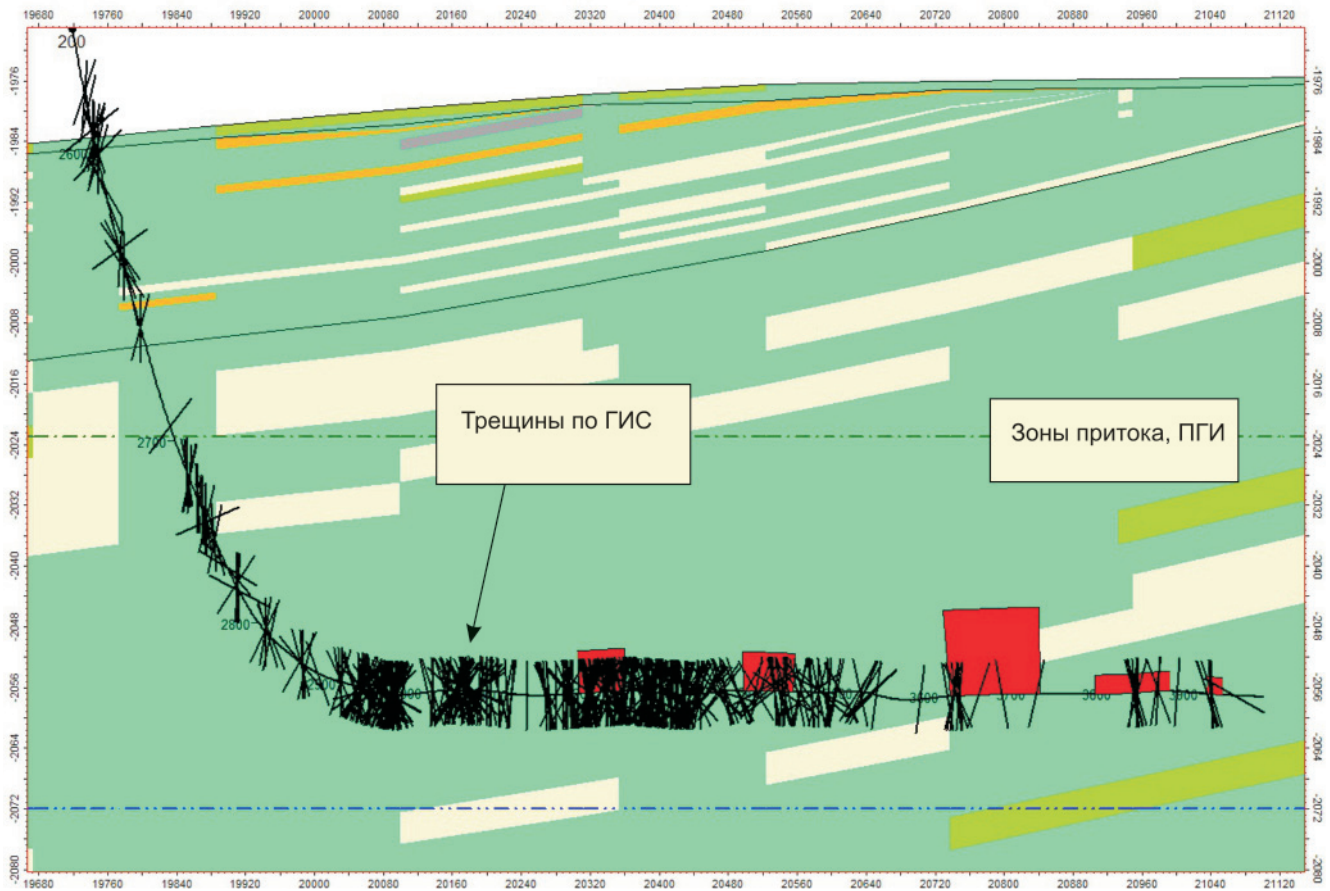


Рис. 5. Дискретность зон притока в горизонтальном стволе (с учетом исследований ПГИ в горизонтальных скважинах, Юрубченская залежь)

по данным керна изучается пустотность определенного масштаба только в тех образцах керна, которые удалось поднять [20] при бурении с отбором

(рис. 6). Общй процент выноса керна по продуктивной толще месторождения за 30 лет ГРП (около 54 %) говорит сам за себя. При детальном анализе

