

# Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири

В.Г. Эдер<sup>1\*</sup>, Е.А. Костырева<sup>1</sup>, А.Ю. Юрченко<sup>2</sup>, Н.С. Балущкина<sup>2</sup>, И.С. Сотнич<sup>1</sup>,  
Е.В. Козлова<sup>3</sup>, А.Г. Замирайлова<sup>1</sup>, Н.И. Савченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

В настоящей работе приведены данные о литологическом составе, распространении, фильтрационно-емкостных свойствах, геохимии органического вещества и генезисе карбонатных пород баженовской свиты в пределах центральной части Западной Сибири (район Хантейской гемиантеклизы). Выделены следующие типы карбонатов: а) первичные биогенные – прослой ракушняков и остатки кокколита; б) диа- и катагенетические – в различной степени перекристаллизованные породы с кокколитами, конкреции и радиоляриты; в) катагенетические – трещины, залеченные кальцитом в известняках подошвы баженовской свиты. Определено, что кристаллизация карбонатного материала конкреций происходила в различных условиях: в придонной части осадков и на более поздних стадиях диагенеза. Источником кальцита для конкреций являлись известковый нанопланктон и раковины двустворок. Карбонатность разрезов убывает в следующей последовательности: Южно-Ягунская → Повховская → Новортыгунская → Дружная площади, что связывается как с фациальными особенностями, так и с различными физико-химическими условиями диа- и катагенеза. При помощи анализа фильтрационно-емкостных свойств и геохимических параметров органического вещества определены типы карбонатов, являющиеся потенциальными коллекторами. Преобразованность органического вещества увеличивается в северо-восточном направлении от Южно-Ягунской к Повховской площади, что подтверждено молекулярными параметрами катагенеза. Карбонатные породы подошвенной части баженовской свиты на Южно-Ягунской площади схожи по строению с основными нефтеотдающими коллекторами Салымского и Краснотенинского месторождений.

**Ключевые слова:** баженовская свита, карбонатные породы, изотопный анализ, черные сланцы, геохимия органического вещества

**Для цитирования:** Эдер В.Г., Костырева Е.А., Юрченко А.Ю., Балущкина Н.С., Сотнич И.С., Козлова Е.В., Замирайлова А.Г., Савченко Н.И. (2019). Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири. *Георесурсы*, 21(2), с. 129-142. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>

## Введение

Со времени получения первых притоков нефти из черносланцевой баженовской свиты высказывались мнения о приуроченности коллекторов к присутствующим в ее разрезах карбонатным породам (М.Ю. Зубков, В.В. Мормышев, В.Д. Немова, И.И. Нестеров, В.П. Сонич и др.). Карбонатные коллекторы известкового и/или доломитового состава выявлены в баженовской свите (БС) в отдельных скважинах на Салымском месторождении, на ряде месторождений западного склона Сургутского свода и Краснотенинском своде, что ранее было отмечено в работах В.И. Белкина, В.П. Ефремова, М.Ю. Зубкова, Е.Е. Карнюшиной, И.Ш. Усманова, Ю.Э. Халимова и др.

Изучением литологического состава и условий образования карбонатных пород баженовской свиты занимались Е.А. Предтеченская и др. (2006), О.А. Важенина (2009), Н.С. Балущкина и др. (2016), А.Ю. Юрченко (2015, 2017), В.Д. Немова (2012, 2017), А.Д. Коробов (2015, 2017)

и др. Авторами сделаны выводы о неравномерности распределения карбонатного материала по латерали, вторичной доломитизации в катагенезе на территории Краснотенинского свода, Широкого Приобья и юго-восточных районов Западно-Сибирского бассейна (ЗСБ).

В настоящей статье приводятся данные о литологическом составе, распространении, фильтрационно-емкостных свойствах, геохимии органического вещества и генезисе карбонатного материала БС в пределах центральной части Западной Сибири в относительно малоизученном районе Хантейской гемиантеклизы (Южно-Ягунская, Дружная, Новоортыгунская и Повховская площади) (рис. 1). Актуальность настоящего исследования определяется тем, что единого представления о процессах формирования карбонатных разностей баженовской свиты не существует.

## Геологическая характеристика БС

В Западно-Сибирском осадочном бассейне в верхнеюрскую эпоху в период трансгрессии происходило накопление осадков черносланцевой баженовской свиты (Захаров, 2006; Конюхов, 2012; Конторович и др.,

\* Ответственный автор: Вика Георгиевна Эдер  
E-mail: [edervika@gmail.com](mailto:edervika@gmail.com)

© 2019 Коллектив авторов

2013 и др.). Свита в настоящее время рассматривается в качестве основного нетрадиционного источника углеводородов России (U.S. Energy Information Administration, 2015; и др.). Стратиграфический диапазон БС по находкам многочисленных остатков макро- и микрофауны определяется в пределах верхней части нижневолжского подъяруса – низов рязанского яруса (верхняя половина нижнего титона – низы верхнего берриаса) (Шурыгин, Дзюба, 2015). Толщина свиты в центральных районах изменяется от 20 до 40 м (Брадучан и др., 1986; и др.), глубины залегания варьируют от 2500 до 3500 м, пластовые температуры – 95-160°C (Фомин и др., 2014). БС представлена тонкослоистыми и тонкокристаллическими породами (микститами кремнистыми, кремнисто-карбонатными, глинисто-кремнистыми и силицитами) черного цвета, сложенными хемобиогенным кремнистым и карбонатным материалами, с небольшой примесью глинистой компоненты, часто не превышающей 20% (Ушатинский, Ибрагимов, 1982; Занин и др., 1999; Zanin et al., 2008; Эдер и др., 2015b). Микротекстуры пород тонко-линзовидно-слоистые или массивные, свидетельствующие о спокойном гидродинамическом режиме во время седиментации (Zanin et al., 2008). Одним из важнейших компонентов пород БС является органическое вещество и пирит, содержания каждого из которых изменяются в пределах от 5 до 25%.

### Методы

Микроскопические исследования состава пород и их структурно-минералогических особенностей включали петрографический анализ в поляризационных микроскопах Olympus BX60 и Carl Zeiss AXIO Lab.A1. Основная часть разрезов центральных районов ЗСБ характеризуется 100% выходом керна. Отбор образцов БС этих разрезов на аналитические исследования был произведен через минимальный интервал (0,1 м). Химический анализ пород с определением основных породообразующих компонентов ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $BaO$ ) выполнен

методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре ARL-9900-XP. Определение содержания в породах серы сульфидной, сульфатной и форм железа осуществлено методами «мокрой химии». По результатам анализов проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике О.М. Розена с соавторами (2000). Порядок операций этого пересчета определяется последовательным решением отдельных задач. В первую очередь вычисляются содержания акцессорных и второстепенных компонентов по стехиометрическим составам, затем производится расчет алюмосиликатов и гиббсита на основании распределения алюминия между соответствующими минералами. По остаткам химических компонентов вычислены содержания силикатов, окислов и карбонатов в соответствии с избытком или недостатком компонентов. По результатам пересчета химических анализов на минеральный состав каждому образцу присвоено литологическое название, согласно принятой классификации (Конторович и др., 2016).

Геохимические исследования органического вещества включают пиролитический анализ по методу Rock Eval. Пиролиз проводился на анализаторе Source Rock Analyzer (SRA) – TPH/TOC (Weatherford Laboratory, Instr. Division). Определение содержания органического углерода выполнялось также весовым полумикрометодом с помощью экспресс-анализатора (АН-7529) на углерод (при температуре 1000-1100°C в токе кислорода) из нерастворимого остатка (НО) породы после ее обработки 10% соляной кислотой.

Определение содержания битумоидов выполнено по усовершенствованным методикам, описанным в работах (Конторович и др., 2018). При определении группового состава битумоидов методом элюентной жидкостной хроматографии выделены фракции насыщенных углеводородов, ароматических соединений, смол (бензольных и спиртобензольных) и асфальтенов. Принципы методики

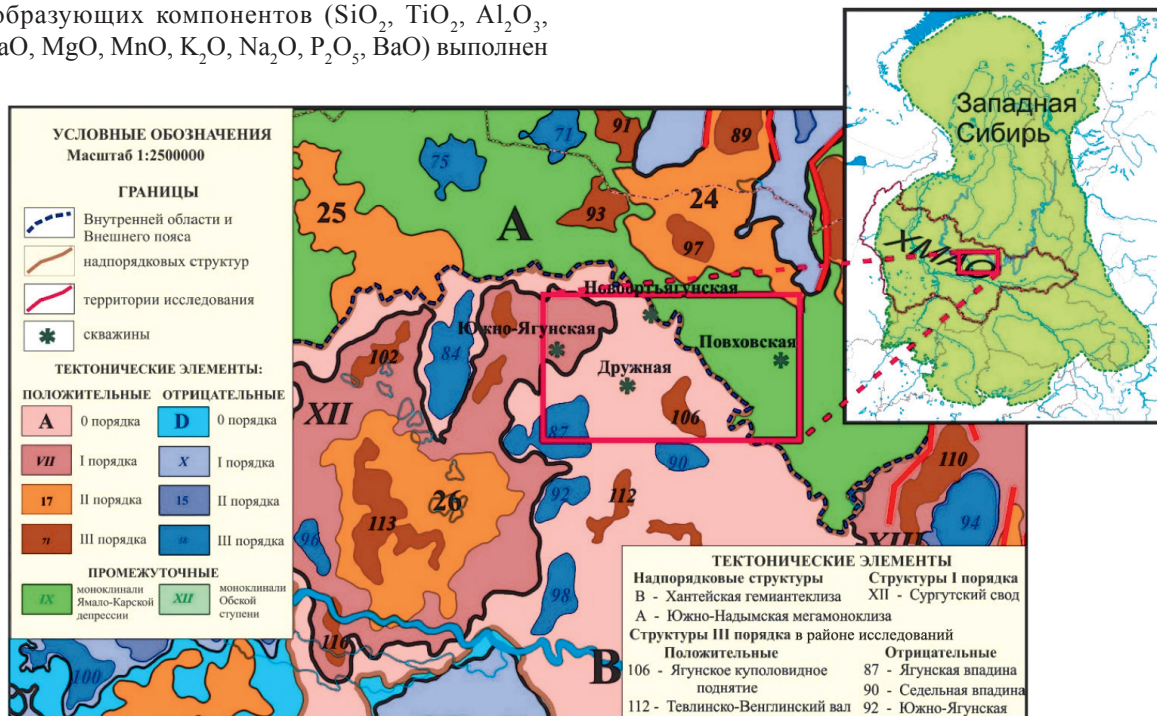


Рис. 1. Карта расположения изученных разрезов баженовской свиты. Тектоническая основа – Конторович и др., 2001.

хроматографии изложены в работах (Руководство по анализу..., 1966; Современные методы..., 1984 и др.). Далее исследования проводились на молекулярном и атомном уровнях. Алканы нормального и изопреноидного строения проанализированы методом газожидкостной хроматографии на хроматографах «Маэстро ГХ 7820» с пламенно-ионизационным детектором. Хромато-масс-спектрометрические исследования насыщенных и ароматических фракций проведены на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890N, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N.

Для измерения пористости и проницаемости использована автоматизированная система «AP-608» производства Core Systems США. Исследование проведено по методу нестационарной газифiltrации.

Изотопный анализ проведен на комплексе оборудования для анализа стабильных изотопов легких элементов Delta V Advantage. Высушенные, измельченные образцы подвергались обработке 105% полифосфорной кислотой на линии пробоподготовки Gas Bench II, подключенной непосредственно к масс-спектрометру. Анализировался состав стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}C$ ) и кислорода ( $\delta^{18}O$ ) углекислого газа, выделившегося в результате реакции карбонатов с кислотой. Точность измерений контролировалась по международному стандарту NBS-19. Изотопные значения указаны в ‰ относительно VPDB.

