

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЁМКОСТНЫХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

М.Ю. Зубков

ООО «Западно Сибирский Геологический Центр», Российская Федерация, г. Тюмень

Рассмотрены коллекторские свойства различных типов пород, входящих в состав баженовской свиты. Обращено внимание на высокое содержание в их составе битума, который в некоторых литологических типах является главным типом их цемента. Рассмотрен групповой состав нафтидов, присутствующих в поровом пространстве пород баженовской свиты и изменение его состава в зависимости от коллекторских свойств образцов. Предложен оптимальный способ определения эффективной ёмкости пород-коллекторов, входящих в состав баженовской свиты.

Ключевые слова: баженовская свита; коллекторские свойства; битум.

FEATURES OF DETERMINING THE CAPACITIVE PROPERTIES OF SAMPLES OF THE BAZHENOV FORMATION

M.Y. Zubkov

West Siberian Geological Center LLC, Russian Federation, Tyumen

The reservoir properties of various types of rocks included in the Bazhenov formation are considered. Attention is drawn to the high content of bitumen in their composition, which in some lithological types is the main type of their cement. The group composition of naphthides present in the pore space of the rocks of the Bazhenov formation and the change in its composition depending on the reservoir properties of the samples are considered. The optimal method for determining the effective capacity of reservoir rocks that are part of the Bazhenov formation is proposed.

Keywords: vazhenov formation; reservoir properties; bitumen.

При подготовке «Методического руководства по подсчёту запасов нефти в отложениях баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции» одними из главных проблемных вопросов, вызвавших ожесточённые споры среди участников рабочей группы были следующие два: во-первых, какие литологические типы пород следует относить к породам-коллекторам и, во-вторых, как можно достаточно корректно определять их коллекторские свойства?

К сожалению, до настоящего времени нет однозначного понимания, какие литологические типы пород в составе баженовской свиты (БС) являются коллекторами и каков механизм их образования. Существуют две основные точки зрения, объясняющие генезис коллекторов в БС.

Первая рассмотрена в публикации Ф.Г. Гурари [3]. Она заключалась в том, что из-за тонкослоистого строения пород БС, обусловленного присутствием прослоев, богатых органическим веществом (ОВ), в процессе катагенеза происходит их флюидоразрыв вследствие генерации исходным ОВ (ОВ_{исх}) жидких и газообразных углеводородов (УВ). Этот механизм образования вторичных коллекторов в БС разделяет большинство исследователей [1-4, 9-12, 15].

Слабым местом рассматриваемого способа образования «листоватого коллектора» является тот факт, что на большей части распространения БС она находится в главной зоне нефтегенерации, а потому этот тип коллектора должен быть распространён повсеместно на этой территории. На самом же деле продуктивные пласты располагаются в пределах небольших участков, причём зачастую новые скважины,

пробуренные на расстоянии всего 250-300 м от продуктивных, оказываются низкопродуктивными или вовсе «сухими». Поэтому такой способ образования коллекторов в БС нельзя признать обоснованным.

Вторая точка зрения предложена в работах [13, 14, 16]. В соответствии с ней коллекторы в БС представлены трещинным типом, их образование, вероятно, обусловлено тектонической активностью данных участков. Однако предлагаемый этими исследователями тип трещинного коллектора носит декларативный характер, так как не даёт конкретных способов его прогноза.

Поэтому первая задача настоящей публикации – рассмотреть возможные типы коллекторов в БС и обосновать механизм их формирования, опираясь на обширный фактический материал.

Из-за высокого содержания в БС битума (из-за чего классики совершенно справедливо называли её отложения *битуминозными*) не было однозначного понимания каким образом определять коллекторские свойства отобранных из неё образцов [1, 2, 4, 9, 10, 12]. Например, нужно ли экстрагировать образцы, отобранные из БС, и если да, то как долго следует их экстрагировать, чтобы определить их пористость? Дело в том, что битум не добывается из свиты традиционным способом, поэтому экстракция приводит к увеличению пористости, которая не является эффективной. В результате после экстракции определяется явно завышенная «экстракционная» пористость, занятая в пластовых условиях неподвижным битумом, находящимся в различном агрегатном состоянии – от вязко-пластичного до твёрдо-хрупкого [5, 7, 8].

Второй задачей, рассматриваемой в настоящей публикации, является обоснование способа определения открытой пористости в породах-коллекторах, входящих в состав БС.

Методики и аппаратура

Изучение вещественного состава отобранных образцов баженовской свиты осуществлялось с помощью рентгеноструктурного анализа (ДРОН – 3М) и оптической микроскопии (поляризационный микроскоп Nikon Eclipse LV 100 Pol), а также с использованием геохимических методов – пиролиза (Rock-Eval) и анализатора органического углерода (C_{org}) АН-7529М. Спектры ЯМР получены на релаксометре Хроматэк Протон 20М. Для определения величины объёмного водородосодержания (ОВС) в образцах использовались кривые поперечной релаксации (T_2). Коллекторские свойства образцов определялись с помощью стандартной методики и с использованием ЯМР-релаксометра.

Результаты исследований

Многочисленные литолого-петрофизические исследования различных литологических типов пород, входящих в состав БС показали, что главными породами-коллекторами, присутствующими в ней, являются кремнистые и карбонатные разновидности [5, 8].

В свою очередь, кремнистые породы можно подразделить на два класса, во-первых, это трещиноватые силициты и, во-вторых, псевдогранулярные радиоляриты. Обе разновидности пород часто переслаиваются друг с другом (рис. 1а).

Плотные нетрещиноватые силициты не являются коллекторами. Они сложены многочисленными микрокопролитами (пеллетами), представляющими собой продукты жизнедеятельности мелких ракообразных (эвфаузиид) и коловраток, питавшихся диатомовыми водорослями. Обломки раковиннок диктионемовых водорослей,

