

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Глотова Антона Васильевича на тему **«Исследование природного и техногенного пустотного пространства отложений баженовской свиты для обоснования технологий её освоения»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

В диссертационной работе Глотова Антона Васильевича исследуются наиболее острые проблемные вопросы, посвящённые организации добычи углеводородов из баженовской свиты и оценке её ресурсного потенциала. Благодаря пониманию сути насущных производственных задач, возникших в качестве ответной реакции на значительный прогресс в области совершенствования методов техногенной стимуляции пластов с целью повышения продуктивности скважин, и глубоким знаниям возможностей современного лабораторного оборудования для исследования керна, Антону Васильевичу удалось написать работу, актуальность которой не вызывает сомнений.

Первый вопрос, который подымается в работе, связан с проблематикой изучения структуры пустотного пространства пород баженовской свиты и способам определения количественных характеристик, влияющих на возможности извлечения пластового флюида при разработке. Этот вопрос является одним из самых сложных, изучается уже более 50 лет, за которые различными исследователями предложено множество способов его решения. Основная его специфика заключается не в том, чтобы просто предложить какой-либо подход, а в необходимости доказать достоверность получаемого результата, тем самым найти решение, удовлетворяющее профессиональное сообщество, в котором до сих пор нет согласия по данному вопросу.

Диссертант предлагает свой оригинальный способ, основанный на методе синхронного термического анализа, совмещенного с газовой ИК-Фурье и масс-спектроскопией. Предлагаемый способ очень интересный и перспективный, но оценить его достоверность из текста автореферата не представляется возможным. Приводимые в качестве доказательства надежности способа данные табл. 2 и величин погрешности, порождают ещё больше вопросов, в которых можно разобраться только, обратившись к тексту диссертации. Так, в табл. 2 настораживает, то что сумма $K_v + K_n \neq 1$. Из текста диссертации становится понятно, что речь идет об остаточных величинах, но тогда получается, что значительная часть порового пространства породы является пустой, то есть пластовый флюид из него потерян вследствие извлечения керна на поверхность и его хранения в атмосферных условиях. Причем потери настолько значительные, что в большинстве образцов составляют более 50%, что для баженовской свиты с пористостью, не превышающей 5,5%, и приемлемой сохранностью керна крайне нехарактерно.

Сохранность пластового флюида в керне можно было бы отслеживать измерениями пористости по газу до экстракции образцов, при этом давление обжима должно соответствовать барическим условиям (т.е. равняться эффективному давлению), чтобы минимизировать влияние техногенной пустотности.

табл. 2

Свойства пород	Номер скважины							
	С-9	П-55	М-7	М-6	К-2	П-5	С-9	З-1
Кп отк, %	5.1	4.6	4.2	4.4	5.3	3.2	5	5.1
Кн, %	15.5	23.1	34.9	35	20	30.9	18.5	25
Кв, %	17.5	21.9	17.3	15.1	22.2	22.6	17.6	31
Σ нас, %	33	45	52.2	50.1	42.2	53.5	36.1	56
Кп потерь, %	3.4	2.5	2	2.2	3.1	1.5	3.2	2.2
% потерь	66.7	54.3	47.6	50.0	58.5	46.9	64.0	43.1

Потери пластового флюида из керна, пожалуй, одна из важнейших характеристик при выделении коллекторов в породах баженовской свиты, определение которой вызывает меньше всего вопросов. При всех прочих равных условиях они тем больше, чем больше связанность пустотного пространства в породе и выше её проницаемость. На ЭТС ГКЗ обсуждалось предложение д. г.-м. н. Г.А. Калмыкова об использовании величины пористости по газу до экстракции образцов в качестве динамической пористости, а также значения в 3% для граничной отсечки при выделении коллекторов в баженовской свите на основе этого параметра. Оно было отвергнуто из-за слишком большого влияния техногенных факторов, которые диссертант далее по тексту автореферата называет «методическими» и «временными». Таким образом, измерение пористости по газу перед проведением совмещенного анализа, предлагаемого автором работы, было бы крайне полезно для контроля сохранности пластового флюида в керне.

