

12 (115) декабрь 2013

ГОРНЫЕ ВЕДОМОСТИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН
(СГ-6 ТЮМЕНСКОЙ И СГ-7 ЕН-ЯХИНСКОЙ)
В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**ТИПЫ КОЛЛЕКТОРОВ
И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД,
СЛАГАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЯ БАЗЕНЕВСКОЙ
И АБАЛАКСКОЙ СВИТ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

**ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
НЕФТЯНЫЕ КОМПАНИИ И ИХ РОЛЬ
В НЕФТЕДОБЫЧЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*«Богатство нефт
есть залог величия державы»*
M.B. Ломоносов

ТИПЫ КОЛЛЕКТОРОВ И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД, СЛАГАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ И АБАЛАКСКОЙ СВИТ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

М. Ю. Зубков

ООО «ЗапСибГЦ», г. Тюмень, ZubkovMYu@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Предложен механизм формирования коллекторов в отложениях баженовской и абалакской свит, показано, что в результате тектоно-гидротермальных процессов в потенциально продуктивных породах, представленных кремнистыми и карбонатными разновидностями, формируются вторичные коллекторы трещинного и трещинно-кавернозного типов. На основе проведенного анализа акустических свойств главных литологических типов пород предлагается использовать акустические методы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Баженовская и абалакская свиты, механизм формирования коллекторов, вещественный состав, потенциально продуктивные породы, акустические свойства пород.

RESERVOIR TYPES AND ACOUSTIC PROPERTIES OF ROCKS IN BAZHENOV AND ABALAK FORMATIONS (WESTERN SIBERIA)

M. Yu. Zubkov

ZapSibGC, LLC, Tyumen, ZubkovMYu@mail.ru

ABSTRACT

Mechanism of reservoir creation in deposits in Bazhenov and Abalak formations has been proposed, and generation of secondary fractured and fractured-cavernous type reservoirs as during tectonic and hydrothermal processes in siliceous and carbonaceous potentially pay rocks has been demonstrated. On the basis of performed analysis of main lithological types of rocks application of acoustic methods is proposed.

KEY WORDS

Bazhenov and Abalak formations, mechanism of reservoir generation, material composition, potentially pay rocks, acoustic properties of rocks.

В последнее время внимание научных и производственных организаций, занимающихся проблемами разработки нетрадиционных залежей нефти и газа, вновь обратилось к бажено-абалакскому комплексу Западно-Сибирского осадочного мегабассейна. Этот интерес во многом объясняется тем, что в этих отложениях присутствуют углеводородные залежи с так называемыми трудноизвлекаемыми запасами, а потому ожидается, что их разработка будет стимулироваться государством с помощью налоговых льгот.

Однако оценка геологических запасов, а тем более их подсчет, в рассматриваемых отложениях представляет собой весьма трудную задачу, что обусловлено главным образом следующими причинами:

- во-первых, отсутствуют однозначные представления о типах коллекторов, присутствующих в верхнеюрских отложениях, и механизме их образования;

- во-вторых, нет достаточно полной петрофизической базы данных о коллекторских свойствах всех литологических типов пород, слагающих эти отложения, и в первую очередь собственно самих пород-коллекторов;

- в-третьих, не существует общепринятой методики обработки стандартного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС), позволяющей выделять коллекторы в составе баженовской и абалацкой свит и определять их емкостные свойства.

Все эти причины взаимосвязаны. Действительно, не зная ответа на первый вопрос (тип коллектора), а также не имея достоверных данных о фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС) пород-коллекторов, нельзя корректно обосновать выбор той или иной методики для выделения коллекторов и оценки их емкостных свойств на основе того или иного комплекса ГИС.

Поэтому, прежде чем обсуждать способы выделения коллекторов в рассматриваемых отложениях (включая существующие методы ГИС), необходимо разобраться, какие типы коллекторов присутствуют в них и с какими литологическими разновидностями пород они связаны.

ТИПЫ И СПОСОБЫ ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ

Среди существующих весьма многочисленных точек зрения относительно механизма формирования коллекторов в отложениях баженовской свиты [1–4, 6–12, 14–34, 36–40, 42–45] выделим две основные.

Первая точка зрения, объясняющая механизм формирования коллекторов в отложениях баженовской свиты, была высказана Ф.Г. Гурари в 1970-е годы [2, 3]. Она впоследствии была

развита и дополнена другими исследователями (И.И. Нестеров, О.Г. Зарипов, И.Н. Ушатинский, К.С. Юсупов, В.П. Сонич и многие другие) [9–12, 27, 32–34, 43, 44].

Образование пород-коллекторов, по мнению этих исследователей, происходит под действием глубинного тепла и с увеличением пластовой температуры. По их версии по мере погружения отложений баженовской свиты в ней начинаются процессы нефтегенерации, которые при достижении отложениями главной фазы нефтегенерации (ГФН) активизируются. Вследствие увеличения объема керогена (из-за его превращения в жидкие и газообразные продукты) происходит флюидоразрыв пород, в результате чего формируется листоватый коллектор, который, по образному выражению И.И. Нестерова, напоминает «губку, пропитанную нефтью». По мнению исследователей, придерживающихся этой точки зрения, существование аномально высокого пластового давления в открытых в баженовской свите залежах (в первую очередь в пределах Салымского месторождения) подтверждает предложенный ими механизм формирования коллектора. Таким образом, в работах вышеперечисленных авторов общим является объяснение механизма формирования коллектора за счет природного флюидоразрыва, вызванного возрастанием давления генерируемыми свитой углеводородами. Необходимыми, по их мнению, условиями являются наличие ослабленных полостей наслаждения, закодированных еще в седиментогенезе (микрослоистые глины), и замкнутый характер системы, не позволяющий образующимся углеводородам свободно эмигрировать во внешние коллекторы.

Несмотря на кажущуюся простоту и привлекательность предложенной авторами первой модели механизма формирования коллектора в отложениях баженовской свиты, он не объясняет большого количества установленных фактов в процессе поисково-разведочных работ.

Действительно, баженовская свита имеет региональное распространение (за исключением небольших участков, где она отсутствует или перемежается с отложениями ачимовских клиноформных отложений в виде так называемых аномальных разрезов баженовской свиты). Кроме того, она практически везде (за исключением прибрежных участков) находится в зоне ГФН, поэтому, исходя из предложенной модели, она должна быть повсеместно нефтеносной, чего в действительности не наблюдается. Более того, продуктивность скважин, вскрывших битуминозные отложения баженовской свиты, даже в пределах одного месторождения резко отличается друг от друга, причем расстояние между этими

скважинами может составлять лишь первые сотни метров [1, 7, 10, 14, 15, 18, 25, 28, 29, 38, 40, 42, 45].

Анализ коллекторских свойств образцов керна баженовской свиты, отобранного из продуктивных скважин, показал, что их открытая пористость не превышает 10—12 %, а проницаемость в редких случаях достигает $1\cdot10^{-3}\text{мкм}^2$. Полученные результаты петрофизических исследований битуминозных отложений явно не соответствуют промысловым данным, в соответствии с которыми дебиты нефти из отложений баженовской свиты в ряде случаев достигают первых сотен тонн в сутки.

Очевидно, что первая точка зрения на механизм формирования коллекторов в отложениях баженовской свиты не объясняет всех накопленных к настоящему времени геологопромысловых фактов относительно фильтрационно-емкостных и продуктивных свойств рассматриваемых отложений, поэтому ее вряд ли можно считать корректной.

Вторая точка зрения относительно механизма формирования коллекторов в отложениях баженовской свиты была предложена примерно в это же время В.С. Мелик-Пашаевым, Э.М. Халимовым, Ю.А. Терещенко, К.И. Микуленко и другими исследователями [30, 31, 46]. В соответствии с представлениями этих ученых лучше всего геологопромысловые данные, накопленные в процессе эксплуатации углеводородных залежей в баженовской свите, описываются исходя из модели трещиноватого коллектора.

Ими высказывались различные предположения относительно причины возникновения трещин в рассматриваемых отложениях, главной среди которых, по мнению большинства, считаются тектонические движения. Однако авторы, развивавшие модель механизма формирования коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты, не приводят в своих работах четких и однозначных критериев для выделения их в пределах тех или иных площадей или месторождений. Эти работы носили в основном декларативный характер.

Здесь следует отметить, что абалакская свита в этот период времени оставалась в тени своей знаменитой соседки. Практически все публикации освещали те или иные особенности строения и нефтегазоносности именно баженовской свиты. Лишь в конце 1980-х гг. появились первые публикации, показывавшие, что притоки были получены не только из отложений баженовской свиты, но и кровельной части абалакской свиты, в состав которой часто входят маломощные карбонатные пласти. Постепенно промышленная нефтеносность абалакской свиты была достаточно надежно доказана, причем установлено, что

в пределах Красноленинского свода основные промышленные притоки нефти получены из абалакской, а не из баженовской свиты.