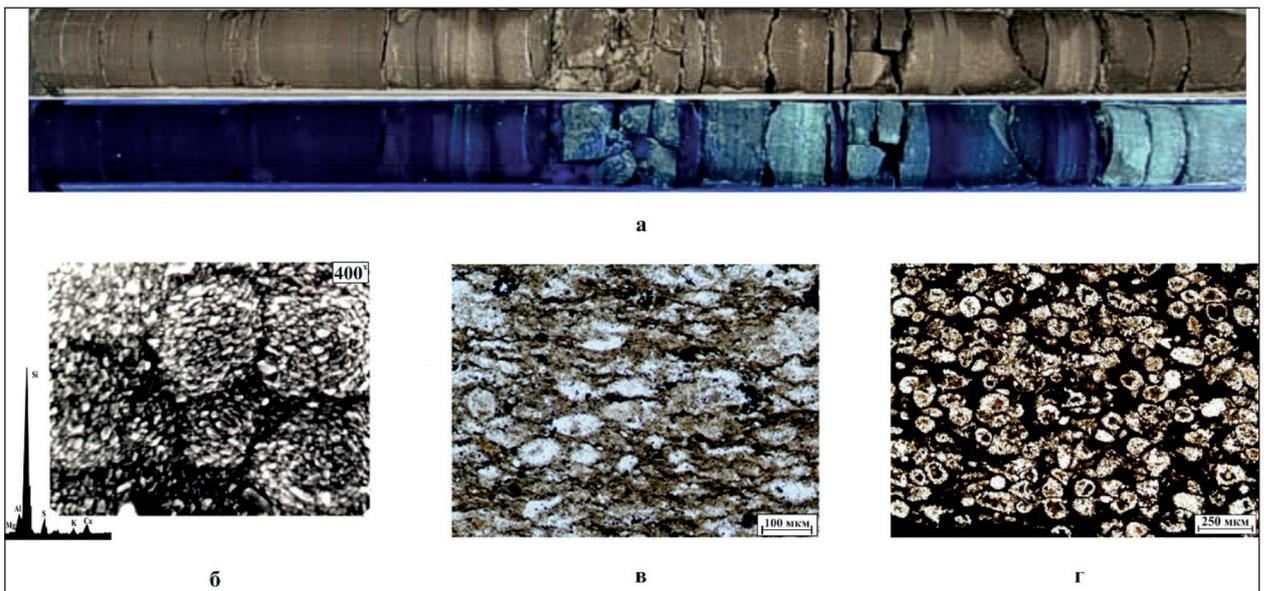


Рис. 1. Фотографии полноразмерного ядра, снятого в «белом» и ультрафиолетовом свете (а), снимок РЭМ (б) и фотография петрографического шлифа (в) силицита, а также фотография петрографического шлифа радиоларита (г)

сложенные первоначально опалом, постепенно превращались в плохо огранённые микроскопические кристаллики кварца (рис. 1б). Промежутки между пеллетами заполнены тиобитумом с примесью пелитоморфного кальцита и иллита (рис. 1б, в). В силицитах отсутствуют «свободные» углеводороды (УВ), поэтому они не люминесцируют в ультрафиолетовом (УФ) свете (см. рис. 1а).

Вторая разновидность кремнистых пород-коллекторов – это радиолариты, в которых присутствует псевдогранулярная пористость, представляющая собой пустоты между раковинками радиоларий (рис. 1г). Эти пустоты заполнены битумом, в котором в виде молекулярного раствора присутствуют УВ, люминесцирующие в УФ-свете (см. рис. 1а). Битум с растворёнными в нём УВ можно назвать нефтебитумом (НБ).

На поверхности трещин, присутствующих в силицитах, часто отмечается битум и/или НБ (рис. 2а, б). Кроме битума часто встречаются кристаллы эпигенетических гидротермальных минералов, представленные, например, баритом (рис. 2в), гармотомом (рис. 2г) и другими минералами. Размеры кристаллов этих минералов дают

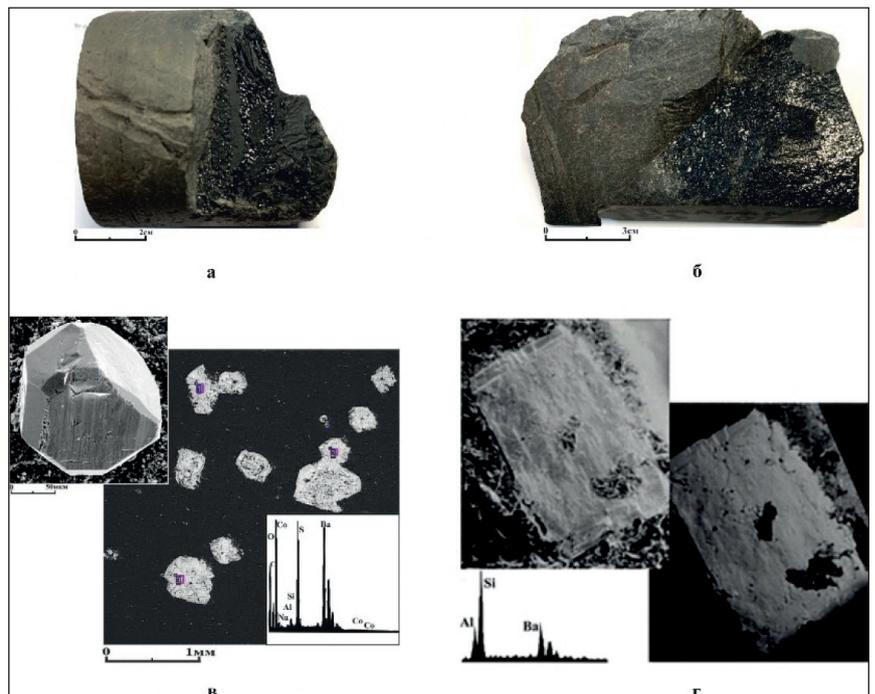


Рис. 2. Фотографии трещиноватых образцов силицитов с битумом на поверхности трещин (а, б) и кристаллами гидротермальных минералов: барита (в) и гармотома (г) на поверхности трещин

возможность оценить величину раскрытости трещин, присутствующих в силицитах, которая в среднем не превышает 0.2-0.4 мм.

В карбонатах, представляющих собой второй главный тип пород-коллекторов в БС, присутствует трещинно-кавернозный тип вторичной ёмкости тектоно-гидротермального происхождения (рис. 3а, б) [5, 8]. На поверхности трещин и особенно каверн отмечаются многочисленные кристаллы и агрегаты эпигенетических минералов гидротермального происхождения, часто покрытые плёнками твёрдого битума (рис. 3в, г).