Множество вопросов вызывают величины остаточной насыщенности из таб. 2, особенно Кн. В тексте диссертации (в автореферате этого нет) для пересчета из массовых единиц в объемные использовалась постоянная величина плотности нефти $0,897 \text{ г/см}^3$, при этом в формулах (3) и (4) допущены опечатки. Как уже отмечалось выше, почти все образцы характеризуются потерями пластового флюида до 50% и более. Очевидно, что в первую очередь будут потеряны легкие наиболее летучие фракции нефти, что приведет к увеличению плотности остаточных УВ, поэтому однозначно $0,897 \text{ г/см}^3$ – слишком маленькая плотность при такой низкой сохранности пластовых УВ в керне. Можно сослаться, что оценить плотность остаточных УВ в керне невозможно, но это не так. Современные пиролитические установки такие как Rock-Eval 6 и HAWK позволяют проводить исследования керна с возможностью оценки плотности остаточных УВ с помощью корреляционных зависимостей (технологии «reservoir mode», PAM, POPI),

имеются и другие возможности для оценки, в основе которых лежат альтернативные принципы измерений. Относительно сохранности воды при таких высоких потерях пластового флюида из керна трудно делать какие-либо заключения, так как в породах баженовской свиты она присутствует в основном в связанном состоянии.

Методика определения погрешностей измеряемых величин в тексте автореферата не описана, но обратившись к тексту диссертации становится понятным, что они оценивались как отклонения от средних значений коллекций образцов, взятых условно с одного места. То есть, оценивалась статистическая устойчивость результата при повторных измерениях, а собственно погрешности, как отклонения от эталонных значений, не были проанализированы. Строго говоря, результаты примененной методики определения погрешностей нельзя рассматривать в качестве убедительного свидетельства надежности и достоверности предлагаемого способа измерений.

В условиях отсутствия эталонных образцов доверие к методу синхронного термического анализа, совмещенного с газовой ИК-Фурье и масс-спектроскопией, можно было бы значительно повысить, если полученные результаты сопоставить с другими комплексными измерениями, включающими оценку потерь из керна путем определения в барических условиях пористости по газу до экстракции образцов; пиролитических исследований до экстракции; анализа группового состава экстрактов, извлекаемых из образцов; пиролитических исследований и замеров пористости после экстракции. Результаты перечисленных исследований позволяют оценить влияние пробоподготовки образцов на емкостные характеристики керна, а также дают возможность оценить наиболее вероятный диапазон погрешностей измеряемых параметров.

Необходимость учета «масштабного», «методического» и «временного» факторов при планировании извлечения углеводородов из баженовской свиты с помощью тепловых и иных методов не вызывает вопросов. Важный элемент «методического» фактора, который никак не освещен в работе – соблюдение режима подъема керна, при его извлечении из забоя скважины на поверхность с целью обеспечения плавной и равномерной дегазации. В условиях ультранизкой проницаемости пород баженовской свиты и высокого газосодержания нефти скорость подъема керна значительным образом влияет на его механическую сохранность. В первом подсчете запасов нефти баженовской свиты, который выносился на ЭТС ГКЗ в 1986 г. указано, что средний процент выноса керна по 28 скважинам составлял 41,8% и значительный его объем составляла «мучнистая бесструктурная масса», из-за которой И.И. Нестеров выдвинул гипотезу о новом типе коллектора, представленного «рыхлом баженитом». Позже стало понятно, что «рыхлый баженит» – это не что иное, как разрушившиеся в мелкую труху от взрывной дегазации керна наименее проницаемые литологические разности, как правило, обогащенные ОВ, никаких «рыхлых» пород в баженовской свите до сих пор не выявлено.