Нами в ряде публикаций [16—20] показано, что прямые признаки нефтеносности установлены главным образом в двух основных литологических типах пород, входящих в состав баженовской и абалакской свит, а именно в породах, сложенных преимущественно кремнистым (силициты) и карбонатным (мергели, известняки, доломиты, сидеритолиты) материалом (рис. 1, 2). Коллекторы, образующиеся в них, относятся к трещинным (силициты) и трещинно-кавернозным (карбонаты) типам [15—19]. На поверхности трещин и каверн часто присутствуют различные эпигенетические (гидротермального происхождения) минералы, которые из-за микроскопических включений капельной нефти, захваченной ими в процессе роста, активно люминесцируют в ультрафиолетовом свете (рис. 2, 3). Вторичные минералы, образовавшиеся на поверхности трещин и каверн, чаще всего представлены мелкокристаллическими агрегатами кварца, карбонатов (обычно кальцитом с большей или меньшей примесью Mg, Fe и Mn) и каолинитом и/или диккитом (см. рис. 3).

Породы, в которых формируются трещинные (силициты) и трещинно-кавернозные (карбонаты) вторичные коллекторы, были названы нами потенциально продуктивными (ППП) [16—20].

Ранее в работах [15—19] нами приводились достаточно подробные и полные описания механизма формирования вторичных коллекторов в отложениях баженовской и абалакской свит, а также доказательства их тектоно-гидротермального способа образования, поэтому здесь мы очень кратко дадим описание лишь самого механизма их формирования.

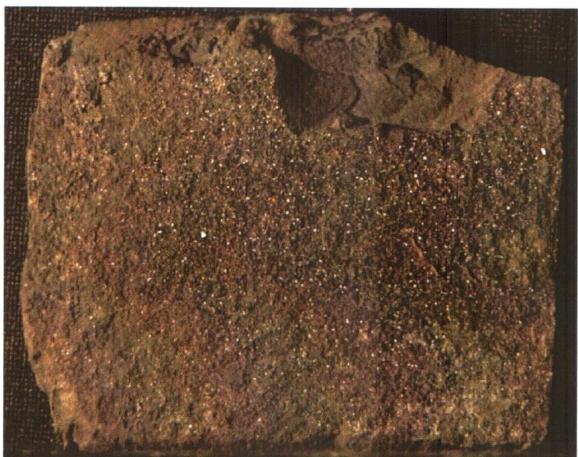
Над растущим поднятием (представляющим собой, например, воздымающийся в фундаменте батолит) формируется зона дробления, по которой из фундамента проникает мощный тепловой поток с перегретыми кислыми высокозентальпийными флюидами. Они вызывают, с одной стороны, активизацию процессов нефтегенерации, включая отложения баженовской свиты, мобилизацию связанной и поровой воды, присутствующей в осадочных породах в форме гидротермального флюида, а с другой стороны, дробление прочных, но хрупких кремнистых и карбонатных пород, слагающих пласти различной мощности в составе баженовской и абалакской свит. В связи с тем, что растворимость карбонатных типов пород, особенно в кислых гидротермах, гораздо выше, чем кремнистых, в первых формируется не трещинный, а трещинно-кавернозный тип вторичного коллектора.



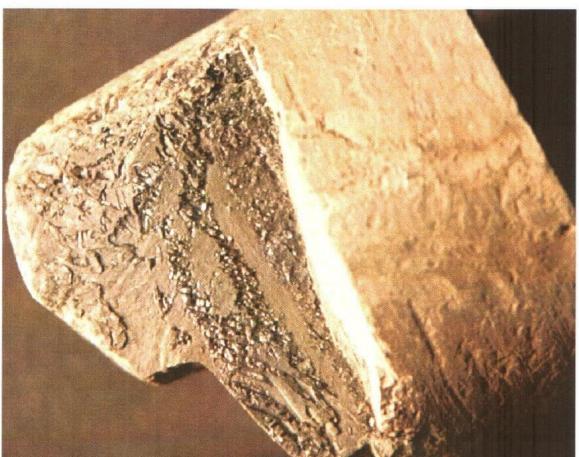
а



б



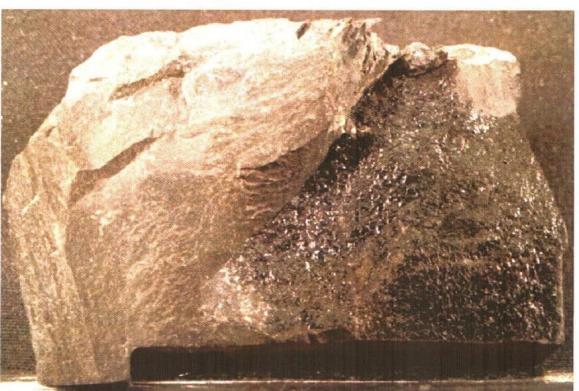
в



г



д



е

Рис. 1. Фотографии образцов трещиноватых силицитов (а–г) и известняков (д, е), отобранных из отложений баженовской свиты, на поверхности которых присутствуют твердые и вязкие битумы, а также мелкокристаллические эпигенетические минералы: а–г — Маслиховское месторождение, д, е — Пальяновская площадь



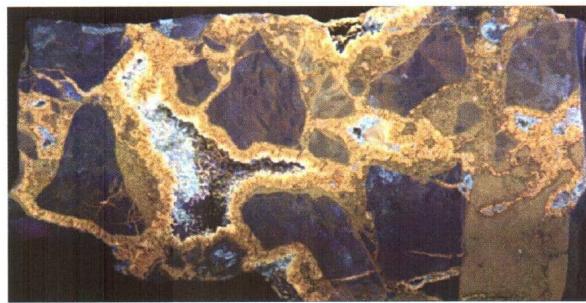
а



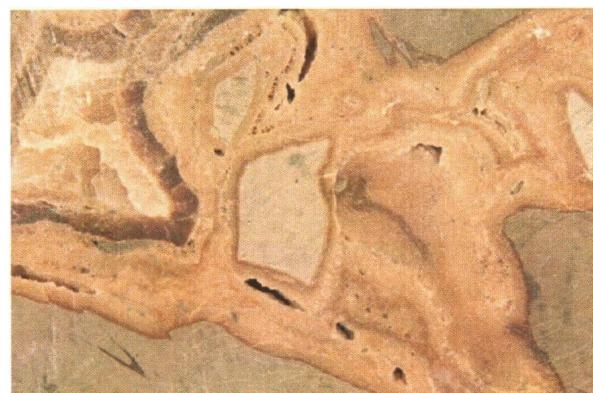
б



в



г



д



е

Рис. 2. Фотографии образцов трещиновато-кавернозных известняков, отобранных из отложений абалакской свиты и ее литостратиграфических аналогов, снятые в белом (а, в, д) и ультрафиолетовом (б, г, е) свете. Месторождения: Усть-Балыкское — а, б; Салымское — в, г; Сыморьяхское — д, е