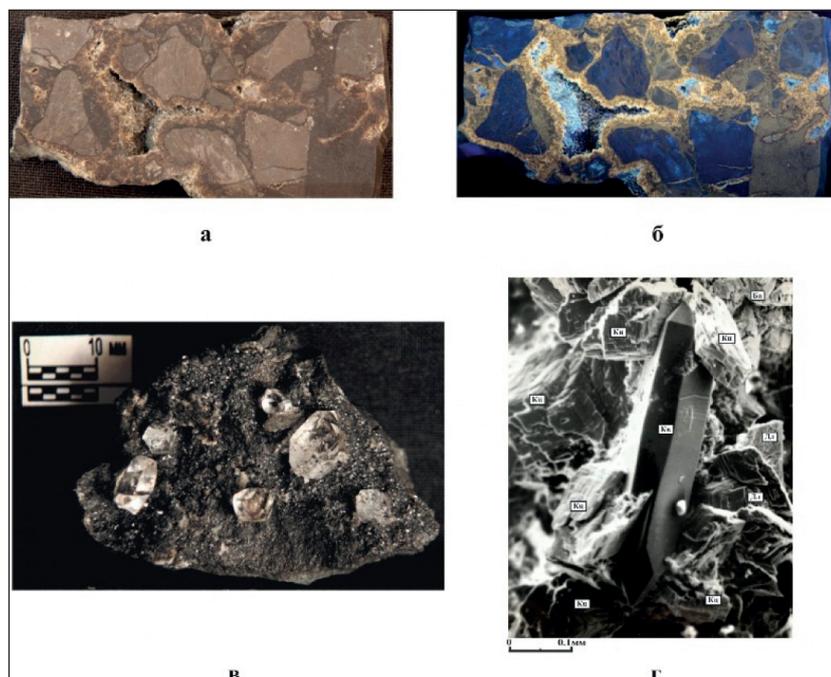


Рис. 3. Фотографии трещинно-кавернозного образца карбоната, снятого в «белом» (а) и ультрафиолетовом (б) свете, а также кристаллы гидротермальных минералов, образовавшихся на поверхности трещин и каверн в карбонатных породах, представленные двумя генерациями (мелко- и крупнокристаллического) кварца, покрытых плёночным битумом (в), и гидротермальная минеральная ассоциация, состоящая из кристаллов кварца (Кв), кальцита (Кц), доломита (Дл) и барита (Ба) (г)

участках величина $S_{орг}$ в два и даже более раз меньше, чем в периферийных «холодных» участках (рис. 4б, в).

Если воспользоваться упомянутой ранее диаграммой и принять среднее содержание $ОВ_{исх}$ в БС равным 20 %, то вторичная пористость, образовавшаяся за его счёт в высокотемпературных участках, должна была бы составить порядка 20-25 % (см. рис. 4а).

Однако на самом деле такой пористости в высокоуглеродистых образцах БС нет. Дело в том, что в процессе тектоно-гидротермального воздействия на породы, богатые $ОВ_{исх}$, оно превращается в битум и УВ, то есть в нефтебитум (НБ) [5, 7, 8]. Битум заполняет пространство, занимавшееся до этого $ОВ_{исх}$, а подвижные УВ, растворив в себе небольшую часть асфальто-смолистых компонентов, эмигрируют в породы-коллекторы, которые находятся как в самой БС (карбонаты, силициты, радиоляриты), так и подстилающих, и перекрывающих БС отложениях.

Более того, поскольку в момент воздействия высокоэнтальпийных гидротерм на $ОВ_{исх}$ оно превращается в пластичную массу, и порода теряет механическую прочность, то под действием литостатического давления отложения уплотняются,

Существует широко распространённое представление о том, что в процессе превращения исходного $ОВ$ ($ОВ_{исх}$), присутствующего в составе БС, в нафтиды, происходит образование вторичной пористости [1, 3, 4, 9, 10]. Можно даже, зная тип $ОВ_{исх}$ и степень его термического (катагенетического) преобразования, оценить величину вторичной пористости, возникающей за счёт его превращения в нафтиды (рис. 4а).

Действительно, сопоставление распределения величины содержания $S_{орг}$ и современных пластовых температур ($T_{пл}$) по кровле БС в пределах Салымского месторождения показало, что в самых высокотемпературных

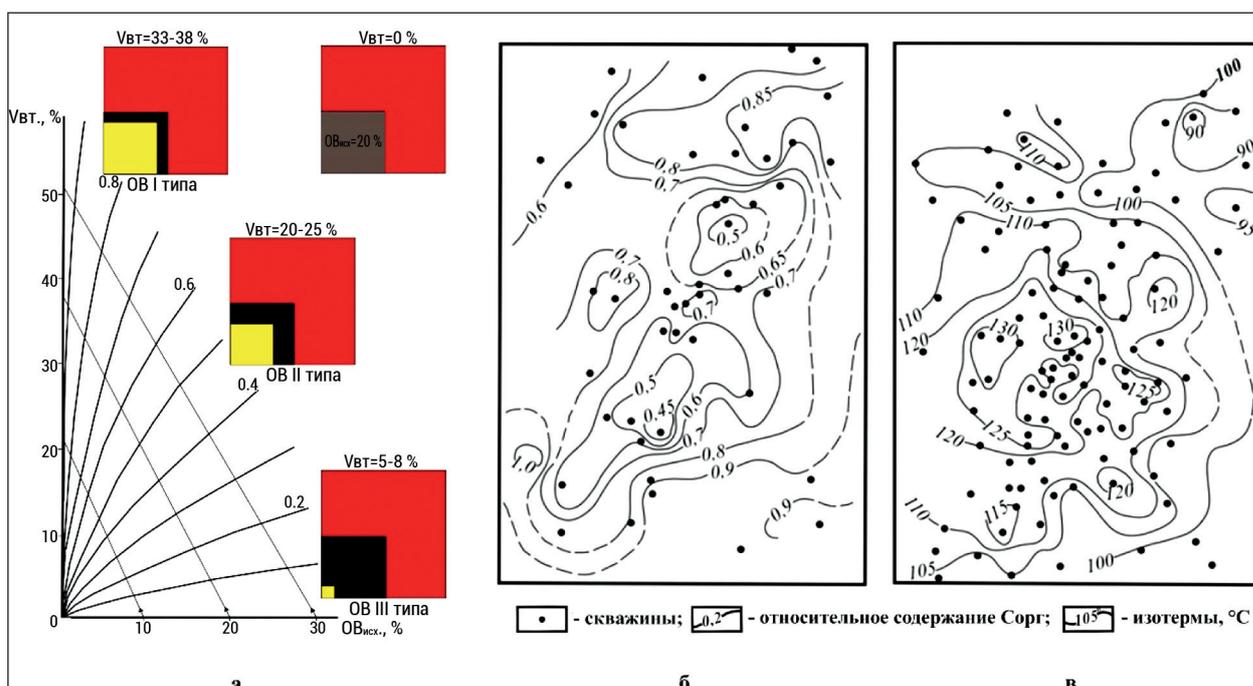


Рис. 4. Номограмма для определения величины вторичной пористости ($V_{вт}$), образующейся за счёт превращения $OB_{исх}$ в нефтиды (а), схемы изменения содержания $C_{орг}$, нормированного к 1 (б) и современной пластовой температуры по кровле баженовской свиты (в), Салымское месторождение. Условные обозначения: 1 – линии равных степеней превращения $OB_{исх}$ в нефтиды, цифры рядом с ними – величина мобильной части $OB_{исх}$; 2 – направление изменения величины вторичной пористости ($V_{вт}$) в зависимости от содержания $OB_{исх}$ и его типа; 3 – скважины; 4 – относительное содержание $C_{орг}$; 5 – изотермы, °C (по [Зубков, 2014] с добавлениями)

а «излишки» образовавшегося битума выделяются в виде самостоятельных линз различного размера – от микроскопического до имеющих толщину 5-6 мм (рис. 5). Практически всё поровое пространство в описываемых породах, за исключением занятого связанной водой, заполняется битумом, а сами отложения становятся битуминозными [5, 8]. Битум, заполнив поровое пространство, превращается в цемент. Действительно, в результате продолжительной горячей, например, спирто-бензольной или хлороформной экстракции наблюдается постоянное увеличение пористости экстрагируемых образцов, причём часть из них начинает разрушаться вследствие удаления битумного цемента (рис. 6).

