DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/34_2022

УДК 553.98(571.1-12)

Рыжкова С.В.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН); Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, Rizhkovasv@ipgg.sbras.ru
Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Сотнич И.С.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, ZamirailovaAG@ipgg.sbras.ru, KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru, SotnichIS@ipgg.sbras.ru
Фомин М.А.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН); Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, FominMA@ipgg.sbras.ru
Эдер В.Г.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии науке (ГИН РАН); Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), Новосибирск, Россия, edervika@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНОГО ИНТЕРВАЛА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ В ЮГО-ВОСТОЧНЫХ РАЙОНАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНО-КВЕНЗЕРСКОЙ ПЛОЩАДИ)

Рассмотрено понятие коллектор баженовской свиты на примере продуктивного интервала разреза свиты на Западно-Квензерской площади (юго-восток Западной Сибири). Характеристика изучаемого интервала приведена на основе анализа результатов его исследования комплексом методов геофизики, литологии, петрофизики и органической геохимии. Показано, что интервал притока нефти представлен микститами кероген-кремнистыми и силицитами. Породы схожи по литологическому составу, геохимии органического вещества, геофизическим и петрофизическим характеристикам. Основная часть подвижных (аллохтонных) битумоидов, генерированных баженовской свитой на Западно-Квензерской площади, сосредоточена в поровом пространстве, а не в трещинном.

Ключевые слова: *баженовский коллектор, баженовская свита, органическое вещество, подвижный битумоид, Западно-Квензерская площадь, юго-восток Западной Сибири.*

В связи с интересом к прогнозу залежей нефти в баженовской свите и разработкам технологии ее добычи, особое внимание уделяется детальным литолого-геохимическим, петрофизическим, геофизическим исследованиям этого объекта и изучению геохимии органического вещества (ОВ) в нем. Большая часть этих исследований сосредоточена, в основном, в западных и центральных районах Западно-Сибирской нефтегазоносной

провинции, где получены промышленные притоки [Немова, Панченко, 2017; Калмыков, Балушкина, 2017; Конторович и др., 2018б]. В юго-восточной части Западной Сибири выявлены залежи нефти в баженовской свите с непромышленными притоками нефти в пределах Нюрольской мегавпадины (Федюшкинская, Южно-Фестивальная, Глуховская, Западно-Квензерская площади и др.), а также на Баклянском месторождении, приуроченном к крупной положительной структуре – Верхневасюганской антеклизе, обрамляющей Колтогорско-Нюрольский жёлоб [Конторович и др., 2001].

Незначительное количество залежей в баженовской свите объясняется ее особенностью: она является одновременно источником углеводородов (УВ) для выше- и нижезалегающих отложений и коллектором, при этом понятие коллектор в классическом его понимании к ней не применимо. Баженовская свита, находясь в главной зоне нефтеобразования, насыщена УВ по всему разрезу, но приток можно получить только из его отдельных интервалов. Согласно рекомендациям экспертно-технического совета государственной комиссии по запасам и опубликованным материалам [Временное методическое руководство…, 2017; Петерсилье, Комар, Френкель, 2018; Скворцов, Кирсанов, 2019; Немова, 2021], к интервалам-коллекторам в разрезе баженовской свиты следует относить плотные кремнистые и карбонатные породы с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами, которые формировались преимущественно по вторично-преобразованным радиоляритам (радиоляриты, апорадиоляритовые кремнистые доломиты, апорадиоляритовые известняки и известняки трещинно-кавернозные). Остальные литотипы относятся к неколлекторам.

В представленном исследовании продуктивный интервал баженовской свиты изучен в разрезе скв. Западно-Квензерская-4, расположенной на северо-восточном склоне Нюрольской мегавпадины (рис. 1). Баженовская свита в этой скважине высоко обогащена ОВ ($C_{орг}$ - до 11,6%, $b_{хл}$ - до 2,3% на породу), обладает высоким для юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции нефтегенерационным потенциалом (HI - до 402 мгУВ на г$C_{орг}$) и находится в главной зоне нефтеобразования (градация катагенеза $МК_1^2$), начиная с туронского времени [Рыжкова, 2009]. По результатам анализа региональных закономерностей поведения пиролитических и битуминологических характеристик и катагенеза ОВ, опубликованных А.Э. Конторовичем с соавторами [Конторович и др., 2018а], баженовская свита Западно-Квензерской площади сопоставима с характеристиками баженовской свиты Салымского района и позволяет прогнозировать интервалы-коллекторы в баженовской свите юго-восточных районов Западной Сибири. Целью представленного исследования является уточнение критериев выделения потенциально продуктивных интервалов в баженовской свите на основе сравнительного анализа опубликованных материалов по выделенным или доказанным интервалам-коллекторам баженовского резервуара и результатам геологических

(литологических, геохимических и петрофизических исследований кернового материала, включая и геохимию ОВ) и геофизических исследований этих отложений в разрезе скв. Западно-Квензерская-4.

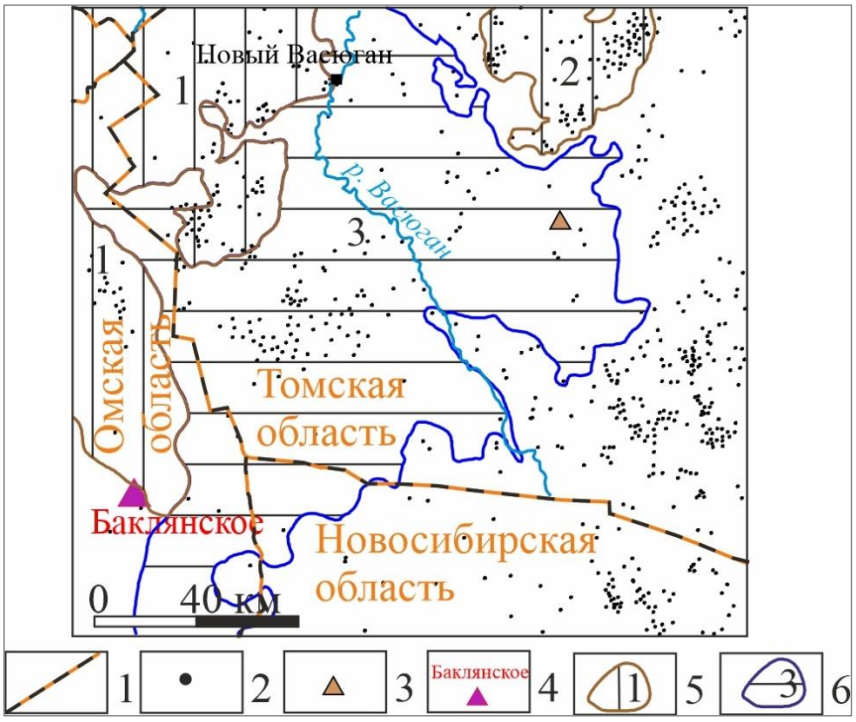

Рис. 1. Обзорная схема изученности баженовской свиты на юго-востоке Западной Сибири
1 - административные границы, 2 - скважины, вскрывшие баженовскую свиту, 3 - скважина, являющаяся объектом исследования представленной работы, 4 - месторождение, стоящее на Госбалансе РФ, с залежами в баженовском резервуаре; тектонические элементы юрского структурного яруса (по [Конторович и др., 2001]): 5 - положительные (1 - Верхневасюганская антеклиза, 2 - Средневасюганский мегавал), 6 - отрицательные (3 - Нюрольская мегавпадина).

