

## ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИГРАНИЧНЫХ ТОЛЩ БАЖЕНОВСКОГО И КУЛОМЗИНСКОГО ГОРИЗОНТОВ (основание нижнего мела) ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.Г. Эдер<sup>1</sup>, С.В. Рыжкова<sup>1,2</sup>, Е.А. Костырева<sup>1</sup>, М.А. Павлова<sup>1</sup>,  
И.С. Сотнич<sup>1</sup>, А.Г. Замирайлова<sup>1</sup>, Е.В. Пономарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

В связи с постепенными изменениями геолого-геофизических характеристик разреза от кровли баженовской свиты к вышележащим отложениям существует проблема установления ее верхней границы. Это усугубляется при ее выделении по результатам геофизических исследований скважин при отсутствии кернового материала. При помощи комплексного анализа данных геохимии, литологии и результатов геофизических исследований скважин определены особенности зоны перехода кровли баженовской свиты в породы подачимовской толщи, рассмотрены критерии выделения верхней границы свиты в центральных районах Западно-Сибирского седиментационного бассейна, в пределах Хантейской гемиянтеклизы, Южно-Надымской мегамоноклизы и Мансийской синеклизы. В разрезах изученных скважин в зоне перехода снизу—вверх выделены четыре пачки, отличающиеся по литолого-геохимическим и геофизическим характеристикам: I — «кокколитовая» верхняя часть баженовской свиты; II — переходная от верхней части баженовской свиты к подошвенной части подачимовской толщи; III — переходная от подошвенной части подачимовской толщи к ее нижней части; IV — нижняя часть подачимовской толщи. В пределах Хантейской гемиянтеклизы и Южно-Надымской мегамоноклизы пачка II практически отсутствует. В составе пачки III выявлена граница смены окислительно-восстановительных условий. Верхняя граница баженовской свиты при наличии пачки II соответствует её кровле. Для выделения кровли баженовской свиты необходимо использовать результаты комплексного анализа литолого-геохимических исследований ядра скважины и каротажа (гамма-каротаж, нейтронный гамма-каротаж и его вариации, боковой каротаж и индукционный каротаж), в первую очередь обращая внимание на радиоактивность.

*Верхняя юра—нижний мел, литология, геохимия, органическое вещество, геофизические параметры, верхняя граница баженовской свиты, Западная Сибирь.*

## LITHOLOGIC, GEOCHEMICAL, AND GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE BOUNDARY STRATA OF THE BAZHENOV AND KULOMZA HORIZONS (Lower Cretaceous base) IN THE CENTRAL REGIONS OF WEST SIBERIA

V.G. Eder, S.V. Ryzhkova, E.A. Kostyrev, M.A. Pavlova, I.S. Sotnich, A.G. Zamirailova, and E.V. Ponomareva

The gradual transition of the Bazhenov Formation top into the overlying deposits makes it difficult to establish its upper boundary. The problem is aggravated by the lack of core material when the formation is recognized according to the results of geophysical well studies. A comprehensive analysis of geochemical and lithological data and the results of geophysical well surveys enabled us not only to determine the specific structure of the transitional zone from the Bazhenov Formation top to the rocks of the sub-Achimov member but also to propose the criteria for delineating the upper boundary in the central regions of the West Siberian sedimentary basin within the Khentei hemianteclyse, the South Nadym megamonoclyse, and the Mansi syneclyse. Four members are distinguished in the transitional zone of the studied well sections (from bottom to top), which differ in lithological, geochemical and geophysical characteristics: (I) the “coccolithic” upper part of the Bazhenov Formation; (II) transitional member from the upper part of the Bazhenov Formation to the bottom of the sub-Achimov member; (III) transitional member from the bottom of the sub-Achimov member to its lower part; and (IV) the lower part of the sub-Achimov member. Member II is virtually not distinguished within the Khentei hemianteclyse and the South Nadym megamonoclyse. Member III contains the boundary between zones with different redox conditions. In case member II is distinguished, the upper boundary of the Bazhenov Formation corresponds to its top. To recognize the Bazhenov Formation top, it is necessary to use the integrated-analysis results of the lithological and geochemical studies of the well core and logging data (gamma-ray logging, neutron gamma-ray logging and its variations, lateral logging, and induction logging) when focusing attention mainly on radioactivity.

*Upper Jurassic–Lower Cretaceous, lithology, geochemistry, organic matter, geographical parameters, upper boundary of the Bazhenov Formation, West Siberia*

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время существенно увеличилось количество работ, направленных на изучение литологического состава, толщин основных пачек пород, распределения и состава органического вещества и других характеристик баженовской свиты (БС) на всей площади Западно-Сибирского седиментационного бассейна (ЗСБ). Подобный анализ необходим при решении задач, возникающих при поисках, разведке и разработке такого сложного для добычи углеводородов «нетрадиционного» коллектора, как баженовская свита. До сих пор существуют спорные моменты при выделении верхней и нижней границ свиты. Изучению перехода абалакской свиты в баженовскую уделено большее внимание исследователей [Зубков, 2001а; Балушкина и др., 2013; Юрченко и др., 2015; Панченко, Немова, 2015], чем верхней границе баженовской свиты с перекрывающими ее породами подачимовской толщи куломзинского горизонта нижнего мела. Детального и комплексного анализа вышеупомянутой зоны перехода авторами статьи в литературе не обнаружено.

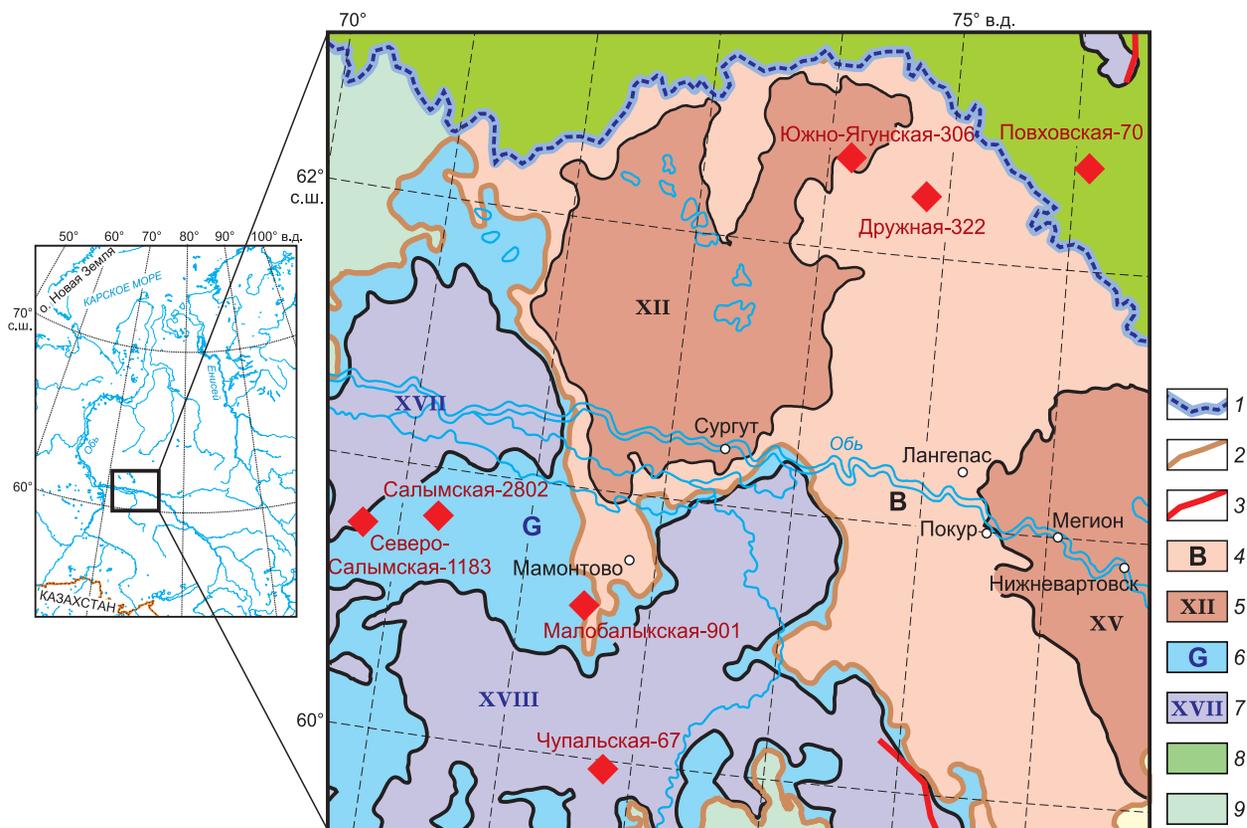
Баженовская свита — это кероген-карбонатно-глинисто-кремнистая толща в основном биогенной природы, формировавшаяся преимущественно в волжский этап трансгрессии моря в пределах Западно-Сибирского бассейна [Булыникова и др., 1978; Бладучан и др., 1986; Гурари и др., 1988; Конторович и др., 2013, 2016]. Основными ее породообразующими компонентами являются биогенный кремнезем, карбонатный материал, глинистое вещество, кероген и образовавшийся в диагенезе пирит. Мощность свиты в центральных районах изменяется от 20 до 40 м [Салымский..., 1970; Рыжкова и др., 2018; и др.]. Термин «кероген» в настоящем исследовании используется в соответствии с общепринятой международной классификацией [Успенский и др., 1958; Tissot, Welte, 1978; Vandenbroucke, 2003; Богородская и др., 2005], где он обозначает все органическое вещество породы. Перекрывают свиту, как уже упоминалось, без видимого несогласия отложения неокомского клиноформного комплекса — глинистые породы подачимовской толщи, слагающие нижние части ахской и сортымской свит [Наумов, 1977; Постановление..., 2008]. Толщина этих отложений варьирует в широком диапазоне от полного отсутствия до 80 м [Карогадин и др., 2000; Киселев и др., 2007]. Их формирование происходило на начальных стадиях регрессивного этапа развития Западно-Сибирского палеобассейна [Булыникова и др., 1978; Наумов и др., 1979; Конторович и др., 2014].

Основной целью настоящего исследования являлось определение литологических, геохимических и геофизических характеристик и условий формирования зоны перехода баженовской свиты в породы подачимовской толщи, а также установление критериев выделения верхней границы баженовской свиты в центральных районах ЗСБ на основе комплексного анализа данных геохимии, литологии и геофизических исследований скважин (ГИС).

Вопросы стратиграфического положения кровли БС, ее соотношения с Общей стратиграфической шкалой России и Международной стратиграфической шкалой в рамках данной работы не рассматривались, так как в изучаемых разрезах биостратиграфические исследования не проводились. Стратиграфическая характеристика изученного интервала разреза дана по «Постановлению МСК» [Постановление..., 2008].