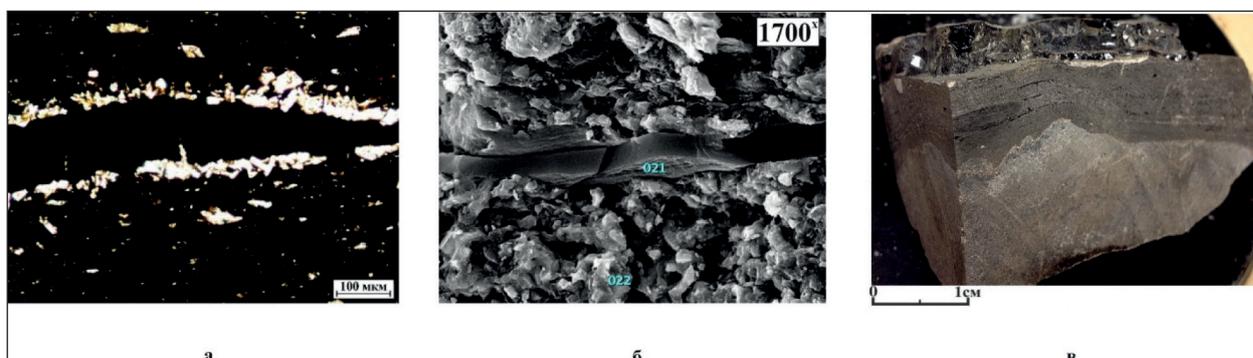


Рис. 5. Фотография петрографического шлифа (а), снимок РЭМ (б) и фотография полноразмерного образца ядра с линзами битумов (в), имеющих различные размеры, образовавшихся в результате тектоно-гидротермального воздействия на $OB_{исх}$ баженовской свиты

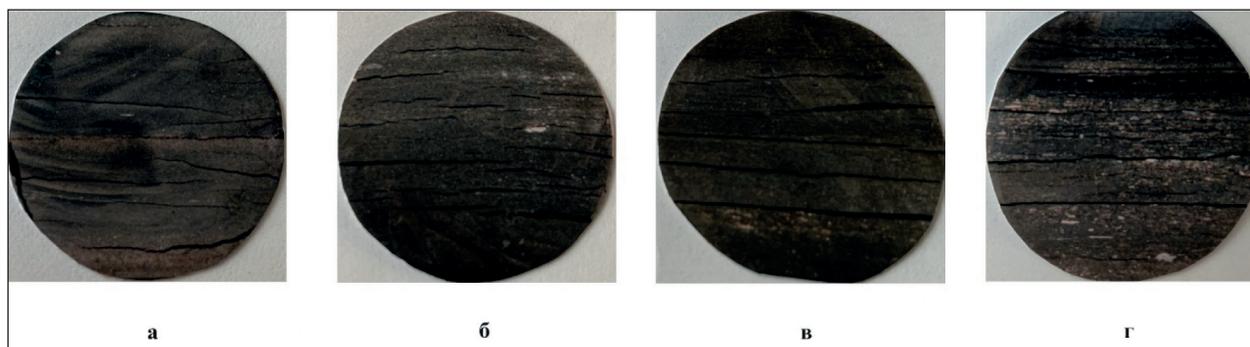


Рис. 6. Разрушение в результате горячей экстракции образцов баженовской свиты стандартного размера, отобранных из скважин 21 (а), 22 (б, в) и 23 (г) Маслиховского месторождения

Очевидно, что экстракция битуминозных разновидностей БС приводит к появлению эфемерной «экстракционной» пористости, которая не содержит «подвижные» нафтиды, добываемые традиционным способом.

Каким же способом можно определять ёмкостные свойства кремнистых и карбонатных коллекторов, а также битуминозных разновидностей, входящих в состав БС?

Прежде чем ответить на этот вопрос, следует разделить породы, входящие в состав БС, на два главных класса – *породы-коллекторы* и *породы-флюидоупоры*. Есть и ещё один специфический тип пород, который условно можно назвать переходным между ранее выделенными классами пород, примером этого типа пород являются радиоляриты.

Породы-коллекторы, представленные кремнистыми и карбонатными породами, были уже рассмотрены ранее и определён механизм их образования – они возникли в результате воздействия на них тектоно-гидротермальных процессов [5, 8]. Там, где они не подвергались этому воздействию, они не являются коллекторами, и скорее могут быть отнесены к классу флюидоупоров.

Собственно, сами битуминозные разновидности пород, входящие в состав БС, являются флюидоупорами, так как из-за высокого содержания в них битума они не обладают достаточной механической прочностью и не способны сохранять возникающую в них вторичную пористость, образовавшуюся в результате тектоно-гидротермального воздействия на них и превращения $OB_{исх}$ в битум и УВ.

Поэтому экстрагировать породы-флюидоупоры бессмысленно. Битум, который частично растворится в спирто-бензоле или хлороформе, не будет добываться из скважины традиционным способом из-за его специфических реологических свойств, а полученная «экстракционная» пористость не является эффективной, а скорее «эфемерной».

Каким же образом можно определять эффективную пористость в различных литологических типах пород, входящих в состав БС в лабораторных условиях?

Для этих целей наиболее рациональным является комбинированный метод, включающий в себя результаты определения открытой пористости (желательно на свежем керне) газоволюметрическим и ЯМР-релаксометрическим методами.

Определение открытой пористости газоволюметрическим методом следует проводить при эффективном давлении, так как трещины, присутствующие в образцах, необходимо сомкнуть до величины, которую они имели в пластовых условиях. Этим способом определяются открытые поры, освободившиеся от жидких и газообразных УВ в процессе подъёма керна на поверхность, его транспортировки и хранения. ЯМР следует использовать при определении «свободных УВ», оставшихся в образцах. Рассмотрим примеры использования последнего метода.

Начнём рассмотрение со спектров ЯМР силицитов.

Пористость или вернее водородосодержание в плотном не люминесцирующем в УФ-свете силиците (см. рис. 1а) составляет всего 2.7 % (рис. 7а). Причём эти поры заполнены остаточной водой и битумом, о чём свидетельствуют очень короткие времена релаксации T2. Напротив, в трещиноватом силиците на его спектре ЯМР отмечается небольшой по амплитуде и площади пик в интервале максимального времени релаксации, соответствующий величине трещинной пустотности, равной 3.6 % (рис. 7б). Максимальное время релаксации жидкости в трещинах объясняется тем, что трещины «воспринимаются» прибором как крупные «двумерные» поры [6].