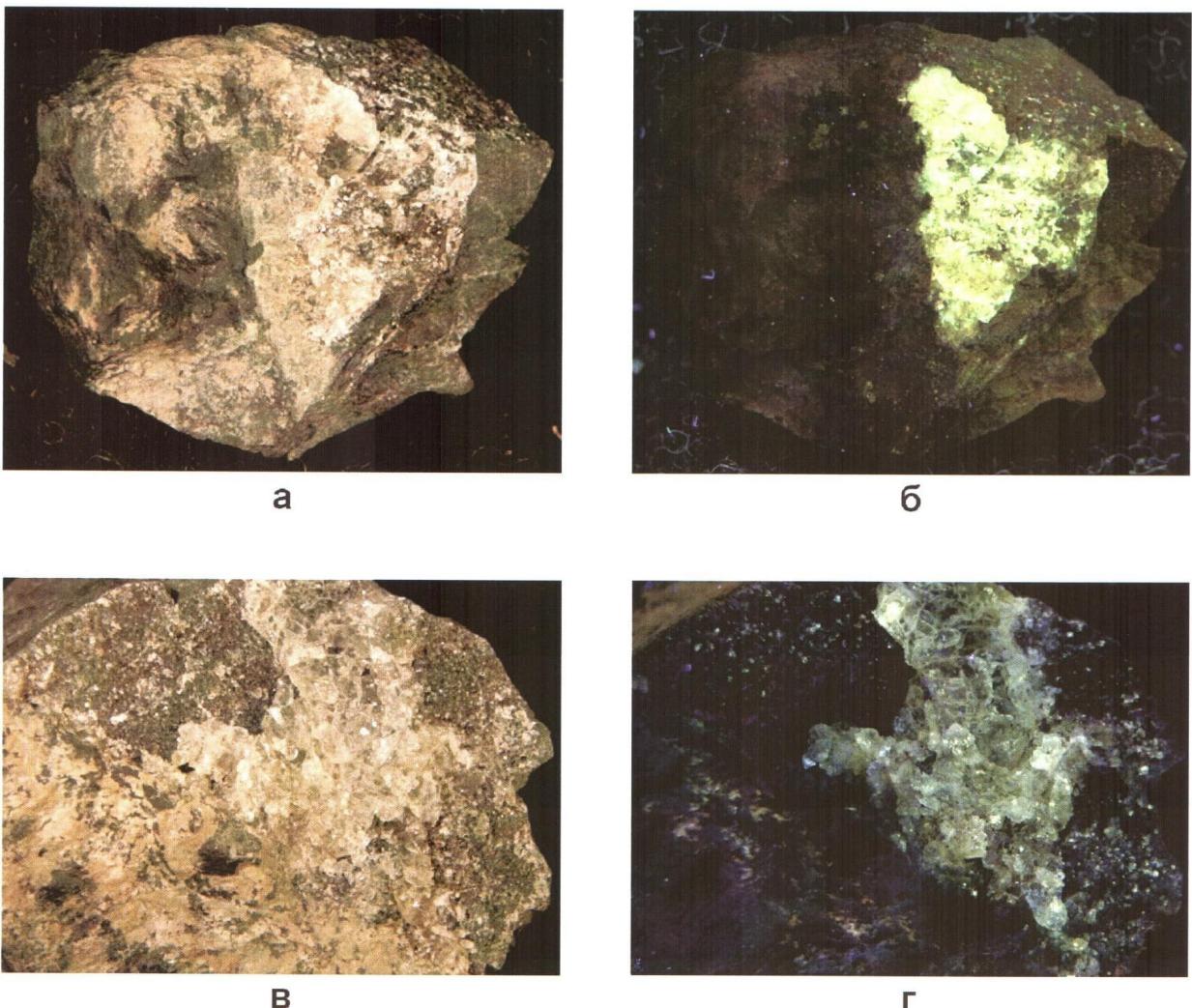


Рис. 3. Фотографии агрегатов эпигенетических минералов, образовавшихся на поверхности трещин в карбонатном радиоляриите, представленных кристаллами кварца и кальцита, а также мелкозернистым каолинитом (диккитом), снятые в белом (а, в) и ультрафиолетовом (б, г) свете. Подошвенная часть баженовской свиты, Пальяновская площадь

Таким образом, формирование вторичного коллектора и образование нефти, которая затем его заполняет, происходит практически одновременно (в масштабе геологического времени).

АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Выделением интервалов залегания пород-коллекторов в составе баженовской и абалакской свит, а также оценкой их емкостных свойств по данным геофизических исследований скважин занимались коллективы исследователей различных научно-исследовательских организаций, таких как СНИИГГиМС, ЗапСибНИГНИ, ЗапСибНИИгеофизика, СибНИИНП, ВНИГНИ, ВНИИнефть, МИНХиГП, ЦГЭ и другие. Однако до сих пор эта задача так и осталась нерешенной.

Стандартный комплекс ГИС продемонстрировал свою неэффективность при решении этой

проблемы. Из общих соображений можно заключить, что наиболее перспективным при решении обсуждаемой задачи является комплекс ядерно-физических методов, включающих гамма-метод или скважинную гамма-спектрометрию, гамма-гамма-плотностные и нейтронные методы [16, 41]. Однако, исходя из предложенной выше модели формирования пород-коллекторов и их типов (трещинных и трещинно-кавернозных), можно предположить, что акустические методы также могут помочь в решении поставленной задачи.

С этой целью нами были изучены акустические свойства основных литологических типов пород, слагающих верхнеюрские отложения с использованием установки УИС-1, представляющей собой ультразвуковую измерительную систему. Она позволяет с высокой точностью измерять скорости распространения

продольных и поперечных волн в цилиндрических образцах, имеющих стандартные размеры (30x30 мм).

В состав ультразвуковой системы входят следующие основные элементы:

- ультразвуковой преобразователь;
- рабочая камера для создания условий, моделирующих пластовые;
- электронный контрольный модуль.

Ультразвуковой преобразователь PS2 позволяет создавать и регистрировать упругие колебания продольной (P) и поперечной (S) волн в образце породы. Средняя частота преобразователя 700 kHz.

Измерения проводились в условиях, моделирующих пластовые, на полностью насыщенных водой или керосином образцах пород. Горное и поровое давления создавались прессами высокого давления.

Изучение акустических свойств стандартных образцов цилиндрической формы проводилось в условиях, моделирующих пластовые, а на пластинах полноразмерного керна — в атмосферных условиях.

Рассмотрим особенности вещественного состава отложений баженовской и абалакской свит.

Основными компонентами, слагающими рассматриваемые отложения, по данным различных авторов [8, 11–13, 16–19, 21, 23, 44], являются следующие:

- глинистые минералы;
- биогенный (аутигенный) кремнезем;
- карбонатные минералы (биогенного аутигенного и хемогенного происхождения);
- органическое вещество (преимущественно кероген);
- аутигенный пирит;
- мелкоалевритовая терригенная примесь, представленная в основном обломками кварца, полевых шпатов и слюд.

Перечисленные компоненты слагают огромное количество литологических разновидностей пород, входя в них в различных соотношениях [8, 11–13, 16–19, 21, 23, 44]. Для того чтобы не запутаться в бесконечном количестве типов пород и в принципе разобраться с основными закономерностями изменения акустических свойств осадков, слагающих верхнеюрские отложения, выделим среди всего многообразия пород лишь три основные: это кремнистые (в том числе силициты), глинистые (аргиллиты) и карбонатные породы, условно приняв, что к этим литотипам относятся породы, в составе которых преобладают, соответственно, кремнезем, глинистые минералы и карбонаты.

Это деление весьма условно, так как существует большое количество образцов, в составе которых содержание ни одного из перечисленных выше компонентов не достигает даже 50 %. Действительно, при концентрации глинистых минералов в 30 % и кремнезема в 30 % концентрация карбонатов в образце не может превысить 40 %. Кроме этих слагающих в рассматриваемых отложениях в виде второстепенных, а иногда и основных компонентов еще присутствуют пирит и органическое вещество (кероген), суммарное содержание которых может достигать 20–25 %. Кроме того, не следует забывать, что речь идет о весовом содержании органического вещества, а его объемная концентрация из-за низкой плотности может достигать 20–25 % и больше. То есть суммарное содержание пирита и керогена в некоторых литологических типах пород может составлять треть и даже более от суммы всех породообразующих компонентов, поэтому выделение упомянутых выше трех литотипов производилось весьма условно и осуществлялось, как уже отмечалось выше, просто по преобладанию того или иного минерального компонента без учета органического материала.

Кроме того, следует отметить, что наибольший объем исследований акустических свойств различных литологических типов пород, входящих в состав верхнеюрских отложений, был выполнен на достаточно прочных (не трещиноватых) образцах. При изготовлении цилиндров стандартного размера (30x30 мм) для петрофизических исследований из пород, содержащих микротрещины, они разрушались по этим трещинам, и получить полноценный цилиндр для петрофизических исследований не удавалось. Чаще всего в процессе изготовления разрушались образцы, в составе которых преобладали кероген и глинистые минералы, то есть преимущественно аргиллиты, в большей или меньшей степени битуминоznые и содержащие то или иное количество керогена. По этой причине более многочисленные результаты исследований акустических свойств получены на образцах, имеющих преимущественно кремнистый и карбонатный составы.

Сопоставление значений скоростей распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, с одной стороны, и величины пористости образцов — с другой, не позволило установить значимые связи между этими параметрами. Отсутствие зависимостей между скоростями распространения (V_p и V_s) волн и пористостью образцов объясняется несколькими причинами, главными из которых являются следующие:

- узкий диапазон изменения величины пористости изученных образцов, составляющий в среднем от 1 до 8 %;

— значительные вариации плотности основных породообразующих компонентов (от 1.2 г/см³ у керогена до 3.9 г/см³ у сидерита и даже до 5.0 г/см³ у пирита);

— акустическая анизотропия образцов, вызванная их текстурно-структурными особенностями, обусловленными, например, слоистостью.

С целью оценки вклада текстурно-структурных особенностей образцов в их акустические свойства были определены скорости распространения (V_p и V_s) волн как в направлении, параллельном слоистости, так и в перпендикулярном по отношению к слоистости направлении (ниже по тексту для краткости первые образцы будем именовать параллельными, а вторые — перпендикулярными).

Поскольку связь скорость — плотность по объективным причинам является более сильной по сравнению с зависимостью скорость — пористость, то такие зависимости были построены отдельно для параллельных и перпендикулярных образцов (рис. 4). Однако и в этом случае значимых зависимостей между сопоставляемыми параметрами получить не удалось (см. рис. 4). Отмечается лишь тенденция увеличения скоростей распространения продольных и поперечных волн по мере роста плотности образцов. Причины отсутствия зависимостей те же, что были перечислены выше при объяснении отсутствия значимой связи между скоростью и пористостью.

Если полученные данные нанести на график, у которого осями абсцисс и ординат являются значения скоростей распространения продольных и поперечных волн соответственно, причем как для параллельных, так и для перпендикулярных образцов, то можно условно выделить поля, в пределах которых встречаются те или иные основные литологические типы пород, выделенные выше (рис. 5). На рисунке хорошо видно, что конфигуративные точки, соответствующие параллельным образцам, преимущественно расположились в верхней правой его части, а перпендикулярные — в нижней левой, что объясняется главным образом их акустической анизотропией, обусловленной в первую очередь слоистостью (см. рис. 5).