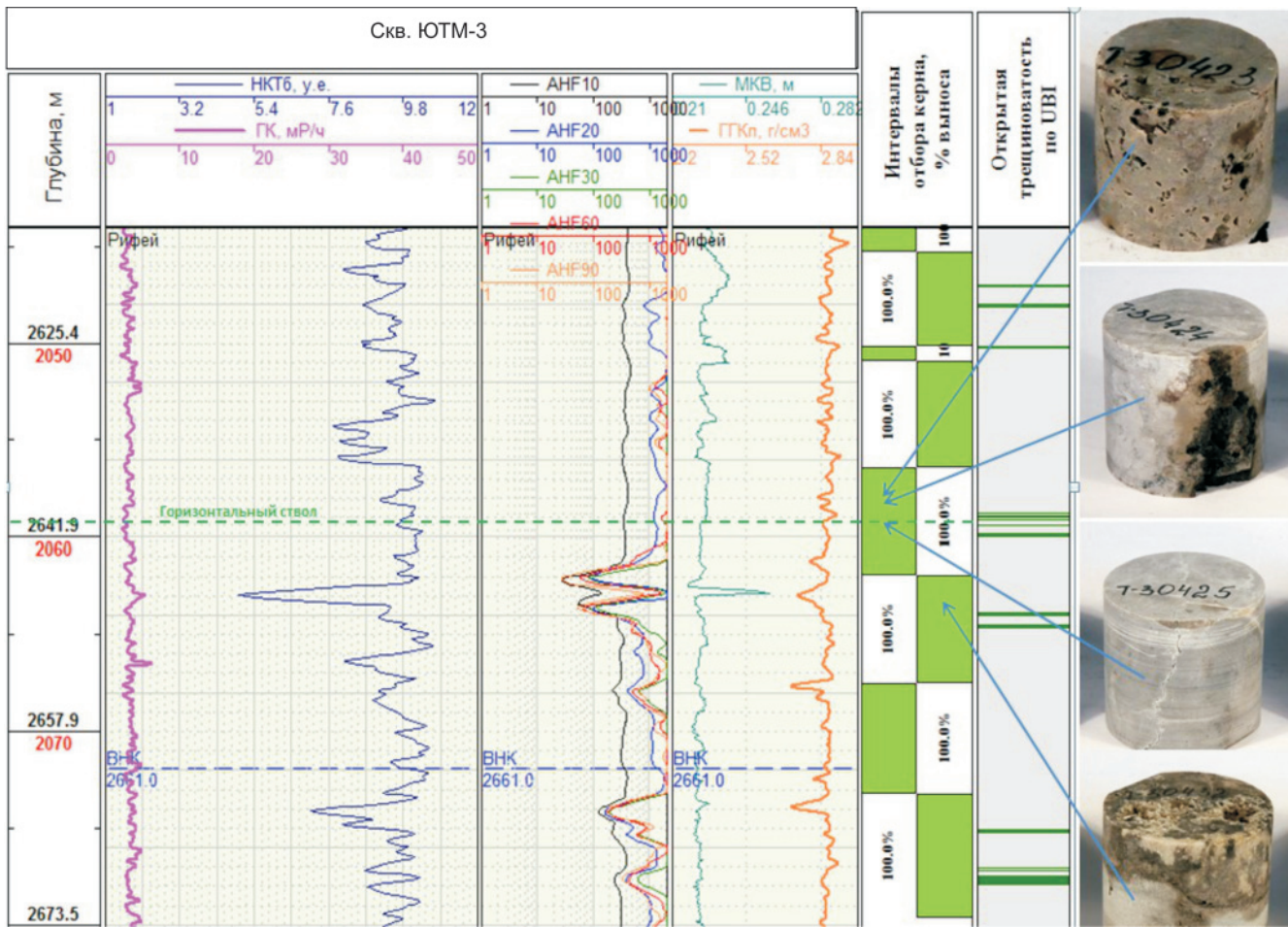


Рис. 6. Сопоставление данных ГИС (ГК, ННКТ, UBI) с интервалами бурения с отбором керна (и образцов керна) по зоне трещиноватости в интервале проектного горизонтального ствола (наклонный ствол, угол 86°, рифей, газовая часть, ствол диаметром 215,5 мм)

данных отбора керна документируются признаки активно трещиноватых зон дробления, из которых керн либо не поднят, либо поднят 5–15 % от проходки, и представлен он фрагментами, осколками породы, разрушенными до мелкого боя. В некоторых случаях керн раздробленный и даже перетертый, окатанный, в некоторых – вообще рассыпается на забое, не поднимаясь на поверхность и разрушаясь в следующем цикле бурения с отбором. Следовательно, такой керн невозможно изучить в лабораторных условиях [20], что занижает статистику по параметру проницаемости. К сходному выводу приходили разные исследователи: «Нефть и газоконденсат сосредоточены в относительно изолированных участках рифейского массива, характеризующихся наличием карстовых и сингенетических емкостей и некоторым улучшением коллекторских свойств за счет терригенной примеси. В связи со сказанным оценка запасов месторождения должна опираться на данные о закономерностях размещения макropустотного пространства и зон улучшенных коллекторских свойств. Исходить только из информации о матрице пород и микроемкости при оценке эффективных толщин и объемов представляется неправильным» [13]. Очевидно, что для аномального коллектора – суперколлектора,

вскрываемого на ЮТМ горизонтальным бурением и выделяемого по результатам бурения, – практически не применимы классические методы исследований трещиноватости и получения подсчетных параметров (на основе керновых данных, ГИС, по статистике «керн – ГИС»).