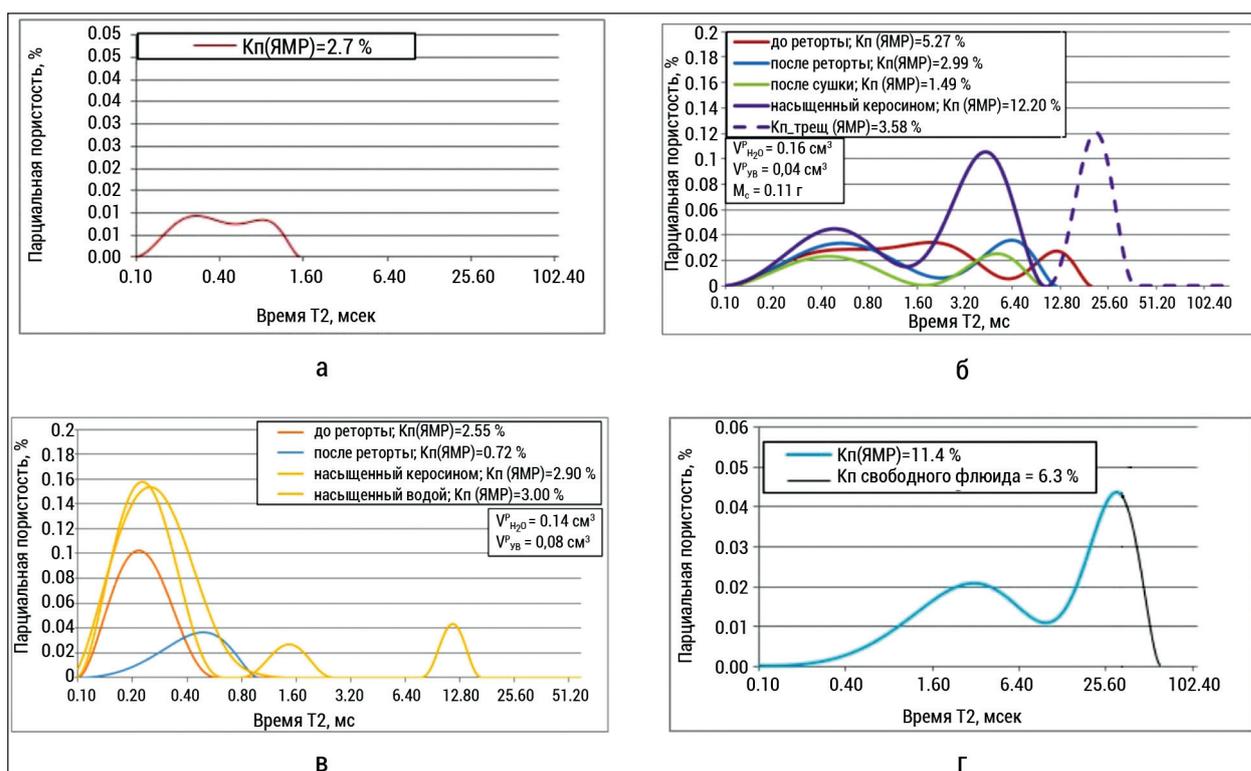


Рис. 7. Спектры ЯМР: а – монолитного; б – трещиноватого силицитов; в – аргиллита кремнисто-битуминозного; г – радиолярита

ЯМР-спектр типичного битуминозного флюидоупора, представленного кремнисто-битуминозным аргиллитом, приведён на рис. 7в. Его пористость по данным ЯМР составляет около 3 %, причём вся она занята остаточной водой и битумом. Короткие времена релаксации сигнала T2 свидетельствуют о том, что и вода, и битум занимают очень мелкие поры. Свободные УВ полностью отсутствуют в этом образце.

В заключение рассмотрим *переходный* тип пород-коллекторов, представленный радиоляритом. На его ЯМР-спектре присутствуют два пика (рис. 7г). Первый (с коротким временем релаксации) соответствует объёму пор, занятому связанной водой и битумом, а второй с более продолжительным временем релаксации соответствует «свободным» УВ, находящимся в виде молекулярного раствора в битуме.

Рассмотрим особенности этих пород-коллекторов, которые позволили выделить их в особый *переходный тип* между породами-коллекторами и породами-флюидоупорами. Выполненный имидж-анализ радиолярита, с использованием петрографических шлифов, показал, что его пористость составляет порядка 27 % (см. рис. 1г), а содержание «свободных» УВ равно 6.3 % (см. рис. 7г). Остаточная вода

по результатам термодистилляции (реторта) составляет около 3 %. Следовательно, поры, занятые битумом и УВ занимают 24 %. Пористость (водородосодержание) образца по данным ЯМР составляет всего 11.4 % (см. рис. 7г). Следовательно, более половины пор в рассматриваемом образце занято «тяжёлым» битумом, не вносящим свой вклад в суммарное водородосодержание образца. «Свободные» УВ занимают чуть больше половины от всего пористого пространства, заполненного «подвижными» водородосодержащими флюидами, определённого методом ЯМР (см. рис. 7г). Именно эти «свободные» УВ обеспечивают люминесценцию радиоляритов в УФ-свете (см. рис 1а).

Рассматриваемый тип псевдогранулярного коллектора выделен как переходный, а УВ в его поровом пространстве названы «свободными» по той простой причине, что УВ в этом типе коллектора присутствуют в виде не «твёрдого», а молекулярного раствора в битуме [7]. Однако, тем не менее, они не находятся в свободном фазовом состоянии. Поэтому для того, чтобы они перешли в свободное состояние и выделились из битума, необходимо нагреть битум и/или создать значительную депрессию на пласт.

Ранее было показано, что наиболее высокомолекулярная вязкая до твёрдой разновидности битумов остаётся в породах-генераторах нафтидов, богатых $OB_{исх}$, а сами они становятся битуминозными. Образующиеся из $OB_{исх}$ жидкие и газообразные УВ, растворив в себе часть асфальто-смолистых компонентов, эмигрируют в породы-коллекторы.

Попробуем более детально проанализировать закономерности изменения состава нафтидов, присутствующих в поровом пространстве основных типов пород-коллекторов, представленных кремнистыми и карбонатными разновидностями, в зависимости от их коллекторских свойств. Для этого воспользуемся результатами исследований, опубликованными в статье [2]. Авторы этой статьи использовали 5 образцов, отнесённых ими к возможным породам-коллекторам кремнистого (3 образца) и карбонатного (2 образца) состава, обладающих различной пористостью. В этих образцах были определены содержание OB ($C_{орг}$), УВ (пик S1) и пиролизуемая часть битума (пик S2), которая для краткости обозначается просто как битум. Для удобства анализа полученных результатов содержания всех изученных компонентов OB представлены в относительных процентах (табл. 1, табл. 2).

