

УДК 550.8.053

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-1-66-82

СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНАЯ ТИПИЗАЦИЯ РАЗРЕЗОВ БАЖЕНОВСКОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ФОРМАЦИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО БАСЕЙНА

Ирина Ярославовна Богатырева¹✉, Юлия Александровна Коточкова²,
Наталья Сергеевна Балущкина³, Олег Владимирович Хотылев⁴,
Мария Михайловна Фомина⁵, Наталья Андреевна Тюрина⁶,
Борис Иосифович Яблоновский⁷, Георгий Александрович Калмыков⁸

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; i.bogatyreva@oilmsu.ru✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; yu.kotochkova@oilmsu.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5004-4832>

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; natalybal@gmail.com

⁴ АО «ЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Москва, Россия; hot63@mail.ru

⁵ ООО «Рок Флоу Динамикс», Москва, Россия; mariia.fomina@rfdyn.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; turina2000@gmail.com

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; boris.yablonovskiy@yandex.ru

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; g.kalmykov@oilmsu.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8274-3622>

Аннотация. Баженовская высокоуглеродистая формация — это комплекс морских пелитоморфных отложений, обогащенных органическим веществом, которые накопились в условиях некомпенсированного осадками прогибания дна осадочного бассейна. Формация содержит углеводороды во всем объеме и является перспективным объектом для наращивания ресурсной базы. В статье представлен комплекс результатов исследований керн, интерпретации данных ГИС и сейсморазведки для проведения структурно-фациальной типизации разрезов баженовской высокоуглеродистой формации на всей территории ее распространения. Разноуровневый подход позволил разделить Западно-Сибирский бассейн на 13 структурно-фациальных зон, каждая из которых имеет свои особенности строения разреза формации, выраженные в общей мощности, наличии литолого-геофизических пачек, литофизических типов пород в пачках, общей концентрации органического углерода. Данная типизация разреза позволит в будущем упростить моделирование ее свойств и прогнозирование наиболее перспективных областей.

Ключевые слова. Баженовская свита, высокоуглеродистая формация, структурно-фациальная типизация, Западно-Сибирский бассейн, комплексирование данных

Для цитирования: Богатырева И.Я., Коточкова Ю.А., Балущкина Н.С., Хотылев О.В., Фомина М.М., Тюрина Н.А., Яблоновский Б.И., Калмыков Г.А. Структурно-фациальная типизация разрезов баженовской высокоуглеродистой формации Западно-Сибирского бассейна // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 1. С. 66–82.

STRUCTURAL-FACIES TYPIZATION OF THE BAZHENOV HIGH-CARBON FORMATION OF THE WEST SIBERIAN BASIN

Irina Ya. Bogatyreva¹✉, Yuliya A. Kotochkova², Natalya S. Balushkina³,
Oleg V. Khotylev⁴, Mariya M. Fomina⁵, Natalya A. Tyurina⁶, Boris I. Yablonovskiy⁷,
Georgiy A. Kalmykov⁸

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; i.bogatyreva@oilmsu.ru✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; yu.kotochkova@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5004-4832>

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; natalybal@gmail.com

⁴ JSC «ZARUBEZHGEOLGIA», Moscow, Russia; hot63@mail.ru

⁵ LLC «Rock Flow Dynamics», Moscow, Russia; mariia.fomina@rfdyn.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation; turina2000@gmail.com

⁷ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; boris.yablonovskiy@yandex.ru

⁸ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; g.kalmykov@oilmsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8274-3622>

Abstract. The Bazhenov high-carbon formation is a part of the Bazhenov formation, characterized by a high content of aquagenic organic matter. Formation is a perspective source for expanding the hydrocarbon resource base. The article presents a combination of the results of core studies, interpretation of well logging and seismic data. A multi-faceted approach to the study of rocks made it possible to divide the West Siberian basin into 13 structural-facies zones, each of which has its own structural features of the bazhenov high-carbon formation section. This

typification of the section will make it possible in the future to simplify the modeling of the properties of bazhenov high-carbon formation and predicting the most prospective areas.

Keywords: Bazhenov Formation, high-carbon formation, structural-facies typization, West Siberian basin, data integration

For citation: Bogatyreva I.Ya., Kotochkova Yu.A., Balushkina N.S., Khotylev O.V., Fomina M.M., Tyurina N.A., Yablonovskiy B.I., Kalmykov G.A. Structural-facies typizations of the bazhenov high-carbon formation of the West Siberian Basin. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 1: 66–82. (In Russ.).

Введение. Баженовская высокоуглеродистая формация (БВУФ) — это комплекс пелитоморфных отложений, обогащенных аквагенным органическим веществом, образовавшихся в конце юрского — начале мелового периода. Осадконакопление проходило в условиях некомпенсированного осадками прогибания морского дна баженовского эпиконтинентального морского бассейна. Формация включает отложения баженовской, тутлеймской и части мулымьинской, гольчихинской, марьяновской и яновстанской свит.