Высокая неоднородность пород баженовской свиты по проницаемости, даже в свежем керне, отобранном с соблюдением всех требований, порождает неравномерное остаточное насыщение пластовыми флюидами. В 2011 году проф. М.В. Дахнова, анализируя керн из баженовской свиты Верхнесалымского месторождения, показала, что на состав экстрактов сказываются величины ФЕС образцов. Чем ФЕС выше – тем меньше легких летучих УВ остается в образце и, соответственно, попадает в экстракт.

В силу вышеприведенных аргументов можно частично согласиться с одним тезисом работы, что степень трансформации ФЕС и формирование техногенно-обусловленной пустотной структуры керна зависит от первичной (в пластовых условиях) связности пустотного пространства, проявление которой в ряде случаев можно наблюдать на керне визуально. Только вот для правильного объяснения наблюдаемых эффектов нужно учитывать очень много факторов, в том числе весьма нетривиальных, таких как нюансы технологии отбора керна, скорость его извлечения из забоя, а также условия транспортировки керна в лабораторию (способ распиловки на метровые интервалы, виброзащищенность ящиков с керном; тип подвески автомобиля, транспортирующего керн; качество дорог и др.) и условия его хранения.

Недостаточно обоснованным и противоречивым видится вывод, что ФЕС керна исключительно вторичны (техногенные) и обусловлены восприимчивостью пород к снятию горного давления. Возможно, в используемой автором коллекции образцов не нашлось со значительными ФЕС, но это вовсе не значит, что во всей баженовской свите отсутствуют таковые. Только на территории деятельности компании «Газпром нефть» отобраны сотни метров керна из баженовской свиты, среди которых встречаются интервалы естественного коллектора в самом, что ни на есть обычном понимании. Керн из интервалов коллекторов характеризуется свечением в ультрафиолетовом свете, имеет пористость 12-15% и даже более, проницаемость ~ 1мД, и при этом не содержит никаких признаков техногенной трещиноватости. Литологически он зачастую приурочен к радиоляритам, вторичным карбонатам (по радиоляритам), наилучшие ФЕС обычно характерны для доломитизированных и фосфатных разностей.

Генезис пустотного пространства коллекторов баженовской свиты изучается давно и очень пристально и то, что оно может являться следствием естественных процессов, протекающих в недрах, а не факторами техногенного характера, у исследователей не вызывает сомнения. Факт наличия естественных коллекторских свойств, присущих некоторым типам литологических разностей баженовской свиты, не оспорим и подтверждён многими признанными учеными. В литературе можно найти множество публикаций на этот счёт (работы В.П.Соница, М.Ю. Зубкова, Г.А. Калмыкова, В.Д. Немовой, Д.Е. Заграновской и мн. других). На литологических критериях, наиболее характерных для коллекторов естественного происхождения, основываются ныне

действующие временные методические рекомендации по подсчету запасов баженовской свиты редакции 2017 года, составленные под руководством ГКЗ. В тексте заключения о техногенности ФЕС керна автору работы следовало бы указать район исследований, чтобы не складывалось впечатление, что данный вывод распространяется на всю территорию залегания баженовской свиты, на самом деле это не так.

Пожалуй, самым дискуссионным защищаемым положением диссертационной работы, является предлагаемый совместный анализ восприимчивости пород к трансформации структуры пустотного пространства и геофизических аномалий в скважине, указывающих на наличие фильтрации, которые по мнению автора позволяют выделять потенциально-приточные интервалы в отложениях баженовской свиты для различных технологий.

В начале следует отметить, что с развитием технологий стимуляции притоков в скважинах вопрос локализации приточных интервалов в его классической постановке давно уже перестал быть сдерживающим фактором освоения потенциала баженовской свиты. Как правило, общая толщина свиты не превышает 50 метров, которые можно без особых проблем охватить трещинами ГРП, реализованными по типовому дизайну без «высокотехнологичных изысков». Все возможные потенциально-приточные интервалы (ППИ) без исключения будут охвачены трещинами ГРП, поэтому решать задачу их точной локализации в разрезе не обязательно.