Таблица 1. Содержание органического вещества и его компонентный состав в кремнисто-карбонатных образцах БС, обладающих различной пористостью

№ обр.	Литотип	Содержание OB , %	Содержание УВ		Содержание битума		Кп, %
			вес., %	отн., %	вес., %	отн., %	
1	Силицит глинистый	7.1	0.5	7.0	0.5	7.0	0.4
2	Доломит кремнисто-глинистый	2.4	0.3	10.8	0.2	6.7	0.9
3	Силицит слабглинистый	7.9	0.9	11.4	0.5	6.3	1.4
4	Силицит глинистый пиритизированный	2.5	0.4	17.6	0.2	7.2	3.7
5	Доломит кремнистый	5.4	2.2	40.7	1.0	19.3	7.4

Таблица 2. Изменения относительного содержания ОВ, УВ, битума, суммы УВ и битума, а также величины Кп в процессе экстракции образцов баженовской свиты

№ обр.	Литотип	ОВ, % отн.	УВ, % отн.	Битум, % отн.	УВ+битум, % отн.	Кп, %	Примечания
1	Силицит глинистый	100.0	100.0	100.0	100.0	0.4	исходный образец
		86.7	49.4	82.4	76.4	1.2	после 72-часовой экстракции
		85.6	2.2	78.2	64.5	1.6	после «исчерпывающей» экстракции
2	Доломит кремнисто-глинистый	100.0	100.0	100.0	100.0	0.9	исходный образец
		93	18.3	60.2	41.4	1.3	после 72-часовой экстракции
		86.9	3.1	60.6	34.8	1.4	после «исчерпывающей» экстракции
3	Силицит слабо глинистый	100.0	100.0	100.0	100.0	1.4	исходный образец
		89.4	21.2	77.6	58.6	2.8	после 72-часовой экстракции
		81.8	1.9	73.1	49	3.1	после «исчерпывающей» экстракции
4	Силицит глинистый пиритизированный	100.0	100.0	100.0	100.0	3.7	исходный образец
		71.2	12.4	37.3	21.7	4.4	после 72-часовой экстракции
		70.2	6.8	36.2	17.7	4.5	после «исчерпывающей» экстракции
5	Доломит кремнистый	100.0	100.0	100.0	100.0	7.4	исходный образец
		38.9	7.5	30	12.8	11.4	после 72-часовой экстракции
		36.5	0.5	28.8	11.7	11.5	после «исчерпывающей» экстракции

Полученные результаты свидетельствуют о следующем.

Доля УВ в составе ОВ с увеличением величины пористости образцов также растёт (рис. 8а). Кроме того, из полученной зависимости следует, что доля УВ в составе ОВ (которое в этом случае представлено битумом) при пористости образца равной нулю составляет всего около 5 % (см. рис. 8а). Это те самые УВ, которые присутствуют в составе битума в форме «твёрдого» раствора [7].

Напротив, с ростом пористости образцов, наблюдается закономерное уменьшение содержания ОВ в образцах в результате как традиционной (72-часовой), так и «исчерпывающей» их экстракции (рис. 8б). Поясним, что последняя осуществлялась в аппарате Dionex ASE, и по данным упомянутых авторов [2], соответствует стандартной экстракции хлороформом в аппарате Сокслета в течение 48-60 суток.

Из полученных зависимостей следуют два основных вывода. Во-первых, что при значении пористости, равной нулю, содержание ОВ в образцах после экстракции практически не изменяется, а во-вторых, что с увеличением пористости образцов вариации содержания ОВ после 72-часовой и «исчерпывающей» экстракций уменьшаются, приближаясь к одинаковым значениям (см. рис. 8б).

В результате сопоставления содержаний УВ и битума после экстракции в зависимости от пористости образцов стало ясно, что их следует разбить на две группы. Первая группа включает в себя два образца с высоким содержанием в них ОВ, а вторая – три образца с более низким его содержанием (рис. 8в, г). Очевидно, что