Отложения рассматриваемой зоны перехода накапливались главным образом в раннемеловое время в ЗСБ [Конторович и др., 1975, 2013]. Ранее определено, что верхняя «кокколитовая» пачка БС имеет раннеберриасский возраст [Ясович, Поплавская, 1975; Панченко и др., 2015]. Детальный литолого-геохимический анализ будет способствовать уточнению изменений условий осадконакопления в ЗСБ в раннемеловое время в период перехода между трансгрессивным и регрессивным циклами. Он также внесет вклад в понимание особенностей черносланцевого осадконакопления на завершающих стадиях. В качестве основного критерия установления верхней границы баженовской свиты по ГИС в центральной части ЗСБ приводится резкое увеличение значений кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) и гамма-каротажа по сравнению с вышележащими породами [Хабаров и др., 1980; Бладучан и др., 1986; Гурари и др., 1988]. Исследования скважин в периферических районах центральной части бассейна показали, что этот критерий не всегда может быть взят за основу, так как в некоторых разрезах увеличение значений обоих параметров происходит одновременно [Родионов и др. 1976; Гайдебурова, 1982]. В разных структурно-фациальных районах баженовская свита имеет особенности литологического строения и распределения органического вещества [Ясович, Поплавская, 1975; Конторович и др., 1975, 2018б; Гурари и др., 1988; Полякова и др., 2002; Эдер, 2006; Предтеченская и др., 2012; Эдер и др., 2015а,б; Сапьяник и др., 2017; и др.]. В связи с этим подобный комплексный анализ уточнения критериев выделения границ свиты целесообразно проводить в каждом структурно-фациальном районе ЗСБ отдельно, что будет способствовать уточнению ее толщин и условий формирования приграничных толщ баженовской свиты в вышележащие отложения. Таким образом, настоящее исследование является лишь первым этапом подобного цикла работ.

В качестве объекта исследования выбрано 7 разрезов баженовской свиты и нижней части подачимовской толщи центральной части ЗСБ, расположенных в пределах Мансийской синеклизы (Салым-



**Рис. 1. Расположение изученных скважин на тектонической карте юрского структурного яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, по [Конторович и др., 2001].**

Границы: 1 — Внутренней области и Внешнего пояса, 2 — структур 0 порядка, 3 — разрывные нарушения; тектонические элементы: положительные: 4 — 0 порядка (B — Хантейская гемиантеклиза), 5 — I порядка (XII — Сургутский свод, XV — Нижневартовский свод); отрицательные: 6 — 0 порядка (G — Мансийская синеклиза), 7 — I порядка (XVII — Тундринская мегавпадина, XVIII — Юганская мегавпадина); промежуточные: 8 — Южно-Надымская мегамоноклиза Ямало-Карской депрессии, 9 — Красноленинская мегамоноклиза.

ская, Северо-Салымская, Чупальская и Малобалыкская площади), Хантейской гемиантеклизы (Южно-Ягунская и Дружная площади) и Южно-Надымской мегамоноклизы (Повховская площадь) (рис. 1). Большинство изученных скважин характеризуются 100 %-м выходом керна из изучаемого интервала.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В методику работ входило детальное литологическое описание керна, шлифов пород на микроскопе Olympus BX-59, изучение в сканирующем электронном микроскопе MIRA3 TESCAN, а также химические анализы пород. Определение основных породообразующих компонентов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{BaO}$  и др.) проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation). Изучение минералогического состава глинистой фракции (<0.002 мм) и валовых проб пород баженовской свиты проведено фазовым рентгенографическим методом на дифрактометрах ДРОН-3 и ДРОН-4. Содержания серы (общей, сульфидной и сульфатной) и  $\text{CO}_2$  определены классическими химическими методами [Методы..., 1957]. Геохимические анализы для определения состава пород и ОВ выполнены в лабораториях ИГМ СО РАН и ИНГТ СО РАН. Названия пород БС (главным образом аргиллиты) даны в соответствии с классификацией [Конторович и др., 2016].

Определение содержания органического углерода выполнялось весовым полумикрометодом с помощью экспресс-анализатора (АН-7529) на углерод, пиролитических характеристик — на анализаторе Source Rock Analyzer (SRA) - ТРН/ТОС (Weatherford Laboratory, Instr. Division), группового состава — методом колоночной хроматографии, а углеводородного состава — методами газожидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии [Руководство..., 1966; Современные методы..., 1973; Конторович и др., 1999, 2018а; и др.]. По результатам анализов (содержанию породообразующих оксидов,  $C_{орг}$ ,

серы сульфидной) проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике О.М. Розена с соавторами [2000] в программе MINLITH с изменениями. По результатам пересчета химических анализов на минеральный состав каждому образцу присвоено литологическое название, согласно принятой классификации [Конторович и др., 2016]. Для каждого разреза с целью уточнения закономерностей вертикального распространения пирита, органического углерода, радиоактивных элементов (U, Th, K), пиролитических характеристик ( $S_1$ ,  $S_2$ , водородный индекс ( $HI = S_2/C_{\text{орг}} \cdot 100$ )), а также изменения окислительно-восстановительного режима в диагенезе построены кривые распределения рассматриваемых компонентов и диаграммы значений степени пиритизации железа ( $СП = Fe \text{ пиритное} / (Fe \text{ пиритное} + Fe \text{ растворимое в HCl})$ ) [Страхов, Залманзон, 1955; Raiswell et al., 1988]. Для установления соотношения биохомогенной к терригенной составляющей использовалось отношение  $(SiO_2 + CaO)/Al_2O_3$ . В рассматриваемых отложениях содержание мелкоалевритового материала обычно не превышает 5%. Таким образом, кремнистый, так же как и карбонатный, материал в баженовской свите рассматривается как преимущественно биохомогенный, а глинистый — как преимущественно терригенный.

Далее результаты изучения керн сопоставлялись с данными ГИС. На первом этапе исследований проводилась увязка керн—ГИС на основе результатов гамма-спектрометрического каротажа. Поскольку такой вид геофизических исследований проводился не во всех скважинах, для увязки керн с ГИС были учтены результаты гамма-спектрометрии образцов керн, которые сопоставлялись с данными гамма-каротажа.

Для определения положения кровли свиты детальные литологические колонки по керну были проанализированы в комплексе с диаграммами различных методов ГИС, включающих: электрический каротаж (зонды каротажа сопротивления (КС), индукционный (ИК), ВИКИЗ, боковой каротаж (БК), микрозонды (МКЗ), кавернометрию (КВ), акустический каротаж (АК), радиоактивный каротаж (гамма-каротаж (ГК), спектральный (СГК), нейтронный гамма-каротаж (НГК), нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (НКТ)).

В качестве наиболее показательных, отражающих существенно разную геофизическую характеристику баженовской свиты и нижней части подачимовской толщи, выбраны КС, ИК, БК и ГК. Следует отметить, что традиционно для выделения границ свит используются диаграммы каротажа сопротивления (КСЗ, зонд А2М0.5N). Как выяснилось, по результатам комплексного анализа литолого-геохимических исследований керн и материалов ГИС для выделения границы баженовской свиты по электрическому каротажу следует использовать результаты БК, так как он обладает большей разрешающей способностью выделения отдельных типов пород толщиной около 30 см.

В ходе работы учитывались результаты типизации разрезов баженовской свиты, выполненные ранее на основе анализа литологического состава и/или данных ГИС для всей Западной Сибири либо для крупных ее участков [Ушатинский, 1981; Гайдебурова, 1982; Полякова и др., 2002; Эдер, 2006; Эдер и др., 2015а]. Аномальные разрезы баженовской свиты не рассматривались.

В практике выделения кровли БС существуют два основных способа: по аномалии КС и/или по аномалии ГК. При этом установлено, что верхняя граница аномалии ГК БС начинается существенно выше верхней границы аномалии КС [Родионов и др., 1976; Гайдебурова, 1982; Лапковский и др., 2018; и др.]. Проанализировав все представления о выделении кровли баженовской свиты по ГИС, были определены граничные значения интервала разреза, в пределах которого эта граница прослеживается. Для него характерны значения гамма-каротажа 15 мкР/ч и более, а значения кажущегося УЭС менее 30 Ом·м. Указанный интервал принят в качестве переходного по ГИС между подачимовской толщиной и баженовской свитой (рис. 2).

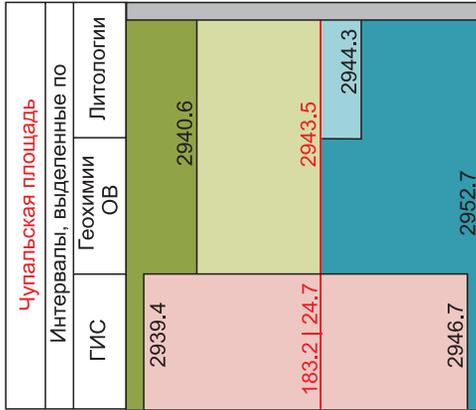
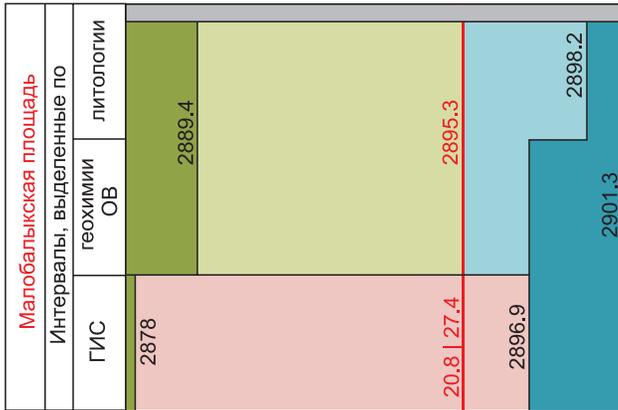
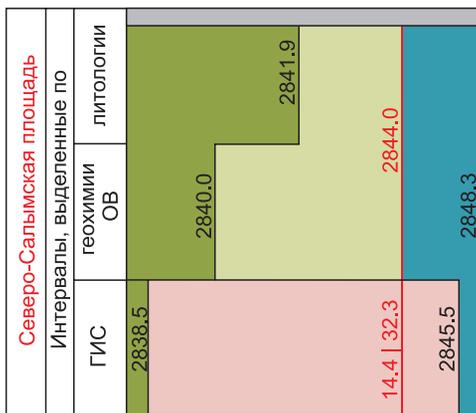
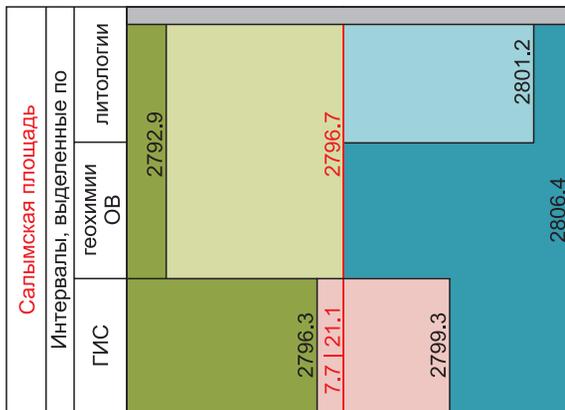
Под переходным интервалом понимается часть разреза, в котором присутствуют признаки, характерные как для вышележащих (подачимовская толщина), так и нижележащих (баженовская свита) отложений. Как видно из рис. 2, переходный интервал по ГИС охватывает аналогичные интервалы, выделенные по результатам геохимических и литологических исследований. Границы пачек пород, которые будут описаны ниже, выделялись в разрезах скважин по результатам анализа материалов геофизических, литологических и геохимических исследований.

Ранее [Эдер и др., 2016] установлено, что в центральных районах ЗСБ толщины баженовской свиты контролируются тектоническим фактором. В связи с этим рассмотрение закономерностей строения изучаемого интервала разреза проводилось по отношению к тектоническим элементам юрского структурного яруса Западно-Сибирской геосинеклизы [Конторович и др., 2001].