Обращает на себя внимание тот факт, что конфигуративные точки, соответствующие силицитам, расположены немного выше, чем точки, отвечающие другим типам пород. Иными словами, для них характерны немного более высокие значения скорости поперечных волн по сравнению с другими литотипами (см. рис. 5). Этот феномен объясняет аномально низкие значения коэффициента Пуассона (σ_n) у кварца (всего около 0.08) по сравнению с другими породообразующими минералами, у которых этот коэффициент варьирует

в среднем от 0.2 до 0.3. Действительно, из известной формулы, связывающей коэффициент Пуассона со скоростями распространения V_p и V_s ,

$$\sigma_n = (V_p^2 - V_s^2) / 2(V_p^2 + V_s^2)$$

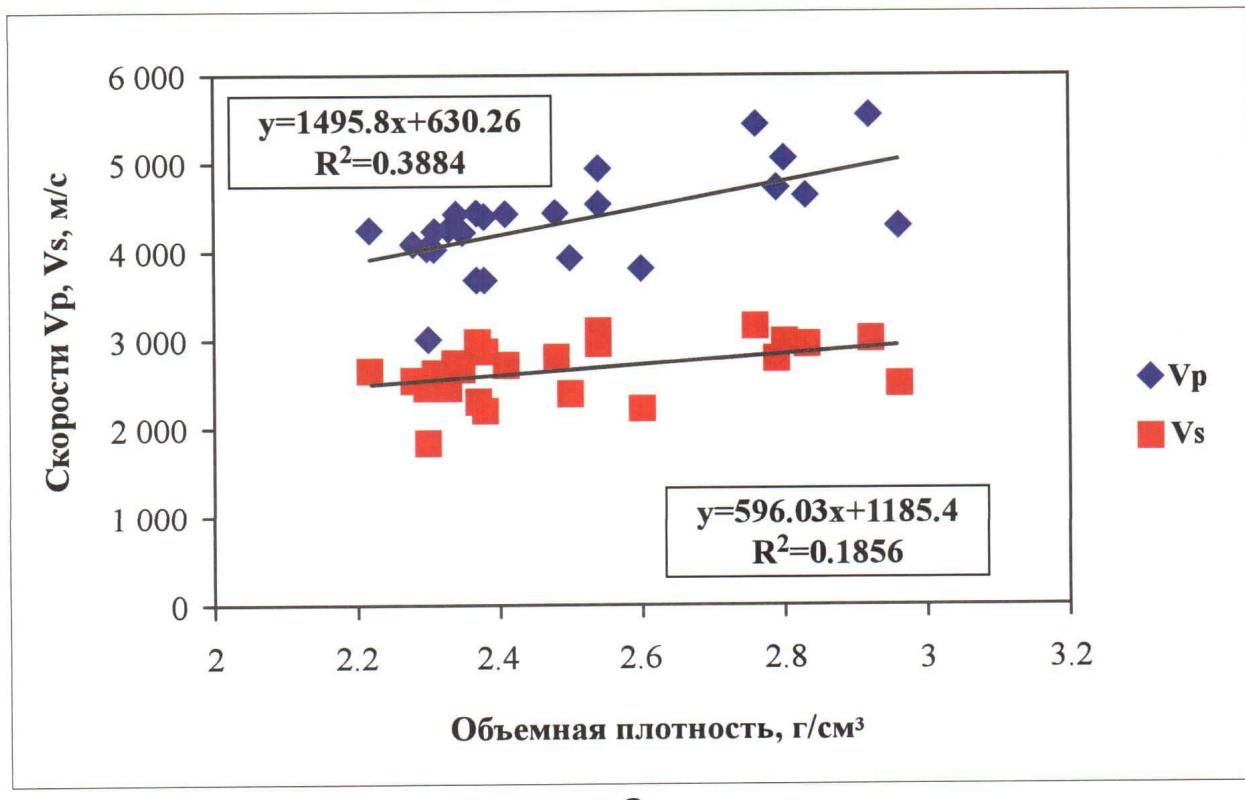
следует, что величина σ_n снижается при уменьшении значений отношения V_p/V_s . Так, для силицитов это отношение варьирует в пределах 1.5—1.6, а для других литологических типов — в пределах 1.7—1.8 (см. рис. 5). Поэтому поля, занимаемые параллельными и перпендикулярными аргиллитами с небольшим перекрытием, залегают чуть ниже таковых, отвечающих силицитам (см. рис. 5).

Максимальные значения V_p и V_s имеют карбонатные литотипы (см. рис. 5). Причем здесь следует отметить, что максимальное содержание карбонатного материала в параллельных образцах (имеющих соответственно максимальные величины V_p и V_s), представленных на рисунке, не превышает 65—75 %, а минимальное варьирует от 50 до 55 % (см. рис. 5). Сравнительно низкие скорости распространения V_p и V_s в перпендикулярных образцах объясняются не столько их акустической анизотропией, сколько низкой концентрацией в них карбонатного материала. Так, в перпендикулярных карбонатных образцах, имеющих максимально высокие скорости распространения обоих типов волн, содержание карбонатов не превышает 45—50 %. В образцах, относимых к этому же литологическому типу пород с минимальными значениями скоростей распространения V_p и V_s , концентрация карбонатных минералов не превышает всего 25—35 % (см. рис. 5). При условии если предположить наличие прямо пропорциональной связи между скоростями распространения обоих типов волн, с одной стороны, и концентрацией карбонатного материала в перпендикулярных образцах — с другой, то при содержании последнего в количестве примерно 70 % величина V_p составит около 5 500 м/с, что в принципе совпадает с величиной скорости распространения того же типа волны в параллельных образцах (см. рис. 5).

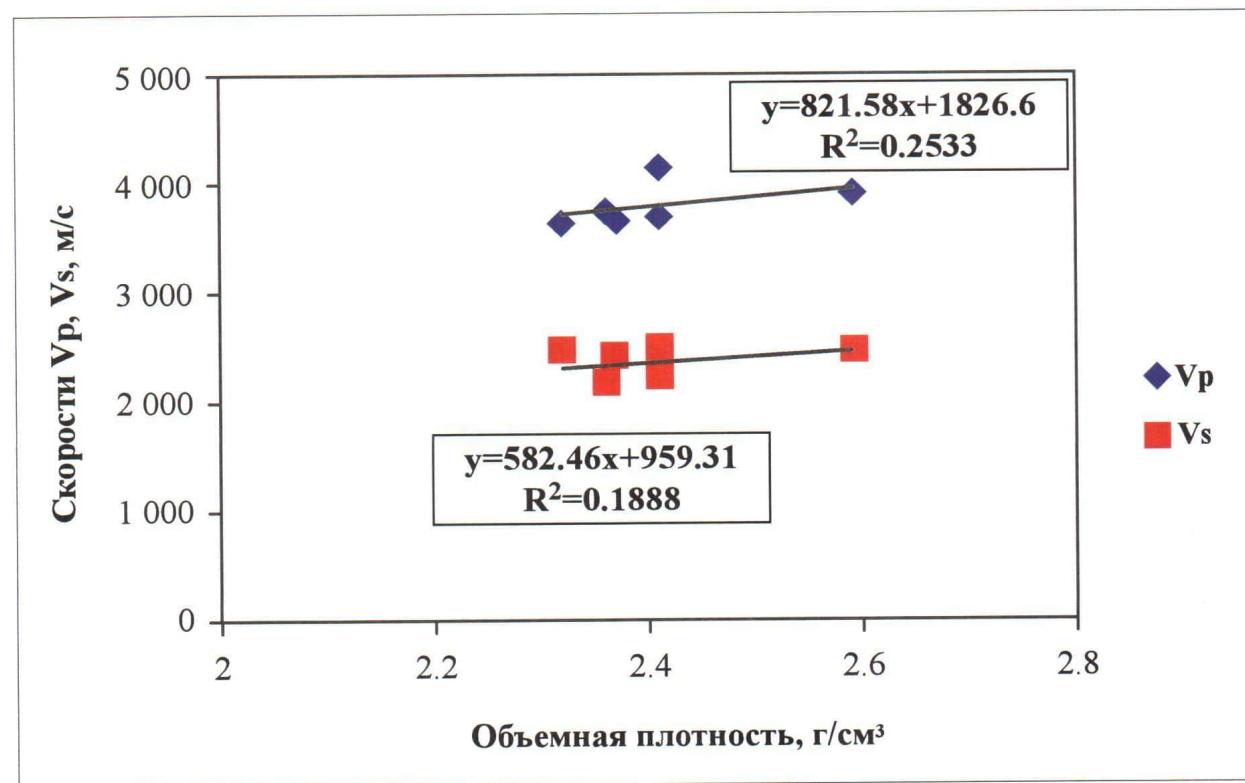
В целом наблюдаются достаточно простые закономерности изменения величин скоростей распространения обоих типов волн от изменения состава и пористости образцов при прочих равных условиях, а именно:

— рост концентрации карбонатного материала в образцах ведет к увеличению скоростей распространения в них V_p и V_s ;

— повышение пористости образцов, напротив, снижает скорости распространения в них волн;



а



б

Рис. 4. Зависимости $V_p - V_s$ — объемная плотность для образцов из Верхнеюрских отложений, высверленных параллельно (а) и перпендикулярно (б) по отношению к слоистости