Перед отраслью сегодня стоят несколько иные задачи, так как из-за крайне низкой проницаемости породы баженовской свиты не способны обеспечивать необходимую подпитку одиночных трещин ГРП, поэтому для обеспечения промышленно значимой продуктивности скважин нужно в баженовской свите создавать развитую систему трещин высокой плотности, масштаб которой не уступал бы системе проводящих каналов в обычном песчаном коллекторе. Экспериментально установлено и теоретически обосновано, что наилучший эффект от стимуляции методами ГРП достигается в хрупких породах, характеризующихся минимальной анизотропией горизонтальных напряжений, при высоких скоростях закачки (до 20 м³/мин) маловязких жидкостей (технология «скользкой воды» от англ. «Slick water»). В 2020 г. Центр индустриальной интеграции «Газпромнефть-Технологические партнерства» (прежнее название – Технологический центр «Бажен») на баженовской свите Пальяновской площади достиг скорости закачки ГРП в 16 м³/мин, что значительно улучшило параметры работы горизонтальных скважин с многостадийными ГРП в одних и тех же геологических условиях. Это позволило предприятию более чем вдвое снизить стоимость добычи баженовской нефти – с 30 тысяч рублей за тонну на старте проекта в 2017 году до 13 тысяч рублей в 2020г.

Приведенный пример показывает, что простого расчленения разреза и выделения ППИ для различных технологий явно недостаточно, нужно учитывать ряд других

параметров, которые являются критически важными для реализации технологии стимуляции в реальных условиях месторождения (например, оценивать, хрупкость, анизотропию горизонтальных напряжений, величину возможного стимулированного объёма природного резервуара, и тд.).

Идея особой зоны (предразрушения) – ослабленной развитой системой микротрещин, возникающих на стенках скважины, является интересной, но не до конца понятной, а методы её выделения с помощью ГИС вовсе не очевидны. Обратная задача, связанная с обеспечением стабильности ствола скважины и предотвращения его разрушения при разработке баженовской свиты посредством горизонтальных скважин, является одной из первостепенных и сегодня изучена в достаточной мере.

Реализация проекта бурения горизонтальных скважин с многостадийными ГРП на баженовскую свиту началась в 2013 году и уперлась в интенсивное обвалообразование по причине неустойчивости вышележащих пород, непосредственно примыкающих к баженовской свите, и её собственной кровельной части. У этого явления множество причин, включая несовместимые условия бурения в «переходной зоне» в случае наличия АВПД, где происходит переход с нормального порового давления на аномально высокое; гидратации аргиллитов, которая активизируется в щелочной среде буровых растворов; тепловые напряжения из-за разницы температур пласта и в стволе скважины; и тд. С увеличением времени деструктивные процессы в неустойчивой зоне протекают все более активно, поэтому до сих пор одной из самой эффективной стратегий бурения горизонтальных скважин является минимизация времени между вскрытием и обсадкой колонной склонной к обвалообразованию зоны. Про интенсивное кавернообразование в подстилающей абалакской свите (представленной глинистыми разностями), которое иногда затрагивает подошвенную часть баженовской свиты, общеизвестно. Наиболее стабильными в плане устойчивости ствола скважины являются битуминозные породы и коллекторские прослои, представленные радиоляритом. Известны случаи, когда из технических проблем со спуском хвостовика, горизонтальная часть ствола, проведенная по прослою радиоляритов, (наилучший коллектор в баженовской свите) находилась необсаженной более одной недели, потом без особых проблем хвостовик допускался до забоя. Таким образом, самое интенсивное разрушение ствола протекает как раз в наиболее глинистых разностях баженовской свиты, зачастую это происходит с образованием каверн, влияние которых сказывается на показаниях малых зондов, регистрирующих удельные электрические сопротивления (УЭС), что может являться причиной наблюдаемых приращений. В этой связи при выделении коллекторов на основе приращений показаний разноглубинных зондов необходимо привлекать данные кавернометрии.