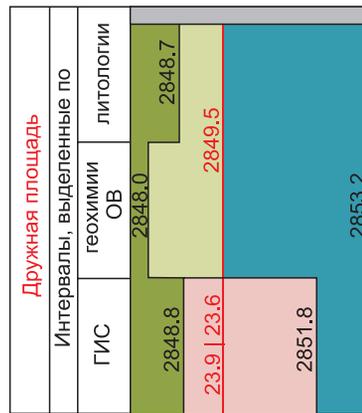
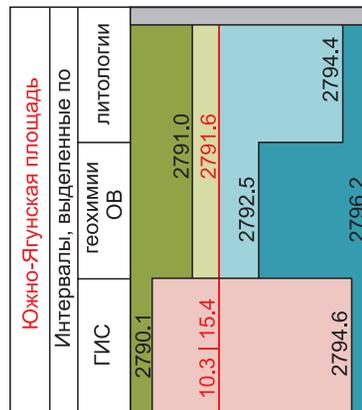
## РЕЗУЛЬТАТЫ

По литолого-геохимическому составу и геофизической характеристике пород, а также геохимии ОВ в интервале разреза, соответствующего зоне перехода от баженовской свиты к подачимовской толще, в изученных скважинах на территории исследования снизу—вверх по разрезу выделяются следующие пачки пород (таблица, см. рис. 2):

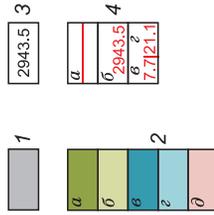
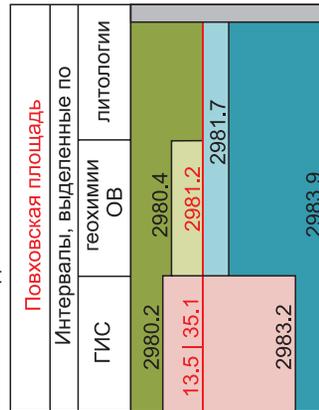
Мансийская синеклиза



Хантейская гемиянтеклиза



Южно-Надымская мегамоноклиза



**Рис. 2. Схемы сопоставления выделенных зон перехода баженовской свиты в подачимовскую толщу по литологии, геохимии ОВ и ГИС.**

*l* — интервал керн, в котором породы визуально не отличаются; *2* — выделенные интервалы разреза; *a* — подачимовская толща, *б* — переходный интервал подачимовской толщи, *в* — баженовская свита, *г* — переходный интервал баженовской свиты, *д* — переходный интервал по данным ГИС; *3* — глубина интервала разреза (м); *4* — граница между баженовской свитой и подачимовской толщей (*a*) и ее характеристики: *б* — глубина (м), *в* — значения БК на границе (Ом·м), *г* — значения ГК на границе (мкР/ч).

**Литолого-геохимические и геофизические характеристики пачек, выделенных в зоне перехода от баженовской свиты к подачимовской толще**

Характеристика	Параметр	Пачка I	Пачка II	Пачка III	Пачка IV
Литология	Тип пород	Микстит кероген-кремнисто-керогеновый, кероген-карбонатный, карбонатный	Микстит кероген-глинистый, глинистый	Микстит глинистый, аргиллит	Микстит глинистый, аргиллит алевритистый
	Мощность, м	1.5—6.0	0.1—3.1	0.5—5.0	Не опр.
	Цвет	Темно-бурый	Коричневато-бурый	Светло-бурый	Светло-серый, серый
	(SiO <sub>2</sub> +CaO)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5—30	3.0—3.5	3.0—3.4	2.9—3.2
	Кальцит, %	10—70	0—2	1—4	0—3
	Доломит, %	7—16	3—7	2—4	2—4
	Глин. материал, %	15—25	30—35	40—45	45—70
	Альбит, %	1—11	7—15	9—20	10—24
	TiO <sub>2</sub> , %	0.1—0.5	0.40—0.75	0.6—0.8	0.5—1.0
	U, г/т	17—90	10—40	5—30	3—13
	Th, г/т	<5	3.8—10.0	4—11	3—15
	K, %	<1.5	0.7—2.0	1.6—3.0	1—3
Пирит, %	9—25	11—13	8—11	2—3	
Степень пиритизации	0.90—0.96	0.83—0.93	0.73—0.85	0.20—0.55	
Геохимия ОВ	S <sub>орг</sub> , %	9—15	5—7	<5	≤3
	S <sub>1</sub> , мг УВ/г породы	4—9	2.5—6.5	0.6—4.0	0.1—0.9
	S <sub>2</sub> , мг УВ/г породы	40—70	20—30	1—27	0.2—16.0
	β <sub>хл</sub> , %	1.0—2.5	0.7—1.8	0.1—0.7	≤0.1
	Дибензотиофены (в % на ∑ аром. соед.)	≤50	25—40	10—40	≤25
	Фенантроны/дибензотиофены	≤2.0	1.0—2.2	1.5—4.5	2.5—7.0
ГИС	Кажущееся УЭС, Ом·м (БК)	25—4325	10.8—30.7	6.7—14.2	4.6—18.6
	Проводимость, мСм/м (ИК)	9.4—70.1	67.9—97.8	95.9—136.2	96.1—178.6
	Скорость распр. волн, мкс/м (АК)	392—551	353—394	419—525	366—486
	НГК, усл. ед.	2.4—3.9	2.6—3.3	3.4—4.1	3.6—6.1
	Гамма-активность, мкР/ч (ГК)	32—64	24.9—43.2	15.2—23.7	10.9—19.7

1) пачка I («кокколитовая») — верхняя часть баженовской свиты;

2) пачка II — переходная от верхней части баженовской свиты к подошвенной части подачимовской толщи;

3) пачка III — переходная от подошвенной части подачимовской толщи к ее нижней части;

4) пачка IV — нижняя часть подачимовской толщи.

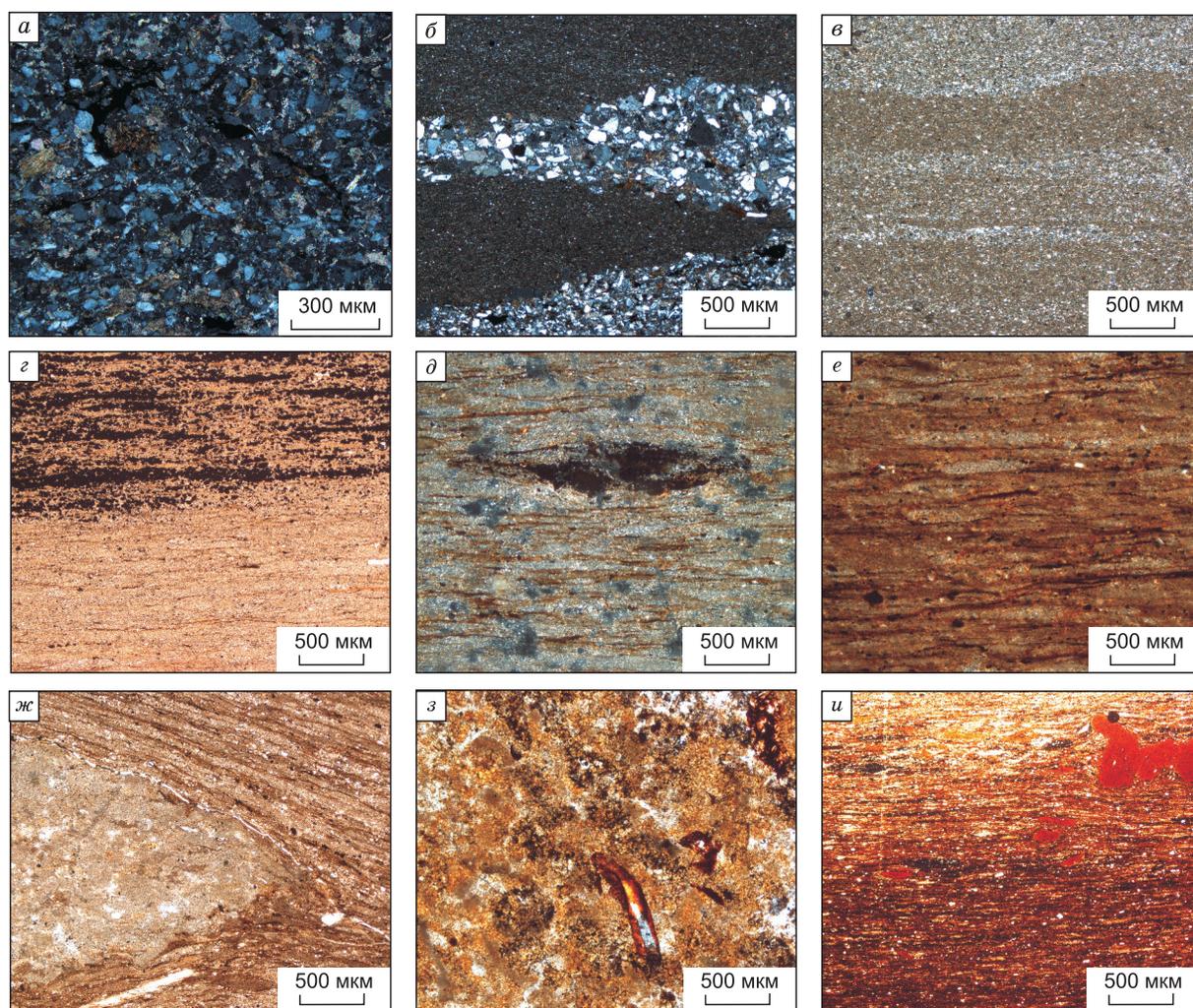
Таким образом, рассматриваемая зона перехода включает верхнюю часть баженовской свиты, переходный интервал (пачки II и III) и нижнюю часть подачимовской толщи.

Граница между баженовской свитой и подачимовской толщей соответствует границе между пачками II и III, выделенными в настоящем исследовании.

По макроописанию керна нижние три пачки (I—III) практически не отличаются, за исключением того, что в «кокколитовой» пачке (I), особенно на территории Хантейской гемиантеклизы и Южно-Надымской мегамоноклизы, в существенном количестве присутствуют карбонатные конкреции [Эдер и др., 2016]. Цвет пород этих пачек буровато-черный с коричневатым оттенком. При переходе от нижних трех (I—III) к верхней пачке (IV, нижней части подачимовской толщи) цвет пород меняется на темно-серый и серый, коричневатый оттенок исчезает. Отметим, что при макроописании не всегда удается выделить границу между вышеупомянутыми пачками, на первый взгляд все они могут показаться однородной толщей, без особых изменений состава.

Ниже приводятся литолого-геохимические и геофизические показатели четырех выделенных пачек (рис. 3—6, см. таблицу). Для геофизической характеристики используются средние значения по изученным скважинам.

**Пачка I («кокколитовая»)** представлена микститами кероген-кремнисто-карбонатными, кероген-карбонатными и керогеновыми. Мощность ее составляет 1.5—3.0 м в разрезах баженовской свиты Хантейской гемиантеклизы и Южно-Надымской мегамоноклизы и 4—6 м в Мансийской синеклизе.