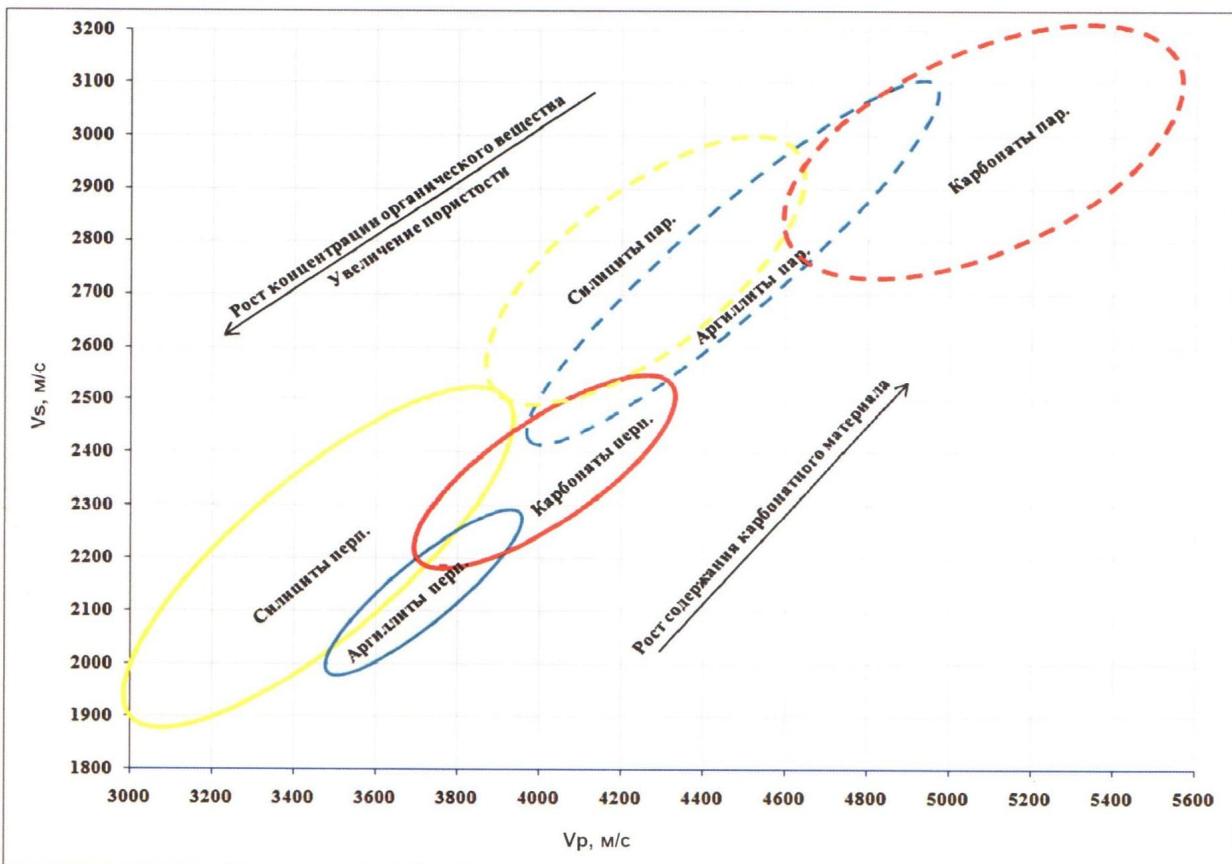


Рис. 5. Области, занимаемые различными литологическими типами пород, слагающих баженовскую и абалакскую свиты в координатах V_p – V_s . Скорость определялась на стандартных цилиндрических образцах, высушенных как перпендикулярно (перп.), так и параллельно (пар.) по отношению к слоистости (условия, моделирующие пластовые)

— увеличение содержания органического вещества (представленного главным образом керогеном), как и рост пористости, приводит к уменьшению скоростей распространения обоих типов волн в образцах.

Как уже отмечалось выше, карбонатные разновидности представляют наибольший практический интерес как потенциальные породы-коллекторы, так как в них возможно формирование наиболее высокоемких вторичных коллекторов (тектоно-гидротермального происхождения). Они также, в отличие от других литологических типов, имеют более однородный вещественный состав, что объясняется низким содержанием в них других компонентов. Так, содержание органического вещества в них обычно не превышает 1%, концентрация глинистых минералов — в среднем не более 10—15 %, а кремнезема — 5—10 %. В результате их акустические свойства являются более стабильными, а значит, можно ожидать, что скорости распространения V_p и V_s будут более избирательно зависеть именно от ФЕС кар-

бонатных пород по сравнению с другими литологическими типами пород.

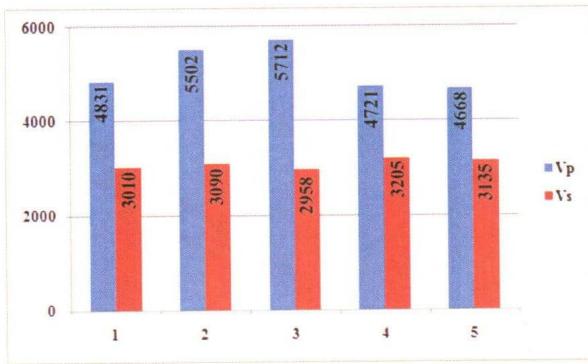
С целью проверки сделанного предположения была подготовлена небольшая коллекция полноразмерных пришлифованных образцов известняков с низким содержанием в них глинистого и кремнистого материала, в которых наряду с однородными (массивными) участками присутствовали трещины и каверны в различной степени, залеченные вторичными карбонатными минералами (рис. 6—8).

Анализ полученных данных показал, что явных однозначных отличий акустических свойств трещиноватых зон, заполненных вторичными карбонатными минералами, от участков, представленных матрицей, не наблюдается. Зависимости носят достаточно непростой характер, что объясняется следующими причинами:

— трещины и монолитные участки в образцах не проецируются с одной стороны пришлифованного образца на другую, напротив, трещина, присутствующая на одной стороне образца,



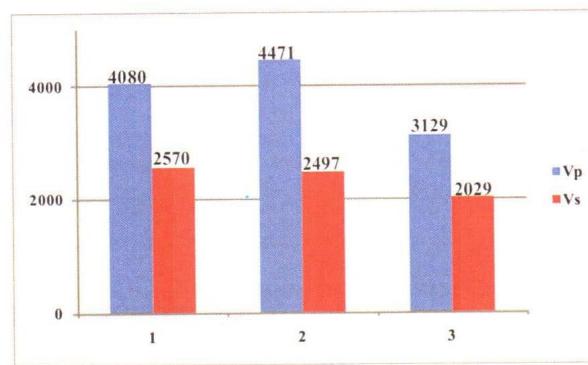
а



б



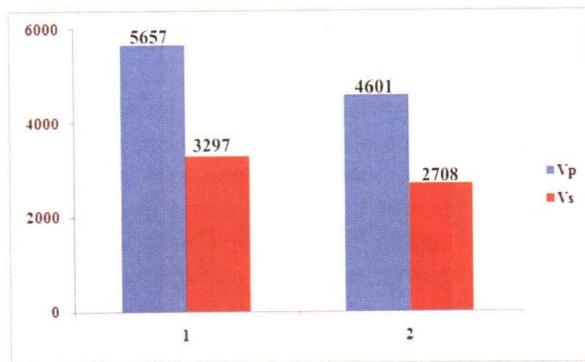
в



г

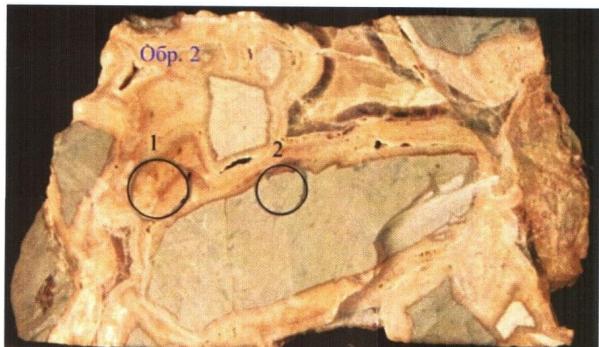


д

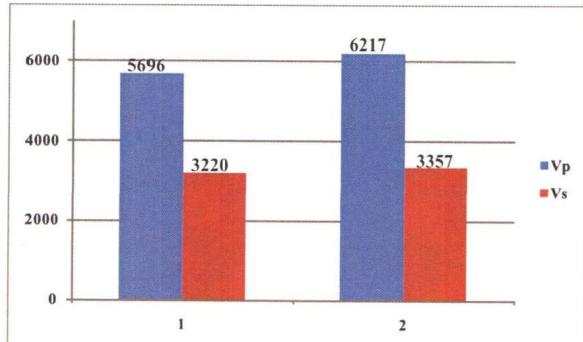


е

Рис. 6. Фотографии пришлифовок полноразмерных образцов керна трещиновато-кавернозных разновидностей карбонатных пород (ПП), отобранных из верхнеюрских отложений (а, в, д), и значения скоростей распространения продольных (Vp) и поперечных (Vs) волн (б, г, е) в местах, обозначенных черными кругами на фотографиях образцов: а, б — образец 1, скважина 10548, Сыморьяхское месторождение; в, г — образец 3, скважина 592, Западно-Салымское месторождение; д, е — образец 4, скважина 4250, Славинское месторождение