Авторы хотели бы подчеркнуть, что бурение так же является прямым методом изучения геологического разреза [11, 19, 20], как и исследования керна. Вскрывая бурением объект с аномальным характером проницаемости, геологи документируют его, и он, естественно, должен попасть в статистику по параметрам пустотности. Так, по данным Т. Д. Голф-Рахта [11], «...трещиноватая формация Асмари изучена по результатам исследований керна, по данным о потерях циркуляции при бурении скважин, по коэффициентам продуктивности, кривым восстановления давления и данным дебитометрии. Зоны, характеризующиеся более высоким процентом поглощаемого расхода, соответствуют более трещиноватым интервалам». В настоящее время тезис А. А. Трофимука о корреляции интервалов поглощений и интервалов притока нефти в цикле ГДИ [19] применительно к ЮТМ можно считать доказанным. Исключая трещинно-жильные и карстово-жильные объекты из статистики,

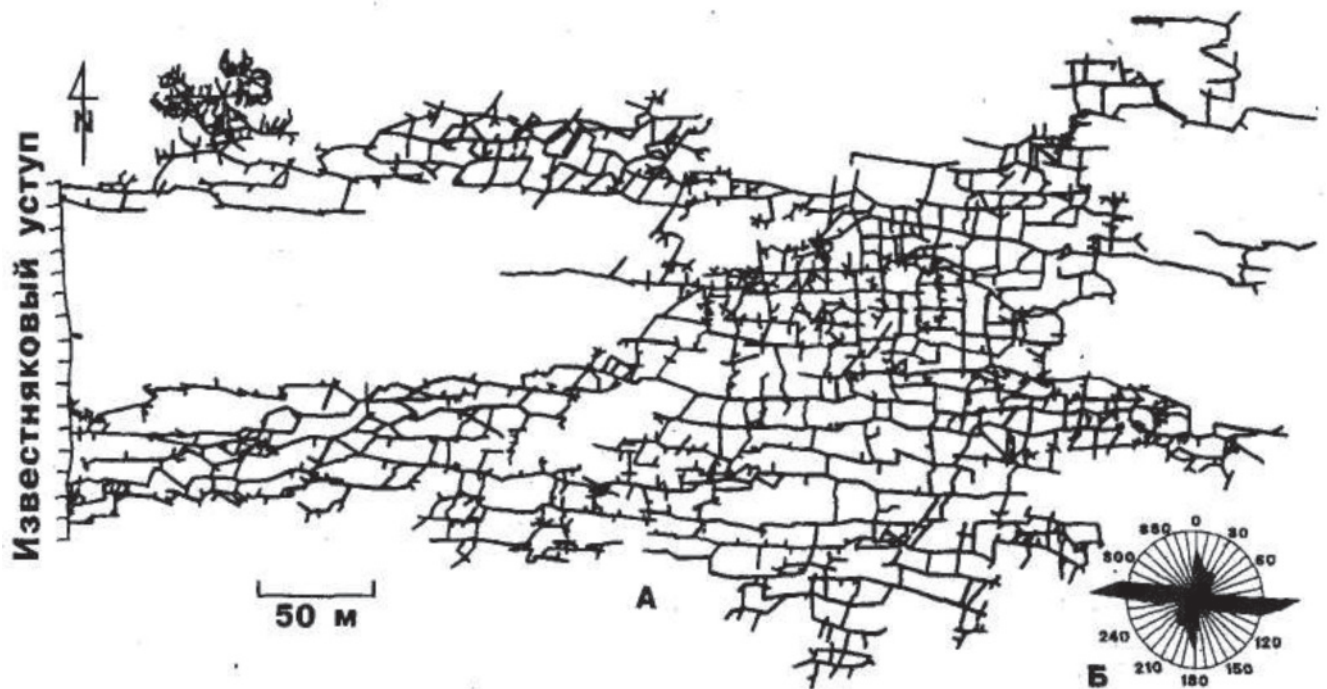


Рис. 7. План Ботовской пещеры на начало 1994 г. (составлен А. Г. Докучаевым по данным Иркутской секции спелеологов и спелеоклуба «Арабика») – А, и роза-диаграмма направления ходов – Б (по А. Г. Филиппову)

а бурение как прямой метод – из перечня методов исследования пустотности, мы теряем важнейший параметр конечной геологической модели – вскрытие транзитной или «межблоковой» системы, а также вклад доли вскрытого бурением участка в общую проницаемость. Позже, получив результаты ГДИ/ПГИ, мы учтем интегрально гидропроводность таких зон, но их вклад будет нивелирован до среднего в общей характеристике коллектора, вскрытого горизонтальным стволом. Для иллюстрации этого тезиса сопоставим описание карстового типа рифейского карбонатного коллектора ЮТМ по К. И. Багринцевой и др. [1] и карстового пустотного пространства Ботовской пещеры в известняках ордовика на юге Сибирской платформы по А. Г. Филиппову [24].