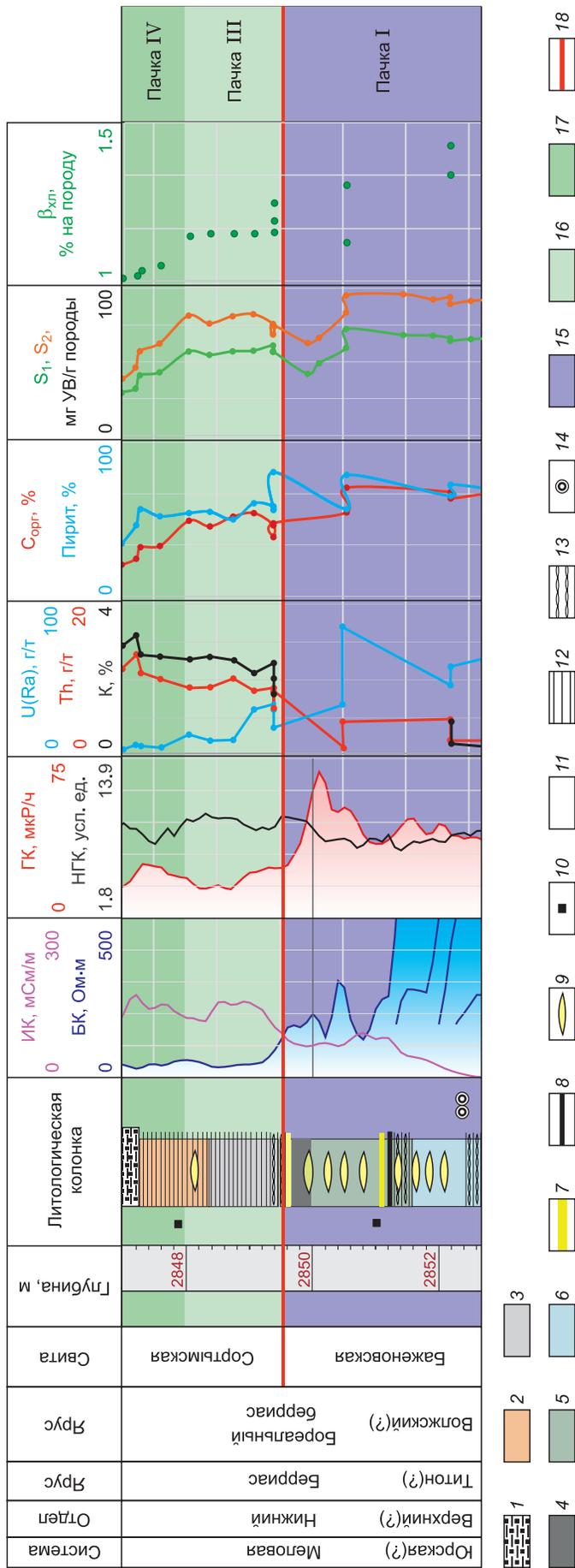


**Рис. 3. Породы зоны перехода баженовской свиты к подачимовской толще.**

*a—e* — нижняя часть подачимовской толщи (IV): *a* — алевролит мелкозернистый, полевошпатово-кварцевый литокластический с карбонатным поровым цементом, массивный, обр. Др-322-176 (гл. 2844.12 м), николи ×; *б* — контакт алевролита мелкозернистого и аргиллита алевритового, обр. Др-322-176 (гл. 2844.12 м), николи ×; *в* — аргиллит алевритистый, микротекстура породы горизонтально-слоистая, обусловленная неравномерным распределением мелкого алевритового материала, обр. Др-322-177 (гл. 2844.48 м); *г* — пиритизированный прослой в аргиллите, обр. Др-322-179а (гл. 2844.78 м); *д* — аргиллит, органическое вещество присутствует в виде линзочек удлиненной формы, обр. Др-322-179б (гл. 2844.78 м); *е* — микстит кремнисто-глинистый, органическое вещество наблюдается в виде линз и в микродисперсном виде, обр. Др-322-183 (гл. 2846.25 м), николи ×; *ж* — переходная зона подачимовской толщи (III), микстит кремнисто-глинистый с линзой барита, обр. Др-322-186 (гл. 2846.89 м); *з, и* — верхняя часть баженовской свиты (I): *з* — известняк микритовый, обр. Др-322-192а (гл. 2848.05 м); *и* — микстит керогеновый, микротекстура породы горизонтально-линзовидно-слоистая, за счет неравномерного распределения пирита, глинистого материала и керогена, обр. Др-322-192б (гл. 2848.05 м).

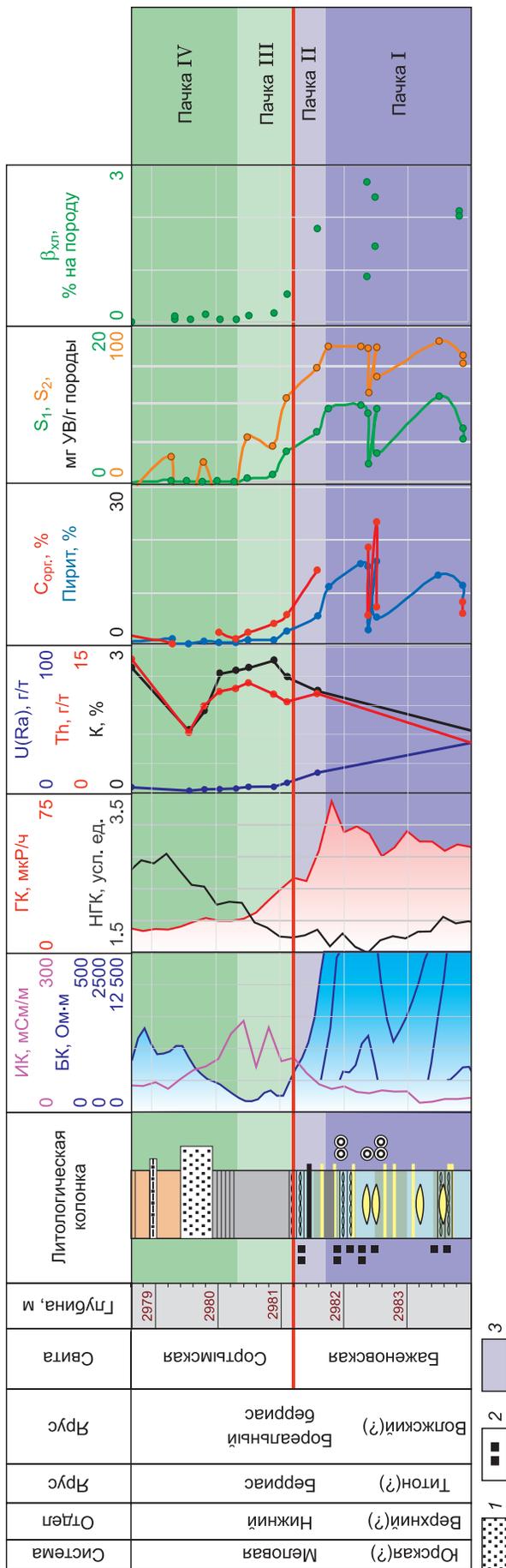
Цвет основной массы темно-бурый до черного, обусловленный значительным количеством органического вещества в микродисперсном виде, которое равномерно распределено по породе (см. рис. 3, *и*). Микротекстура пород тонколинзовидно-слоистая, типичная для осадков, накапливавшихся в условиях медленной фоновой седиментации. Эта пачка характеризуется наличием реликтов кокколитофоридовых водорослей [Эдер и др., 2017], округлой и кольцеобразной формы диаметром около 10 мкм. Остатки водорослей в большинстве случаев концентрируются в тонких (0.02—0.03 мм) карбонатных микролинзочках, расположенных по напластованию.

По сравнению с пачками II—IV пачка I свойственно повышенное содержание биогенного карбонатного материала (10—70 % кальцита, 7—16 % доломита) и наиболее низкие показатели содержания глинистого материала (15—20 %, в единичных случаях 25 %) (см. таблицу). Содержание тория в большинстве случаев не превышает 5 г/т, калия в основном не превышает 1 %, редко достигает 1.5 %. Эти показатели существенно понижены по сравнению с другими пачками, что объясняется их генетической



**Рис. 4. Геолого-геофизический разрез зоны перехода баженовская свита — подачимовская толща по скв. Дружная-322.**

Типы пород: 1 — алевролит, 2 — аргиллит, 3 — микстит глинистый, кремнисто-глинистый, 4 — микстит кероеновый (содержание пирита 20—25%), 5 — микстит кероено-карбонатный, кероено-кремнисто-карбонатный, 6 — микстит кероено-кремнистый, 7 — прослой карбонатизированных пород, 8 — пиритизированные прослой, аугитенные минералы; 9 — известковая линза, 10 — пирита от 5 до 10%; текстуры (цвет фона соответствует типу породы): 11 — массивная, 12 — горизонтальная слоистость, 13 — линзовидно-слоистая; органические остатки: 14 — кокколитофориды; интервалы разреза по результатам комплексных исследований: 15 — верхняя часть баженовской свиты, 16 — переходная от подошвенной части подачимовской толщи к ее нижней части, 17 — нижняя часть подачимовской толщи; 18 — принятая в работе кровля баженовской свиты.



**Рис. 5. Геолого-геофизический разрез зоны перехода баженовская свита — подачиновская толща по скв. Повховская-70.**

Типы пород: / — песчаник; аугитенные минералы: 2 — пирита больше 10 %; интервалы разреза по результатам комплексных исследований: 3 — переходная от подошвенной части подачиновской толщи к ее нижней. Остальные усл. обозн. см. на рис. 4.

связью с аллотигенным материалом. Пониженные показатели содержания глинистого материала указывают на то, что в этот период был минимальный привнос аллотигенного материала, разбавление ОВ в осадке было минимальным. Значения отношения  $(\text{SiO}_2 + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$  в породах «кокколитовой» пачки являются наиболее высокими (5—30) по сравнению с другими пачками, что указывает на существенный вклад в состав пород биохомогенного кремнистого и карбонатного материала.

Породы пачки I имеют наиболее высокие содержания урана 17—90 г/т. Средние содержания пирита в этой пачке в различных разрезах БС варьируют от 9 до 12 %, в единичных образцах достигают 25 %. Значения степени пиритизации составляют 0.90—0.96, что указывает на высоковосстановительные условия во время формирования пород в литогенезе.