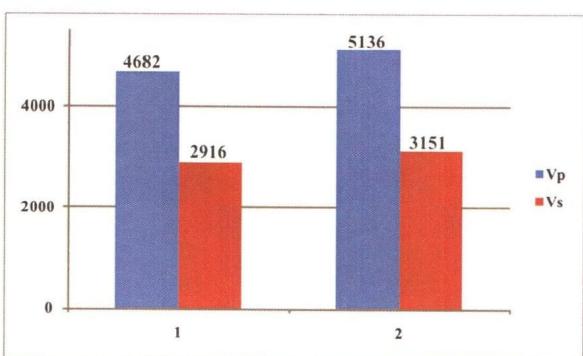
а



б



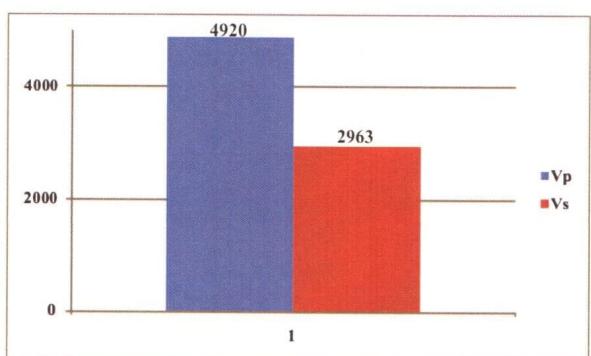
в



г

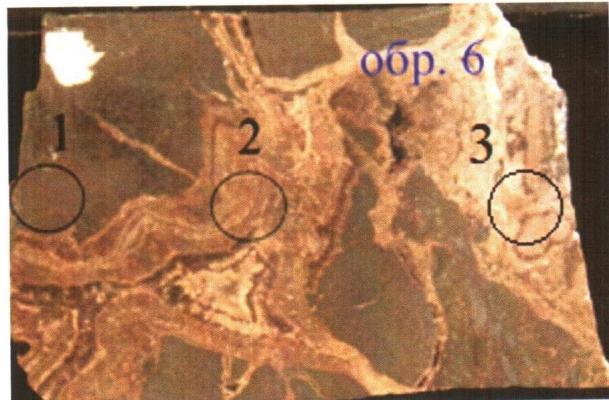


д

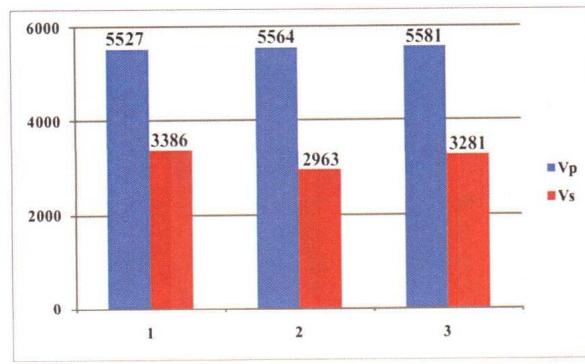


е

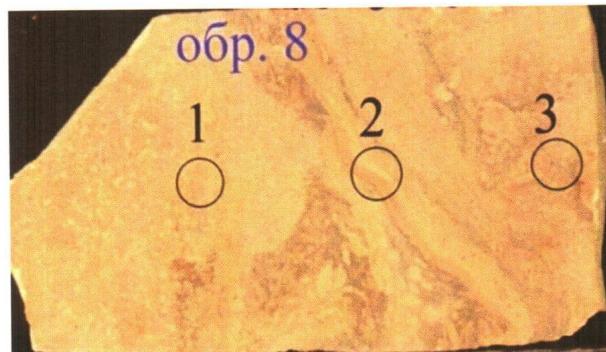
Рис. 7. Фотографии пришлифовок полноразмерных образцов керна трещиновато-кавернозных разновидностей карбонатных пород (ППП), отобранных из верхнеюрских отложений (а, в, д), и значения скоростей распространения продольных (Vp) и поперечных (Vs) волн (б, г, е) в местах, обозначенных черными кругами на фотографиях образцов: а, б — образец 2, скважина 10548, Сымурьяхское месторождение; в, г — образец 5, скважина 592, Западно-Салымское месторождение; д, е — образец 7, скважина 126, Урьевское месторождение



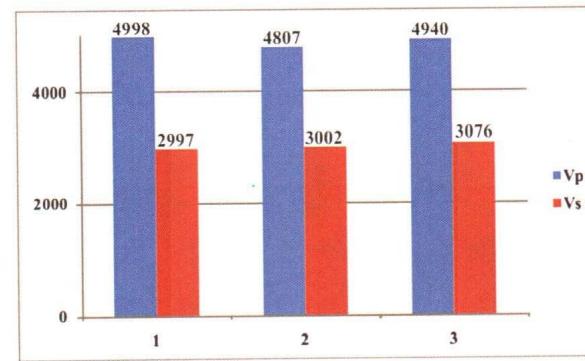
а



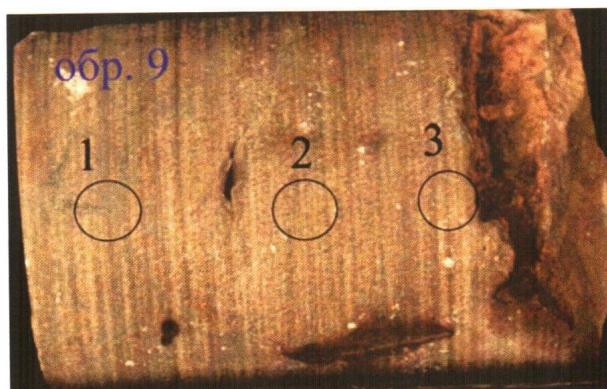
б



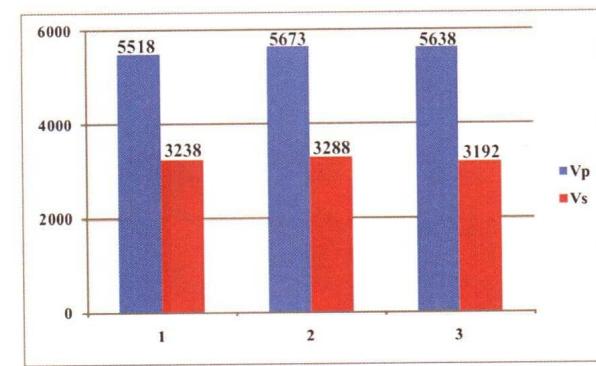
в



г



д



е

Рис. 8. Фотографии пришлифовок полноразмерных образцов керна трещиновато-кавернозных разновидностей карбонатных пород (ППП), отобранных из верхнеюрских отложений (а, в, д), и значения скоростей распространения продольных (Vp) и поперечных (Vs) волн (б, г, е) в местах, обозначенных черными кругами на фотографиях образцов: а, б — образец 6, скважина 592, Западно-Салымское месторождение; в, г — образец 8, скважина 3353, Быстринское месторождение; д, е — образец 9, скважина 4250, Славинское месторождение

на другой его стороне может отсутствовать, и, наоборот, монолитный участок с одной стороны образца на противоположной его стороне может быть представлен полностью или частично залеченной трещиной или каверной;

— минеральный состав монолитных участков, представляющих собой исходную породу (ППП), отличается от состава минералов, заполняющих трещины, а следовательно, их акустические свойства различны;

— большое влияние на скорость распространения обоих типов волн оказывают присутствующие в образцах трещины и каверны, имеющие различные размеры и протяженность: так, при помещении ультразвуковых преобразователей (датчиков) в кавернозный участок или на место, где располагалась крупная зияющая трещина, сигнал полностью пропадал, и определить скорости распространения V_p и V_s не представлялось возможным.

В целом удалось установить следующие закономерности.

Во-первых, если монолитный и трещиноватый участки сложены близкими по составу карбонатными минералами и трещины и/или каверны полностью заполнены вторичными карбонатными минералами, то скорости распространения волн в обоих участках имеют близкие значения (см. рис. 6а, 6б, 8а—д).

Во-вторых, если в трещиновато-кавернозных участках сохраняются полые микротрещины и каверны, то в этих участках отмечается резкое уменьшение скорости распространения упругих волн (см. рис. 6в—е, 7д, 7е).

В-третьих, если трещины и/или каверны оказываются полностью заполненными более плотными карбонатными минералами, чем входящие в состав матрицы, или в составе матрицы кроме карбонатных минералов в заметном количестве присутствуют, например, глинистые минералы, имеющие меньшую плотность, чем карбонаты в составе той же матрицы, то становится возможным вариант, когда скорость распространения волн в «трещинно-кавернозном» участке оказывается больше, чем в монолитном (см. рис. 7в, 7г). Хотя в последнем случае нельзя полностью исключить возможность того, что на участке, воспринимаемом как монолитный (с одной стороны пришлифованного образца), в средней или ближе к противоположной его стороне присутствуют микротрещины или каверны, скрытые внутри образца, снижающие скорость распространения волн на этом участке.

К сожалению, нам не удалось определить на участках, где проводились измерения скоростей распространения (V_p и V_s) волн, плотность образцов, так как при определении их плотности

с помощью гамма-просвечивания площадь исследуемого участка составляла около 8.3 см^2 , а при акустических исследованиях площадь «прозвучивания» не превышала 2.4 см^2 . Тем не менее между V_p и V_s для изученной коллекции пришлифованных полноразмерных образцов наблюдается достаточно надежная значимая связь (рис. 9).