Для расчета палеотемператур для кальцита использована формула (Kim, O'Neil, 1997), отражающая зависимость фракционирования стабильных изотопов кислорода между водой и осаждающимся кальцитом от температуры, при которой происходит осаждение.  $\delta^{18}O$  морской воды принималась -1‰VPDB – среднее значение, рассчитанное с учетом изотопного состава кислорода неизмененных ростров белемнитов, строящих свой скелет с использованием углерода и кислорода из окружающей морской воды.

Для уточнения температур кристаллизации жильного кальцита проведено исследование флюидных включений (анализ проводил ведущий научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН Прокофьев В.Ю.). Микротермометрия флюидных включений выполнялась при помощи измерительного комплекса, созданного на основе микротермокамеры THMSG-600 фирмы «Linkam» (Англия), микроскопа «Olimpusl» (Япония), видеокamеры и управляющего компьютера. В жильном кальците присутствуют двухфазовые газо-жидкие включения. Комплекс позволяет в режиме реального времени производить измерения температур фазовых переходов в интервале от -196° до 600°C, наблюдать за ними при больших увеличениях и получать цифровые микрофотографии. Концентрация солей для включений рассчитывалась по температуре плавления льда, с использованием данных из работы (Vodnar, Vityk, 1994). Солевой состав растворов определялся по температурам эвтектики (Борисенко, 1977). Оценки концентраций солей, плотностей водного раствора, а также температурных поправок на давление 270 бар проводились с использованием программы «FLINCOR» (Brown, 1989).

## Результаты и обсуждение

Основным карбонатным минералом в БС изучаемой территории является кальцит, в меньшей степени доломит. Карбонатность пород в исследуемых разрезах убывает сверху вниз: от 30-80% в верхней пачке до 2-3 % (редко до 10%) в средней и нижней пачках в разрезах, где отсутствует карбонатная пачка. По результатам литологического изучения БС района исследования установлено, что для ее верхней («кокколитовой») пачки характерны известковые микститы с остатками кокколит, конкреции и линзы-прослои (рис. 2).

В средней части свиты линзы и прослои, представленные кальцитом, встречаются реже. Для этого интервала характерны многочисленные микропрослои ракушнякаков. В подошве некоторых разрезов БС присутствуют карбонатизированные радиоляриты, в других разрезах наблюдается карбонатный слой, сложенный в верхней части апорадиоляритами, в нижней – микривыми известняками с остатками кокколит, с брекчированными прослоями и трещинами, залеченными кальцитом. Как можно видеть из рисунка 3, по среднему содержанию карбонатных минералов в породах изучаемые разрезы Хантейской гемиянтеклизы существенно отличаются.

Наиболее карбонатным является разрез БС Южно-Ягунской площади, расположенной на Сургутском своде, в котором конкреции преимущественно известкового состава присутствуют и в средней, и в верхней частях разреза. В породах этого разреза преобладает кальцит. Близким по среднему содержанию карбонатов является разрез БС Повховской площади, в котором по сравнению с БС Южно-Ягунской площади, понижено среднее содержание кальцита и несколько повышено содержание доломита. Разрезы БС Новоуртыгунской, и в особенности, Дружной площадей отличаются от рассмотренных выше разрезов пониженным содержанием карбонатов (рис. 3).

Развитие карбонатной фауны в период формирования баженовского горизонта в районе Южно-Ягунской площади связывается с двумя факторами: 1. существованием

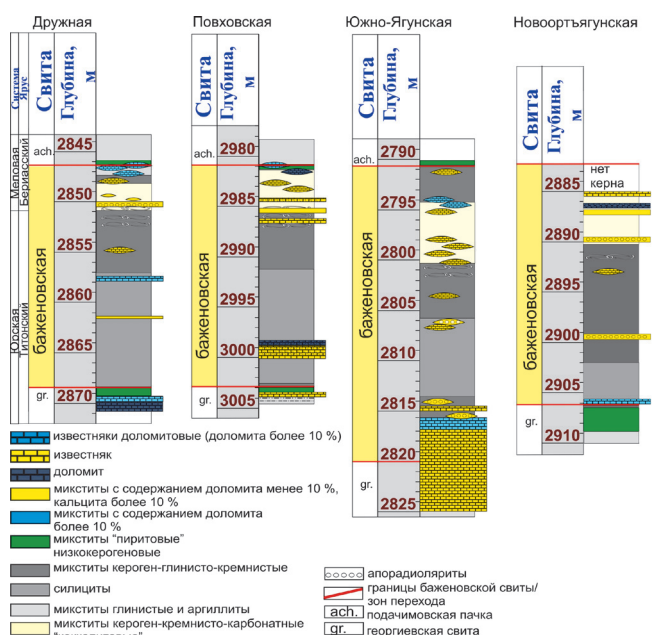


Рис. 2. Литологические колонки баженовской свиты Хантейской гемиянтеклизы

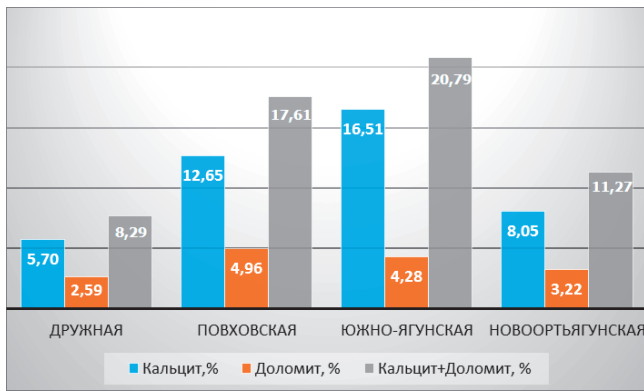


Рис. 3. Гистограмма распределений средних содержаний кальция, доломита и их сумм в породах баженовской свиты Хантейской гемиянтеклизы

теплых течений в титон-берриаском палеобассейне, как предполагалось ранее В.А. Захаровым (2006); и/или 2. фациальными особенностями района, включая особенности палеорельефа морского дна (локальные поднятия), что рассмотрено ранее Е.А. Предтеченской и др. (2006). Повышенная температура водной среды в первом случае, в свою очередь, способствовала увеличению щелочности среды, что создавало условия для отложения карбонатного материала. На Повховской площади повышенные содержания кальция, в меньшей степени доломита, связаны с развитием процессов вторичной карбонатизации.

Ниже представлена более подробная характеристика разных типов карбонатных пород БС.

### «Кокколитовая пачка» (микститы кремнисто-карбонатные)

Верхняя пачка БС в районе исследования представлена микститамы кремнисто-карбонатными и характеризуется наиболее высокими содержаниями  $S_{org}$  по разрезу БС (13-20%). Мощность пачки составляет 3-4 м, редко до 6 м. Основным источником известкового материала верхней пачки БС является, главным образом, известковый нанопланктон. Подтверждением этого заключения служат находки реликтов кокколитофоридовых водорослей практически во всех образцах верхней пачки БС, установленные при исследовании в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Остатки кокколит имеют кольцевидную форму, диаметр – 5-10 мкм. По данным изучения шлифов, реликты кокколит в рассматриваемых отложениях сосредоточены в тонких частых линзочках удлиненной формы толщиной 0,02-0,03 мм, длиной 0,07-0,1 мм, расположенных по напластованию (рис. 4).

Значения  $\delta^{13}C$  в кокколитовых прослоях изменяются от -12,6 до -1,9 ‰ VPDB,  $\delta^{18}O$  – от -14,0 до -2,2 ‰ VPDB. Изотопные данные указывают, что карбонатный материал кокколит частично претерпел перекристаллизацию в диа- и катагенезе (рис. 5).

Наиболее легкие значения  $\delta^{13}C$  характерны для образцов Дружной площади (-12,6 ÷ -11,0‰), что указывает на присутствие помимо седиментогенной (изотопно-тяжелой) углекислоты, изотопно-легкой углекислоты, формирующейся при разложении органического вещества (ОВ) и/или углеводородов (УВ).

Содержание нерастворимого остатка в микститах кремнисто-карбонатных более 50% на породу,

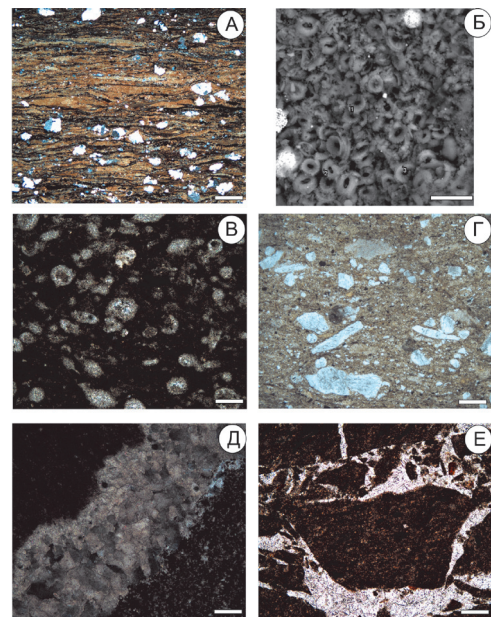


Рис. 4. Породы баженовской и георгиевской свит Хантейской гемиянтеклизы. А – микстит кероген-карбонатно-кремнистый с линзами кокколит. Дружная площадь. Глубина 2850,7 м. Б – реликты кокколит верхней пачки баженовской свиты. Новоуръягунская площадь. Глубина 2887,9 м. В – известняк радиоляриевый. Южно-Ягунская площадь. Глубина 2815,9 м. Г – обломки кальция в известняке георгиевской свиты. Южно-Ягунская площадь. Глубина 2816,9 м. Д – трещина, залеченная микросталлическим кальцитом. Южно-Ягунская площадь. Глубина 2818,9 м. Е – разнонаправленные трещины в известняке керогеновом георгиевской свиты. Южно-Ягунская площадь. Глубина 2817, 2 м. Масштаб: А, В-Е – 150 мкм, Б – 10 мкм.

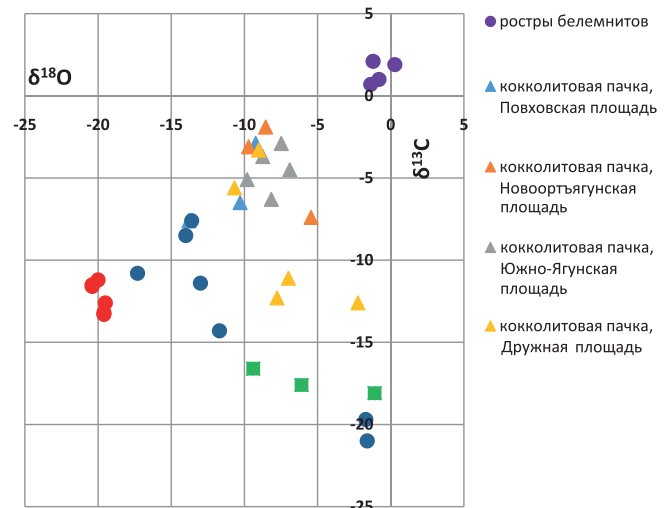


Рис. 5. Изотопный состав углерода и кислорода в исследованных карбонатных породах

концентрация  $S_{org}$  высокая, в большинстве образцов 10-15% на породу. Содержание углеводородов, уже генерированных ОВ ( $S_1$ ) повышенное и изменяется от 4,0 до 9,5 мг УВ/г породы. Большой разброс значений отмечается для остаточного генерационного потенциала, измеряемого пиком  $S_2$  (40-107 мг УВ/г породы). Считается, что индекс продуктивности  $PI=S_1/(S_1+S_2)$  зависит в большей степени от миграционных процессов (Меленевский, 1991; и др.). В большинстве образцов этот показатель не превышает 0,1. По значениям водородного индекса можно судить о нефтегенерационных свойствах органического

вещества (Лопатин, Емец, 1987; Лопатин и др., 1998). В 85% образцов ОВ обладает богатым нефтегенерационным потенциалом ( $HI = 400-570 \text{ мгУВ/гC}_{\text{орг}}$ ). Выход хлороформного экстракта (битумоида) изменяется в широких пределах от 0,1 до 0,8% на породу. В групповом составе всех экстрактов доминируют углеводороды (до 70%). Битумоидный коэффициент в большинстве образцов невысокий (<4%). Значения отношения насыщенных УВ к ароматическим изменяется от 0,5 до 2,9. На асфальтены приходится не более 5%. Кривая распределения нормальных алканов ( $C_{11}-C_{40}$ ) одномодальная с максимумом на низкомолекулярных  $n-C_{16}$ - $n-C_{19}$  (10-15% от суммы нормальных алканов) (рис. 6).