Баженовская и тутлеймская свиты наиболее обогащены органическим веществом и входят в состав БВУФ в полном объеме. В породах этих свит открыты все основные залежи нефти в высокоуглеродистых морских отложениях на территории Западной Сибири. БВУФ является региональным резервуаром стратегически важного для нефтяной промышленности значения, поскольку содержит углеводороды во всем объеме и может стать основным источником сланцевой нефти в России (ЕИА, 2013). При этом разработка БВУФ ведется только на нескольких месторождениях, приуроченных к бортовым зонам Фроловской мегавпадины, а запасы находятся на начальном этапе освоения. Поэтому изучение и прогнозирование нефтегеологических свойств БВУФ на всей территории распространения является залогом ее успешного освоения.

На первоначальных этапах освоения баженовской свиты (БС) предполагалось ее однородное строение. В одной из первых работ о строении БС Ивана Ивановича Нестерова с соавторами говорилось, что БС «...повсеместно представлена черными тонкоотмученными плотными аргиллитами...» [Бриндзинский и др., 1970]. По мере наращивания базы фактического материала подчеркивалось сложное, неоднородное строение баженовского горизонта, однако типы разрезов выделялись по распространению БС и ее аналогов с учетом соотношения главных органо-минеральных компонентов (ОВ, кремнезем, глинистое и карбонатное вещество) и показаниям геофизических исследований скважин (ГИС). Несмотря на гетерогенное строение, в разрезе БВУФ прослеживаются закономерности, благодаря которым можно выделить группы пород в разрезе — пачки, описанные в работах [Панченко и др., 2016; Калмыков, 2016; Бумагина и др., 2018; Хотылев и др., 2021 и др.]. По характеру изменения строения пачек по площади Западно-Сибирского бассейна при изучении БВУФ в разных частях бассейна нами были выявлены новые закономерности латеральной

и вертикальной изменчивости отложений и предложены модели седиментации для различных участков рельефа морского дна [Хотылев О.В. и др., 2021]. Данная статья продолжает начатую работу по анализу изменчивости разрезов БВУФ по площади. Целью статьи является структурно-фациальная типизация разрезов БВУФ на всей территории распространения на основе обобщения и разноуровневого анализа данных керна, интерпретации ГИС и сейсморазведки, а также межскважинной внутрипластовой корреляции.

Разделение БВУФ по типам разреза позволит ранжировать территорию на однотипные зоны с соответствующими разрезами, обобщить большое количество имеющихся данных и прогнозировать перспективы нефтеносности по зависимостям, полученным отдельно для каждой зоны.

Материалы и методы. Для структурных построений основой являлись региональные карты по отражающим горизонтам, региональные сейсмические разрезы [Создание..., 2007; Создание..., 2008; Нестеров и др., 2007], материалы локальных площадных сейсморазведочных работ по 132 участкам, корреляция и результаты интерпретации по 2616 скважинам, комплексные исследования керна более чем по 200 скважинам, выполненные коллективом авторов статьи. Карта фактического материала, использованного в работе, приведена на рис. 1.

В опорных скважинах с керном было проведено литологическое описание пачек и их геофизическая характеристика, а также выделение внутри пачек литотипов, которые при комплексном анализе керна и ГИС объединялись в литофизические типы (ЛФТ) в зависимости от характера геофизических кривых.

Основными методами ГИС, используемыми для типизации разрезов БВУФ, являются GR (гамма), НК (нейтронный) и ВК (боковой) каротажи. Изменение конфигурации кривой GR по площади отражает палеогеографические характеристики бассейна и его эволюцию, а НК — свойства и основной состав пачек БВУФ. Стандартная последовательность интерпретации на каротажных диаграммах выглядит следующим образом: 1 — нормирование кривых; 2 — расчленение разреза на условные уровни седиментации, выделение пачек и ЛФТ; 3 — установление в разрезе аномалий, отличающихся повышенными и пониженными показаниями каротажного параметра; 4 — выбор эталонной каротажной модели разреза с учетом данных керна по опорным скважинам; 5 — сопоставление текущего разреза с эталонным.