Второе обстоятельство, которое необходимо учитывать при интерпретации методов удельных электрических сопротивлений, связано с аспектами взаимодействия

электромагнитного поля с высокоомной средой. Физические возможности измерения УЭС посредством электромагнитных методов ограничиваются величинами в районе ~200 Ом, более высокие значения моделируются программно. В том числе, это касается прибора АПТ, показания которого приведены на рис. 11 автореферата, где достигают гораздо больших величин. Аналогичная ситуация с методом ВИКИЗ и многозондовым ИК. Следовательно, эффект приращения у электромагнитных методов может быть артефактом алгоритма, моделирующего высокие значения, превышающие ~200 Ом.

Не менее важным является фактор сильной электрической анизотропии, обусловленный тонким переслаиванием литологических разностей с различными УЭС, в том числе и токопроводящих (линзовидные конкреции пирита). Приращения определяются разноглубинными методами, показания которых могут отличаться вовсе не из-за проникновения фильтрата бурового раствора в пласт, а из-за разного набора слоев с отличающимися УЭС, попавшим в зоны исследований приборов с разной длиной зондов, в условиях тонкослоистого переслаивания. Здесь будет сказываться даже влияние зенитного угла скважины. При выделении коллекторов в баженовской свите с использованием разноглубинных зондов УЭС автору следует учитывать перечисленные выше факторы.

К классификации типов коллекторов, предлагаемой диссертантом, тоже возникает много вопросов. Если судить по рис. 12, то практически всю высокоомную часть разреза баженовской свиты следует относить к коллектору I-типа. В настоящее время накоплено достаточное количество фактического материала, позволяющего выявлять интервалы коллекторов в пластовых условиях (электрические пластовые имиджеры высокого разрешения (ЭПИ разрешения HD), сканирующий ядерно-магнитный каротаж, микрокавернометрия высокого разрешения с приборов ЭПИ; данные по профилям притока, включающим материалы методов, позволяющих регистрировать течение жидкости за неперфорированной колонной (высокоточная термометрия и спектральная шумометрия) все они указывают, что профиль притока носит дискретный характер, то есть приточные интервалы представлены отдельными достаточно маломощными (0,5-3м) прослоями в толще баженовской свиты. Или автор работы подразумевает, что в коллекторы I-типа попадают интервалы, вклад в приток которых находится за гранью разрешающей способности приборов промысловой геофизики?

Подводя общий итог к выполненной работе можно однозначно утверждать, что она актуальная, обладает научной новизной, а сам автор при ее выполнении продемонстрировал глубокое понимание проблематики баженовской свиты и знание современных методов изучения свойств пород для целей планирования разработки и оценки ресурсной базы. Многие её элементы являются дискуссионными и можно предположить, что основным препятствием для применения результатов на практике станет слишком узкая доказательная база, которая не позволяет соотнести полученный в работе результат с

достижениями последних лет в области методологического обеспечения баженовской свиты, благодаря которым стали возможны сегодняшние успехи в ее освоении.

Несмотря на обилие вышеизложенных замечаний, они не портят общего положительного впечатления, и являются, своего рода, свидетельством живого интереса к выполненной работе. Вне сомнений полученные результаты исследований и выводы являются полезными, и найдут своё применение на практике.

Общее заключение

На основании материалов, изложенных в автореферате, диссертационная работа Глотова Антона Васильевича на тему «Исследование природного и техногенного пустотного пространства отложений баженовской свиты для обоснования технологий её освоения» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор, Гловтов Антон Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Руководитель программ по технологиям
ГИС и петрофизике,
кандидат геолого-минералогических наук,
ООО «Газпромнефть – Технологические
партнерства»

Алексеев Алексей Дмитриевич

«16» марта 2021 г

Сведения о рецензенте: ученая степень по специальности 25.00.12 – геология, поиски и разведка горючих ископаемых

Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Якубовича 24

тел.:+7 (812) 449-20-63 (доб. 24886)

Подпись ФИО рецензента заверяю:

Должность, ученая степень, название организации

_____ ФИО