Протяженность изученной части пещеры на 01.03.1996 составляла 23 км, амплитуда – 12,5 м. Максимальные высота и ширина ходов 12,5 и 10,0 м соответственно, средние 2 и 2,9 м. Площадь 66700 м², объем 104050 м³, плотность каналов 136 км/км². К 02.2010 спелеоклубом «Арабика» было заснято уже 64,5 км ходов. На тот момент пещера являлась наиболее протяженной развитой в известняках карстовой системой полостей в России (рис. 7).

Выделим общее в генезисе карстово-трещинного коллектора этих объектов – развитие системы карстовых полостей по полигональной системе субвертикальной трещиноватости. Нельзя не отметить высокий уровень изученности коллектора рифея ЮТМ на основе лабораторных исследований керн и ГИС, а Ботовской пещеры – на основании геологических маршрутов и макроописания карстовых ходов и полостей. Однако вывод о разном мас-

штабе транзитной системы фильтрации трещинно-карстового типа, равно как и о разном подходе к геологическому описанию, налицо. Очевидно, что в решении прикладных задач геологического доизучения и разработки нефтяной залежи ЮТМ горизонтальными стволами имеет смысл не только разделить трещинно-каверновый коллектор по параметру проницаемости на блоковый и межблоковый, но и выделить дополнительно к кавернам и макротрещинам карстовые полости и жильные зоны разломов в самостоятельный подтип пустотности по структуре.

Важнейший прикладной аспект нашего вывода о расширения фактического диапазона проницаемости рифейских доломитов в том, что для проблем бурения рифейских отложений по коллектору даже кратное (в 2–3 раза) увеличение проницаемости отдельных участков ведет к увеличению интенсивности поглощения уже на репрессиях: на 1 % выше пластового давления. Горизонтальное бурение «на репрессии», точнее, первичное вскрытие, может быть продолжено только после кольматации интервалов катастрофического поглощения. Принимая во внимание уход в зону катастрофического поглощения кольматанта с размерами до 12 мм и отсутствие эффекта от изоляционных работ, наблюдаемое расширение диапазона проницаемости трещиноватых кавернозных доломитов от 1000 мД до 300000 мД можно просто считать тупиковым, исключающим применимость технологии первичного вскрытия рифея на репрессии [4, 9, 16]. В случае вскрытия забоем зоны катастрофического поглощения (зоны АК) дальнейшее бурение горизонта не только увеличивает затраты строительства эксплуатационной скважины, но и, по сути, не имеет



смысла. Нужно теоретически обосновать принципиально другую технологию первичного вскрытия в рифее, которая могла бы «работать» в том реальном диапазоне горно-геологических условий, который сегодня нам удалось определить на основе данных горизонтального бурения, обосновать, спроектировать, апробировать и довести до внедрения [9].

Выводы

Проблема строительства горизонтальных стволов большой протяженности (1000 м) – катастрофические поглощения в зонах аномального коллектора в карбонатных отложениях рифея. Этот наиболее проблемный тип геологического разреза с провалами КНБК в зоны трещиноватости или карстовые полости встречен в шести горизонтальных стволах из девяти. При этом длина трех из первых шести пробуренных горизонтальных стволов достигла 1000 м; бурение трех остановлено до достижения длины 1000 м. Все провалы происходят по одной схеме, это объекты-аналоги.

Установлена дискретность вскрываемых бурением проницаемых зон. Доказано [18, 23], что при бурении одновременно наблюдается переменное пульсирующее гидродинамическое воздействие и на трещиноватые породы (несущий каркас коллектора), и на флюидную систему, заполняющую каверны и трещины, которые вкуче обеспечивают ответную реакцию горной выработки. Можно сказать, что коллектор неотделим от флюидной системы. Трещинная система меняет параметры проницаемости [5] при изменении забойного давления до значений выше давления утечки, а каверновая проницаемость неизменна.

Для сложных анизотропных карбонатных рифейских коллекторов Юрубченской залежи установлено расширение диапазона проницаемости до 12 порядков, причем в верхнем наиболее высокопроницаемом диапазоне. Это на 3–4 порядка превышает ранее принятый верхний предел. Оценки максимальных значений просвета принимающих пустот по данным ГИС (UBI) в 11 горизонтальных стволах достигают 4,5 мм, в среднем 0,49 мм. Получено практическое подтверждение тезиса о раскрытии межблокового транзитного суперколлектора (трещин, каверн): уход в зону поглощения кольматантов с размерами частиц до 12–15 мм в объеме до 60 т при суммарном объеме вязких пачек до 250 м³. Оценить параметры проницаемости таких зон по данным ГДИ весьма сложно. С учетом ухода кольматанта до 12 мм в диаметре расчетная проницаемость зон достигает нескольких миллионов мД.