Значения отношения пристана к фитану (Pr/Ph) меньше 1,0. Коэффициент CPI =  $((n-C_{25} + n-C_{27} + n-C_{29} + n-C_{31} + n-C_{33}) / (n-C_{26} + n-C_{28} + n-C_{30} + n-C_{32} + n-C_{34}) + (n-C_{25} + n-C_{27} + n-C_{29} + n-C_{31} + n-C_{33}) / (n-C_{24} + n-C_{26} + n-C_{28} + n-C_{30} + n-C_{32})) / 2 \approx 1$  (по Peters, Walters, Moldowan, 2005). В составе стеранов соотношение гомологов  $C_{27}:C_{28}:C_{29}:C_{30}$  в среднем равно 39:28:25:8 (значение отношения стеранов  $C_{29}$  к  $C_{27}$  <1). Среди тритерпанов доминируют гопаны (до 70% на сумму тритерпанов  $C_{27}-C_{35}$ ). На трицикланы ( $C_{19}-C_{31}$ ) приходится более 20-25%. Концентрация моретанов и тетрацикланов не превышает 2-3%. Как видно из рисунка 7, на Южно-Ягунской и Дружной площадях доминируют фенантрены и метилфенантрены в отличие от Повховской площади, где в максимальной концентрации находятся метил- и диметилфенантрены. На Южно-Ягунской площади также идентифицируются такие соединения, как 1, 1, 7, 8-тетраметил-, 2, 3, 4-тетрагидрофенантрен и 1-метил-, 7-изопропилфенантрен (ретен) и повышенные концентрации среди триметилфенантренов 1, 7, 8-триметилфенантрена, которые ранее были идентифицированы и в горючих сланцах куонамского комплекса Сибирской платформы (Каширцев и др., 2018).

В составе дибензотиофеновых соединений на Южно-Ягунской и Дружной площадях доминируют дибензотиофены и метилдибензотиофены, на Повховской – метил- и -диметилдибензотиофены. Значение отношения триароматических стероидов к моноароматическим на Южно-Ягунской площади изменяется от 2 до 6. На Повховской и Дружной моноароматические стероиды находятся в следовых концентрациях. По составу УВ-биомаркеров насыщенной и ароматической фракций органическое вещество аквагенное. Отличие ОВ заключается в степени его преобразованности в отдельных скважинах, что отчетливо видно по распределению углеводородов и ароматических соединений, хотя по углепетрографическим ( $R_{\text{vt}}^0 = 0,7$ ) и пиролитическим параметрам ( $T_{\text{max}} = 440^\circ\text{C}$ ) ОВ находится на одной стадии катагенеза  $MK_1^2$  (Фомин, 2011; Костырева, Сотнич, 2017; Конторович и др., 2018 и др.). Наиболее преобразовано ОВ Повховской площади, на что указывают более высокие значения отношений  $1/Ki = (n-C_{17} + n-C_{18}) / (Pr + Ph) - (2-3)$ ,  $Ts/Tm$  (1,2-1,3),  $DBTI = 2 + 3MDBT/DBT$  (1,5-2,0),  $PP-1 = 1MP / (2MP + 3MP) - (0,9-1,5)$ ,  $PP-1 \text{ modified} = (1MP + 9MP) / (2MP + 3MP) - (2-3)$ , рассчитанные по литературным источникам (Конторович и др., 2004; Peters, Walters, Moldowan, 2005; Гончаров и др., 2004, 2013; и др.). Органическое вещество Южно-Ягунской площади, как видно из рис. 7, 8, менее всего преобразовано, и средние значения основных параметров, определяющих степень преобразованности ОВ по сравнению с Повховской уменьшаются в среднем в 1,5-3 раза.

Как было отмечено ранее (Эдер и др., 2017), верхняя «кокколитовая» пачка БС характеризуется присутствием значительного количества карбонатных конкреций, в связи с этим проследить какую-либо слоистость на этом интервале не представляется возможным. Исключение представляет разрез Новоортъягунской площади, в котором конкреции отсутствуют и наблюдается переслаивание

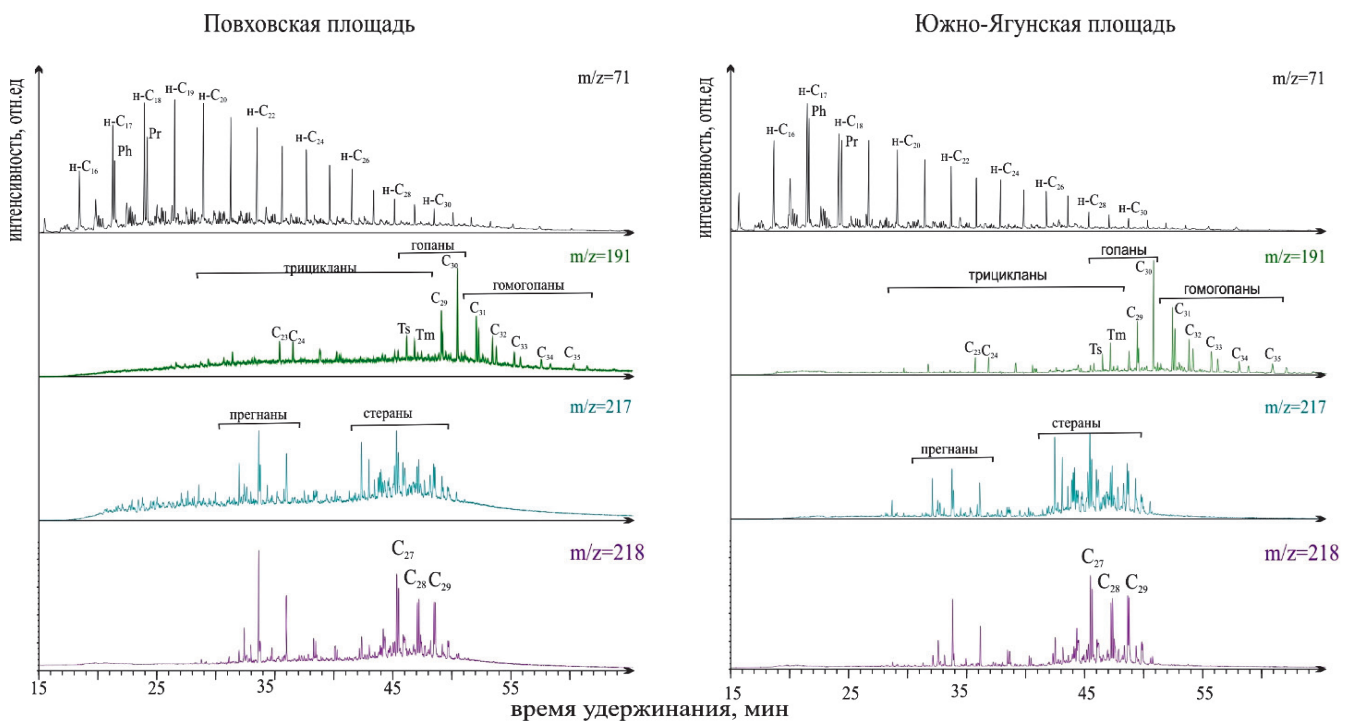


Рис. 6. Типовые масс-фрагментогаммы нормальных алканов ( $m/z=71$ ), стеранов ( $m/z=217, 218$ ) и терпанов ( $m/z=191$ ) насыщенной фракции битумоидов базеновской свиты. Pr – пристан, Ph – фитан,  $n-C_n$  – нормальные алканы, где  $n$  – количество атомов углерода,  $T_s$  – триснорнеогопан  $C_{27}$ ,  $T_m$  – трисноргопан  $C_{27}$ .

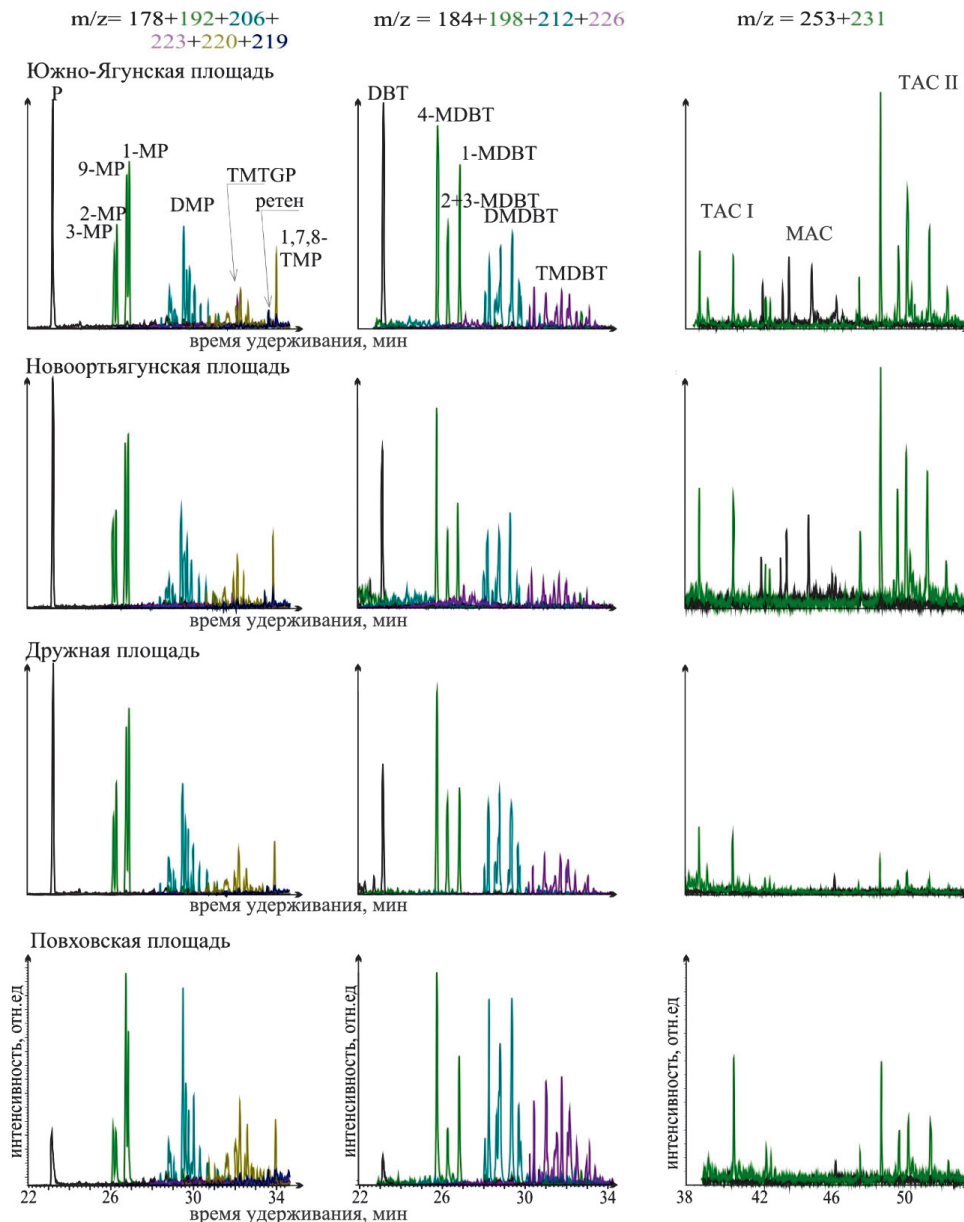


Рис. 7. Типовые масс-фрагментограммы фенантронов ( $m/z=178+192+206+220$ ), дибензотиофенов ( $m/z=184+198+212+226$ ), моно- и триароматических стероидов ( $m/z=253+231$ ) ароматической фракции битумоидов баженовской свиты. P – фенантрен, MP – метилфенантроны, DMP – диметилфенантроны, TMP – триметилфенантроны, TMTGP – 1,1,7,8-тетраметил-1,2,3,4-тетрагидрофенантрен ( $m/z=223$ ), ретен – 1-метил,7-изопропилфенантрен ( $m/z=219$ ), DBT – дибензотиофен, MDBT – метилдибензотиофены, TMDT – триметилдибензотиофены, MAC – моноароматические стероиды, TAC – триароматические стероиды.