Поскольку вещественный состав изученных образцов являлся довольно однородным (сложены преимущественно кальцитом, доломитом, реже анкеритом с небольшой примесью глинистого материала) и исследования на всех образцах выполнялись единообразно (в направлении, параллельном по отношению к слоистости), то можно предположить, что их акустические свойства будут в значительной степени определяться именно их коллекторскими свойствами и в первую очередь пористостью. Действительно, упругие свойства карбонатных минералов слабо отличаются. Например, скорость распространения продольных волн и в кальците, и в доломите составляет $6\,700 \text{ м/с}$ [5, 35]. Тот же параметр V_p в кварце равен $6\,250 \text{ м/с}$ [5, 35], то есть максимальные различия в скорости распространения продольных волн, обусловленные различиями вещественного состава, могут достигать порядка 450 м/с , и это при условии, что состав породы меняется с чисто карбонатного на чисто кремнистый. В нашем случае примесь второго (глины) и/или третьего (кремнезем) компонентов в составе карбонатных образцов не превышает 25—30 %, поэтому различия в скорости распространения, например, продольных волн, обусловленные вариациями минерального состава, не превышают $120\text{--}140 \text{ м/с}$. Полученные нами результаты замеров V_p в карбонатных образцах свидетельствуют о том, что они изменяются от $6\,217$ до $3\,129 \text{ м/с}$. Разница составляет $3\,088 \text{ м/с}$, что превышает максимально возможные вариации значений V_p из-за изменения минерального состава карбонатов в 22—26 раз! Следовательно, с большой степенью вероятности можно утверждать, что столь значительные различия упругих свойств исследованных образцов известняков обусловлены наличием в них пустот.

Присутствие фигуративных точек, расположенных выше полученной усредненной линейной зависимости (то есть с более высокими значениями V_s), объясняется наличием в образцах, которым отвечают эти точки (именно в исследованных участках этих образцов), многочисленных агрегатов вторичного мелкокристаллического кварца. Для него, как уже отмечалось выше, характерны более высокие по сравнению с другими минералами (включая карбонаты) значения V_s . Это и объясняет аномально низкие значения коэффициента Пуассона у кварца (см. рис. 9).

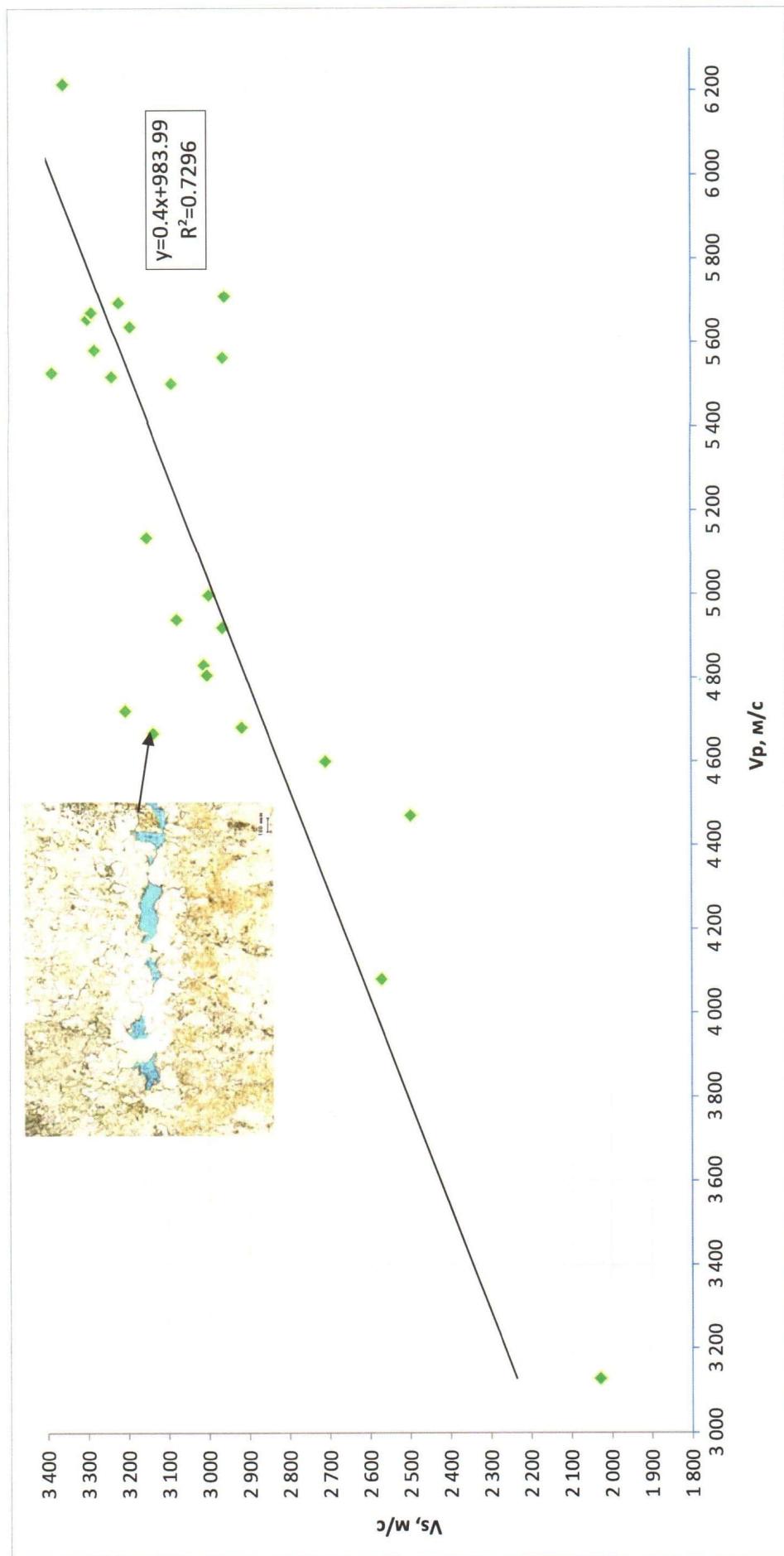


Рис. 9. Зависимость $V_p - V_s$, полученная на пришлифованных полноразмерных карбонатных образцах, в различной степени трещиновато-каavernозных (атмосферные условия). На врезке приведена фотография проекции отпечатка из образованного голубой смолой шлифа, изоготовленного из образца, которому соответствует точка, обозначенная стрелкой

Действительно, величина скорости распространения поперечной волны V_s у кальцита составляет 3400 м/с, а у кварца — 4110 м/с [5, 35]. Тот факт, что полученная зависимость V_p-V_s оказалась приподнятой в левой части графика и не проходит через начало координат, объясняется тем, что в наиболее пористых (трещинно-кавернозных) участках присутствует большое количество мелкокристаллического эпигенетического кварца, имеющего, вероятнее всего, гидротермальное происхождение [15—19].

Таким образом, с большой долей вероятности можно предположить, что, по крайней мере, для ППП, имеющих карбонатный состав, можно использовать результаты акустических исследований с целью оценки их емкостных свойств. Однако для этого необходимо подготовить достаточно представительную петрофизическую базу. Причем исследования упругих свойств динамическим методом следует проводить на полноразмерных образцах, так как цилиндрические образцы стандартного размера из трещинно-кавернозных разновидностей, как уже отмечалось выше, изготовить практически невозможно, поскольку они в процессе их высверливания разрушаются по присущим в керне трещинам.

ВЫВОДЫ

- Фактические данные, собранные к настоящему времени, свидетельствуют о том, что прямые признаки нефтеносности в отложениях баженовской и абалакской свит обнаружены главным образом в двух литологических типах пород, имеющих кремнистый (силициты) и кар-

бонатный (известняки, доломиты, анкеритолиты и др.) составы, которые названы нами потенциально продуктивными породами.

- Коллекторы, формирующиеся в кремнистых и карбонатных литотипах, или ППП, имеют вторичное тектоно-гидротермальное происхождение и относятся к трещинному (силициты) и трещинно-кавернозному (карбонаты) типам.

- Силициты выделяются среди других типов пород более высокими значениями распространения в них поперечных волн, в результате чего для них характерны аномально низкие величины коэффициента Пуассона.

- Выделение пород-коллекторов, имеющих кремнистый состав, по данным акустического метода, теоретически возможно, но на практике проблематично из-за довольно больших вариаций содержания в них керогена (необходимы дополнительные методы ГИС для учета концентрации органического материала).

- На упругие свойства карбонатных пород (например, известняков) в силу небольшого содержания в их составе других компонентов (глин и кремнезема) и практически полного отсутствия в них керогена, основное влияние оказывают присутствующие в них трещины и каверны.

- Для количественной оценки пористости карбонатных типов пород с помощью скважинных акустических методов необходимо подготовить надежную петрофизическую базу, используя для этого замеры скоростей V_p и V_s в зависимости от пористости на полноразмерных образцах керна, представленных карбонатами.