Характеристика объекта, материалы и методы исследования

Баженовская свита в разрезе скв. Западно-Квензерская-4 выделена в интервале 2790-2815,5 м, ниже залегает георгиевская свита. Керновым материалом разрез баженовской свиты охарактеризован с глубины 2795 м. Основным объектом исследования является нефтенасыщенный интервал в средней части разреза баженовской свиты (2801-2808 м), выделенный по результатам испытания скважины на приток (слабое фонтанирование после гидроразрыва пласта), проведенных в 2014 г.

Отбор образцов (25 образцов, из них 10 образцов в интервале притока) и их комплексное исследование проводились по методике ИНГГ СО РАН, разработанной академиком А.Э. Конторовичем для высокообогащенных ОВ пород [Конторович и др., 2018а].

Методика литологических исследований пород баженовской свиты включала детальное описание пород по керну; петрографический анализ в шлифах; электронно-

зондовый микроанализ с использованием энергодисперсионного спектрометра; химический анализ пород с определением основных породообразующих оксидов (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5, BaO) методом рентгено-флуорисцентного анализа; спектральный анализ глинистой фракции в инфракрасной области спектра; определение содержания в породах серы сульфидной, сульфатной и форм железа методами «мокрой химии». Результаты вышеперечисленных анализов использовались в программе пересчета на минеральный состав пород по [Розен и др., 2000].

Детальные геохимические исследования образцов керна включали определение содержания органического углерода весовым полумикрометодом, пиролитические по методу Rock-Eval и битуминологические (определение содержания битумоидов в открытом поровом пространстве пород методом холодной экстракции из образцов регулярной формы (кубики и цилиндры) и образцов грубого дробления, их групповой и УВ-состав методом колоночной хроматографии) исследования.

Петрофизические исследования включали определение пористости пород на образцах регулярной формы как аналитически (по гептану) после экстракции битумоидов (ГОСТ 26450.1-85), так и по содержанию битумоидов открытых пор по методике ИНГГ СО РАН [Конторович и др., 2018б]. Нефтенасыщенность порового пространства определялась по соотношению этих двух величин.

Комплекс ГИС представлен диаграммами электрического каротажа – зонд кажущегося сопротивления (КС3), индукционный (ИК) и боковой (БК) каротаж, микроградиент и микропотенциал зонды (МГЗ, МПЗ), потенциал самопроизвольной поляризации (ПС); кавернометрия (КВ); акустический каротаж (дТ); радиоактивный каротаж – гамма-каротаж (ГК), гамма-гамма-каротаж (ГГК), нейтронный гамма-каротаж (НГК), нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (НКТ).

Для корректной увязки по глубине результатов изучения керна и геофизических характеристик, полученных в ходе геофизических исследований скважины, проведен комплексный анализ гамма-каротажа и гамма-спектрометрии образцов пород. В результате сдвиг интервала отбора керна относительно каротажа составил по интервалам отбора керна от 0,1 до 0,3 м. В работе глубины приводятся с учетом коррекции.

Результаты

На основе комплексного анализа геофизических, литолого-геохимических и палеонтологических данных (по методике [Панченко и др., 2016], адаптированной к юго-восточным районам распространения баженовской свиты [Эдер и др., 2022]) в интервале баженовской свиты выделены 4 пачки (рис. 2). Наименования литотипов приведены в

соответствии с классификацией ИНГГ СО РАН, согласно которой одним из компонентов пород учтено содержание ОВ, включая и сорбированные УВ [Конторович и др., 2016]. Пачка 1 в подошве баженовской свиты представлена микститом кремнистым и кремнисто-глинистым с прослоем микстита кероген-глинисто-кремнистого с относительно пониженным содержанием ОВ ($C_{орг}$ - до 10% на породу, ГК - около 17 мкР/ч). Выше залегает пачка 2, сложенная преимущественно силицитом и силицитом керогеновым, в которой содержание $C_{орг}$ увеличивается до 10-12% на породу, ГК - до 47-61 мкр/ч. Пачка 3 представлена микститом кероген-глинисто-кремнистым и кероген-кремнистым, значения $C_{орг}$ изменяются в пределах 8-10 % на породу, ГК - 53-65 мкР/ч. Пачка 4 охарактеризована керном лишь в верхней ее части, в которой она сложена микститом кремнисто-глинистым ($C_{орг}$ - до 7% на породу, ГК - около 30 мкР/ч). В зоне отсутствия кернового материала расчетные литологические данные, полученные на основе зависимостей керн-ГИС [Рыжкова и др., 2021], позволяют предполагать переслаивание керогеновых, кероген-кремнистых, кероген-глинисто-кремнистых микститов. Значения ГК изменяются в интервале 21-91 мкр/ч. Пачка 1 согласно модели строения баженовского резервуара [Рыжкова, Пономарева, Замирайлова, 2020] относится к подстилающему флюидоупору.

Интервал притока (2801-2808 м) в керне выглядит преимущественно однородным, однако, согласно проведенной дифференциации разреза, соответствует двум пачкам 2 и 3 (см. рис. 2). По всему интервалу в породах присутствуют фосфатные обломки скелетов рыб, «крючки» теутид, радиолярии, заполненные кремнеземом. Неравномерно по интервалу при изучении кернового материала (макроуровень) в породах отмечается слоистость, обусловленная тонкими (1-10 мм) прослоями желтовато-коричневого цвета, в которых содержание кремнистого материала выше (по микроскопическим исследованиям), чем во вмещающей породе. На микроуровне (в шлифах) наблюдаются линзовидно-слоистая и неясно линзовидно-слоистая текстуры, обусловленные распределением керогена и глинистого вещества.

Верхняя часть интервала притока (2801-2803,8 м, пачка 3), толщина которой составляет около 2,8 м, сложена преимущественно микститами кероген-кремнистыми (содержание кремнистого материала в среднем 46%, глинистого - 23%, ОВ - 11,2% на породу) черными, присутствуют радиолярии, выполненные кремнеземом (табл. 1). Микстит кероген-глинисто-кремнистый определен вблизи кровли верхней части (см. рис. 2). Участками порода горизонтально-слоистая. Слоистость обусловлена тонкими (1-10 мм) прослоями предположительно силицитов желтовато-коричневого цвета. В середине описываемого интервала выявлен небольшой прослой битума (1 мм). Выше него часть радиолярий полностью выполнена пиритом, а также обнаружены карбонатизированные раковины

двустворчатых моллюсков. Линзовидно-слоистая микротекстура пород выражена в распределении глинистого материала и находящегося с ним в ассоциации ОВ (рис. 3А).