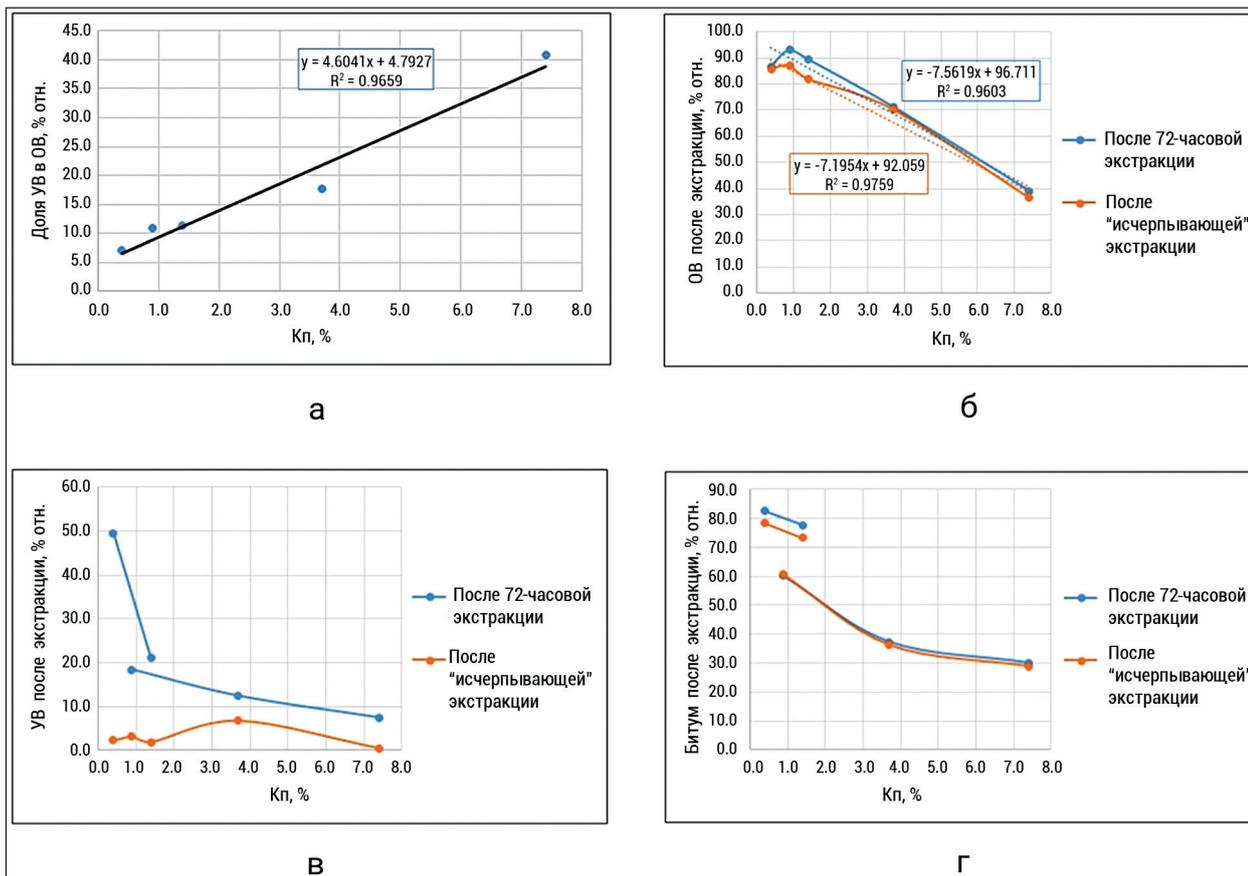


Рис. 8. Зависимости: а – доли УВ в составе ОВ, а также содержаний: б – ОВ, в – УВ, г – битума после 72-часовой и «исчерпывающей» экстракций от величины исходной пористости образцов

экстракция УВ и битумоидов из низкопористых с высоким содержанием ОВ образцов происходит гораздо медленнее, чем из более пористых, а значит, и более проницаемых образцов. Кроме того, в образцах с высоким содержанием ОВ присутствует менее растворимый (автохтонный) битум, а в более пористых, наоборот, преобладает более подвижный с более высоким содержанием в нем УВ и низкомолекулярных гетеросоединений (аллохтонный) битум (см. рис. 8в, г).

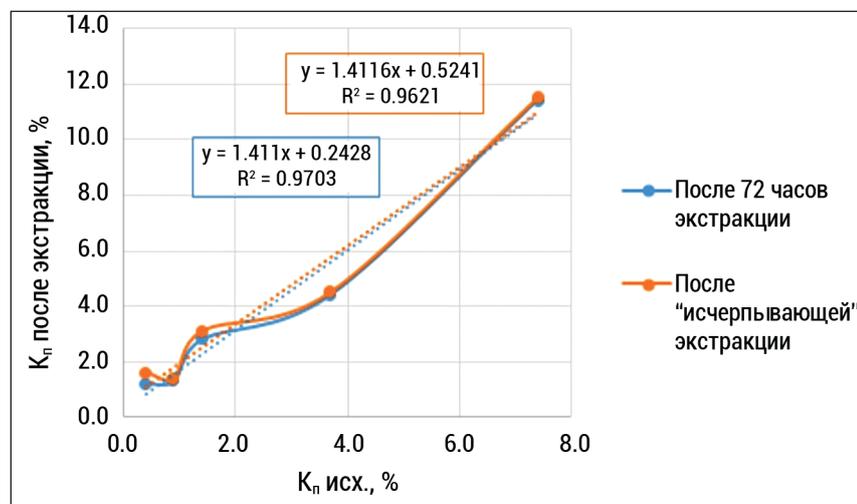


Рис. 9. Увеличение пористости образцов в результате 72-часовой и «исчерпывающей» экстракции в зависимости от их исходной пористости

В результате обычной и «исчерпывающей» экстракций пористость образцов увеличивается, причём существует надёжная прямо пропорциональная зависимость: чем выше исходная пористость образцов, тем больше её величина после экстракции (рис. 9).

В полученной зависимости при величине исходной открытой пористости равной нулю, значение

пористости после экстракции не проходит через ноль. Этот феномен объясняется тем, что в исходных образцах все поры заполнены слаборастворимым битумом. Однако в процессе экстракции его небольшая часть всё же растворяется и в зависимости от способа экстракции (в нашем случае это обычная или «исчерпывающая»), «экстракционная» пористость в таких образцах варьирует от 0.24 до 0.52 % (см. рис. 9).

В результате экстракции открытая пористость образцов увеличивается от 0.5 до 4.1 абс. % (см. табл. 2 и рис. 9). Величина роста «экстракционной» пористости зависит от содержания ОВ в образце и степени его растворимости в том или ином растворителе. Растворяются главным образом УВ и в меньшей степени битум, причём растворимость УВ и особенно битума в значительной степени зависит от проницаемости исследуемых образцов.

Действительно, сравнивая результаты определения изменения пористости после обычной и «исчерпывающей» экстракции, следует отметить, что по мере увеличения пористости образцов, значения пористости, полученные обоими способами, сближаются по величине (см. рис. 9).

Карбонатные образцы содержат мало ОВ в своем составе, поэтому в них присутствует минимальное количество автохтонного битума и, напротив, основная часть вторичной трещинно-кавернозной ёмкости, возникающей в них в результате тектоно-гидротермального воздействия, заполняется преимущественно аллохтонными УВ и/или НБ.

Для определения пористости карбонатных трещинно-кавернозных образцов необходимо использовать полноразмерный керн, так как при изготовлении из него образцов стандартного размера они разрушаются по трещинам и в результате на них становится возможным определять лишь пористость матрицы.

Наиболее достоверные результаты ёмкостных свойств полноразмерных карбонатных образцов, обладающих трещинно-кавернозной вторичной пористостью, можно получить с помощью газовольметрического метода, причём при эффективном давлении, что позволяет моделировать пластовые условия. Экстрагировать эти образцы не обязательно, так как поверхности присутствующих в них трещин и каверн покрыты тонкими пленками сильно термически преобразованного, практически нерастворимого битума, который, конечно, не добывается из этих пород.

Можно также воспользоваться методом рентгеновской томографии, но при этом следует помнить, что трещины и каверны, имеющие размеры менее 0.5 мм, останутся не определёнными, а следовательно, будут получены заниженные, то есть недостоверные данные о ёмкостных свойствах этого типа пород-коллекторов.

Выводы

1. В баженовской свите присутствуют два главных типа пород-коллекторов, представленные кремнистыми (трещинный и псевдогранулярный) и карбонатными (трещинно-кавернозный) разновидностями.

2. Вторичные коллекторы в кремнистых и карбонатных породах образовались в результате тектоно-гидротермального воздействия на отложения БС.

3. В баженовской свите присутствуют две основные разновидности пород: флюидоупоры (породы с повышенным содержанием в них глинистых минералов и ОВ, включая битум) и коллекторы (кремнистого и карбонатного состава).

4. В участках, подвергшихся тектоно-гидротермальному воздействию, $ОВ_{исх}$, входящее в состав баженовской свиты, превратилось в УВ и битум.

5. Битум остался в породах-генераторах, которые превратились во флюидоупоры, а УВ с растворёнными в них гетеросоединениями эмигрировали в породы-коллекторы.