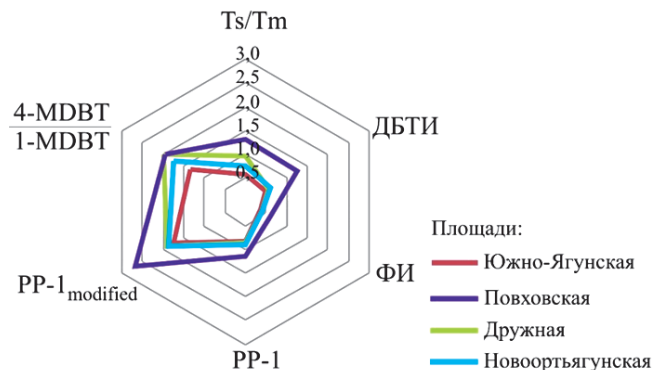


Рис. 8. Наиболее значимые молекулярные параметры (средние значения) для определения степени преобразования органического вещества баженовской свиты.  $DBTI=2+3MDBT/DBT$ ;  $ФИ=2MP/P$ ;  $PP-1=1MP/(2MP+3MP)$ ;  $PP-1modified=(1MP+9MP)/(2MP+3MP)$ , остальные условные обозначения см. на рис. 6, 7.

микститов кероген-глинисто-кремнистых и кероген-кремнисто-карбонатных с реликтами кокколлит. Толщина этих прослоев составляет 3-5 см.

Как известно, БС является возрастным аналогом кимериджской формации, по составу и условиям формирования они существенно отличаются (Конюхов, 2012; и др.). Кимериджская формация была сформирована в условиях шельфа и характеризуется ритмичным строением – чередованием карбонатных и низкокарбонатных тонкозернистых осадков (Pearson et al., 2004; и др.). БС образовалась в условиях эпиконтинентального моря, главным образом, в его глубоководной части. По данным ряда исследователей (Конторович и др., 2013) глубины баженовского моря составляли 200-400 м. В краевых частях бассейна условия для накопления высокоуглеродистых пород были неблагоприятными, в связи с повышенным сносом аллотигенного материала (Конторович и др., 2013). Во время

ее осадконакопления в течение долгого периода времени преобладала кремнистая хемобиогенная седиментация, которая на заключительном этапе формирования БС сменилась на карбонатно-кремнистую (Ясович, Поплавская, 1975; Эдер и др., 2015а). До недавнего времени считалось, что для БС не характерна ритмичность. Переслаивание пород, насыщенных реликтами кокколита и прослоев, обедненных ими в БС Новоорьгунской площади, позволяет сделать выводы о некоторой периодичности распространения известкового нанопланктона на заключительной стадии осадконакопления БС. К этим же выводам пришел Н. Трибовиллард с соавторами (Tribovillard et al., 1994) изучая причины цикличности в Кимериджской формации.

Необходимо отметить, что мощность «кокколитовой» пачки в районе Хантейской гемиантеклизы заметно сокращена (3-4 м) по сравнению с БС Мансийской синеклизы (8-10 м). В пределах, каждой из этих структур встречаются разрезы БС, с близкой мощностью (6-7 м) кокколитовой пачки (Южно-Ягунская и Чупальская площади), что, по-видимому, обусловлено локальными фаціальными особенностями. Распространение на территории ЗСБ в БС «кокколитовой» пачки, характеризуемой высокими сопротивлениями и повышенными значениями содержания керогена, рассмотрено ранее (Ясович, Поплавская, 1975; Эдер и др., 2015а).

Развитие известковой фауны в период перехода от юры к мелу (Ясович, Поплавская, 1975; Панченко и др., 2015, 2016) привело к смене состава осадков баженковского палеоморя – с биогенных кремнистых до карбонатно-кремнистых. Подобная смена биогенной седиментации в рассматриваемый период наблюдалась и в Тетическом поясе, и связывается с перестройкой геохимической обстановки в океанических водах северного полушария (Эдер и др., 2015а).

### Карбонатные конкреции в «кокколитовой» пачке

Отличительной чертой рассматриваемых разрезов БС, по сравнению с Салымским, Красноленинским типом разреза и БС южных и юго-восточных районов ЗСБ (Эдер и др., 2015б; Балушкина и др., 2016; и др.) является широкое распространение карбонатных конкреций диаметром 7-12 см и линз-прослоев толщиной 0,5-1,5 см в верхней и средней пачках свиты. В основном конкреции имеют четкие резкие границы с вмещающей породой, в единичных случаях наблюдается переходная сантиметровая зона между конкрецией и породой. По наблюдениям в сканирующем микроскопе установлено, что материал конкреции представлен микрокристаллическим кальцитом, переходная зона – таким же материалом, но с реликтами кокколитофорид, вмещающая порода содержит значительное количество реликтов нанофоссилий, упомянутых выше. В ряде случаев в изучаемых разрезах наблюдаются конкреции, одна сторона которых окаймлена реликтом раковины двустворки. Подобное соседство указывает на выщелачивание и перераспределение известкового материала.

Таким образом, по результатам изучения образцов в керне и в СЭМ получены подтверждения, что источником известковых конкреций в БС служили в верхней части свиты главным образом кокколитофоридовые водоросли, в средней – раковины двустворок.

Определено, что в карбонатных конкрециях БС изученных разрезов Хантейской гемиантеклизы, за исключением БС Дружной площади, по мере приближения к верхней границе свиты в конкрециях возрастает содержание доломита с 5-10 до 15-50%. Предполагается, что рассматриваемые конкреции подверглись процессам доломитизации в катагенезе.

Известно, что большая часть карбонатных конкреций начинает формироваться в раннем диагенезе (Страхов, 1960; Criss et al., 1988; и др.). В литературе неоднократно упоминались находки фаунистических реликтов внутри этих образований, в том числе отпечатков рыб (Criss et al., 1988 и др.). Большинство авторов пришли к выводу, что вокруг отдельных отмерших организмов при их разложении в диагенезе создавалась щелочная среда, благоприятная для отложения карбонатов (Bernier, 1968; и др.). Интенсивность карбонатного конкрециообразования определяется количеством органического вещества (Страхов, 1960; Krajewski, 2004 и др.).

Как было отмечено ранее для БС Новоорьгунской площади карбонатные конкреции не характерны. Причина, почему здесь не произошло образование карбонатных конкреций, на данный момент не совсем понятна, имея в виду, что среднее содержание карбонатных минералов в БС Новоорьгунской площади несколько превышает их содержание в БС Дружной площади, где конкреции в верхней части свиты широко распространены.

Содержание нерастворимого остатка в карбонатных конкрециях значительно ниже, чем в кремнисто-карбонатных микститах «кокколитовой» пачки и не превышает 26% на породу. Концентрация  $C_{орг}$  изменяется от 1,6 до 5,2%, при среднем всего 3,2%. В конкрециях также более низкие значения пиков  $S_1$  (1,2-3,7 мг УВ/г породы) и  $S_2$  (6,3-22,6 мг УВ/г породы). Индекс продуктивности повышенный (0,10-0,16). ОВ обладает богатым нефтегенерационным потенциалом ( $HI = 414-509$  мгУВ/г  $C_{орг}$ ). Выход хлороформенного экстракта в большинстве образцов не превышает 0,2% на породу. Битумоидный коэффициент изменяется от 3 до 9%. В групповом составе всех экстрактов доминируют углеводороды (до 70%). Значения отношения насыщенных УВ к ароматическим больше единицы. На асфальтены приходится 5-10%. Распределение основных групп углеводородов-биомаркеров насыщенной и ароматической фракций идентично вышеописанному. Несмотря на наличие миграционной компоненты в составе ОВ, все породы этой части разреза характеризуются низкой пористостью ( $K_n < 2\%$ ) и не являются коллекторами.

По данным изотопного анализа, в конкрециях карбонатного состава БС  $\delta^{13}C$  изменяется от -18,1 до -16,6 ‰.  $\delta^{18}O$  варьирует в широких пределах от -9,4 до -1,1 ‰, что указывает на кристаллизацию карбонатного материала в различных условиях: в придонной части осадков (наиболее высокие значения  $\delta^{18}O$ ; рассчитанные температуры 12-21 °С) и на более поздних стадиях диагенеза, с возможной перекристаллизацией в катагенезе (низкие значения  $\delta^{18}O$ ; температуры 28-39 °С, до 58 °С).

### Карбонатизированные радиоляриты

На Повховской площади в подошве БС присутствует пачка мощностью около 3 м известняка тонко- и микрокристаллического с реликтовой радиоляриевой

структурой (рис. 4В). В ряде случаев радиоляриты в процессе литификации вмещающих отложений могут быть подвергнуты кальцитизации. Попадая в щелочную среду карбонатного субстрата, опал радиолярий начинает растворяться с постепенной кальцитизацией. В некоторых случаях отложения этого типа подвергаются доломитизации. Содержание нерастворимого остатка в карбонизированном радиолярите сопоставимо с карбонатными конкрециями (9-30%) мощностью 0,1 м, содержание керогена в этом прослое самое низкое (1-2%) для карбонатных разностей баженовской свиты. Эти породы отличаются от вышележащих также свечением при ультрафиолетовом освещении и пиролитическими характеристиками ( $S_1=1,6-2,6$  и  $S_2=4,8-9,5$  мг УВ/г породы). Высокий индекс продуктивности (0,16-0,32) и значительные вариации водородного индекса (312-544 мгУВ/гC<sub>орг.</sub>) могут являться свидетельством неравномерного распределения в отложениях миграционного битумоида. Содержание хлороформенного экстракта изменяется от 0,10 до 0,29% на породу. Битумоидный коэффициент высокий (10-31%), что также говорит о миграционных процессах. В групповом составе битумоидов доминируют углеводороды – до 64% (значения отношения насыщенных УВ к ароматическим >1). На асфальтены приходится от 5 до 10%. Распределение основных групп углеводородов-биомаркеров насыщенной и ароматической фракций идентично вышеописанному.

Коллекторские свойства пород этого интервала низкие, пористость не превышает 2,5%, в большинстве образцов – менее 1%.