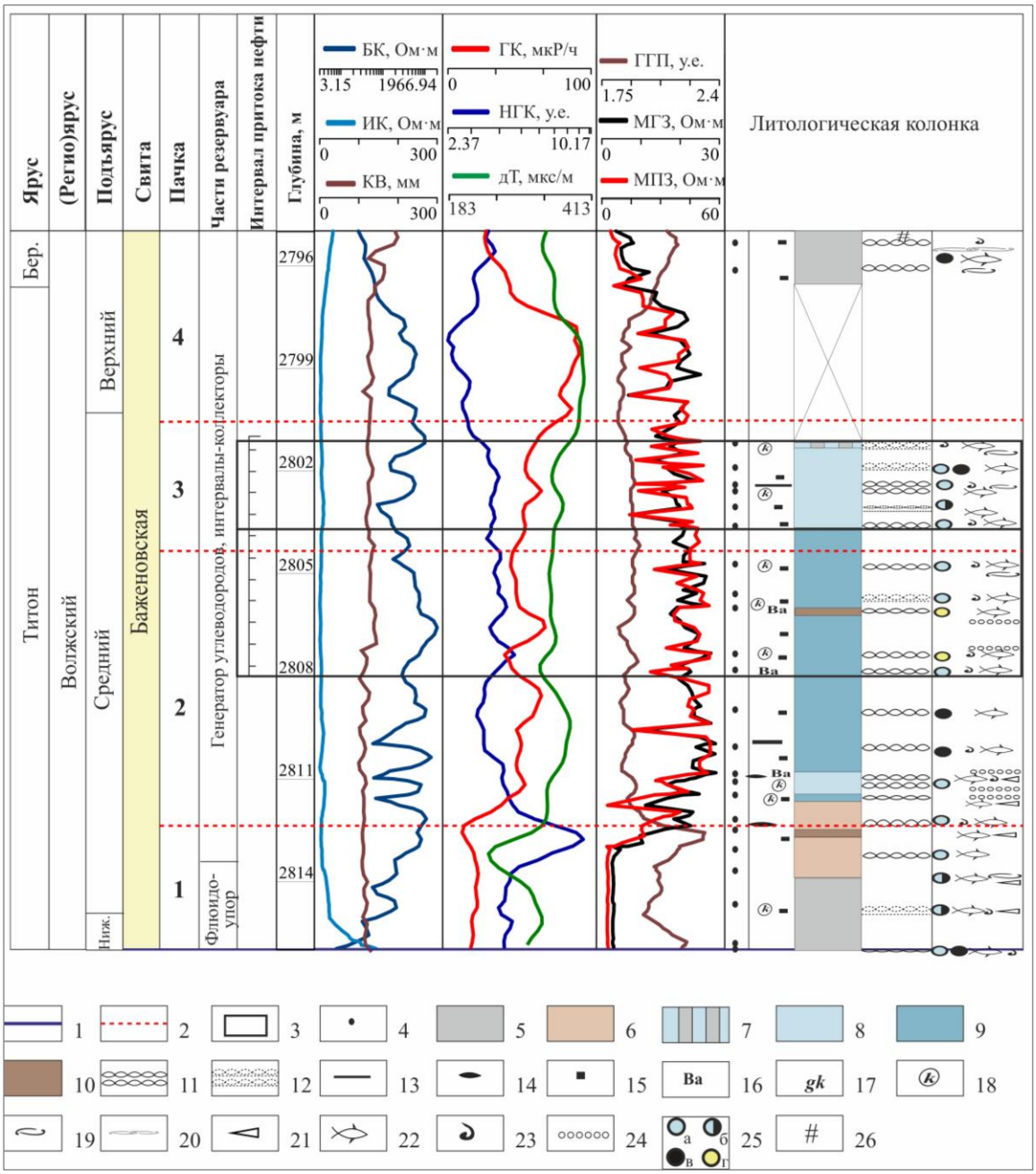

Рис. 2. Литолого-геофизическая характеристика баженовской свиты скв. Западно-Квензерская 4

Границы: 1 - подошвы баженовской свиты, 2 - пачек баженовской свиты (по [Эдер и др., 2022]), 3 - частей интервала притока; 4 - места отбора образцов; литологический состав пород: 5 - микстит глинисто-кремнистый, кремнисто-глинистый, 6 - микстит кремнистый, 7 - микстит кероген-глинисто-кремнистый, 8 - микстит кероген-кремнистый, 9 - силицит, силицит керогеновый, 10 - доломит; текстура: 11 - линзовидная, 12 - неясно линзовидно-слоистая; 13 - прослой битума; аутигенные минералы: 14 - линза пирита, 15 - пирит, 16 - барит, 17 - глауконит, 18 - гнёзда, заполненные раскристаллизованным каолинитом; органические остатки: 19 - двустворки, 20 - прослои двустворок, 21 - белемниты, 22 - костные остатки рыб, 23 - крючки онихитес, 24 - прослои радиолярита; 25 - радиолярии, выполненные: а - кремнеземом, б - кремнеземом, частично замещенные пиритом, в - пиритом, г - кальцитом; текстурные нарушения: 26 - трещиноватость; части резервуара (по [Рыжкова, Пономарева, Замирайлова, 2020]).

Таблица 1

Содержание основных породообразующих элементов в литотипах продуктивного интервала

Интервал, м	Литотип	Кремнистый м-л	Глинистый м-л	Карбонатный м-л	Альбит	ОВ	Пирит	Апатит
2801,0-2803,8	Микстит кероген-кремнистый (5)	45-49 46	21-24 23	1-4 2	8-10 9	10,0-12,2 11,2	5-10 7	0,3-1,3 0,7
	Микстит кероген-глинисто-кремнистый (1)	48	25	2	8	11,2	5	0,6
2803,8-2808,0	Силицит (2)	53-56 55	17-18 17,5	5-10 8	5-8 7	9,1-9,3 9,2	2-3 2,5	* 0,6
	Силицит керогеновый (2)	53-54 53,8	20-21 20,7	0,5-0,9 0,7	* 8,4	10,8-12,3 11,8	* 4	* 0,7

*Примечание: м-л - материал; в скобках указано количество образцов, шт.; в числителе приведен разброс значений, в знаменателе - среднее; * - разброс значений относительно среднего менее чем 0,1.*