Содержание органического углерода в большинстве образцов этой пачки повышенное (9—15 % на породу) и только в карбонатных прослоях ( $\text{НО} \leq 50$  % на породу) оно сопоставимо со значениями  $\text{C}_{\text{орг}}$  в пачках III и IV ( $< 5$  %). В единичных образцах из изученных разрезов БС Малобалькской, Чупальской и Южно-Ягунской площадей концентрация  $\text{C}_{\text{орг}}$  достигает максимальных значений (15—24 % на породу). С содержанием органического углерода связаны как пиролитические параметры  $\text{S}_1$  и  $\text{S}_2$ , так и значения выхода битумоидов. Значение  $\text{S}_1$  в 78 % образцов равно 4—9 мг УВ/г породы, в карбонатных породах оно уменьшается до 0.5—3.0 мг УВ/г породы. В отдельных образцах этот параметр достигает 10—11 мг УВ/г породы. Значение параметра  $\text{S}_2$  в большинстве образцов составляет 40—70 мг УВ/г породы. На Салымской площади оно уменьшается до 12—40 мг УВ/г породы, достигая минимального (3—12 мг УВ/г породы) в карбонатных породах. В единичных образцах на Южно-Ягунской и Чупальской площадях этот параметр увеличивается до 80—122 мг УВ/г породы. В кровле баженовской свиты значения водородного индекса равны 350—550 мг УВ/г  $\text{C}_{\text{орг}}$  и только на Салымской площади отмечаются более низкие значения (140—170 мг УВ/г  $\text{C}_{\text{орг}}$ ), что объясняется более высокой степенью преобразованности ОВ [Конторович и др., 2009]. Содержания битумоидов в этой пачке высокое и равно 1.0—2.5 %, при среднем 1.68 % на

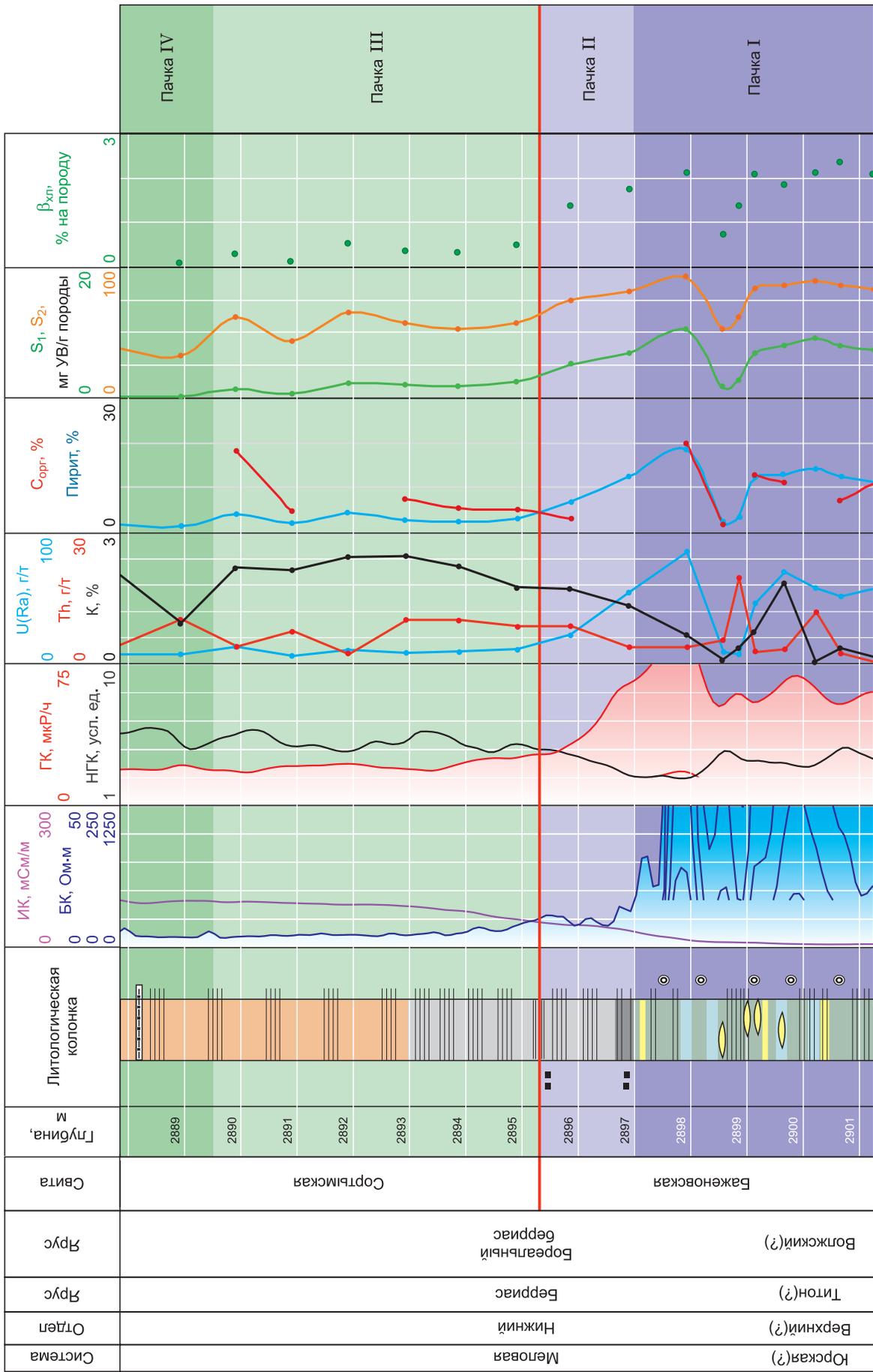


Рис. 6. Геолого-геофизический разрез зоны перехода баженовская свита—подачимовская толща по скв. Малобалькская-901.

Усл. обозн. см. на рис. 4, 5.

породу. В карбонатных породах концентрация битумоидов составляет 0.28—1.40 %, при среднем значении 0.81 % на породу. В ароматической фракции битумоидов, как было отмечено А.Э. Конторовичем с соавторами [2004], фиксируется повышенное содержание серосодержащих соединений — дибензотиофенов до 50 % на сумму идентифицированных соединений (фенантрены, дибензотиофены, моно- и триароматические стероиды). Значение отношения фенантрены к дибензотиофенам не превышает 2. Очевидно, баженовская свита в районе исследований находилась в зоне сероводородного заражения, где происходило обогащение органического вещества серой.

Значения геофизических параметров пачки I максимальные (кажущееся УЭС, гамма-активность) или минимальные (проводимость) по сравнению с остальными выделенными пачками. Кажущееся УЭС пород пачки I изменяется в широких пределах от 25 до 4325 Ом·м (см. таблицу). Наибольшие значения характерны для Мансийской синеклизы. Для территории Хантейской гемиантеклизы они не превышают 2500 Ом·м. Кажущаяся удельная электрическая проводимость пород также изменяется в широких пределах, не превышая 70 мСм/м. В отдельных скважинах как для Мансийской синеклизы, так и Хантейской гемиантеклизы этот показатель может достигать 120 мСм/м. Для пачки характерны высокие показатели гамма-активности пород, изменяющиеся в диапазоне 32—64 мкР/ч, что связывается с высокими содержаниями  $C_{орг}$ . Ближе к кровле пачки кажущееся УЭС пород резко уменьшается, при этом показатели гамма-активности не изменяются.

**Пачка II (переходная от верхней части баженовской свиты к подошвенной части подачимовской толщи)** слагается микститами кероген-глинистыми и глинистыми. Мощности ее повышены в Мансийской синеклизе и составляют 1.7—3.1 м, в то время как на Хантейской гемиантеклизе (Дружная площадь) и на Южно-Надымской мегамоноклизе (Повховская площадь) эта пачка практически отсутствует и ее мощность достигает 0.1—0.3 м. Рассматриваемая пачка на Южно-Ягунской площади Хантейской гемиантеклизы характеризуется повышенной мощностью (2.5 м), сопоставимой с ее мощностью в районе Мансийской синеклизы.

Микститы пачки II коричневатого-бурого цвета имеют тонколинзовидно-слоистую микротекстуру. Распределение керогена здесь главным образом линзовидное — в виде тонких микролинз или микропрослоев. При переходе между пачками I и II отмечается резкое снижение содержания биогенного карбонатного материала — кальцита (до 0—2 %) и доломита (3—7 %) и некоторое повышение содержания глинистого материала до 30—35 %. Таким образом, вышеописанная смена формы нахождения керогена в рассматриваемых породах совпадает с увеличением в них количества глинистого материала. Одновременно наблюдается повышение содержания альбита — до 7—15 %, тория — до 3.8—10.0 г/т, калия — до 0.7—2.0 %. Значения отношения  $(SiO_2 + CaO)/Al_2O_3$  понижаются до 3.0—3.5, что указывает на сокращение доли биогенной кремнистой и карбонатной составляющей пород. Содержание урана изменяется в пределах 10—40 г/т. Средние содержания пирита составляют 11—13 %. Значения степени пиритизации пород изменяются в диапазоне 0.83—0.93, что отражает высоковосстановительные условия.

По геохимии ОВ пачка II выделена только на Повховской, Южно-Ягунской и Малобалькской площадях. Содержание органического углерода в ней меньше, чем в пачке I и изменяется от 5 до 7 % на породу. Значения пиролитических параметров  $S_1$  и  $S_2$  по сравнению с пачкой I уменьшаются до 2.5—6.5 и 20—30 мг УВ/г породы соответственно, при этом значения водородного индекса (НИ) остаются все еще повышенными (371—511 мг УВ/г  $C_{орг}$ ). Содержание битумоидов варьирует от 0.7 до 1.8 % на породу, при среднем 1.06 %. В ароматической фракции битумоидов максимальное содержание серосодержащих соединений (дибензотиофенов) снижается до 40 % на сумму идентифицированных соединений (фенантрены, дибензотиофены, моно- и триароматические стероиды). Значения отношения фенантренов к дибензотиофенам изменяются от 1.0 до 2.2.

Пачка II характеризуется снижением по сравнению с нижележащей пачкой значений кажущегося УЭС пород, но не менее 10 Ом·м (см. таблицу). Значения кажущейся удельной электрической проводимости увеличиваются, достигая 98 мСм/м, причем для Хантейской гемиантеклизы характерно более постепенное изменение этого параметра. Гамма-активность пород резко снижается, изменяясь в интервале от 24.9 до 43.2 мкР/ч. Показатели НГК обеих пачек баженовской свиты — «кокколитовой» (I) и переходной (II) — низкие и сопоставимы по значениям.

**Пачка III (переходная от подошвенной части подачимовской толщи к ее нижней части)** слагается микститами глинистыми. Исключение представляет разрез Малобалькской площади, где эта пачка представлена аргиллитами и микститами алевритисто-глинистыми. Мощность ее составляет 0.5 м в Хантейской гемиантеклизе и изменяется от 0.5—5.0 м в Мансийской синеклизе. На Южно-Надымской мегамоноклизе по литологическим параметрам этот интервал отсутствует.

Породы пачек III и IV отличаются еще большим осветлением основной их массы — до светло-бурой и далее до светло-серой, концентрация линзочек керогена уменьшается (см. рис. 3). Микротекстура пород линзовидно-слоистая.

При переходе от пачки БС к пачке III (переходной к подачимовской толще) наблюдается заметное повышение содержания глинистого материала до 40—45 %, альбита до 9—20 %, калия — до 1.6—3.0 %. Содержание тория в породах в некоторых прослоях увеличивается до 13 %. Значения отношения  $(\text{SiO}_2 + \text{CaO})/\text{Al}_2\text{O}_3$  в породах этой пачки по сравнению с предыдущей существенно не изменяются и составляют 3.0—3.4. Средние содержания кальцита и доломита еще более сокращаются по сравнению с предыдущей пачкой и составляют 1—4 и 2—4 % соответственно. По результатам изучения шлифов в рассматриваемых породах возрастает доля мелкоалевритового материала, что также подтверждается увеличением содержания альбита. Соответственно, кремнистый материал в породах пачки III в основном аллотигенного происхождения, а в породах пачки II — биохемогенного. Содержание пирита варьирует от 8 до 11 %, степень пиритизации железа 0.73—0.85. Последний показатель несколько понижен по сравнению с породами предыдущей пачки и отвечает высоковосстановительным условиям литогенеза.