На разных этапах, стадиях ГРП, подготовки запасов, проектирования эксплуатации по результатам текущих промысловых данных разрабатывается концептуальная модель залежи, которая является базовой для решения текущих задач и отвечает текущему уровню изученности [11]. Кусто-

вое эксплуатационное бурение наклонно направленных скважин с горизонтальным окончанием на первоочередном участке ЮТМ спроектировано в самой высокопроницаемой части Юрубченской залежи (см. рис. 1). Это наиболее сложный объект применительно к циклу горизонтального бурения, самая сложная по реализации практическая задача, наиболее «тонкая» с точки зрения первичного вскрытия сложного карбонатного коллектора, в итоге – важнейшая для конечной продуктивности горизонтальных скважин. Практика горизонтального бурения на ЮТМ приводит нас к выводу о том, что необходимы более детальный геологический прогноз, более дробная, крупномасштабная модель применительно к бурению горизонтальных стволов большой протяженности.

Именно увеличением проницаемости (просвета) принимающих (поглощающих) трещин обусловлена низкая эффективность кольматации этих интервалов в процессе первичного вскрытия. Для бурения горизонтального ствола большой протяженности (до 1000 м) зоны улучшенных и аномальных коллекторов – самые проблемные, а гидродинамические условия залежи осложняют первичное вскрытие, ограничивая допустимый диапазон эквивалентных забойных давлений, поэтому необходимая для этого технология должна быть подобрана с учетом того, что объект может характеризоваться катастрофическими поглощениями. Возможно, что бурение с замкнутым контуром «с контролем давления» в сочетании с азотированием бурового раствора «на депрессии» – единственная технология первичного вскрытия, которая не зависит от удельного веса раствора, исключает круглосуточные многодневные поглощения, кольматацию как подход [4, 9, 16, 18].

Авторы убеждены, что необходимо не просто доработать технологию первичного вскрытия Юрубченской нефтяной залежи рифея горизонтальным бурением. Нужно теоретически обосновать принципиально другую технологию первичного вскрытия нефтенасыщенных карбонатов рифея ЮТМ, которую можно успешно реализовать в реальных горно-геологических условиях, которые нам сегодня удалось определить на основе данных горизонтального бурения, обосновать, спроектировать и довести до практического использования. Опыт бурения российских и международных компаний в сложных карбонатных коллекторах подтверждает этот вывод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Атлас** карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ [Текст] / Под ред. К. Багринцевой. – М., 2003. – 264 с.
2. **Белоновская, Л. Г.** Роль трещиноватости в формировании емкостно-фильтрационного пространства сложных коллекторов [Текст] / Л. Г. Бе-



лоновская, М. Х. Булач, Л. П. Гмид // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2007. – № 2.

3. **Вахромеев, А. Г.** Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов (на примере юга Сибирской платформы) : Автореф. дис. ... д.г.-м. н. [Текст] / А. Г. Вахромеев. – Иркутск, 2009. – 36 с.

4. **Геологические** аспекты применения технологии первичного вскрытия сложных карбонатных коллекторов рифея на «управляемом давлении» [Текст] / А. Г. Вахромеев, В. М. Иванишин, Р. У. Сираев [и др.] // Бурение и нефть. – 2013. – № 11. – С. 30–35.

5. **Гидродинамическое** моделирование первоочередного участка разработки Юрубчено-Тохомского месторождения с учетом геомеханического эффекта смыкания трещин [Текст] / Ю. А. Кашников, С. В. Гладышев, Р. К. Разяпов [и др.] // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. – 2011. – № 4. – С. 104–107.

6. **Голф-Рахт, Т. Г.** Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов [Текст] / Т. Г. Голф-Рахт. – М. : Недра, 1986. – 608 с.

7. **Денк, С. О.** К вопросу о строении и рациональной разработке сложных продуктивных объектов [Текст] / С. О. Денк // Геология нефти и газа. – 2001. – № 3.

8. **Зоны** нефтегазонакопления жильного типа [Текст] / З. П. Гаврилов, Б. В. Григорьянц, П. И. Дворецкий [и др.]. – М. : Недра, 2000. – 152 с.