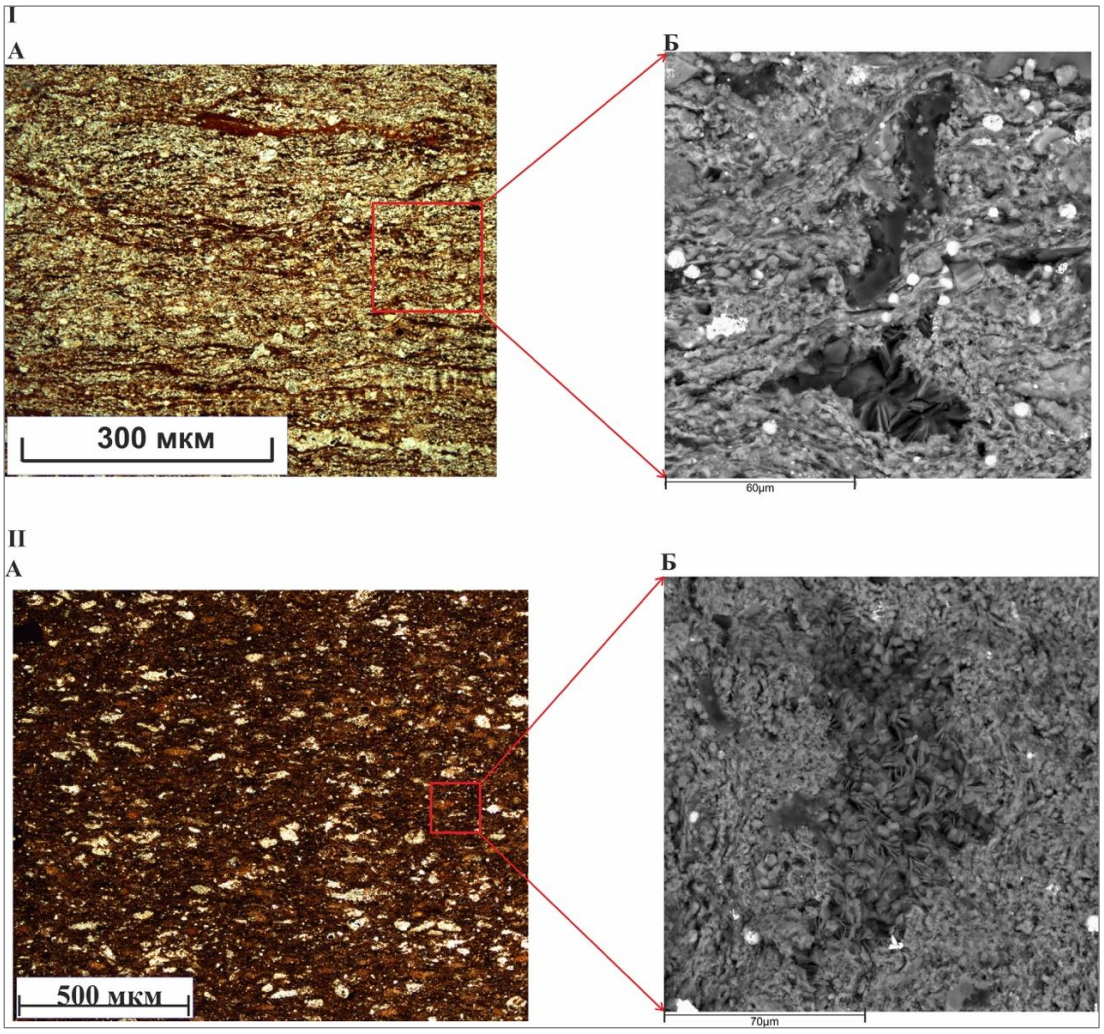

Рис. 3. Фотографии пород баженовской свиты: I - микстит кероген-кремнистый (глубина 2802,6 м), II - силицит (глубина 2804,7 м); А - микротекстура (фотография шлифа), Б - заполнение пустотного пространства раскристаллизованным каолинитом (электронное изображение)

Пористость пород изменяется от 5,5 до 7%, в среднем 6,3%. Пустотное пространство преимущественно состоит из пор и микропрослоев, выполненных керогеном (рис. 3IА, Б). В части пор совместно с керогеном определен раскристаллизованный каолинит (рис. 3IБ). Установлены горизонтальная (по наслоению) и вертикальная трещиноватость пород (рис. 4А). Учитывая небольшое количество вертикальных трещин и их малую длину (< 2 см) в образцах после экстракции, можно предположить в микститах кероген-кремнистых преобладание трещиноватости по наслоению.

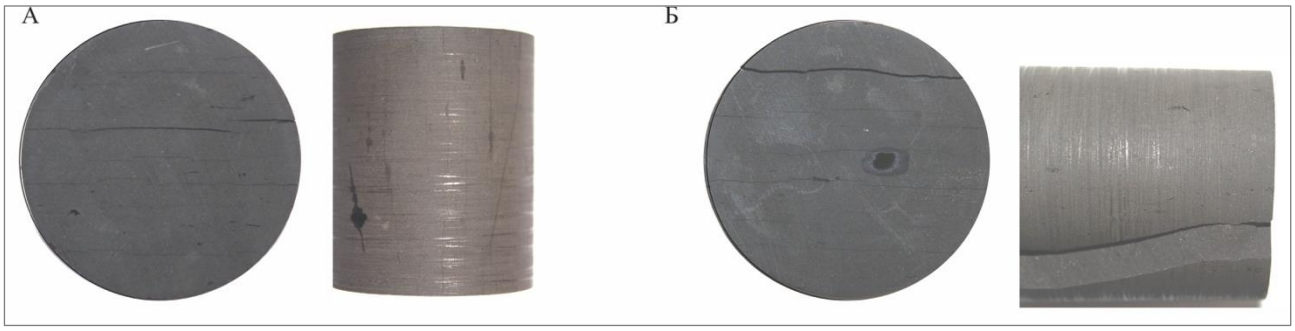

Рис. 4. Фотографии трещин, проявившихся в ходе экстракции образцов пород
А - микстит кероген-кремнистый, Б - силицит керогеновый.

Нижняя часть интервала притока (2803,8-2808,0 м, верхняя часть пачки 2) толщиной около 5 м представлена переслаиванием силицитов и силицитов керогеновых (содержание кремнистого материала - в среднем 54%, глинистого - 19%, ОВ - 10,5% на породу) (см. табл. 1). Содержание карбонатного материала в силицитах в два раза больше, чем в керогеновых силицитах, но не превышает 10%. Породы темно-серые до черного с коричневым оттенком с запахом, до сильного, УВ. В породах наблюдаются битуминозные «крючки» теутид, прослои радиолярий, выполненных карбонатным и кремнистым материалом. В породах встречаются мелкие выделения барита от 9 до 67 мкм, среднее содержание этого минерала в породах рассматриваемого интервала составляет 0,14%. В средней части описываемого интервала выявлен прослой микстита карбонатного (содержание доломита - 45%, ОВ - 6,4% на породу). Доломитизация породы, вероятно, произошла в катагенезе за счет изменения щелочности среды в ходе процесса генерации УВ. Подобные процессы ранее обсуждены в публикациях А.Д. Коробова, В.Д. Немовой, В.Г. Эдер [Коробов и др., 2017; Немова, 2015; Эдер и др., 2021].

Пористость пород этой части продуктивного интервала изменяется от 3,7 до 5%, в среднем 4,2%. Пустотное пространство состоит из пор и преимущественно горизонтальных микротрещин, выполненных керогеном (см. рис. 3IIА). Вертикальные трещины редки, но с учетом изменения образцов после экстракции (длина и степень раскрытости трещин) можно предположить, что в силицитах и силицитах керогеновых возможно увеличение емкостного

пространства за счет трещинообразования при многостадийном гидроразрыве пласта (см. рис. 4Б). Глинистое вещество в порах раскристаллизовано (см. рис. 3IIБ).

Как уже упоминалось, 1 пачка баженовской свиты, сложенная преимущественно микститами кремнистыми и кремнисто-глинистыми, относится к подстилающему флюидоупору. Разрез между интервалом притока и флюидоупором, далее упоминаемый как промежуточный интервал, аналогично нижней части интервала притока представлен двумя типами пород, но залегающими в обратном порядке (см. рис. 2). Силициты и кероген-кремнистые силициты суммарной толщиной 3,7 м сменяются слоем толщиной 2,0 м, в котором перемежаются прослои микститов кремнистых, кероген-кремнистых, кероген-глинисто-кремнистых и силицитов, последние в существенно меньшем количестве. В центре указанного слоя выявлен прослой доломитизированных порода, к которому приурочены линзы пирита. По содержанию основных породообразующих элементов перечисленные породы почти не отличаются от вышеописанных. Доломитизированный прослой промежуточного интервала и линзы пирита сформировались на геохимическом барьере, связанном с минеральными преобразованиями, начавшимися в диагенезе [Эдер, Замирайлова, Калмыков, 2019].