В пачке III на всех исследуемых площадях концентрации органического углерода не превышают 5 %. Параметры  $S_1$  и  $S_2$  в этой пачке продолжают уменьшаться по сравнению с пачками I и II до 0.6—4.0 и 1—27 мг УВ/г породы соответственно. Водородный индекс, наоборот, увеличивается до 605 мг УВ/г  $S_{\text{орг}}$ . На Салымской площади отмечаются самые низкие значения  $S_2$  и HI (до 9 мг УВ/г породы и 123—224 мг УВ/г  $S_{\text{орг}}$  соответственно) в этой пачке, что объясняется, как уже отмечалось ранее, более высокой степенью преобразованности ОВ [Конторович и др., 2009]. Содержание битумоидов изменяется от 0.1 до 0.7 % на породу, при среднем 0.45 % на породу, что в 2 раза ниже, чем в пачке II. В ароматической фракции битумоидов содержание дибензотиофенов изменяется в широких пределах от 10 до 40 % на сумму идентифицированных соединений (фенантрены, дибензотиофены, моно- и триароматические стероиды). Значение отношения фенантронов к дибензотиофенам изменяется от 1.5 до 4.5. Особенностью этой пачки является значительный разброс значений геохимических параметров.

Пачка III по геофизическим показателям по сравнению с пачкой II характеризуется меньшими значениями кажущегося УЭС и гамма-активности, изменяющимися от 6.7 до 14.2 Ом·м и от 15.2 до 23.7 мкР/ч соответственно. Значения кажущейся удельной электрической проводимости повышаются, изменяясь от 95.9 до 136.2 мСм/м. Пачке III свойственны самые высокие в изучаемом интервале разреза значения скорости распространения волн — до 525 мкс/м. От подстилающей пачки II вышеупомянутая пачка существенно отличается и по значениям НГК. В первом случае значения варьируют в интервале 2.3—3.5 усл. ед., а во втором — 3.0—5.5 усл. ед., причём для Мансийской синеклизы они ниже, чем для Хантейской гемиантеклизы в пачках II и III.

**Пачка IV (нижняя часть подачимовской толщи)** представлена микститами глинистыми, реже кремнисто-глинистыми и аргиллитами. Точный диапазон изменения ее мощности не определен, так как выше 3 м по разрезу керновый материал в изученных разрезах не был отобран. Видимая мощность изменяется от 0.8 до 3.0 м.

В породах пачки IV заметно увеличивается содержание мелкой алевритовой примеси, из-за неравномерного распределения этого материала микротекстура пород становится тонкослоистой (см. рис. 3, *a-e*). Аргиллиты и микститы глинистые характеризуются чередованием миллиметровых прослоев, в основании которых преобладает мелкоалевритовый материал, содержание последнего по направлению к верхней их части уменьшается вплоть до исчезновения. Как это отмечалось ранее рядом авторов [O'Brien, Slatt, 1990; Wignall, 1994; и др.], такие текстуры типичны для осадков, выпавших из низкоплотностных турбидитных потоков.

Породы нижней пачки подачимовской толщи (пачка IV) характеризуются повышенным содержанием в них глинистого материала (45—70 %), соответственно, также повышается содержание альбита (до 10—24 %), что свидетельствует об увеличении доли аллотигенного материала в породах. Содержание калия составляет 1—3 %, тория 3—15 г/т. В породах появляются микропрослой мелкоалевритового материала. От подошвы пачки вверх по разрезу через 1.0—2.5 м породы становятся более алевритистыми — переходят в алевритистые аргиллиты (до 20—25 %). В отличие от пачки III в рассматриваемом интервале присутствуют прослой собственно аргиллитов (содержание глинистого материала более 50 %) — пород, не характерных для БС. Диапазон значений содержаний керогена в породах составляет 0.3—4.0 %, по сравнению с пачкой III чаще встречаются прослой с содержанием керогена менее 1 %. Содержание урана изменяется от 3 до 13 г/т. У границы с пачкой III оно несколько повышено и составляет порядка 30 г/т. Среднее содержание кальцита 0—3 %, доломита — 2—4 %.

В большинстве изученных разрезов в породах нижней части подачимовской толщи заметно уменьшается содержание пирита (до 2—3 %). Степень пиритизации в них существенно понижена (0.2—0.5) и отвечает окислительным и субокислительным обстановкам формирования в диагенезе. Исключения представляют разрезы Салымского района, где содержание пирита сохраняется в интервале от 2 до 5 м в диапазоне 9—20 %. Значения степени пиритизации здесь изменяются от 0.8 до 0.9.

В подачимовской толще по сравнению с пачками I и II отмечается резкое уменьшение содержания  $S_{\text{орг}}$  (не более 3 % на породу), что ранее также отмечал И.В. Гончаров с коллегами [2016]. В среднем в

Мансийской синеклизе содержание  $C_{\text{орг}}$  в этой пачке выше, чем на Хантейской гемиантеклизе и Южно-Надымской мегамоноклизе (1.5 против 0.7 % на породу). Пиролитические параметры  $S_1$  и  $S_2$  самые низкие в изученных разрезах на Хантейской гемиантеклизе и Южно-Надымской мегамоноклизе, а также на Салымской площади Мансийской синеклизы (0.06—0.70 и 0.2—3.1 мг УВ/г  $C_{\text{орг}}$  соответственно),  $H_I$  не превышает 329 мг УВ/г  $C_{\text{орг}}$ . На Малобальжской и Чупальской площадях Мансийской синеклизы эти параметры выше (0.3—0.9 и 4.0—16.0 мг УВ/г  $C_{\text{орг}}$  соответственно). Содержание битумоидов очень низкое и не превышает 0.1 % на породу. В ароматической фракции битумоидов содержание дибензотиофенов снижается до 25 % на сумму идентифицированных соединений (фенантрены, дибензотиофены, моно- и триароматические стероиды). Значение отношения фенантрены к дибензотиофенам увеличивается до 7.0.

Глинистые породы подачимовской толщи характеризуются низкими значениями кажущегося УЭС. В Мансийской синеклизе они не превышают 10 Ом·м, а в Хантейской гемиантеклизе и Южно-Надымской мегамоноклизе 15 Ом·м. Отдельные экстремумы до 30 Ом·м связаны с увеличением содержания алевроитового материала. Среди изученных пачек породы подачимовской толщи характеризуются самыми высокими показателями удельной электрической проводимости, достигающими значений 178.6 мСм/м (см. таблицу). Значения гамма-активности пород в среднем не превышают 15 мкР/ч. Отдельные экстремумы этого параметра в разрезе описываемой пачки от Южно-Надымской мегамоноклизы к Мансийской синеклизе увеличиваются по значениям от 16 до 25 мкР/ч соответственно. В последнем случае они связаны с содержанием  $C_{\text{орг}}$ , составляющим около 4 %. В пределах Южно-Надымской мегамоноклизы и Хантейской гемиантеклизы повышенные значения гамма-активности согласуются со значительным увеличением концентраций в породах калия и тория.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Верхняя граница БС.** Анализ литологического состава пород и геохимических характеристик ОВ верхней границы баженовской свиты показал, что в районе Хантейской гемиантеклизы и Южно-Надымской мегамоноклизы она является более резкой. Пачка II в этих районах практически отсутствует. Наблюдается изменение цвета пород, обусловленное существенным снижением содержания  $C_{\text{орг}}$  (до 1—3 % на породу в Хантейской гемиантеклизе и Южно-Надымской мегамоноклизе и до 2—5 % на породу в Мансийской синеклизе). Так как уран в БС генетически связан с ОВ [Плуман, 1971; Неручев, 1982; Зубков, 2001б; Занин и др., 2016; и др.], также наблюдается существенное сокращение содержания этого элемента. Содержание мелкоалевритовой примеси возрастает с 1—2 до 5—7 %, глинистого материала с 20 до 40—70 %. Соответственно, происходит значительное увеличение содержания калия и тория, альбита, появление микротекстур, характерных для дистальных затухающих турбидитных потоков малой плотности и скорости. Как известно, торий и калий являются элементами, генетически связанными с терригенным глинистым материалом [Смыслов, 1974]. Таким образом, резкое увеличение их содержания на границе между БС и нижней пачкой подачимовской толщи служит дополнительным доказательством увеличения привноса терригенного материала в этот период времени.

На рассматриваемой границе происходит также смена генезиса кремнистого материала в породах. В «кокколитовой» пачке (I) баженовской свиты он преимущественно биохеогенный, а в пачках II—IV — аллотигенный. Резкое уменьшение доли биогенной составляющей в последних подтверждается анализом показателя  $(SiO_2 + CaO)/Al_2O_3$ . В БС он более 5, в пачках II—IV — около 3.

Фиксируется также резкое снижение значений степени пиритизации железа, указывающее на смену восстановительных условий на субокислительные в диагенезе и предположительно на окислительные в седиментогенезе. В Мансийской синеклизе пачка II более мощная (2—6 м), чем в Хантейской гемиантеклизе и Южно-Надымской мегамоноклизе, поэтому здесь смена состава пород не столь резкая, наблюдается изменение содержания глинистого материала с 35 до 40—45 %. Содержание органического углерода в кровле баженовской свиты в большинстве образцов изменяется от 9 до 15 % на породу и только в карбонатных прослоях оно меньше 5 % на породу.

Что касается особенностей распределения пирита, то в пачках II и III наблюдаются микропрослой пирита. В кровле баженовской свиты повышенные содержания пирита в породах коррелируют с повышенными концентрациями в породах органического углерода. В породах подачимовской толщи эта связь отсутствует, повышенные содержания пирита наблюдаются в породах с относительно низкими содержаниями органического углерода (менее 2 %). Подобные факты установления высоких содержания пирита в низкоуглеродистых осадках были описаны в работах [Страхов, 1962; Гаврилов, 2010] и связываются с процессами миграции железосодержащих растворов на стадии диагенеза и осаждения сульфидов на границах окислительной и восстановительной обстановок в осадке. Таким образом, зона пиритизации в низкоуглеродистых породах подачимовской толщи, упомянутая ранее [Зубков, 2001б, 2016; Панченко и др., 2016], служит репером смены редокс-обстановок — признаком существования

геохимического барьера в осадке. Изменение последних, как было упомянуто выше, вызвано сменой гидродинамического режима в морском бассейне в районе исследования. Согласно анализу значений степени пиритизации железа, условия формирования осадков пород БС, залегающих в ее кровле, были высоковосстановительными, подошвы подачимовской толщи — переходными между окислительными и восстановительными. Последнее подтверждает существование редокс-барьера на границе рассматриваемых отложений.

При анализе распределения карбонатного (известкового и доломитового) материала в пределах рассматриваемой зоны перехода установлено, что прослой вторичных карбонатов мощностью 0.5—1.0 м присутствуют в верхней части «кокколитовой» пачки в изучаемых разрезах БС (пачка I). В Мансийской синеклизе они наблюдаются на границах пачек III и IV и между пачками II и III. Осаждение этих карбонатов также связывается с осаждением вещества из растворов на геохимических барьерах.