Свидетельства катагенетической доломитизации известны в отложениях различного возраста (Bausch, Hoefs, 1972; Mastuda, Iijima, 1989; Farr, 1992; Предтеченская, и др., 2009; Коробов и др., 2017; и др.). По изотопным данным определено, что доломитизированные радиоляриты баженовской свиты формировались в стадию катагенеза (Немова, 2012; Балушкина и др., 2016; Немова, Панченко, 2017; Eder et al., 2018). По результатам исследований В.Д. Немовой (2012), доломитизация баженовских радиоляритов происходила в конце раннего катагенеза (температура около 100°C) при активизации процессов дегидратации глин. Выделившиеся щелочные растворы мигрировали из-под матрицы в единственный проницаемый слой – окремненный радиолярит, что привело к выщелачиванию кремнезема, росту кристаллов доломита, формированию апордиоляритовых кремнистых доломитов со вторичным пустотным пространством. По мнению ряда авторов, в результате дегидратации глин также высвобождается значительное количество магнезия, необходимого для доломитизации пород в катагенезе (Страхов, 1960; Юдович, Кетрис, 1988; 2008; Немова, 2012; Коробов и др., 2015, 2017). Именно эти породы, согласно (Балушкина и др., 2016; Немова, Панченко, 2016; Spiridonov, Kolpakov, 2018; и др.), рассматриваются в качестве наиболее емких коллекторов на некоторых месторождениях (Средне-Назымское и др.).

### Карбонатный пласт с реликтами радиолярий и кокколит

В разрезе одной из скважин Южно-Ягунской площади на границе баженовской и георгиевской свит выделяется карбонатный пласт мощностью 3,85 м, сложенный

известняками микритовыми (рис. 4Г-Е) черными или светло-бурыми на сколе и светло-бурыми и серыми на поверхности выветривания, трещиноватыми, иногда брекчированными. Микротекстура – от однородной до косослоистой, обусловленной наличием светлых карбонатных прослоев с относительно пониженным содержанием пирита и керогена толщиной 2-5 см. Угол наклона прослоев 30-45°, границы между прослоями резкие, некоторые из них выклиниваются (рис. 9). Основная масса породы представлена микрокристаллическим известковым материалом. В этом прослое также наблюдается яснокристаллический кальцит, развитый по трещинам и жилам, в большом количестве пронизывающим породу. Он выполняет роль заполнителя в брекчированных участках. В основной массе распространены реликты радиолярий (0,05-0,2 мм) субокруглой или овальной формы с более темным ядром, представленные тонко- и микрокристаллическим кальцитом, и единичные остатки раковин двустворок. Содержание нерастворимого остатка в карбонатном пласте ≤25%, а в переходном к нему слое 40-50%. Содержание органического углерода в карбонатном пласте изменяется от 2 до 5%, а в переходном – 8-9%. Породы характеризуются неравномерным нефтенасыщением. В кровле карбонатного пласта наблюдается брекчированный, нефтенасыщенный прослой толщиной 0,3 м. Порода пахнет нефтью, характеризуется неравномерным свечением в желтых и бурых тонах в ультрафиолетовом освещении. Нефтенасыщение подтверждается данными пиролиза – повышенными значениями параметров  $S_1$  (до 8,4 мг УВ/г породы),  $S_2$  (до 37,3 мг УВ/г породы) и индекса продуктивности PI (до 0,18). Водородный индекс достигает 756 мгУВ/гC<sub>орг.</sub> Выход хлороформенного экстракта изменяется в широких пределах от 0,1 в переходном слое до 3,92 в нефтенасыщенном прослое.

Битумоидный коэффициент в карбонатном пласте такой же высокий (10-20%), как и в апордиоляритовом слое, достигая даже 98% в нефтенасыщенном прослое, что свидетельствует о миграционных процессах. В групповом составе битумоидов также доминируют углеводороды до 63% (значения отношения насыщенных УВ к ароматическим ≥0,7). На асфальтены приходится всего 2-4%. Распределение основных групп углеводородов-биомаркеров насыщенной и ароматической фракций идентично вышеописанному.

Результаты анализа фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) показали, что породы карбонатного пласта, расположенного на границе БС и подстилающей ее георгиевской свиты района исследования характеризуются низкими значениями фильтрационно-емкостных свойств и не являются коллекторами. Вероятно, уменьшение объема порового пространства вызвано интенсивными процессами вторичной кальцитизации межформенного пространства и перекристаллизации с образованием микритовых разностей (<0,05 мм). Другим фактором, отрицательно сказавшимся на емкости пород, явилось заполнение порового пространства остаточным битуминозным веществом. К нефтенасыщенному коллектору отнесен только маломощный прослой известняков в верхней части пласта, характеризующихся не только наличием миграционных битумоидов, но также обладающих повышенными значениями ФЕС.



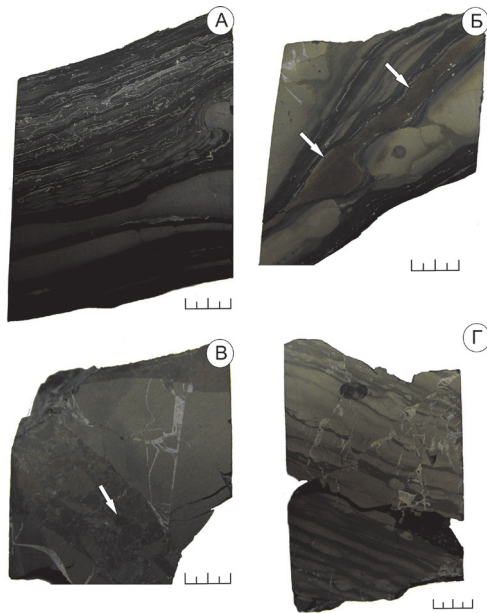


Рис. 9. Образцы керна карбонатного пласта на границе баженовской и георгиевской свит. Южно-Ягунская площадь. А – переслаивание карбонатных и низкокарбонатных высокоуглеродистых пород зоны перехода между баженовской и абалакской свитами; Б – нефтенасыщенная карбонатная линза (стрелка); В – брекчированный известняк георгиевской свиты с трещинами, залеченными кальцитом. Некоторые карбонатные обломки нефтенасыщены (стрелки); Г – переслаивание карбонатных высоко- и низкоуглеродистых пород георгиевской свиты.

Распределение стабильных изотопов указывает на осаждение карбонатного материала на поверхности или в придонной части осадков (рассчитанные температуры 15-17°C) в результате микробальной переработки метана, за счет чего в осаждающихся карбонатах происходит выборочное накопление легкого изотопа углерода (Reitner et al., 2005).

Брекчированность пород, наличие многочисленных трещин и жил, выполненных яснокристаллическим высокотемпературным кальцитом, указывает на сходство в строении пласта с основными нефтеотдающими трещинными и кавернозными коллекторами Салымского, Краснотеннинского и других месторождений. Необходимо дальнейшее изучение карбонатных пород этого типа на других участках для уточнения временного и пространственного распределения известкового нанопланктона в рассматриваемый промежуток времени, для уточнения условий формирования этих толщ. Отдельной задачей стоит детальное изучение вторичных процессов в подобных толщах, приводящих к формированию коллекторской емкости или утрате породами фильтрационно-емкостных свойств, для повышения качества прогноза нефтеносности.

Повышенные значения фильтрационно-емкостных свойств –  $K_{п}$  6,69-7,96%,  $K_{пр}$  0,011-0,056 мД, характерны только для маломощного прослоя известняков в верхней

части пласта, где было зафиксировано нефтенасыщение. Остальные породы характеризуются низкими значениями фильтрационно-емкостных свойств и не являются коллекторами.

По результатам изучения изотопного состава  $\delta^{13}C$  и  $\delta^{18}O$ , известняки разделились на две группы по соотношению стабильных изотопов. Известняки первой группы значительно обогащены легким изотопом углерода ( $\delta^{13}C$  до -21 ‰ VPDB) при значениях  $\delta^{18}O$ , схожих с неизменными раковинами морских организмов ( $0 \pm 4$  ‰). Вторая группа изотопно более тяжелая по углероду ( $\delta^{13}C$  от -12,5 до -7,6 ‰ VPDB), но более легкая по кислороду ( $\delta^{18}O$  от -14,2 до -9 ‰ VPDB), что свидетельствует о вторичной природе известкового материала, кристаллизовавшегося при повышенной температуре в катагенезе (рассчитанные температуры кристаллизации – от 56 до 91°C) (Фор, 1989). Жильный кальцит по изотопным характеристикам близок к вторичным карбонатам матрицы ( $\delta^{13}C$  от -11 до -14,3 ‰ VPDB) и характеризуется более легкими значениями  $\delta^{18}O$  ( $\delta^{18}O$  от -20,4 до -11,7 ‰ VPDB), что указывает на его кристаллизацию в условиях повышенных температур в катагенезе или из гидротермальных растворов (рассчитанная температура от 118 до 210°C).

В исследованных образцах в жильном кальците присутствуют двухфазовые газопо-жидкие включения, что позволило выполнить микротермометрию флюидных включений для более точного расчета температур его кристаллизации. Результаты термо- и криометрических исследований 20 индивидуальных флюидных включений в жильном кальците (табл. 1) показали, что в составе растворов двухфазовых флюидных включений преобладали хлориды Na, K и Mg. Об этом свидетельствуют хлоридные эвтектики растворов включений в температурном интервале от -35 до -37°C.

### Основные выводы

В изучаемых отложениях баженовской свиты Хантейской гемиантеклизы выделены следующие известковые образования: а) первичные биогенные – прослои ракушняка и остатки кокколита («кокколитовая» пачка); б) диа- и катагенетические – в различной степени перекристаллизованные породы с кокколитами, конкреции и апорадиоляриты (карбонатные конкреции, апорадиоляриты и карбонатный слой); в) катагенетические – трещины, залеченные кальцитом в карбонатном слое подошвы БС.

Характерной чертой БС Хантейской гемиантеклизы является присутствие многочисленных известковых конкреций в верхней, в меньшей степени, средней частях свиты. Основным источником этих образований в первом случае служили кокколиты, во втором – раковины двустворок. Кристаллизация карбонатного материала конкреций происходила в различных условиях: в придонной части осадков (температуры 12-21°C) и на более поздних

Образец	Кол-во замеров	$T_{гом.}, ^\circ C$	$T_{эвт.}, ^\circ C$	$T_{пл.льда}, ^\circ C$	$C_{солей}, мас. \% экв. NaCl$	$d, г/см^3$	$T_{крист.}, ^\circ C$ (при $P = 270$ бар)
306П, 296	7	187-136	-37	-1.8	3.0	0.91-0.95	201-151
306П, 302	2	187	-37	-2.6	4.2	0.91	202
	3	177	-35	-3.5	5.6	0.93	192
306П, 309	8	135	-35	-3.5	5.6	0.97	150

Табл. 1. Результаты исследования флюидных включений в жильном кальците

стадиях диагенеза, с возможной перекристаллизацией в катагенезе (температуры 28-39°C, до 58°C).

Жильный кальцит карбонатного пласта подошвы БС формировался в катагенезе при температуре 150-202°C.

На территории исследования характер распределения и генезис карбонатного материала в подошве БС различен.

• Изученные разрезы БС отличаются по среднему содержанию кальцита и доломита. Карбонатность разрезов убывает в следующей последовательности: Южно-Ягунская → Повховская → Новорытунская → Дружная площади, что связывается как с фациальными особенностями, благоприятными для развития карбонатной фауны, так и с различным характером развития вторичной карбонатизации пород.

• На Повховской площади в подошве БС присутствует пласт карбонатизированного радиоларита с низкими фильтрационно-емкостными свойствами. На Южно-Ягунской площади известковые, в меньшей степени доломитовые, скрыто- и микрокристаллические породы в подошве баженовской свиты являются нефтенасыщенными и обладают повышенными фильтрационно-емкостными свойствами в верхней части. На Дружной и Новоорытунской площадях карбонатные пласты в подошве БС отсутствуют.