Нефтенасыщенность порового пространства пород в верхней части продуктивного интервала составляет 89-100%, в то время как в нижней части изменяется от 62 до 100% (в среднем 90%). Содержание хлороформенных битумоидов в открытом поровом пространстве кероген-кремнистых микститов и керогеновых силицитов с силицитами изменяется в пределах 0,6÷1,4% на породу (в среднем 1,1%) и 0,7÷1,0% на породу (в среднем 0,9%) соответственно (рис. 5). Исключение составляет доломитизированный прослой, в котором содержание битумоидов понижено до 0,5% на породу. В групповом составе битумоидов преобладают УВ (72-83% на битумоид), среди УВ доминируют насыщенные структуры (55-62% от суммы УВ). Отношение насыщенные УВ/ароматические УВ изменяется от 1,2 до 1,6, в доломитизированном прослое – до 2. На асфальтены приходится менее 2% на битумоид. Анализ значений пиролитических характеристик S_1 и S_2 до и после экстракции битумоидов из открытого порового пространства пород подтверждает результаты битуминологических исследований: ΔS_1 достигает 6,3 мг УВ/г породы в кероген-кремнистых микститах и 5,75 мг УВ/г породы в керогеновых силицитах. Значения S_2 после экстракции пород практически не меняется, ΔS_2 не превышает 0,2 мг УВ/г породы. Индекс продуктивности (PI = $S_1/(S_1+S_2)$) в интервале притока невысокий: 0,16-0,19 – в кероген-кремнистых микститах и 0,19-0,20 – в керогеновых силицитах. Значения показателя $S_1/C_{орг}$ изменяются в пределах 66-79 мг УВ/г $C_{орг}$ в верхней части продуктивного интервала и 82-93 мг УВ/г $C_{орг}$ – в его нижней части.

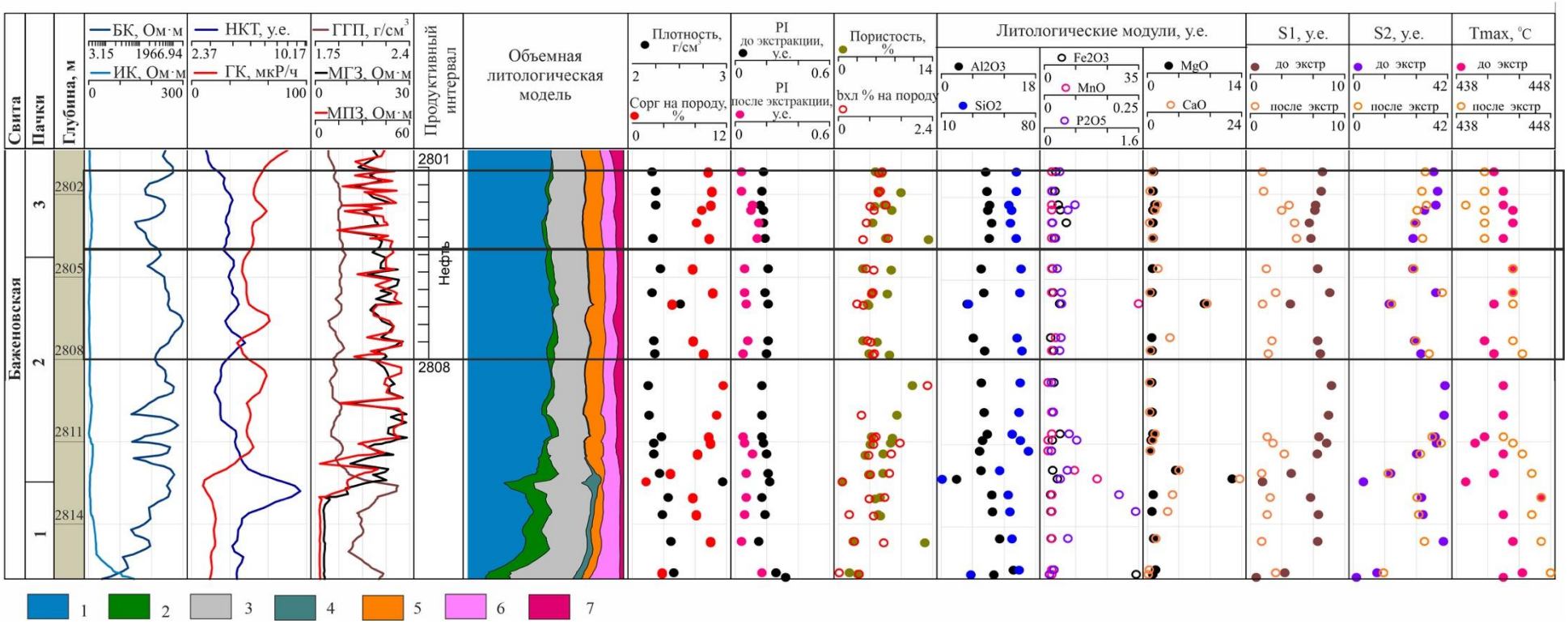

Рис. 5. Комплексная характеристика изученного разреза

Компоненты породы: 1 - кремнистая, 2 - карбонатная, 3 - глинистая, 4 - апатит, 5 - органическое вещество, 6 - альбит, 7 - пирит.

Распределение по разрезу ОВ и прослоев, насыщенных карбонатизированными органическими остатками, выражается в геофизических характеристиках пород. Так, карбонатизированные прослои в силицитах и керогеновых силицитах выделяются повышенными показателями электрического каротажа (БК, МКЗ) (см. рис. 2). В микститах кероген-кремнистых высокое сопротивление характерно для прослоя, содержащего битум. Прослои с повышенной нефтенасыщенностью имеют, как повышенное более 500 Ом·м, так и пониженное менее 200 Ом·м сопротивление. В интервале притока геофизические параметры, отражающие содержание ОВ, плотность, трещиноватость, карбонатность и нефтенасыщенность пород верхней и нижней частей, изменяются в схожих пределах (табл. 2). Авторы предполагают, что дифференциация значений геофизических параметров в интервале притока, как и всего разреза баженовской свиты, особенно наглядно выраженная на диаграммах МКЗ, определяется степенью нефтенасыщенности и содержанием карбонатного вещества в близких по литологическому составу породах.