Параметры  $S_1$  и  $S_2$  изменяются от 4—9 и 40—70 мг УВ/г породы в большинстве образцов баженовской свиты (пачка I) до 0.1—4.0 и 0.2—20.0 мг УВ/г породы, в нижней части подачимовской толщи (пачки III-IV) соответственно. При этом значения водородного индекса (НИ) уменьшаются незначительно (от 350—550 до 330—500 мг УВ/г  $C_{орг.}$ ). Для баженовской свиты характерны самые высокие значения (до 2.5 % на породу) концентраций битумоидов в мезозойском разрезе ЗСБ. В подачимовской толще содержание битумоидов значительно меньше и не превышает 0.7 % на породу. В целом в изученных разрезах тенденции изменения состава пород и ОВ сохраняются.

Значение отношения фенантронов к дибензотиофенам в ароматической фракции подачимовских битумоидов увеличивается до 7 по сравнению с баженовскими, где оно не превышает 2, что также свидетельствует о смене окислительно-восстановительных условий в осадке. Повышенные содержания дибензотиофенов в баженовской свите объясняются их накоплением в ходе диагенетических преобразований аквагенного органического вещества в осадках морских водоемов с сероводородным заражением либо дефицитом кислорода в наддонных водах [Конторович и др., 2004].

Необходимо отметить, что границы переходных пачек, выделенных по литологическим параметрам, с одной стороны, и по геохимии ОВ, с другой, — не всегда совпадают (см. рис. 2). Это связано с тем, что при относительно несущественном изменении условий седиментации, в первую очередь, это отражается на составе осадков, а изменение состава ОВ происходит несколько позже. В большинстве случаев после изменения состава пород (к примеру, увеличения содержания глинистого материала на 5—10 %), изменения в содержании ОВ мы наблюдаем только через 1—2 м вверх по разрезу. Исключение представляет рассматриваемая в настоящей статье граница между переходной пачкой БС (II) и переходной пачкой подачимовской толщи (III). Границы между этими пачками при выделении по литологии и геохимии ОВ во всех изученных разрезах совпадают. Вероятно, это объясняется наиболее резкой сменой условий седиментации в этот период времени — с преимущественно биохемой до аллотигенной.

Сопоставление границ пачек, выделенных по вышеупомянутым характеристикам, показано на рис. 2.

По результатам проведенных исследований для выделения кровли баженовской свиты по ГИС необходимо использовать комплекс каротажа ГК, НГК, БК и ИК. Аналогичный комплекс предложен авторами работ [Хабаров и др., 1981; Балущкина, 2011; Павлова и др., 2012] для выделения литотипов пород баженовской свиты. Использование вышеуказанного комплекса каротажа, в отличие от метода выделения верхней границы БС по аномалии КС, позволяет учитывать в составе БС пачку, переходную от верхней части баженовской свиты к подошвенной части подачимовской толщи (пачка III).

Выделение границ пачек по значениям параметров ГИС не представляется возможным вследствие их больших расхождений в отдельных скважинах (см. рис. 2). Выделение кровли баженовской свиты в результате комплексного анализа литологических, геохимических и геофизических параметров позволило получить следующую качественную характеристику границы: кровле баженовской свиты соответствуют минимальные значения кажущегося УЭС пород перед резким его увеличением, резкое увеличение гамма-активности, снижение параметров НГК, резкое снижение индукционной проводимости (см. рис. 4—6). Средние значения геофизических параметров по изученным скважинам составляют 17 Ом·м (БК), 24 мР/ч (ГК), 3.6 усл. ед. (НГК), 90.7 мСм/м (ИК). Отклонения в 1,5 раза от средних показаний по отдельным скважинам может быть связано, в частности, для радиоактивного каротажа с применением разных эталонов для настройки приборов, а электрического — интерпретацией каротажа без учета влияния ширины зоны проникновения и состава бурового раствора.

**Условия формирования.** «Кокколитовая пачка» БС (I) формировалась в условиях пониженного сноса терригенного материала, в условиях «голодного» бассейна, в котором преобладала биогенная седиментация. Основными продуцентами ОВ и породообразующими организмами в этот период времени были кокколитофоридовые водоросли и радиолярии. Согласно значениям степени пиритизации пирита, условия в диагенезе были высоковосстановительными. В связи с высокой биопродуктивностью и за-

стойным режимом придонных вод, этот период был наиболее благоприятным для накопления больших масс органического вещества (на настоящее время в некоторых образцах оно достигает 25 %).

Далее во время отложения материала пачки II, с наступлением регрессии, а также с проградацией береговой линии в центральную часть ЗСБ стало поступать повышенное количество глинистого материала. Как было отмечено выше, содержание его возрастает с 15—20 до 35 % в пачке II. По-видимому, это увеличение привноса аллотигенного материала способствовало замутненности вод, что создало условия, неблагоприятные для существования фауны. В этот период кокколитофоридовые водоросли перестали существовать, сократилось количество радиолярий. Накопление керогена уменьшилось. Таким образом, на этом этапе произошло резкое сокращение отложения биогенного карбонатного и кремнистого материалов. Окислительно-восстановительные условия в диагенезе существенно не изменились, но в целом уменьшение объема захоронения органического вещества, по-видимому, способствовало некоторому снижению степени восстановленности среды осадка.

Следующий этап, во время которого отложился материал пород пачки III (переходной к нижней части подачимовской толщи), ознаменовался еще большим увеличением привноса глинистого материала. Содержание глинистого материала в количестве 40 % явилось пороговым значением, при котором резко снизилось накопление керогена до 2—4 %. Вероятно, описанное выше изменение седиментационного режима ухудшило условия захоронения ОВ. С одной стороны, повышенное количество привнесенного глинистого материала разбавляло захороняемые органические остатки в осадке, с другой, — потоки вод, которые в этот период стали достигать центральную часть бассейна и привносили глинистый материал, были причиной нарушения застойного режима наддонных вод. Этот факт подтверждается понижением значений степени пиритизации железа до 0.7—0.8 в диагенезе. Как было отмечено ранее [Занин и др., 2005], степень пиритизации отложений отражает обстановки диагенеза: при седиментогенезе они, как правило, более окислительные. Таким образом, предположительно условия седиментогенеза этой пачки были субокислительными (СП менее 0.7). При сравнении с предыдущим периодом существенно сократилось накопление ОВ, вызванное ухудшением условий его захоронения, с одной стороны, разубоживанием глинистым материалом, с другой, — субокислительными условиями.

Далее при накоплении пород пачки IV (нижней части подачимовской толщи) произошло повышение объема аллотигенного глинистого материала до 45—70 %, содержание керогена в породах понизилось до 0.5—2.0 %, привнос мелкоалевритового материала возрос (5—10 %). Условия захоронения ОВ изменились до окислительных — субокислительных, в седиментогенезе они, вероятно, были окислительными.

Выявленное увеличение толщин пачек II—III с востока на запад увязывается с расположением скважин относительно положительных и отрицательных тектонических элементов 0 порядка (палеоландшафтом) и расстоянием от источника сноса. Наибольшие толщины характерны для разрезов в пределах Мансийской синеклизы. В отдельных разрезах толщина переходного интервала по ГИС достигает 19 м. Возможно, это связано с приуроченностью к склону Мансийской синеклизы со стороны Хантейской гемиантеклизы. Этот вопрос требует дальнейших исследований, для чего, в первую очередь, необходимо увеличить количество точек наблюдений.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В изученных разрезах центральных районов Западно-Сибирского бассейна в зоне перехода от баженовской свиты к подачимовской толще снизу—вверх выделяются четыре пачки, отличающиеся по литолого-геохимическим и геофизическим параметрами: I — «кокколитовая» пачка баженовской свиты; II — верхняя переходная пачка баженовской свиты; III — переходная пачка подачимовской толщи; IV — нижняя пачка подачимовской толщи.

2. Верхняя граница баженовской свиты (между переходными пачками баженовской свиты и подачимовской толщи) характеризуется сменой литологического состава пород и геохимических параметров органического вещества. В разрезах баженовской свиты Хантейской гемиантеклизы и Южно-Надымской мегамоноклизы она более резкая за счет почти полного отсутствия переходной пачки баженовской свиты, а в Мансийской синеклизе — более постепенная. И в том, и в другом случае изменения состава пород и органического вещества свидетельствуют о существенной перестройке седиментационной системы, служащей причиной заметного сокращения накопления ОВ в осадках.

3. Переходная часть подачимовской толщи отличается зоной пиритизации преимущественно в кровле или подошве, что является результатом осаждения пирита на геохимическом барьере — на границе смены окислительно-восстановительных условий. Смена редокс-условий подтверждается анализом степени пиритизации железа и геохимических показателей органического вещества.

4. Для выделения кровли баженовской свиты необходимо использовать результаты комплексного анализа литолого-геохимических исследований ядра скважины и ГИС (ГК, НГК и его вариации, БК и

ИК). При анализе каротажа, в первую очередь, следует обращать внимание на радиоактивность, а не на значения электрических сопротивлений. В этом случае из разреза не будут исключены кероген-глинистые и глинистые микститы пачки II, характеризующиеся повышенной радиоактивностью. Кровля баженовской свиты имеет следующую качественную характеристику (описание приводится сверху—вниз): ей соответствуют минимальные значения кажущегося УЭС, сменяющиеся резким его увеличением, резкое увеличение гамма-активности, снижение показателей НГК, резкое снижение индукционной проводимости. Средние значения геофизических параметров по изученным скважинам составляют 17 Ом·м (БК), 24 мкР/ч (ГК), 3.6 усл. ед. (НГК), 90.7 мСм/м (ИК). Отклонение в 1.5 раза от средних показаний по отдельным скважинам может быть связано с настройкой аппаратуры для измерений и технологически особенностями бурения скважины.

Работа выполнена при поддержке проектов ФНИ № 0331-2019-0021 «Основные седиментационные и постседиментационные процессы и закономерности их эволюции в протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнах Сибири», № 0331-2019-0022 «Органическая геохимия и история геологического развития доминантных нефтегазовых систем верхнего протерозоя и фанерозоя Сибири», № 0331-2019-0019 «Геология, условия формирования и закономерности размещения залежей углеводородов с трудноизвлекаемыми запасами в Западно-Сибирском мегабассейне».

#### ЛИТЕРАТУРА

**Балушкина Н.С.** Литофизическая типизация и нефтеносность пород баженовского горизонта в зоне сочленения Сургутского и Красноленинского сводов: Автореф. дис... к. г.-м. н. М., 2011, 20 с.

**Балушкина Н.С., Калмыков Г.А., Кирюхина Т.А., Коробова Н.И., Корост Д.В., Соболева Е.В., Ступакова А.В., Фадеева Н.П., Хамидуллин Р.А., Шарданова Т.А.** Закономерности строения баженовского горизонта и верхов абалакской свиты в связи с перспективами добычи нефти // Геология нефти и газа, 2013, № 3, с. 48—61.

**Богородская Л.И., Конторович А.Э., Ларичев А.И.** Кероген. Методы изучения, геохимическая интерпретация. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, 255 с.

**Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А., Булыникова С.П., Климова И.Г., Месежников М.С., Вячкилева Н.П., Козлова Г.Э., Лебедев А.И., Нальняева Т.И., Турбина А.С.** Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск, Наука, 1986, 217 с.

**Булыникова С.П., Гольберт А.В., Климова И.Г., Конторович А.Э., Полякова И.Д., Решетникова М.А., Турбина А.С.** Палеобиофашии нефтегазоносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты / Под ред. А.В. Гольберта, А.Э. Конторовича. М., Недра, 1978, 86 с. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 248).