Органическое вещество в разных типах карбонатных пород баженовской свиты в пределах одной площади отличается только по содержанию  $C_{орг}$ , выходам битумоидов, значениям пиролитических характеристик, оставаясь неизменным по составу насыщенной и ароматической фракций. Характер распределения индивидуальных соединений в битумоидах каждого типа карбонатных пород на территории Хантейской гемиантеклизы зависит, по-видимому, от степени преобразованности ОВ, залегающего на разных глубинах. Преобразованность ОВ увеличивается в северо-восточном направлении от Южно-Ягунской к Повховской площади, что подтверждено молекулярными параметрами катагенеза.

Карбонатные породы подошвенной части баженовской свиты на Южно-Ягунской площади схожи по строению с основными нефтеотдающими коллекторами Салымского и Красноленинского месторождений.

## Благодарности

Авторы высказывают глубокую благодарность академику А.Э. Конторовичу за предоставление материалов работы и обсуждение результатов исследования, аналитикам Л.А. Горчуковой, И.М. Фоминых, Н.Г. Кармановой, (ИГМ СОРАН), выполнявшим геохимические анализы пород ОВ, М.А. Павловой и Л.Г. Вакуленко за полезные советы и редактирование текста статьи.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0021 «Основные седиментационные и постседиментационные процессы и закономерности их эволюции в протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнах Сибири», ФНИ № 0331-2019-0022 «Органическая геохимия и история геологического развития доминантных нефтегазовых систем верхнего протерозоя и фанерозоя Сибири».

Авторы выражают благодарность рецензенту за ценные критические замечания и рекомендации, которые способствовали улучшению содержания статьи.

## Литература

- Балушкина Н.С., Юрченко А.Ю., Калмыков Г.А., Коробова Н.И., Петракова Н.Н., Бугаев И.А. (2016). Условия образования и нефтенасыщенность карбонатных коллекторов баженовской и абалакской свит. *Нефтяное хозяйство*, 1, с. 32-35.
- Борисенко А.С. (1977). Изучение солевого состава газовой жидкой включений в минералах методом криометрии. *Геология и геофизика*, 8, с. 16-27.
- Бочкарев В.С. (1985). Раннемезозойский этап развития Западно-Сибирской геосинеклизы. *Основные проблемы геологии Западной Сибири. Тр. ЗапСибНИГНИ*. Вып. 200, с. 21-34.
- Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др. (1986). Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 217 с.
- Важенина О.А. (2009). Особенности палеогеографии и карбонатонакопления в баженовской и абалакской свитах Широкого Приобья (Западная Сибирь). *Вестник Томского государственного университета*, 327, с. 218-223.
- Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Носова С.В. (2004). Молекулярные параметры катагенеза органического вещества пород баженовской свиты Томской области. *Геология нефти и газа*, 5, с. 53-60.
- Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Фадеева С.В. (2013). Катагенез органического вещества пород баженовской свиты юго-востока Западной Сибири (Томская область). *Нефтяное хозяйство*, 10, с. 32-37.
- Гурари Ф.Г. (1983). Глинистые битуминозные толщи – новый тип коллекторов нефти и газа. *Коллекторы нефти и газа и флюидопоры*. Новосибирск: Наука, 159 с.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Меленевский В.Н. (1999). О двух вещественно-генетических типах черных сланцев баженовской свиты. *Доклады АН СССР*, 368(1), с. 91-94.
- Захаров В.А. (2006). Условия формирования волжско-берриаской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии. *Эволюция биосферы и биоразнообразия*. М: Товарищество научных изданий КМК, с. 552-568.
- Каширцев В.А., Парфенова Т.М., Головки А.К., Никитенко Б.Л., Зуева И.Н., Чалая О.Н. (2018). Биомаркеры-фенантры в органическом веществе докембрийских и фанерозойских отложений и в нефтях Сибирской платформы. *Геология и геофизика*, 59(10), с. 1720-1729. DOI: 10.15372/GiG20181013
- Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Карогодин Ю.Н., Конторович В.А., Лебедева Н.К., Никитенко Б.Л., Попова Н.И., Шурыгин Б.Н. (2014). Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде. *Геология и геофизика*, 55(5-6), с. 745-776. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.05.005>
- Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. (2013). Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде. *Геология и геофизика*, 54(8), с. 972-1012. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>
- Конторович А.Э., Костырева Е.А., Родякин С.В., Сотнич И.С., Ян П.А. (2018). Геохимия битумоидов баженовской свиты. *Геология нефти и газа*, 2, с. 79-88. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-2-79-88
- Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Иванова Е.Н., Фомин А.Н. (2004). Фенантры, ароматические стераны и дибензотиофены в юрских отложениях Западно-Сибирского нефтегазового бассейна и их значение для органической геохимии. *Геология и геофизика*, 45 (7), с. 873-883.
- Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. (2016). Классификация пород баженовской свиты. *Геология и геофизика*, 57(11), с. 2034-2043. DOI: 10.15372/GiG20161106
- Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. (2001). Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое. *Геология и геофизика*, 42(11-12), с. 1832-1845.
- Конюхов А.И. (2012). Нефтематеринские отложения на мезозойских и кайнозойских окраинах материков. Сообщение 1. Нефтематеринские отложения на окраинах материков в триас-юрское и неокон-аптское время. *Литология и полезные ископаемые*, 5, с. 451-470.
- Коробов А.Д., Коробова Л.А., Морозов В.П. (2015). Линейные зоны вторичной доломитизации пород-коллекторов Тевлинско-Рускинского месторождения – индикаторы путей миграции нефтеносного флюида. *Нефтяное хозяйство*, 9, с. 52-56.
- Коробов А.Д., Коробова Л.А., Морозов В.П., Заграновская Д.Е., Захарова О.А. (2017). Аутигенный доломит высокобитуминозных баженовских отложений – показатель завершающей стадии генерации углеводородов. *Нефтяное хозяйство*, 4, с. 41-43. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-4-41-43

- Костырева Е.А., Сотнич И.С. (2017). Геохимия органического вещества баженовской свиты севера Хантейской гемиантеклизы. *Геология и геофизика*, 58(3-4), с. 533-543. DOI: 10.15372/GiG20170316
- Лопатин, Н.В., Емец Т.П. (1987). Пиролиз в нефтегазовой геохимии. М: Наука, 144 с.
- Лопатин, Н.В., Емец Т.П., Симоненкова О.И., Эрбен Ж.-П. (1998). Баженовская нефтяная генерационно-аккумуляционная система на западе Хантейской антеклизы. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 5, с. 2-27.
- Меленевский В.Н. (1991). Методические рекомендации по применению пиролитических методов моделирования в органической геохимии. Новосибирск: Наука. 48 с.
- Немова В.Д. (2012). Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 7(2), с. 1-14.
- Немова В.Д., Панченко И.В. (2017). Локализация приточных интервалов баженовской свиты и их емкостное пространство на Средне-Назымском месторождении. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 12(1), с. 1-24. DOI: 10.17353/2070-5379/11\_2017
- Панченко И.В., Балушкина Н.С., Барабошкин Е.Ю., Вишневская В.С., Калмыков Г.А., Шурекова О.В. (2015). Комплексы палеобиоты в абалакско-баженовских отложениях центральной части Западной Сибири. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 10(2), с. 1-29. DOI: 10.17353/2070-5379/24\_2015
- Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. (2016). Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керн и ГИС. *Геология нефти и газа*, 6, с. 22-34.
- Предтеченская Е.А., Шиганова О.В., Фомичев А.С. (2009). Катагенетические и гидрохимические аномалии в нижне-среднеюрских нефтегазоносных отложениях Западной Сибири как индикаторы флюидодинамических процессов в зонах дизъюнктивных нарушений. *Литосфера*, 6, с. 54-65.
- Предтеченская Е.А., Кроль Л.А., Гурари Ф.Г., Сапьяник В.В., Перозин Г.Н., Малюшко Л.Д. (2006). О генезисе карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты. *Литосфера*, 4, с. 131-148.
- Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. (2000). Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ. *Геохимия*, 4, с. 431-444.
- Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород (для лабораторий геологоразведочных организаций). (1966). Под ред. В.А. Успенского, К.Ф. Родионовой, А.И. Горской, А.П. Шишковой. Л.: Недра, 315 с.
- Современные методы исследования нефтей (справочно-методическое пособие). (1984). Под ред. А.И. Богомолова, М.Б. Темянко, Л.И. Хотынцевой. Л.: Недра, 432 с.
- Страхов Н.М. (1960). Основы теории литогенеза. Книга II. М: АН СССР, 574 с.
- Ушатинский И.Н., Ибрагимов Т.А. (1982). Особенности литологического строения баженовской свиты (месторождения Большой Салым). *Нефтегазовая геология и геофизика*, 11, с. 12-13.
- Фомин А.Н. (2011). Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 331 с.
- Фомин А.Н., Беляев С.Ю., Красавчиков В.О., Истомин А.В. (2014). Факторы катагенеза органического вещества в юрских отложениях Западно-Сибирского мегабассейна. *Геология нефти и газа*, 1, с. 127-133.
- Фор Г. (1989). Основы изотопной геологии. М: Мир, 590 с.
- Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. (2015). Границы юры и мела на севере Сибири и борельно-тетическая корреляция приграничных толщ. *Геология и геофизика*, 56(4), с. 830-844.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Хабаров Е.М., Ян П.А. (2015а). Особенности формирования баженовской свиты при переходе от юры к мелу в центральной части Западной Сибири. *Литосфера*, 3, с. 17-32.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Жигульский И.А. (2015б). Особенности литологического состава основных типов разрезов баженовской свиты. *Геология нефти и газа*, 6, с. 96-106.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Ян П.А. (2017). Закономерности распространения кремнистых пород и «кокколитовой» пачки баженовской свиты. *Геология и геофизика*, 58(3-4), с. 511-521. DOI: 10.15372/GiG20170314
- Юрченко А.Ю. (2017). Формирование вторичных карбонатных пород верхнеабалакско-баженовской толщи Салымского, Правдинского и Малобалыкского нефтяных месторождений Западной Сибири. *Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук*. М: МГУ, 22 с.
- Юрченко А.Ю., Балушкина Н.С., Калмыков Г.А., Хамидуллин Р.А., Коробова Н.И., Блинова В.Н. (2015). Строение и генезис известняков на границе абалакской и баженовской свит в центральной части Западно-Сибирского бассейна. *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*, 5, с. 62-68.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1988). Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 272 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1988). Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 564 с.
- Bausch W., Hoefs J. (1972). Isotopic composition of dolomites and calcites from the Upper Jurassic of Southern Germany. *Contrib. Mineral Petrology*, 37(2), pp. 121-130. <https://doi.org/10.1007/BF00371071>
- Berner R.A. (1968). Calcium carbonate concretions formed by the decomposition of organic matter. *Science*, 159, pp. 195-197.
- Bodnar R. J., Vityk M. O. (1994). Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions. *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignano: Siena, pp. 117-130.
- Brown P. (1989). FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *Amer. Mineralogist*, 74, pp. 1390-1393.
- Reitner J., Peckmann J., Blumenberg M. et al. (2005). Concretionary methane-seep carbonates and associated microbial communities in Black Sea sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227(1-3), pp. 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.04.033>
- Criss R.E., Cookie G.A., Day S.D. (1988). An organic origin for the carbonate concretions of the Ohio Shale. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 21 p.
- Eder V.G., Föllmi K.B., Zanin Y.N., Zamirailova A.G. (2018). Manganese carbonates in the Upper Jurassic Georgiev formation of the Western Siberian marine basin. *Sedimentary Geology*, 363, pp. 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.11.012>
- Farr M.R. (1992). Geochemical variation of dolomite cement within the Cambrian Bonnetterre Formation, Missouri: Evidence for fluid mixing. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62(4), pp. 636-651. <https://doi.org/10.1306/D4267979-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Kim, S.-T. and O'Neil, J.R. (1997). Equilibrium and non-equilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, pp. 3461-3475.
- Krajewski K.P. (2004). Carbon and oxygen isotopic survey of diagenetic carbonate deposits in the Agardhfjellet Formation (Upper Jurassic), Spitsbergen: preliminary results. *Polish Polar research*, 1(1), pp. 27-43.
- Maastuda H., Iijima A. (1989). Occurrence and genesis of Permian dolostone in the Kuzuu area, Tochigi Prefecture, Central Japan. *Journal of the Faculty of Science, the University of Tokyo, Section 2, Geology, Mineralogy, Geography, Geophysics*, 22(1), pp. 89-119.
- Pearson, S.J., Marshall, J.E.A. and Kemp, A.E.S. (2004) The White Stone Band of the Kimmeridge Clay Formation, an integrated high resolution approach to understanding environmental change. *Journal of the Geological Society*, 161(4), pp. 675-683.
- Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. (2005). The biomarker guide. V.2. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Cambridge University Press, 1155 p.
- Spiridonov D.A., Kolpakov V.V. (2018). Geological Structure and Oil Content of the Bazhenov Formation Central part of the West Siberian Plate. *Saint Petersburg 2018: 8th Saint Petersburg International Conference and Exhibition Saint Petersburg 2018. Innovations in Geosciences – Time for Breakthrough*. Saint Petersburg, pp. 44623-44623.
- Tribovillard N., Desprairies A., Lallier-Vergès E., Bertrand P., Moureaux N. (1994). Geochemical study of organic-matter rich cycles from the Kimmeridge Clay Formation of Yorkshire (UK): productivity versus anoxia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108(1-2), pp. 165-181. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90028-0)
- U.S. Energy Information Administration. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Russia Independent Statistics & Analysis (2015). U.S. Department of Energy Washington, DC. [https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Russia\\_2013.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Russia_2013.pdf)
- Zanin Y.N., Eder V.G., Zamirailova A.G. (2008). Composition and formation environments of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous black shale Bazhenov Formation (the central part of the West Siberian Basin). *Marine and Petroleum Geology*, 25(3), pp. 289-306. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.07.009>