9. **Инновационные** технологии первичного вскрытия рифейских карбонатных коллекторов горизонтальными скважинами на Юрубчено-Тохомском НГКМ – применимость, эффективность бурения и геологические ограничения [Электронный ресурс] / В. М. Иванишин, Р. У. Сираев, Р. К. Разяпов [и др.] // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири : Матер. Всерос. науч. конф. молодых ученых, посвящ. 80-летию акад. А. Э. Конторовича. – Новосибирск : Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. – Точка доступа: <http://ems2013.ipgg.sbras.ru>, свободный.

10. **Карстовая** модель рифейского природного резервуара Юрубчено-Тохомского месторождения [Текст] / И. Е. Постникова, О. В. Постникова, Г. И. Тихомирова, Л. Н. Фомичева // Геология нефти и газа. – 2001. – № 3.

11. **Концептуальная** модель строения рифейского природного резервуара Юрубчено-Тохомского месторождения [Текст] / Н. М. Кутукова, Е. М. Бирун, Р. А. Малахов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 4–7.

12. **Красильникова, Н. Б.** Определение эффективной пустотности каверново-трещинного карбонатного рифейского коллектора [Текст] / Н. Б. Красильникова, А. А. Антоненко // Промысловая геофизика в XXI веке. – М. : Изд-во РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2011. – С. 59–62.

13. **Ларская, Е. С.** Некоторые особенности строения рифейского резервуара в связи с проблемой его

нефтегазоносности [Текст] / Е. С. Ларская, Е. А. Горунова // Геология нефти и газа. – 1995. – № 4.

14. **Основы** гидрогеологии. Общая гидрогеология [Текст] / Е. В. Пиннекер, Б. И. Писарский, С. Л. Шварцев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1980. – 225 с.

15. **Разяпов, Р. К.** Геологическое сопровождение эксплуатационного горизонтального бурения в рифейских карбонатах на Юрубчено-Тохомском НГКМ: проблематика и рекомендации [Текст] / Р. К. Разяпов, Р. У. Сираев, А. Г. Вахромеев // Матер. Всерос. конф. с участием иностранных ученых. – Новосибирск, 2013. – С. 35–39.

16. **Сверкунов, С. А.** Горно-геологические условия первичного вскрытия бурением карбонатного продуктивного пласта рифея на первоочередном участке разработки Юрубчено-Тохомского месторождения [Текст] / С. А. Сверкунов, Р. У. Сираев, А. Г. Вахромеев // Вестн. ИрГТУ. – 2013. – № 11.

17. **Степанов, В. М.** Введение в структурную гидрогеологию [Текст] / В. М. Степанов. – М. : Недра, 1989. – 229 с.

18. **Тиаб, Дж.** Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов [Текст] / Дж. Тиаб, Эра Ч. Доналдсон ; Пер. с англ. – М. : ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. – 868 с.

19. **Трофимук, А. А.** К вопросу об оценке емкости трещиноватых нефтяных коллекторов [Текст] / А. А. Трофимук // Нефтяное хозяйство. – 1955. – № 7. – С. 51–55.

20. **Трофимук, А. А.** Определение емкости трещинных коллекторов по промысловым данным [Текст] / А. А. Трофимук // Тр. Всесоюз. совещ. по трещинным коллекторам нефти и газа. – Л. : Гостехиздат, 1961. – С. 15–22.

21. **Харахинов, В. В.** Нефтегазоносность докембрийских толщ Восточной Сибири на примере Курумбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазонакопления [Текст] / В. В. Харахинов, С. И. Шленкин. – М. : Научный мир, 2011. – 420 с.

22. **Юрубчено-Тохомская** зона нефтегазонакопления – важный объект концентрации региональных и поисково-разведочных работ в верхнем протерозое Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции [Текст] / А. А. Конторович, А. Э. Конторович, В. А. Кринин [и др.] // Геология и геофизика. – 1998. – № 11. – С. 45–55.

23. **First** deep horizontal boreholes drilling and pamping for oil extraction (at) the Urubcheno-Tohomskoe oil-gas-condensate deposit [Text] / A. G. Vakhromeev, R. U. Siraev, V. M. Ivanishin, R. K. Akchurin // 5th Saint Petersburg International Conference & Exhibition. – 2012. – Saint Petersburg, 2012.

24. **Speleogenesis** of Botovskaya Cave, Eastern Siberia, Russia [Text] / A. G. Filippov, A. Klimchouk, D. Ford [et al] // Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers. – Huntsville : National Speleologic Society, Inc., 2000. – P. 282–286.



25. **Ways** of the decision of geology-technological problems at opening rife carbonate adjournment UTM [Text] / R. U. Siraev, V. Y. Nikitenko, V. M. Ivanishin, I. A. Burmistrov // 2th Irkutsk International Conference «GEOBAIKAL-2012». – Irkutsk, 2012.