Таблица 2

Геофизическая характеристика интервала притока

Части интервала притока	ГК, мкр/ч	дТ, мкс/м	НКТ, у.е.	БК, Ом·м
верхняя	53-65 56*	350-381 351*	3,0-3,9 3,9*	75-999 495*
нижняя	39-47 48**	331-349 347**	3,5-4,6 4,2**	175-866 759**

*Примечание: в числителе разброс значений в интервале разреза, в знаменателе в образцах пород: - * прослоя битума, ** - прослоя микстита карбонатного, содержащего доломит >45%.*

Обсуждение результатов

Как показали проведенные исследования, микститы кероген-кремнистые и силициты керогеновые с силицитами, слагающие соответственно верхнюю и нижнюю части продуктивного интервала, близки по своему литологическому составу и отличаются по содержанию глинистого (23,0 и 21,1%) и кремнистого (46,4 и 53,6%) материала незначительно. Тем не менее, даже такое различие сказывается на распределении в породах ОВ, четко прослеживается увеличение концентраций ОВ по мере роста глинистой составляющей ($C_{орг}$ - в среднем 9,4 и 8,7% на породу, соответственно, $b_{хл}$ - в среднем 1,1 и 0,9% на породу). На распределение ОВ также влияние оказывают и постседиментационные преобразования пород. В прослое микстита карбонатного, преимущественно доломитового, и локализованного в середине нижней части интервала притока, содержание и $C_{орг}$, и $b_{хл}$ резко падает по сравнению с вмещающими породами (см. рис. 5), а соотношение насыщенных УВ к ароматическим в групповом составе битумоидов, наоборот, увеличивается.

Вместе с тем, свидетельства активно протекавших процессов вторичных преобразований

минеральной матрицы пород присутствуют как в верхней, так и в нижней частях продуктивного интервала. К ним помимо доломитизации относится раскристаллизация каолинита в поровом пространстве, частичное и полное замещение округлых зерен радиолярий пиритом и кальцитом, прослои битума и др. Как показал анализ петрофизических характеристик, лучшими фильтрационно-емкостными свойствами обладают кероген-кремнистые микститы верхней части продуктивного интервала, а не рекомендованные методическим руководством силициты. Объясняется это большим в кероген-кремнистых микститах объемом пористости, сформированном в ходе преобразования ОВ.

В геофизических параметрах деление на две части интервала притока согласуется с результатами изучения литологического состава пород. Переслаивание прослоев пород толщиной около 0,3 м ярко выражается только в показаниях МКЗ. Для детализации объемной модели продуктивного интервала с целью уточнения взаимосвязей керн-ГИС требуется увеличение плотности отбора образцов.

По геохимическим параметрам не наблюдаются повышенные значения ($P_I > 0,5$, $S_1/S_2 > 1$, $\beta > 10\%$) в интервале притока, чтобы свидетельствовало о его большем нефтенасыщении относительно остальных частей свиты, при этом увеличение содержания ОВ ($C_{орг}$ - до 12,5%, $b_{хл}$ - до 1,4% на породу), групповой состав битумоидов (содержание УВ - до 80%, асфальтенов < 2% на битумоид, соотношение насыщенных УВ к ароматическим > 1) и значения Тмакс до 445ºС свидетельствуют о процессах нефтегенерации и миграции. Групповой состав битумоидов интервала притока изученной скважины соответствует продуктивным скважинам по [Скворцов и др., 2019]. По соотношению пиролитического параметра S_1 к $C_{орг}$ близкие по литологическому составу и геохимии ОВ микститы кероген-кремнистые, силициты и силициты керогеновые продуктивного интервала изученного разреза занимают промежуточное положение между коллектором и неколлектором (рис. 6). По мнению авторов, это является свидетельством сложного сочетания выполнения глинистым и ОВ порового и трещинного емкостного пространства, что следует тщательно изучить. Выбор интервала испытания баженовской свиты в скважине, вероятно, проводился по аналогии с установленной для центральных районов закономерностью, приуроченности интервалов-притока к средней части баженовской свиты. Промежуточный интервал, сложенный силицитами и керогеновыми силицитами, согласно проведенным исследованиям более перспективен для получения притока с применением многостадийного ГРП.

По содержанию основных компонентов пород, данным бокового каротажного зондирования и гамма-каротажа интервал притока практически не выделяется на общем фоне. Для выявления критериев выделения перспективных интервалов притока, также, как и для детализации объемной модели, требуется увеличение плотности отбора образцов.

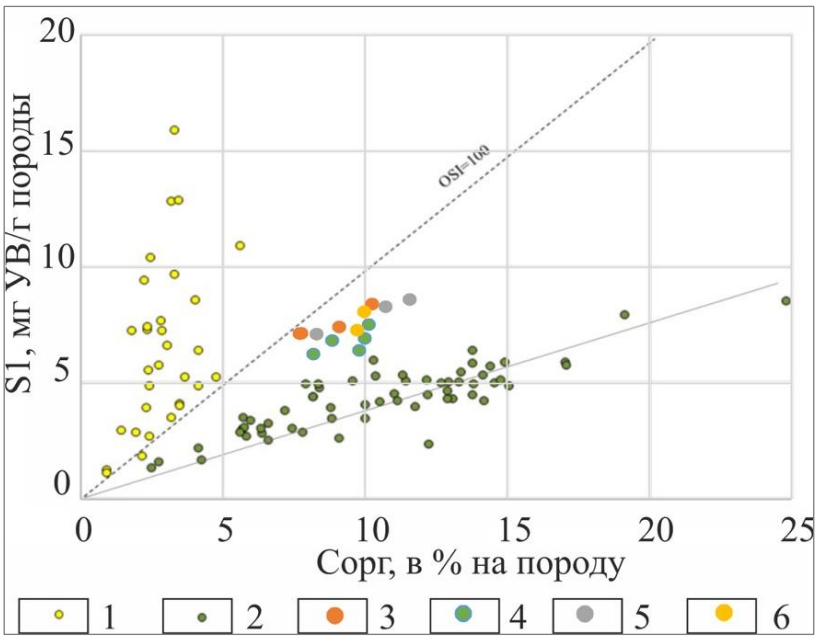

Рис. 6. График зависимости пиролитического параметра S_1 от $C_{орг}$
([по Немова, 2021] с дополнением)
1 - коллектор, 2 - неколлектор; породы интервала притока изученной скважины: 3 - силицит и керогеновый силицит, 4 - микстит кероген-кремнистый; породы промежуточного интервала изученной скважины: 5 - силицит и керогеновый силицит, 6 - микстит кероген-кремнистый и кероген-глинисто-кремнистый.

Заключение

Вышеизложенные материалы позволяют сделать следующие выводы. Микститы кероген-кремнистые по геофизическим, петрофизическим, геохимическим, пиролитическим характеристикам, содержанию и составу ОВ схожи с силицитами, поэтому их также можно отнести к коллекторам.

Основная часть подвижных (аллохтонных) битумоидов, генерированных баженовской свитой на Западно-Квензерской площади сосредоточена в поровом пространстве, а не в трещинном. Для их извлечения требуется совершенствование технологии добычи с учетом повышенной глинистости разреза.

Выделение перспективных интервалов притока в разрезах баженовской свиты юго-восточных районов Западной Сибири следует проводить по совокупности литологических, геохимических и геофизических данных. Использование по аналогии критериев, установленных по центральным и западным районам Западной Сибири, не рекомендуется, вследствие существенного отличия обстановок формирования баженовского свиты.

Работа выполнена при поддержке проектов FWZZ-2022-0012, FWZZ-2022-0007, FWZZ-2022-0011.

Литература

Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещинных трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. - 2017. - № 4. - С. 68-101.

Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и её использование для оценки ресурсного потенциала. - Москва: ГЕОС, 2017. - 247 с.