**Сведения об авторах**

*Вика Георгиевна Эдер* – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д. 3  
Тел: +7 (383) 323 33 03, e-mail: edervg@ipgg.sbras.ru

*Елена Анатольевна Костырева* – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии нефти и газа, Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д. 3

*Анна Юрьевна Юрченко* – кандидат геол.-мин. наук Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

*Наталья Сергеевна Балушкина* – кандидат геол.-мин. наук, научный сотрудник кафедры геологии горючих полезных ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

*Инга Сергеевна Сотнич* – младший научный сотрудник лаборатории геохимии нефти и газа, Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д. 3

*Елена Владимировна Козлова* – кандидат геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник Центра добычи углеводородов, Сколковский институт науки и технологий

Россия, 143026, Москва, ул. Нобеля, д. 3, территория Инновационного Центра «Сколково»

*Альвина Григорьевна Замирайлова* – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии, Института нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д. 3

*Наталья Ивановна Савченко* – аспирант кафедры геологии горючих полезных ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Статья поступила в редакцию 19.03.2019;

Принята к публикации 23.04.2019; Опубликована 20.05.2019

IN ENGLISH

## New data on lithology, organic geochemistry and accumulation conditions of the Bazhenov formation in Western Siberia

V.G. Eder<sup>1\*</sup>, E.A. Kostyreva<sup>1</sup>, A.Yu. Yurchenko<sup>2</sup>, N.S. Balushkina<sup>2</sup>, I.S. Sotnich<sup>1</sup>, E.V. Kozlova<sup>3</sup>, A.G. Zamiraylova<sup>1</sup>, N.I. Savchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russian Federation

\*Corresponding author: Vika G. Eder, e-mail: edervika@gmail.com

**Abstract.** This paper presents data on lithological composition, distribution, reservoir properties, geochemistry of organic matter and genesis of carbonate rocks of the Bazhenov formation within the central part of Western Siberia (the region of the Khantei hemianteclise). The following types of carbonates are distinguished: a) primary biogenic – shell rock interlayers and residues of coccolith; b) dia- and catagenetic – in varying degrees, recrystallized rocks with coccoliths, nodules and aporadiolarites; c) catagenetic – cracks healed with calcite in limestone of the foot of the Bazhenov formation. It was determined that the crystallization of the carbonate material of nodules took place in various conditions: in the bottom part of the sediments and in the later stages of diagenesis. The source of calcite for nodules was calcareous nanoplankton or bivalve shells. The carbonate content of the cuts decreases in the following sequence: Yuzhno-Yagunsky → Povkhovsky → Novortyagunsky → Druzhny areas, which are associated both with facial features and various physicochemical conditions of diagenesis and catagenesis. Transformation of organic matter increases in the northeast direction from South Yagunsky to Povkhovsky area, which is confirmed by molecular parameters of catagenesis. The carbonate rocks of the bottom part of the Bazhenov formation in the South

Yagunsky area are similar in structure to the main oil-bearing reservoirs of the Salym and Krasnoleninsky fields.

**Keywords:** Bazhenov formation, carbonate rocks, isotopic analysis, black shales, geochemistry of organic matter

**Recommended citation:** Eder V.G., Kostyreva E.A., Yurchenko A.Yu., Balushkina N.S., Sotnich I.S., Kozlova E.V., Zamiraylova A.G., Savchenko N.I. (2019). New data on lithology, organic geochemistry and accumulation conditions of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Georesursy = Georesources*, 21(2), pp. 129-142. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>

### References

- Balushkina N.S., Yurchenko A.Yu., Kalmykov G.A., Korobova N.I., Petrakova N.N., Bugaev I.A. (2016). Genesis and oil bearing capacity of carbonate rocks of Bazhenov and Abalak formations. *Neftyanoe khozyaistvo = Oil industry*, 1, pp. 32-35. (In Russ.)
- Bausch W., Hoefs J. (1972). Isotopic composition of dolomites and calcites from the Upper Jurassic of Southern Germany. *Contrib. Mineral Petrology*, 37(2), pp. 121-130. <https://doi.org/10.1007/BF00371071>
- Berner R.A. (1968). Calcium carbonate concretions formed by the decomposition of organic matter. *Science*, 159, pp. 195-197.
- Bochkarev V.S. (1985). Early Mesozoic stage of development of the West Siberian geosyncline. The main problems of geology of Western Siberia. *Tr. ZapSibNIGNI*, is. 200, pp. 21-34. (In Russ.)
- Bodnar R. J., Vityk M. O. (1994). Interpretation of microthermometric

data for H<sub>2</sub>O–NaCl fluid inclusions. *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignano: Siena, pp. 117-130.

Borisenko A.S. (1977). The study of salt composition of gas-liquid inclusions in minerals by cryometry. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 8, pp. 16-27. (In Russ.)

Braduchan Yu.V., Gurari F.G., Zakharov V.A. et al. (1986). Bazhenovskii gorizont Zapadnoi Sibiri (stratigrafiya, paleogeografiya, ekosistema, neftenosnost') [Bazhenov horizon of the Western Siberia (stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil content)]. Novosibirsk: Nauka, 217 p. (In Russ.)

Brown P. (1989). FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *Amer. Mineralogist*, 74, pp. 1390-1393.

Criss R.E., Cookie G.A., Day S.D. (1988). An organic origin for the carbonate concretions of the Ohio Shale. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 21 p.

Eder V.G., Föllmi K.B., Zanin Y.N., Zamirailova A.G. (2018). Manganese carbonates in the Upper Jurassic Georgiev formation of the Western Siberian marine basin. *Sedimentary Geology*, 363, pp. 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.11.012>

Eder V.G., Zamirailova A.G., Yan P.A. (2017). Regularities of the distribution of siliceous mudstones and "coccolith" member of the Bazhenov Formation. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 58(3-4), pp. 511-521. DOI: 10.15372/GiG20170314. (In Russ.)

Eder V.G., Zamirailova A.G., Zanin Yu.N., Khabarov E.M., Yan P.A. (2015a). Features of the black shale Bazhenov Formation on the transition from Jurassic to Cretaceous in the central part of the Western Siberia. *Litosfera = Lithosphere*, 3, pp. 17-32. (In Russ.)

Eder V.G., Zamirailova A.G., Zanin Yu.N., Zhigul'skii I.A. (2015b). Lithological structural features of the main types of the Bazhenov Formation sections. *Geologiya nefii i gaza = Oil and Gas Geology*, 6, pp. 96-106. (In Russ.)

Farr M.R. (1992). Geochemical variation of dolomite cement within the Cambrian Bonnetterre Formation, Missouri: Evidence for fluid mixing. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62(4), pp. 636-651. <https://doi.org/10.1306/D4267979-2B26-11D7-8648000102C1865D>

Fomin A. N. (2011). Katagenez organicheskogo veshchestva i neftegazonosnost' mezozoiskikh i paleozoiskikh otlozhenii Zapadno-Sibirskogo megabasseina [Catagenesis of organic matter and petroleum potential of the Mesozoic and Paleozoic sediments of the West Siberian megabasin]. Novosibirsk: INGG SO RAN, 331 p. (In Russ.)

Fomin A.N., Belyaev S.Yu., Krasavchikov V.O., Istomin A.V. (2014). Organic matter catagenesis factors in the Jurassic sediments of the West Siberian megabasin. *Geologiya nefii i gaza = Geology of oil and gas*, 1, pp. 127-133. (In Russ.)

For G. (1989). Osnovy izotopnoi geologii [Basics of isotope geology]. Moscow: Mir Publ., 590 p. (In Russ.)

Goncharov I.V., Samoilenko V.V., Oblasov N.V., Fadeeva S.V. (2013). Catagenesis of organic matter of the Bazhenov Formation rocks in the southeast of West Siberia (Tomsk region). *Neftyanoe khozyaistvo = Oil industry*, 10, pp. 32-37. (In Russ.)

Goncharov I.V., Samoilenko V.V., Oblasov N.V., Nosova S.V. (2004). Molecular parameters of OM catagenesis of Bazhenov suite of Tomsk area. *Geologiya nefii i gaza = Oil and Gas Geology*, 5, pp. 53-60. (In Russ.)

Gurari F.G. (1983). Glinistye bituminoznye tolshchi – novyi tip kollektorov nefii i gaza. Kollektory nefii i gaza i flyuidouopy [Clay bituminous strata is a new type of oil and gas reservoir. Oil and gas reservoirs and fluid seal]. Novosibirsk: "Nauka" Publ., 159 p. (In Russ.)

Kashirtsev V.A., Parfenova T.M., Golovko A.K., Nikitenko B.L., Zueva I.N., Chalaya O.N. (2018). Phenanthrene biomarkers in the organic matter of precambrian and phanerozoic deposits and in oils of the Siberian platform. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 59(10), pp. 1720-1729. DOI: 10.15372/GiG20181013. (In Russ.)

Kim, S.-T. and O'Neil, J.R. (1997). Equilibrium and non-equilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, pp. 3461-3475.