REFERENCES

1. Bagrintseva K., ed. *Atlas karbonatnykh kolektorov mestorozhdeniy nefti i gaza Vostochno-Evropeiskoi i Sibirskoi platform* [Atlas of carbonate reservoirs of oil and gas fields in Eastern European and Siberian Platforms]. Moscow, 2003, 264 p. (In Russ.).
2. Belonovskaya L.G., Bulach M.Kh., Gmid L.P. [Role of fracturing in formation of capacitive-filter space of complex reservoirs]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i praktika – Petroleum geology. Theory and practice*, 2007, no. 2. (In Russ.).
3. Vakhromeev A.G. *Zakonomernosti formirovaniya i kontseptsiya osvoeniya promyshlennykh rassolov (na primere yuga Sibirskoi platformy). Doct. Diss.* [Regularities of formation and the concept of development of industrial brines (by the example of the Siberian Platform south). Doct. Diss.]. Irkutsk, 2009. 36 p. (In Russ.).
4. Vakhromeev A.G., Ivanishin V.M., Siraev R.U., et al. [Geological components of application of primary opening technology for complex carbonate Riphean reservoirs at controlled pressure]. *Bureniye i neft – Drilling and oil*, 2013, no. 11, pp. 30–35. (In Russ.).
5. Kashnikov Yu.Ya, Gladyshev S.V., Razyapov R.K., et al. [Hydrodynamic modeling of first-priority development site of the Yurubchen-Tokhomskoye field considering geochemical punch-through effect of fractures]. *Razrabotka i ekspluatatsiya neftyanykh mestorozhdeniy – Development and oil well operation*, 2011, no. 4, pp. 104–107. (In Russ.).
6. Golf-Rakht T.G. *Osnovy neftepromislovoi geologii i razrabotki treschinovatykh kolektorov* [Fundamentals of oil-field geology and developments of fractured reservoirs]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 608 p. (In Russ.).
7. Denk S.O. [On structure and rational development of complex productive objects]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2001, no. 3. (In Russ.).
8. Gavrilov Z.P., Grigoryants B.V., Dvoretzkiy P.I., et al. *Zony neftegazonakopleniya zhilnogo tipa* [Petroleum accumulation zones of vein type]. Moscow, Nedra Publ., 2000. 152 p. (In Russ.).
9. Ivanishin V.M., Sirayev R.U., Razyapov R.K., et al. [Innovation techniques of primary opening of Riphean carbonate reservoirs by lateral wells at Yurubchen-Tokhomskoye OGCF-application, drilling efficiency and geological constraints]. *Materialy vserossiiskoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh, posvyaschennoi 80-letiyu akademika A. E. Kontorovicha* [Materials of All-Russian Scientific Conference of young scientists, devoted to the 80th anniversary of academician A. E. Kontorovich Actual problems of petroleum geology in Siberia]. Novosibirsk, INGG SO RAN, 2014. Available at: <http://ems2013.ipgg.sbras.ru> (free access). (In Russ.).
10. Postnikova I.Ye., Postnikova O.V., Tikhomirova G.I., Fomicheva L.N. [Karst model of Riphean natural reservoir of the Yurubchen-Tokhomskoye field]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and gas geology*, 2001, no. 3. (In Russ.).
11. Kutukova N.M., Birun E.M., Malakhov R.A. et al. [Conceptual model for structure of Riphean natural reservoir of the Yurubchen-Tokhomskoye field]. *Neftyanoye khozyaistvo – Oil industry*, 2012, no. 11, pp. 4–7. (In Russ.).
12. Krasilnikova N.B., Antonenko A.A. [Determination of effective cavitation of cavernous fractured carbonate Riphean reservoir]. *Sbornik RGU Gubkina "Promyslovaya geofizika v 21 veke" [Gubkin Russian State University of Oil and Gas, GRSUOG collection of works: Petroleum Geophysics]*. Moscow, Publ. H. RGU Gubkina, 2011, pp. 59–69. (In Russ.).
13. Larskaya E.S., Goryunova E.A. [Some structure feature of Riphean reservoir in connection with a problem of its petroleum potential]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and gas geology*, 1995, no. 4. (In Russ.).
14. Pinneker E.V., Pisarskiy B.I., Shvartsev S.L., et al. *Osnovy gidrogeologii. Obschaya gidrogeologiya* [Fundamentals of hydrogeology. General hydrogeology]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. 225 p. (In Russ.).
15. Razyapov R.K., Siraev R.U., Vakhromeev A.G. [Geological support of exploitation horizontal drilling in Riphean carbonates at the Yurubchen-Tokhomskoye OGCF: problematic and recommendations]. *Materialy Vseross.Konferentsii s uchastiyem inostrannykh uchenykh* [Materials of All-Russian conference with participation of foreign scientists]. Novosibirsk, 2013. 590 p. (In Russ.).
16. Stepanov V.M. *Vvedeniye v strukturnuyu gidrogeologiyu* [Introduction in structural hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 229 p. (In Russ.).
17. Sverkunov S.A., Siraev R.U., Vakhromeev A.G. [Geological factor of primary opening by drilling-in of productive Riphean bed at the primary development site of the Yurubchen-Tokhomskoye field]. *Vestnik IrGTU – IrGTU Bulletin*, 2013, no. 11. (In Russ.).
18. Tiab D., Donaldson E.C. *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*, Gulf Publishing Co., Houston, Texas, 1996. 706 pp.
19. Trofimuk A.A. [On an estimation of fractured reservoirs storage capacity]. *Neftyanoye khozyaistvo – Oil industry*, 1955, no. 7, pp. 51–55. (In Russ.).
20. Trofimuk A.A. [Determination of fractured reservoirs storage capacity by field data]. *Trudy V sesoyuznogo Soveschaniya po treschinnim kolektorom nefti i gaza* [Proceedings of All-Union Meeting on fractured reservoirs of oil and gas]. Leningrad, 1961, Gos-toptechizdat Publ., pp. 15–22. (In Russ.).
21. Kharakhinov V.V., Shlenkin S.I. *Neftegazonosnost dokembriiskikh tolsch Vostochnoi Sibiri na*