**Гаврилов Ю.О.** Диагенетическая миграция сульфидов в отложениях различных обстановок седиментации // Литология и полезные ископаемые, 2010, № 2, с. 133—150.

**Гайдебурова Е.А.** Типы разрезов доманикитов Западной Сибири // Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1982, с. 23—32.

**Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Фадеева С.В., Веклич М.А., Кашапов Р.С., Трушков П.В., Бахтина Е.С.** Типы и катагенез органического вещества баженовской свиты и ее возрастных аналогов // Нефтяное хозяйство, 2016, № 10, с. 20—25.

**Гурари Ф.Г., Вайц Э.Я., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Перозин Г.Н., Предтеченская Е.А., Рудницкая Д.И., Стасова О.Ф., Фролов В.Х., Фролова Л.А.** Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. М., Недра, 1988, 199 с.

**Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.** Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера, 2005, № 4, с. 118—135.

**Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.** Уран, торий и калий в черных сланцах баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна // Литология и полезные ископаемые, 2016, № 1, с. 82—94.

**Зубков М.Ю.** Состав, строение и условия образования пород баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) // Литология и полезные ископаемые, 2001а, № 1, с. 37—48.

**Зубков М.Ю.** Анализ распределения К, U, Th и В в верхнеюрских отложениях центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) с целью их стратификации, корреляции и выделения в них потенциально продуктивных пластов // Геохимия, 2001б, № 1, с. 51—70.

**Зубков М.Ю.** Региональный и локальный прогнозы нефтеносности баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Горные ведомости, 2016, № 3—4, с. 46—68.

**Карогодин Ю.Н., Казаненков В.А., Рыльков С.А., Ершов С.В.** Северное Приобье Западной Сибири. Геология и нефтегазоносность неокома. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000, 200 с.

**Киселев В.П., Казаненков В.А., Павлова М.А.** Строение и нефтегазоносность пограничных отложений юры и мела Юганского Приобья по геофизическим данным // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2007, № 6, с. 47—56.

**Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К., Сурков В.С., Трофимук А.А., Эрвье Ю.Г.** Геология нефти и газа Западной Сибири. М., Недра, 1975, 680 с.

**Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Иванова Е.Н., Фомин А.Н.** Фенантрены, ароматические стераны и дибензотиофены в юрских отложениях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и их значение для органической геохимии // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (7), с. 873—883.

**Конторович А.Э., Фомин А.Н., Красавчиков В.О., Истомин А.В.** Катагенез органического вещества в кровле и подошве юрского комплекса Западно-Сибирского мегабассейна // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (11), с. 1191—1200.

**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.** Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 972—1012.

**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.** Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (5—6), с. 745—776.

**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.

**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., Пономарева Е.В., Бурштейн Л.М., Глинских В.Н., Ким Н.С., Костырева Е.А., Павлова М.А., Родченко А.П., Ян П.А.** Распределение органического вещества в породах баженовского горизонта (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2018б, т. 59 (3), с. 357—371.

**Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Сурпуненко О.И.** Тектоническое строение и история тектонического развития Западно-Сибирской геосинклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (11—12), с. 1832—1845.

**Лапковский В.В., Конторович В.А., Шмелев Н.Е.** Обобщенный образ и обоснование границ баженовской свиты по каротажным данным для разрезов салымского типа (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (9), с. 1408—1417.

**Методы изучения осадочных пород** / Ред. Н.М. Страхов. М., Госгеолтехиздат, 1957, т. 2, 563 с.

**Наумов А.Л.** К методике реконструкции рельефа дна Западно-Сибирского раннемелового бассейна // Геология и геофизика, 1977 (10), с. 38—47.

**Наумов А.Л., Онищук Т.М., Дядюк Н.П., Иващенко А.Е., Романенков В.А., Шипицин В.В., Юдин А.Г.** О литологических залежах углеводородов на севере Западной Сибири // Геология нефти и газа, 1979, № 8, с. 15—20.

**Неручев С.Г.** Уран и жизнь в истории Земли. Л., Недра, 1982, 208 с.

**Павлова М.А., Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Глинских В.Н., Сухорукова К.В., Ян П.А., Казаненков В.А.** Интерпретация материалов геофизических исследований скважин широтного Приобья из интервалов баженовской свиты: строение разрезов, литотипы и их физические свойства // Ленинградская школа литологии: материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина (Санкт-Петербург, 25—29 сентября 2012 г.). СПб., СПбГУ, 2012, т. II, с. 138—140.

**Панченко И.В., Немова В.Д.** Обоснование границ абалакско-баженовского комплекса на основании исследований новых керновых данных [Электронный ресурс] // «Геомодель-2015», 7—10 сентября 2015 г., Геленджик, 2015, Тп 00 01.

**Панченко И.В., Балушкина Н.С., Барабошкин Е.Ю., Вишневская В.С., Калмыков Г.А., Шурекова О.В.** Комплексы палеобиоты в абалакско-баженовских отложениях центральной части Западной Сибири // Нефтегазовая геология, 2015, т. 10, № 2, с. 1—29.

**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 и ГИС // Геология нефти и газа, 2016, № 6, с. 22—34.

**Плуман И.И.** Ураноносность черных аргиллитов волжского яруса Западно-Сибирской плиты как критерий геохимических условий осадконакопления // Геохимия, 1971, № 9, с. 1138—1143.

**Полякова И.Д., Кроль Л.А., Перозин Г.Н., Предтеченская Е.А.** Литолого-геохимическая классификация разрезов и седиментационная модель баженовской свиты // Геология и геофизика, 2002, т. 43 (3), с. 240—251.

- Постановление МСК** / Под ред. А.И. Жамоиды, О.В. Петрова. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2008, вып. 38, 153 с.
- Предтеченская Е.А., Сапьяник В.В., Кроль Л.А., Нассонова Н.В., Суров П.В.** Опыт применения материалов ГИС для реконструкции условий формирования доманикитов (на примере баженовской свиты Центрального Приобья) // Фациальный анализ в нефтегазовой литологии. Труды II регионального совещания, посвященного памяти Л.Н. Ботвинкиной. Томск, ТПУ, 2012, с. 137—147.
- Родионов В.А., Запивалов Н.П., Базылев А.П.** Закономерности изменения электрического сопротивления и естественной радиоактивности пород баженовской свиты в пределах Западно-Сибирской плиты // Тр. ЗапСибНИГНИ. Тюмень, 1976, вып. 116, с. 96—103.
- 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.
- Руководство по анализу битумов и рассеянного органического вещества горных пород (для лабораторий геолого-разведочных организаций)** / Под ред. В.А. Успенского, К.Ф. Родионовой, А.И. Горской, А.П. Шишковой. Л., Недра, 1966, 315 с.
- Рыжкова С.В., Бурштейн Л.М., Ершов С.В., Казаненков В.А., Конторович А.Э., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Никитенко Б.Л., Фомин М.А., Шурыгин Б.Н., Бейзель А.Л., Борисов Е.В., Золотова О.В., Калинина Л.М., Пономарева Е.В.** Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (7), с. 1050—1074.
- Салымский нефтегазоносный район** / Ред. И.И. Нестеров. Тюмень, 1970, 314 с. (Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 41).
- Сапьяник В.В., Предтеченская Е.А., Кроль Л.А., Зайцева Ю.Л., Хилько А.П., Павлухин И.С.** Системно-исторический подход к прогнозу нефтеперспективных объектов в зоне сочленения баженовской и марьяновской свит // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2017, вып. 3, с. 29—45.
- Смыслов А.А.** Уран и торий в земной коре. Л., Недра, 1974, 231 с.
- Современные методы анализа в органической геохимии** / Ред. А.Э. Конторович. Новосибирск, СНИИГТМС, 1973, 100 с. (Тр. СНИИГТМС, вып. 166).
- Страхов Н.М.** Основы теории литогенеза. М., Изд-во АН СССР, 1962, т. II, 574 с.
- Страхов Н.М., Залманзон Э.С.** Распределение аутигенно-минералогических форм железа в осадочных породах и его значение для литологии // Изв. АН СССР. Серия геологическая, 1955, № 1, с. 34—51.
- Успенский В.А., Инденбам Ф.Б., Чернышев А.С., Степникова В.Н.** К разработке генетической классификации рассеянного органического вещества // Вопросы образования нефти. Л., 1958, вып. 128, с. 221—314.
- Ушатинский И.Н.** Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири // Советская геология, 1981, № 2, с. 11—12.
- Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.Н., Барташевич О.В.** Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири // Советская геология, 1980, № 10, с. 94—105.
- Хабаров В.В., Барташевич О.В., Нелепченко О.М.** Геолого-геофизическая характеристика и нефтеносность битуминозных отложений пород баженовской свиты Западной Сибири // Геология, методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Обзорная информация. М., ВНИЭМС, 1981, 41 с.
- Эдер В.Г.** Некоторые типы разрезов верхнеюрских баженовской и георгиевской свит Обь-Иртышского междуречья // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (6), с. 746—754.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Жигульский И.А.** Особенности литологического состава основных типов разрезов баженовской свиты // Геология нефти и газа, 2015а, № 6, с. 96—106.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Ян П.А., Хабаров Е.М.** Особенности формирования баженовской свиты на границе юры и мела в центральной части Западной Сибири // Литосфера, 2015б, № 4, с. 17—32.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Жигульский И.А.** Литология баженовской свиты в районах Хантейской гемиянтеклизы и Межовского мегамыса Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Геология нефти и газа, 2016, № 6, с. 87—96.
- Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Ян П.А.** Закономерности распространения кремнистых пород и «кокколитовой» пачки баженовской свиты // Геология и геофизика, 2017, т. 58 (3—4), с. 511—521.
- Юрченко А.Ю., Балущкина Н.С., Калмыков Г.А., Хамидуллин Р.А., Коробова Н.И., Блинова В.Н.** Строение и генезис известняков на границе абалакской и баженовской свит в центральной части Западно-Сибирского бассейна // Вест. МГУ. Серия 4: Геология, 2015, № 5, с. 62—68.
- Ясович Г.С., Поплавская М.Д.** К стратиграфии битуминозных отложений верхней юры и неокома Западно-Сибирской равнины // Материалы по геологии нефтегазоносных районов Западной Сибири. Тюмень, 1975, с. 28—57. (Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 102).

- O'Brien N.R., Slatt R.M.** Argillaceous rock atlas. New York, Springer-Verlag, 1990, 137 p.
- Raiswell R., Buckley F., Berner R.A., Anderson T.F.** Degree of pyritization of iron as a paleoenvironmental indicator of bottom-water oxygenation // *Sediment. Petrol.*, 1988, v. 58, № 5, p. 812—819.
- Tissot B.P., Welte D.H.** Petroleum formation and occurrence. New York, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1978, 535 p.
- Vandenbroucke M.** Kerogen: from types to models of chemical structure // *Oil Gas Sci. Technol.*, 2003, v. 58, № 2, p. 243—269.
- Wignall P.B.** Black shales. Oxford, Clarendon Press, 1994, 127 p.

*Рекомендована к печати 22 мая 2019 г.  
А.Э. Конторовичем*

*Поступила в редакцию 10 декабря 2018 г.,  
после доработки — 21 марта 2019 г.*