Kontorovich A.E., Ershov S.V., Kazanenkov V.A., Karogodin Yu.N., Kontorovich V.A., Lebedeva N.K., Nikitenko B.L., Popova N.I., Shurygin B.N. (2014). Cretaceous paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 55(5-6), pp. 582-609. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.05.005>

Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Ryzhkova S.V., Shurygin B.N., Vakulenko L.G., Gaideburova E.A., Danilova V.P., Kazanenkov V.A., Kim N.S., Kostyreva E.A., Moskvina V.I., Yan P.A. (2013). Jurassic paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 54(8), pp. 747-779. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>

Kontorovich A.E., Kostyreva E.A., Rodyakin S.V., Sotnich I.S., Yan P.A. (2018). Geochemistry of the Bazhenov Formation bitumoids. *Geologiya nefii i gaza = Oil and Gas Geology*, 2, pp. 79-88. (In Russ.) DOI: 10.31087/0016-7894-2018-2-79-88

Kontorovich A.E., Melenevskii V.N., Ivanova E.N., Fomin A.N. (2004). Phenanthrenes, aromatic steranes and dibenzothiophenes in the Jurassic sediments of the West Siberian oil and gas basin and their importance for organic geochemistry. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 45 (7), pp. 873-883. (In Russ.)

Kontorovich A.E., Yan P.A., Zamirailova A.G., Kostyreva E.A., Eder V.G. (2016). Classification of rocks of the Bazhenov formation. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 57(11), pp. 2034-2043. (In Russ.) DOI: 10.15372/GiG20161106

Kontorovich V.A., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.E., Krasavchikov V.O., Kontorovich A.A., Suprunenko O.I. (2001). Tectonic structure and history of the development of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 42(11-12), pp. 1832-1845. (In Russ.)

Konyukhov A.I. (2012). Oil source sediments on the Mesozoic and Cenozoic margins of the continents. Message 1. Oil source deposits on the outskirts of the continents in the Triassic and Jurassic and Neocom-Aptian times] *Litologiya i poleznye iskopaemye = Lithology and Mineral Resources*, 5, pp. 451-470. (In Russ.)

Korobov A.D., Korobova L.A., Morozov V.P. (2015). Linear zones of secondary dolomitization of reservoir rocks of Tevlinsko-Russkinskoye field – markers of migrations paths of oil-bearing fluid. *Neftyanoe khozyaistvo = Oil industry*, 9, pp. 52-56. (In Russ.)

Korobov A.D., Korobova L.A., Morozov V.P., Zagranovskaya D.E., Zakharova O.A. (2017). Authigenic dolomite of high bitumen Bazhenov deposits as an indicator of the final stage of hydrocarbon generation. *Neftyanoe khozyaistvo = Oil industry*, 4, pp. 41-43. (In Russ.) DOI: 10.24887/0028-2448-2017-4-41-43.

Kostyreva E.A., Sotnich I.S. (2017). Geochemistry of organic matter of the Bazhenov Formation in the north of the Khantei antecline. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 58(3-4), pp. 434-442. DOI: 10.15372/GiG20170316.

Krajewski K.P. (2004). Carbon and oxygen isotopic survey of diagenetic carbonate deposits in the Agardhfjellet Formation (Upper Jurassic), Spitsbergen: preliminary results. *Polish Polar research*, 1(1), pp. 27-43.

Lopatin, N.V., Emets T.P. (1987). Piroлиз v neftegazovoi geokhimi [Pyrolysis in oil and gas geochemistry]. Moscow: "Nauka" Publ., 144 p. (In Russ.)

Lopatin, N.V., Emets T.P., Simonenkova O.I., Erben Zh.-P. (1998). Bazhenov oil generation and accumulation system in the west of the Khantei antecline. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii = Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 5, pp. 2-27. (In Russ.)

Maastuda H., Iijima A. (1989). Occurrence and genesis of Permian dolostone in the Kuzuu area, Tochigi Prefecture, Central Japan. *Journal of the Faculty of Science, the University of Tokyo, Section 2, Geology, Mineralogy, Geography, Geophysics*, 22(1), pp. 89-119.

Melenevskii V.N. (1991). Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu piroliticheskikh metodov modelirovaniya v organicheskoi geokhimi [Guidelines for the use of pyrolytic modeling techniques in organic geochemistry]. Novosibirsk: «Nauka» Publ., 48 p. (In Russ.)

Nemova V.D. (2012). Conditions of reservoir formation in deposits of Bazhenov strata within the junction of Krasnolenin arch and Frolov megadepression. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 7(2), pp. 1-14. (In Russ.) [http://www.ngtp.ru/rub/4/23\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf)

Nemova V.D., Panchenko I.V. (2017). Localization of inflow intervals and storage volume of the Bazhenov formation, Middle-Nazym oil field. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 12(1), pp. 1-24. (In Russ.) DOI: 10.17353/2070-5379/11\_2017

Panchenko I.V., Balushkina N.S., Baraboshkin E.Yu., Vishnevskaya V.S., Kalmykov G.A., Shurekova O.V. (2015). Complexes of paleobiota in Abalak-Bazhenov deposits in the central part of Western Siberia. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 10(2), pp. 1-29. DOI: 10.17353/2070-5379/24\_2015. (In Russ.)

Panchenko I.V., Nemova V.D., Smirnova M.E., Il'ina M.V., Baraboshkin E.Yu., Il'ina V.S. (2016). Stratification and detailed correlation of the Bazhenov horizon in the central part of the Western Siberia according to lithological and paleontological core analysis and well logging. *Geologiya nefii i gaza = Oil and Gas Geology*, 6, pp. 22-34. (In Russ.)

Pearson, S.J., Marshall, J.E.A. and Kemp, A.E.S. (2004) The White Stone Band of the Kimmeridge Clay Formation, an integrated high resolution

approach to understanding environmental change. *Journal of the Geological Society*, 161(4), pp. 675-683.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. (2005). The biomarker guide. V.2. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 1155 p.

Predtechenskaya E.A., Krol' L.A., Gurari F.G., Sap'yanik V.V., Perozio G.N., Malyushko L.D. (2006). On the genesis of carbonates in the composition of the Bazhenov suite of the central and south-eastern regions of the West Siberian plate. *Litosfera = Lithosphere*, 4, pp. 131-148. (In Russ.)

Predtechenskaya E.A., Shiganova O.V., Fomichev A.S. (2009). Catagenetic and hydrochemical anomalies in the Lower-Middle Jurassic oil and gas sediments of Western Siberia as indicators of fluid-dynamic processes in the areas of disjunctive disorders. *Litosfera = Lithosphere*, 6, pp. 54-65. (In Russ.)

Reitner J., Peckmann J., Blumenberg M. et al. (2005). Concretionary methane-seep carbonates and associated microbial communities in Black Sea sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227(1-3), pp. 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.04.033>

Rozen O.M., Abbyasov A.A., Migdisov A.A., Yaroshevskii A.A. (2000). The MINLITH program for calculating the mineral composition of sedimentary rocks: the reliability of the results applied to deposits of ancient platforms. *Geokhimiya = Geochemistry*, 4, pp. 431-444. (In Russ.)

Rukovodstvo po analizu bitumov i rasseyannogo organicheskogo veshchestva gornykh porod [Guide to the analysis of bitumen and scattered organic matter of rocks]. (1966). Ed. V.A. Uspenskii, K.F. Rodionova, A.I. Gorskaya, A.P. Shishkova. Leningrad: "Nedra" Publ., 315 p. (In Russ.)

Shurygin B.N., Dzyuba O.S. (2015). The Jurassic/Cretaceous boundary in northern Siberia and Boreal-Tethyan correlation of the boundary beds. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 56(4), pp. 652-662. (In Russ.)

Sovremennye metody issledovaniya neftei [Modern methods of oil research]. (1984). Ed. A.I. Bogomolov, M.B. Temyanko, L.I. Khotyntseva. Leningrad: "Nedra" Publ., 432 p. (In Russ.)

Spiridonov D.A., Kolpakov V.V. (2018). Geological Structure and Oil Content of the Bazhenov Formation Central part of the West Siberian Plate. *8th Saint Petersburg International Conference and Exhibition. Innovations in Geosciences – Time for Breakthrough*. St.Petersburg, pp. 44623-44623. (In Russ.)

Strakhov N.M. (1960). *Osnovy teorii litogeneza. Kniga II [Fundamentals of the theory of lithogenesis. Book II]*. Moscow: USSR Academy of Sciences, 574 p. (In Russ.)

Tribovillard N., Desprairies A., Lallier-Vergès E., Bertrand P., Moureaux N. (1994). Geochemical study of organic-matter rich cycles from the Kimmeridge Clay Formation of Yorkshire (UK): productivity versus anoxia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108(1-2), pp. 165-181. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90028-0)

U.S. Energy Information Administration. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Russia Independent Statistics & Analysis (2015). U.S. Department of Energy Washington, DC. [https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Russia\\_2013.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/pdf/Russia_2013.pdf)

Ushatinskii I.N., Ibragimova T.A. (1982). Features of the lithological structure of the Bazhenov Formation (Big Salym field). *Neftegazovaya geologiya i geofizika = Oil and gas geology and geophysics*, 11, pp. 12-13. (In Russ.)

Vazhenina O.A. (2009). Paleogeographic characteristics and carbonate accumulation within the Bazhenov and Abalak suites of the Shirotnoye Priobye (Western Siberia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 327, pp. 218-223. (In Russ.)

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (1988). *Geokhimiya chernykh slantsev [Geochemistry of black shale]*. Leningrad: "Nauka" Publ., 272 p. (In Russ.)

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (1988). Mineral'nye indikatory litogeneza [Mineral indicators of lithogenesis]. Syktyvkar: "Geoprint" Publ., 564 p. (In Russ.)

Yurchenko A.Yu. (2017). Formation of secondary carbonate rocks of the Upper Ababalak-Bazhenov stratum of the Salym, Pravdinsk and Malobalyk oil fields of Western Siberia. Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk [Abstract Cand. geol.-min. sci. diss.]. Moscow: MGU, 22 p. (In Russ.)

Yurchenko A.Yu., Balushkina N.S., Kalmykov G.A., Khamidullin R.A., Korobova N.I., Blinova V.N. (2015). Structure and genesis of the limestone on the border of Abalak and Bazhenov formations in the Central part of West Siberian basin. *Moscow University Geology Bulletin*, 5, pp. 62-68. (In Russ.)

Zakharov V.A. (2006). Conditions for the formation of the Volga-Berrias

high-carbon bazhenov suite of Western Siberia according to the data of paleoecology. *Evolutsiya biosfery i bioraznoobraziya [Evolution of the biosphere and biodiversity]*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, pp. 552-568. (In Russ.)

Zanin Y.N., Eder V.G., Zamirailova A.G. (2008). Composition and formation environments of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous black shale Bazhenov Formation (the central part of the West Siberian Basin). *Marine and Petroleum Geology*, 25(3), pp. 289-306. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.07.009>

Zanin Yu.N., Zamirailova A.G., Melenevskii V.N. (1999). About two material-genetic types of black shale of the Bazhenov formation. *Doklady AN SSSR*, 368(1), pp. 91-94. (In Russ.)

### About the Authors

**Vika G. Eder** – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of Sedimentology, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

3, Ak. Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Tel: +7 (383) 323 33 03, e-mail: [edervg@ipgg.sbras.ru](mailto:edervg@ipgg.sbras.ru)

**Elena A. Kostyeva** – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of Petroleum Geochemistry Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

3, Ak. Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

**Anna Yu. Yurchenko** – PhD (Geology and Mineralogy), Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

**Natalia S. Balushkina** – PhD (Geology and Mineralogy), Researcher, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

**Inga S. Sotnich** – Junior Researcher, Laboratory of Petroleum Geochemistry, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

3, Ak. Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

**Elena V. Kozlova** – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Hydrocarbons Production Centre, Skolkovo Institute of Science and Technology

3, Nobel st., Moscow, 143026, Russian Federation

**Alvina G. Zamiraylova** – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of Sedimentology, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

3, Ak. Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

**Natalia I. Savchenko** – PhD student, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

*Manuscript received 19 March 2019;*

*Accepted 23 April 2019; Published 20 May 2019*