Конторович А.Э., Костырева Е.А., Родякин С.В., Сотнич И.С., Ян П.А. Геохимия битумоидов баженовской свиты // Геология нефти и газа. - 2018а. - № 2. - С. 79-88.

Конторович А.Э., Родякин С.В., Бурштейн Л.М., Костырева Е.А., Рыжкова С.В., Ян П.А. Пористость и нефтенасыщенность пород баженовской свиты // Геология нефти и газа. - 2018б. - № 5. - С. 61-73.

Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика. - 2016. - Т. 57. - № 11. - С. 2034-2043. DOI: https://doi.org/10.15372/GiG20161106

Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. Тектоническое строение и история тектонического развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. - 2001. - Т. 42. - №11-12. - С. 1832-1845.

Коробов А.Д., Коробова Л.А., Морозов В.П., Заграновская Д.Е., Захарова О.А. Аутигенный доломит высокобитуминозных баженовских отложений - показатель завершающей стадии генерации углеводородов // Нефтяное хозяйство. - 2017. - № 4. - С. 41-43.

Немова В.Д. Литогенетическая классификация пород и техноформизм отложений баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. - Москва, 2021. - 323 с.

Немова В.Д. Особенности постседиментационных преобразований радиоляритов баженовской свиты // Материалы 8-го Всероссийского литологического совещания. - Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. - Т. I. - С. 247-249.

Немова В.Д., Панченко И.В. Факторы продуктивности баженовского горизонта во Фроловской мегавпадине // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2017. - Т.12. - № 4. - http://www.ngtp.ru/rub/4/46_2017.pdf DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/46_2017

Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС //

Геология нефти и газа. - 2016. - № 6. - С. 22-34.

Петерсилье В.И., Комар Н.В., Френкель С.М. Методические подходы к подсчету запасов баженовской свиты // Геология нефти и газа. - 2018. - № 5. - С. 51-59.

Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия. - 2000. - № 4. - С. 431-444.

Рыжкова С.В. История развития юрского структурного яруса и нефтегазоносность южных районов Обь-Иртышского междуречья // Геология нефти и газа. - 2009. - № 1. - С. 54-63.

Рыжкова С.В., Пономарева Е.В., Замирайлова А.Г. Строение баженовского резервуара и прогноз нефтеносности горизонта Ю0 баженовской свиты в юго-восточных районах Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2020. - Т.15. - №4. - http://www.ngtp.ru/rub/2020/38_2020.html DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/38_2020

Рыжкова С.В., Фомин М.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Покрышкина Э.М. Литологическая интерпретация каротажа скважин баженовской свиты юго-восточных районов Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2021. - Т. 16. - № 3. - http://www.ngtp.ru/rub/2021/27_2021.html DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/27_2021

Скворцов М.Б., Кирсанов А.М. Методические подходы к выделению нефтенасыщенных толщин в отложениях баженовской свиты // Недропользование XXI век. - 2019. - № 3 (79). - С.80-87.

Скворцов М.Б., Немова В.Д., Дахнова М.В., Копилевич Е.А., Сурова Н.Д., Кирсанов А.М., Можегова С.В. Новые методические подходы к оценке ресурсов нефти в отложениях баженовской свиты // Геология и геофизика. - 2019. - Т. 60 - № 2. - С. 217-229.

Эдер В.Г., Балушкина Н.С., Замирайлова А.Г., Фомин А.Н. Литолого-геохимические свидетельства катагенетических преобразований черных сланцев на примере баженовской свиты Западной Сибири // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. - 2021. - №1. - С.58-70.

Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Калмыков Г.А. Свидетельства образования карбонатных пород на геохимических барьерах в черных сланцах на примере баженовской свиты Западной Сибири // Георесурсы. - 2019. - Т. 21. - № 2. - С. 143-152.

Эдер В.Г., Рыжкова С.В., Дзюба О.С., Замирайлова А.Г. Литостратиграфия и обстановки седиментации баженовской свиты (Западная Сибирь) в центральном, юго-восточном и северных районах её распространения // Стратиграфия. Геологическая корреляция. - 2022. - №5. - С. 46-74.

Ryzhkova S.V.
Federal State Budgetary Scientific Institution Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS); Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, RizhkovaSV@ipgg.sbras.ru
Zamiraylova A.G., Kostyreva E.A., Sotnich I.S.
Federal State Budgetary Scientific Institution Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, ZamirailovaAG@ipgg.sbras.ru, KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru, SotnichIS@ipgg.sbras.ru
Fomin M.A.
Federal State Budgetary Scientific Institution Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS); Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia, FominMA@ipgg.sbras.ru
Eder V.G.
Federal State Budgetary Scientific Institution Geology Institute of Russian Academy of Sciences (GIN RAS), Federal State Budgetary Scientific Institution Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia, edervika@gmail.com

CHARACTERIZATION OF BAZHENOV FORMATION PRODUCTIVE INTERVAL: A CASE STUDY OF WEST-KVENZER AREA, SOUTHEASTERN WESTERN SIBERIA

The article discusses the concept of Bazhenov reservoir rocks exemplified by a oil productive interval of the Bazhenov Formation cross-section in the West-Kvenzer area, southeastern Western Siberia. Characteristics of the analyzed interval are derived from the interpretation of the results obtained by the geophysics, lithology, rock physics and organic geochemistry integrating methods. It has been shown that the studied oil saturated interval is represented by kerogen-siliceous and siliceous mixtites. The studied rocks are found to be identical in terms of the lithological composition, organic matter geochemistry, geophysical and petrophysical characteristics. Most of the mobile (allochthonous) bitumoids (chloroform extractable bitumens) generated by the Bazhenov Formation within the West-Kvenzer area are concentrated in open pore space, rather than being fracture-filling type.

Keywords: *Bazhenov reservoir, Bazhenov Formation, organic matter, mobile bitumoid, West-Kvenzer area, southeastern Western Siberia.*

References

Eder V.G., Balushkina N.S., Zamiraylova A.G., Fomin A.N. *Litologo-geokhimicheskie svidetel'stva katageneticheskikh preobrazovaniy chernykh slantsev na primere bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri* [Lithological and geochemical evidence of catagenetic transformations of black shales on the example of the Bazhenov Formation of Western Siberia]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya, 2021, no. 1, pp.58-70.

Eder V.G., Ryzhkova S.V., Dzyuba O.S., Zamiraylova A.G. *Litostratigrafiya i obstanovki sedimentatsii bazhenovskoy svity (Zapadnaya Sibir') v tsentral'nom, yugo-vostochnom i severnykh rayonakh ee rasprostraneniya* [Lithostratigraphy and sedimentation settings of the Bazhenov Formation (Western Siberia) in the central, southeastern and northern regions of its occurrence]. Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya, 2022, no. 5, pp. 46-74.

Eder V.G., Zamiraylova A.G., Kalmykov G.A. *Svidetel'stva obrazovaniya karbonatnykh porod na geokhimicheskikh bar'erakh v chernykh slantsakh na primere bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri* [Evidence of carbonate rocks formation on geochemical barriers in black shales on the example of the Bazhenov Formation of Western Siberia]. Georesursy, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 143-152.

Kalmykov G.A., Balushkina N.S. *Model' neftenasyshchennosti porovogo prostranstva porod bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri i ee ispol'zovanie dlya otsenki resursnogo potentsiala* [Model of oil saturation of the pore space of rocks of the Bazhenov Formation of Western Siberia and its use

for assessing the resource potential]. Moscow: GEOS, 2017, 247 p.