ЛИТЕРАТУРА

- Белкин В.И., Ефремов Е.П., Каптелинин Н.Д. Модель коллекторов нефти баженовской свиты Салымского месторождения // Нефтяное хозяйство. 1983. № 10. С. 27—31.
- Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. 1974. № 5. С. 36—40.
- Гурари Ф.Г. Об условиях накопления и нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири // Тр. СНИИГГиМС. Новосибирск, 1979. Вып. 271. С. 153—160.
- Гурари Ф.Г. Региональный прогноз промышленных скоплений углеводородов в доманикатах // Геология нефти и газа. 1984. № 2. С. 1—5.
- Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика: Учеб. для вузов. М.: Недра, 1991. 368 с.
- Добрынин В.М., Мартынов В.Г. Коллектор нефти в нефтематеринских глинистых толщах // Геология нефти и газа. 1979. № 7. С. 36—43.
- Добрынин В.М., Мартынов В.Г. Модель и основные параметры пластового резервуара баженовской свиты Салымского месторождения нефти // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири: Тр. ИГиРГИ. М., 1980. С. 26—27.
- Дорофеева Т.В., Лебедев Б.А., Петрова Т.В. Особенности формирования коллекторских свойств баженовской свиты Салымского месторождения // Геология нефти и газа. 1979. № 9. С. 20—23.
- Елисеев В.Г., Нестеров И.И. Перспективы нефтеносности глинистых отложений баженовской свиты // Тр. ЗапСибНИГНИ. Тюмень, 1978. Вып. 130. С. 155—157.
- Ефремов Е.П., Зубков М.Ю., Боркун Ф.Я. и др. Методика оценки перспектив нефтегазоносности баженовских отложений Западной Сибири // Энергия и механизм первичной миграции углеводородов. М.: Наука, 1988. С. 152—161.

11. Зарипов О.Г., Ушатинский И. Н. Особенности формирования, строения и состава битуминозных отложений баженовской свиты в связи с их нефтеносностью // Тр. ЗапСиБНИГНИ. Тюмень, 1976. Вып. 113. С. 53—71.
12. Зарипов О.Г., Сонич В.П., Зубков М.Ю. Региональная перспективность отложений баженовской свиты Западной Сибири // Исследования в области геологии и разработки нефтяных месторождений Западной Сибири: Сб. науч. тр. СибНИИНП. Тюмень, 1982. С. 132—144.
13. Зубков М.Ю., Мормышев В.В. Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения // Литология и полезные ископаемые. 1987. № 2. С. 73—80.
14. Зубков М.Ю. Критерии оценки региональных перспектив нефтеносности баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 1989. № 5. С. 26—30.
15. Зубков М.Ю., Бондаренко П.М., Трухан Я.А. и др. Прогноз углеводородных залежей в трещинных коллекторах баженовской и абалакской свит Восточно-Пальяновской площади на основе результатов сейсморазведки и тектонофизического моделирования // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2000. С. 174—187.
16. Зубков М.Ю. Литолого-петрофизическая характеристика отложений баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 12. С. 1821—1836.
17. Зубков М.Ю. Анализ распределения K, U, Th и В в верхнеюрских отложениях центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) с целью их стратификации, корреляции и выделения в них потенциально продуктивных пластов // Геохимия. 2001. № 1. С. 51—70.
18. Зубков М.Ю., Пормейстер Я.А., Бондаренко П.М. Прогноз трещинных коллекторов в отложениях баженовской и абалакской свит на основе результатов тектонофизического моделирования // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Материалы V науч.-практ. конф. Ханты-Мансийск, 2002. Т. 1. С. 244—253.
19. Зубков М.Ю., Пормейстер Я. А. Критерии оценки региональных перспектив нефтегазоносности и локального прогноза углеводородных залежей в отложениях баженовской и абалакской свит Западной Сибири // Горные ведомости. 2005. № 6. С. 30—51.
20. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири / Под ред. Т. В. Дорофеевой. Л.: Недра, 1983. 132 с.
21. Клубова Т.Т., Климушина Л.П., Медведева А.М. Особенности формирования залежей нефти в глинах баженовской свиты Западной Сибири // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири: Тр. ИГиРГИ. М., 1980. С. 128—147.
22. Конышева Р.А., Сахибгареев Р.С. О природе емкости в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Докл. АН СССР. 1976. Т. 228. № 5. С. 1197—1199.
23. Корж М.В., Филина С.И. Особенности литогенеза аргиллитов баженовской свиты и возможный механизм образования в них залежей нефти // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири: Тр. ИГиРГИ. М., 1980, С. 6—18.
24. Краснов С.Г., Хуторской М.Д. О влиянии интрузий в фундаменте Западно-Сибирской плиты на нефтегазоносность баженовской свиты // Докл. АН СССР. Сер. геол. 1978. Т. 243. № 4. С. 995—997.
25. Краснов С.Г., Беликова А.Г., Галишев И.Р. Условия формирования автохтонных нефтяных залежей баженовской свиты Западной Сибири // Геология и геофизика. 1981. № 10. С. 3—10.
26. Краснов С.Г., Дорофеева Т.В., Лебедев Б.А. Геологические условия нефтеносности и природа емкости коллекторов баженовской свиты Западной Сибири // Условия нефтегазоносности и особенности формирования месторождений нефти и газа на Западно-Сибирской плате. Л.: Недра, 1980. С. 115—127.
27. Кривошеева З.А., Соколов Б.А. Образование нефтяных залежей в глинистых толщах в результате разуплотнения // Геология нефти и газа. 1980. № 1. С. 26—29.
28. Крылов И.А., Орел В.Е., Филина С.И. Особенности промышленной нефтеносности пород баженовской свиты // Нефтегазовая геология и геофизика. 1980. № 8. С. 15—17.
29. Мелик-Пашаев В.С., Степанов А.И., Терещенко Ю.А. О природе аномально высоких пластовых давлений в юрских отложениях Салымского месторождения // Геология нефти и газа. 1979. № 7. С. 25—28.
30. Микуленко К.И. Перспективы нефтегазоносности отложений баженовской свиты центральных и южных районов Западно-Сибирской плиты // Тр. СНИИГиМС. Новосибирск, 1974. Вып. 194. С. 37—41.
31. Неручев С.Г., Рогозина Е.А., Зеличенко И.А. и др. Геохимические особенности процессов нефте- и газообразования в отложениях баженовской свиты Западно-Сибирской низменности // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 2. С. 5—16.
32. Нестеров И.И. Новый тип коллектора нефти и газа // Геология нефти и газа. 1979. № 10. С. 26—29.
33. Нестеров И.И. Нефтеносность битуминозных глин баженовской свиты Западной Сибири // Советская геология. 1980. № 11. С. 3—10.
34. Новиков Г.Р., Салманов Ф.К., Тян А.В. Перспективы открытия крупных залежей нефти в трещиноватых аргиллитах баженовской свиты // Нефть и газ Тюмени. Тюмень, 1979. Вып. 1. С. 1—3.
35. Петрофизика: Справочник. В 3-х кн. / Под ред. Н. Б. Дортман. М.: Недра, 1992. Кн. 1. 391 с.
36. Прозорович Г.Э., Соколовский А.П., Малых А.Г. Новые данные о трещиноватых коллекторах баженовской свиты // Проблемы нефти и газа Тюмени. Тюмень, 1979. Вып. 18. С. 7—9.
37. Свищев М.Ф., Садыков М.М., Каптелинин Н.Д. и др. Гидродинамические особенности продуктивных пластов баженовской свиты Салымского нефтяного месторождения // Тр. Гипротюменнефтегаза. Тюмень, 1973. Вып. 35. С. 239—252.
38. Скоробогатов В.А., Краснов С.Г. Некоторые критерии перспектив нефтегазоносности баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. 1984. № 3. С. 15—19.

39. Соколовский А.П. К вопросу о нефтеносности аргиллитов баженовской свиты в Салымском районе // Новые материалы по геологии и нефтегазоносности Западно-Сибирской низменности: Тр. ЗапСибНИГИ. Тюмень, 1972. Вып. 58. С. 113—121.
40. Скрылев С.А., Зубков М.Ю., Гузеев В.В. Выделение высокопродуктивных зон на основе математического и тектонофизического моделирования с целью более эффективного вовлечения в разработку залежей нефти в абалакской свите // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2000. С. 445—453.
41. Скрылев С.А., Чуйко А.И., Зубков М.Ю. Опыт и проблемы применения геофизических методов при изучении залежей нефти в абалакской свите Красноленинского месторождения // Каротажник. 1997. № 41. С. 49—58.
42. Терещенко Ю.А. Резкая аномалия пластовых давлений на Салымском месторождении в Западной Сибири и ее возможная природа // МОИП. Отд. геол. 1972. Вып. 47. № 5. С. 219—222.
43. Трофимук А.А., Карагодин Ю.Н. Баженовская свита — уникальный природный резервуар нефти // Геология нефти и газа. 1981. № 4. С. 29—33.
44. Ушатинский И.Н. Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири // Советская геология. 1981. № 2. С. 11—22.
45. Халимов Э.М., Мелик-Пашаев В.С. О поисках промышленных скоплений нефти в баженовской свите // Геология нефти и газа. 1980. № 6. С. 1—10.