6. В результате охлаждения первичного нефтидо-гидротермального флюида часть высокомолекулярных соединений выделилась на поверхности пород-коллекторов в виде плёнок битума различной консистенции (от вязко-жидкой до твёрдо-хрупкой), что привело к заметному ухудшению их первоначальных фильтрационно-ёмкостных свойств.

7. Образовавшиеся нефтиды, представленные преимущественно битумом, оставшиеся в породах генераторах, являются автохтонной разновидностью, а эмигрировавшие в породы-коллекторы относятся к категории аллохтонных.

8. Карбонатные трещинно-кавернозные коллекторы содержат минимальное количество автохтонных нефтидов и, напротив, максимальную концентрацию аллохтонных, с высокой концентрацией УВ и минимальной – битума.

9. Кремнистые разновидности обычно богаче карбонатных $OB_{исх}$, поэтому в результате тектоно-гидротермального воздействия в них образуется гораздо больше автохтонных нефтидов с высоким содержанием в них битума.

10. Благодаря перечисленным ранее причинам, из карбонатных пород-коллекторов легче и в больших количествах, чем из кремнистых, экстрагируются УВ и битум, поэтому происходит более значительный рост «экстракционной» пористости, возникшей за счёт их растворения.

11. Экстракция флюидоупоров, входящих в состав БС с целью определения их пористости не имеет смысла, так как они не содержат «свободных» УВ, а экстракция пород-коллекторов приводит к искусственному увеличению их пористости, поскольку отложившиеся на поверхности трещин и каверн нефтиды или нефтебитум, представляют собой по существу разновидность «остаточной нефти».

12. Проводить или не проводить экстракцию образцов зависит от цели исследований: если необходимо оценить количество извлекаемых УВ традиционным способом, то экстракцию проводить не следует, а если необходимо установить пористость образцов, освобождённых от растворимой части УВ и битума – то экстракция необходима. При этом следует помнить, что объём растворённых нефтидов может сильно различаться в зависимости от типа растворителя или растворителей и способа, а также продолжительности проведения экстракции.

13. Наиболее оперативным способом определения «эффективной» пористости образцов, отобранных из баженовской свиты, является комбинирование газовольнометрического и ЯМР-методов, причём для карбонатных пород следует использовать полноразмерный керн.

14. При выделении пород-коллекторов в скважинах наиболее эффективными будут ЯМК, ядерно-физические, электрические и акустические методы; причём из-за небольших их мощностей проводить геофизические исследования следует при малой скорости перемещения зондов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бурштейн, Л. М.** Модель пористости пород баженовской свиты / Л.М. Бурштейн, А.Э. Конторович, Е.А. Костырева. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : материалы XVII международной научной конференции (г. Новосибирск, 19-21 мая 2021 г.). – ИНГГ СО РАН. Новосибирск, 2021. – Т. 2. – № 1. – С. 15-24.

2. **Волков, В. А.** Оценка пористости пород баженовской свиты / В.А. Волков, Э.А. Вторушина, И.В. Козлов. – Текст : непосредственный // Недропользование XXI век. – 2020. – № 1(83). – С. 37-44.

3. **Гурари, Ф. Г.** Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири / Ф.Г. Гурари, И.Ф. Гурари. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 1974. – № 5. – С. 36-40.
4. **Дорофеева, Т. В.** Особенности формирования коллекторских свойств баженовской свиты Салымского месторождения / Т.В. Дорофеева, Б.А. Лебедев, Т.В. Петрова. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 1979. – № 9. – С. 20-23.
5. **Зубков, М. Ю.** Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза / М.Ю. Зубков. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 2014. – № 5. – С. 58-72.
6. **Зубков, М. Ю.** Спектры ЯМР пород бажено-абалакского комплекса Западной Сибири / М.Ю. Зубков, А.Г. Потапов. – Текст : непосредственный // НТВ «Каротажник». – Тверь : Изд. АИС. – 2014. – Вып. 8 (242). – С. 3-32.
7. **Зубков, М. Ю.** «Твёрдые растворы» углеводородов в составе битумов баженовской свиты и экстрактов, установленные по данным ядерно-магнитного резонанса / М.Ю. Зубков, А.Г. Потапов. – Текст : непосредственный // НТВ «Каротажник». – Тверь : Изд. АИС. – 2015. – Вып. 9 (255). – С. 3-13.
8. **Зубков, М. Ю.** Механизм формирования коллекторов и углеводородных залежей в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири, прогноз их зон распространения / М.Ю. Зубков. – Текст : непосредственный // НТВ «Каротажник». – Тверь : Изд. АИС. – 2021. – Вып. 2 (308). – С. 23-63.
9. **Конторович, А. Э.** Пористость и нефтенасыщенность пород баженовской свиты / А.Э. Конторович, С.В. Родякин, Л.М. Бурштейн, Е.А. Костырева, С.В. Рыжкова, П.А. Ян. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 2018. – № 5. – С. 61-73.
10. **Нестеров, И. И.** Новый тип коллектора нефти и газа / И.И. Нестеров. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 1979. – № 10. – С. 26-29.
11. **Новиков, Г. Р.** Перспективы открытия крупных залежей нефти в трещиноватых аргиллитах баженовской свиты / Г.Р. Новиков, Ф.К. Салманов, А.В. Тян. – Текст : непосредственный // Нефть и газ Тюмени. – Тюмень, 1979. – Вып. 1. – С. 1-3.
12. **Оксенойд, Е. Е.** Литотипы баженовских пород по вещественному составу и их фильтрационно-ёмкостные свойства (территория ХМАО – Югры) / Е.Е. Оксенойд, И.В. Козлов, Р.И. Баширов. – Текст : непосредственный // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО – Югры : материалы XXI научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск: ООО Издательский дом «ИздатНаукаСервис», 2018. – Т. 1. – С. 57-66.
13. **Прозорович, Г. Э.** Новые данные о трещиноватых коллекторах баженовской свиты / Г.Э. Прозорович, А.П. Соколовский, А.Г. Малых. – Текст : непосредственный // Проблемы нефти и газа Тюмени. – Тюмень, 1979. – Вып. 18. – С. 7-9.
14. **Терещенко, Ю. А.** Резкая аномалия пластовых давлений на Салымском месторождении в Западной Сибири и её возможная природа / Ю.А. Терещенко. – Текст : непосредственный // МОИП, отд. геол. – 1972. – Вып. 47. – № 5. – С. 219-222.
15. **Ушатинский, И. Н.** Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири / И.Н. Ушатинский. – Текст : непосредственный // Советская геология. – 1981. – № 2. – С. 11-22.
16. **Халимов, Э. М.** О поисках промышленных скоплений нефти в баженовской свите / Э.М. Халимов, В.С. Мелик-Пашаев. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 1980. – № 6. – С. 1-10.