Kontorovich A.E., Kostyreva E.A., Rodyakin S.V., Sotnich I.S., Yan P.A. *Geokhimiya bitumoidov bazhenovskoy svity* [Geochemistry of the Bazhenov Formation bitumoids]. Geologiya nefti i gaza, 2018a, no. 2, pp. 79-88. DOI: https://doi.org/10.31087/0016-7894-2018-2-79-88

Kontorovich A.E., Rodyakin S.V., Burshteyn L.M., Kostyreva E.A., Ryzhkova S.V., Yan P.A. *Poristost' i neftenasyshchennost' porod bazhenovskoy svity* [Porosity and oil saturation of the Bazhenov Formation]. Geologiya nefti i gaza, 2018b, no. 5, pp. 61-73.

Kontorovich A.E., Yan P.A., Zamiraylova A.G., Kostyreva E.A., Eder V.G. *Klassifikatsiya porod bazhenovskoy svity* [Classification of rocks of the Bazhenov Formation]. Geologiya i geofizika, 2016, vol. 57, no. 11, pp. 2034-2043. DOI: https://doi.org/10.15372/GiG20161106

Kontorovich V.A., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.E., Krasavchikov V.O., Kontorovich A.A., Suprunenko O.I. T*ektonicheskoe stroenie i istoriya tektonicheskogo razvitiya Zapadno-Sibirskoy geosineklizy v mezozoe i kaynozoe* [Tectonic structure and development history of the Western Siberian geosyneclise in the Mesozoic and Cenozoic]. Geologiya i geofizika, 2001, vol. 42, no. 11-12, pp. 1832-1845.

Korobov A.D., Korobova L.A., Morozov V.P., Zagranovskaya D.E., Zakharova O.A. *Autigennyy dolomit vysokobituminoznykh bazhenovskikh otlozheniy - pokazatel' zavershayushchey stadii generatsii uglevodorodov* [Authigenic dolomite of high-bituminous Bazhenov Formation - an indicator of the final stage of hydrocarbon generation]. Neftyanoe khozyaystvo, 2017, no. 4, pp. 41-43.

Nemova V.D. *Litogeneticheskaya klassifikatsiya porod i tekhnoformizm otlozheniy bazhenovskoy svity Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii.* [Lithogenetic classification of rocks and technoformism of the Bazhenov Formation of the Western Siberian petroleum province]. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk, 2021, 323 p.

Nemova V.D. *Osobennosti postsedimentatsionnykh preobrazovaniy radiolyaritov bazhenovskoy svity* [Peculiarities of postsedimentary transformations of Radiolarites of the Bazhenov Formation]. Materialy 8-go Vserossiyskogo litologicheskogo soveshchaniya. Moscow: RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina, 2015, vol. I, pp. 247-249.

Nemova V.D., Panchenko I.V. *Faktory produktivnosti bazhenovskogo gorizonta vo Frolovskoy megavpadine* [The productivity factors of Bazhenov Formation in Frolov Megadepression (Western Siberia)]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2017, vol. 12, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/46_2017.pdf DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/46_2017

Panchenko I.V., Nemova V.D., Smirnova M.E., Il'ina M.V., Baraboshkin E.Yu., Il'in V.S. *Stratifikatsiya i detal'naya korrelyatsiya bazhenovskogo gorizonta v tsentral'noy chasti Zapadnoy Sibiri po dannym litologo-paleontologicheskogo izucheniya kerna i GIS* [Stratification and detailed correlation of Bazhenov Formation in the central part of the Western Siberia according to lithological and paleontological core analysis and well logging]. Geologiya nefti i gaza, 2016, no. 6, pp. 22-34.

Petersil'e V.I., Komar N.V., Frenkel' S.M. *Metodicheskie podkhody k podschetu zapasov bazhenovskoy svity* [Methods for the Bazhenov Formation reserves assessment]. Geologiya nefti i gaza, 2018, no. 5, pp. 51-59.

Rozen O.M., Abbyasov A.A., Migdisov A.A., Yaroshevskiy A.A. *Programma MINLITH dlya rascheta mineral'nogo sostava osadochnykh porod: dostovernost' rezul'tatov v primenenii k otlozheniyam drevnikh* platform [The MINLITH program for sedimentary rocks mineral composition calculating: the reliability of the results when applied to the strata of ancient platforms]. Geokhimiya, 2000, no. 4, pp. 431-444.

Ryzhkova S.V. *Istoriya razvitiya yurskogo strukturnogo yarusa i neftegazonosnost' yuzhnykh rayonov Ob'-Irtyshskogo mezhdurech'ya* [History of development of the Jurassic structural stage and oil and gas potential of the southern regions of the Ob-Irtysh interfluve] Geologiya nefti i gaza, 2009, no. 1, pp. 54-63.

Ryzhkova S.V., Fomin M.A., Zamirailova A.G., Kostyreva E.A., Pokryshkina E.M. *Litologicheskaya interpretatsiya karotazha skvazhin bazhenovskoy svity yugo-vostochnykh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Lithological interpretation of well logging data belonging to Bazhenov Formation

of the south-eastern regions of Western Siberia]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2021, vol. 16, no. 3, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2021/27_2021.html DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/27_2021

Ryzhkova S.V., Ponomareva E.V., Zamiraylova A.G. *Stroenie bazhenovskogo rezervuara i prognoz neftenosnosti gorizonta Yu0 bazhenovskoy svity v yugo-vostochnykh rayonakh Zapadnoy Sibiri* [Structure of the bazhenov reservoir and forecast of oil content of the Yu0 productive level of the Bazhenov Formation in the south-eastern regions of Western Siberia]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2020, vol. 15, no. 4, available at: http://www.ngtp.ru/rub/2020/38_2020.html DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/38_2020

Skvortsov M.B., Kirsanov A.M. *Metodicheskie podkhody k vydeleniyu neftenasyshchennykh tolshchin v otlozheniyakh bazhenovskoy svity* [Methodological approaches to the identification of oil-saturated thicknesses in the Bazhenov Formation]. Nedropol'zovanie XXI vek, 2019, no. 3 (79), pp. 80-87.

Skvortsov M.B., Nemova V.D., Dakhnova M.V., Kopilevich E.A., Surova N.D., Kirsanov A.M., Mozhegova S.V. *Novye metodicheskie podkhody k otsenke resursov nefti v otlozheniyakh bazhenovskoy svity* [New Methodological approaches to assessment of oil resources in the Bazhenov Formation] Geologiya i geofizika, 2019, vol. 60, no. 2, pp. 217-229.

Vremennoe metodicheskoe rukovodstvo po podschetu zapasov nefti v treshchinnykh treshchinno-porovykh kollektorakh v otlozheniyakh bazhenovskoy tolshchi Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii [Interim methodological guidelines for calculating oil reserves in fractured fissure-porous reservoirs in the Bazhenov Formation of the Western Siberian petroleum province]. Nedropol'zovanie XXI vek, 2017, no. 4, pp. 68-101.

© Рыжкова С.В., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Сотнич И.С., Фомин М.А., Эдер В.Г., 2022