primere Kuyumbinsko-Yurubscheno-Tokhomskogo areala neftegonakopleniya [Petroleum potential of Pre-Cambrian strata of Eastern Siberia by the example of the Kuyumbinsko-Yurubcheno-Tokhomskoye area of petroleum potential]. Moscow, Nauchniy mir Publ., 2011. 420 p. (In Russ.).

22. Kontorovich A.A., Kontorovich A.E., Krinin V.A., et al. [Yurubchen-Tokhomo petroleum accumulation zone as a critical object for concentration of regional works and exploration in the Upper Proterozoic of the Lena-Tunguska petroleum province]. *Geologiya i Geofizika – Geology and Geophysics*, 1998, no. 11. (In Russ.).

23. Vakhromeev A.G., Siraev R.U., Ivanishin V. ., Akchurin R. . First deep horizontal boreholes drilling

and pamping for oil extraction (at) the Urubcheno-Tokhomskoe oil-gas-condensate. 5th Saint Petersburg International Conference & Exhibition. Saint Petersburg, 2012.

24. Filippov A.G., Klimchouk A., Ford D., et al. Speleogenesis of Botovskaya Cave, Eastern Siberia, Russia. Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers. USA, Huntsville, Alabama, Publ. by National Speleologic Society, Inc., 2000, pp. 282–286.

25. Siraev R.U., Nikitenko V.Y., Ivanihin V.M., Burmistrov I.A. Ways of geology-technological problem solving at opening of Riphean carbonate deposits of the YuT OGCF by drilling. 2-nd Irkutsk International Conference GEOBAIKAL-2012. Irkutsk, 2012.

© А. Г. Вахромеев, Е. М. Данилова, Р. К. Разяпов,
Р. У. Сираев, В. М. Иванишин, 2014

ВАХРОМЕЕВ Андрей Гелиевич

Иркутский филиал ООО «РН-Бурение», Иркутск, гл. геолог, д. г.-м. н.

E-mail: VakhromeevAG@ifrnb.ru

ДАНИЛОВА Елена Михайловна

Иркутский филиал ООО «РН-Бурение», Иркутск, вед. геолог, аспирант

E-mail: DanilovaEM@ifrnb.ru

РАЗЯПОВ Радий Киньябулатович

ОАО «Востсибнефтегаз», Красноярск, зам. генерального директора, гл. геолог, к. г.-м. н.

E-mail: RazyapovRK@vsnk.ru

СИРАЕВ Рафаил Улфатович

Иркутский филиал ООО «РН-Бурение», Иркутск, гл. инженер, аспирант

e-mail: siraev.rafail@ifrnb.ru

ИВАНИШИН Владимир Мирославович

Иркутский Филиал ООО «РН-Бурение», Иркутск, директор, аспирант

E-mail: IvanishinVM@ifrnb.ru

ВАХРОМЕЕВ Andrei, DSc, Irkutsk branch of RN-Burenie, Irkutsk, Russia

E-mail: VakhromeevAG@ifrnb.ru

DANILOVA Elena, Irkutsk branch of RN-Burenie, Irkutsk, Russia

E-mail: DanilovaEM@ifrnb.ru

RAZYAPOV Radiy, PhD, Vostsibneftegaz, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: RazyapovRK@vsnk.ru

SIRAEV Rafail, Irkutsk branch of RN-Burenie, Irkutsk, Russia

E-mail: siraev.rafail@ifrnb.ru

IVANISHIN Vladimir, Irkutsk branch of RN-Burenie, Irkutsk, Russia

E-mail: IvanishinVM@ifrnb.ru