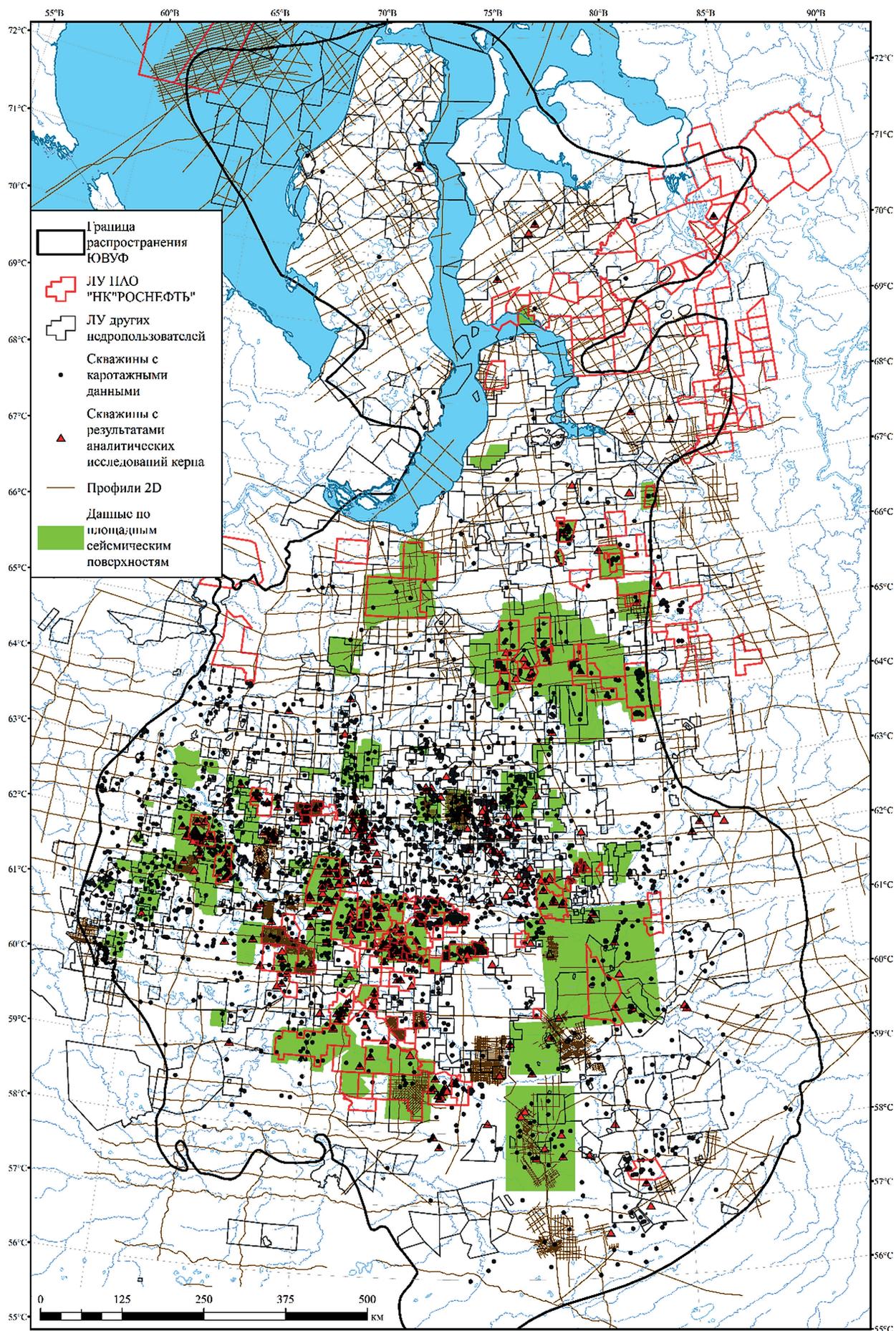


Рис. 1. Карта фактического материала

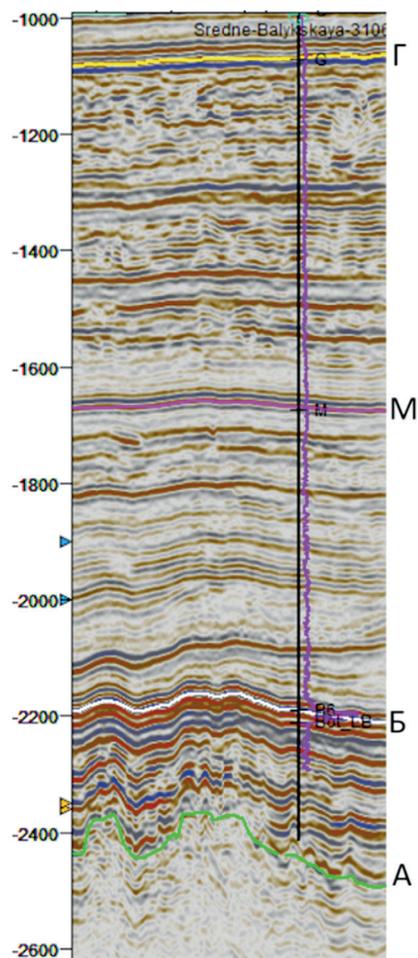
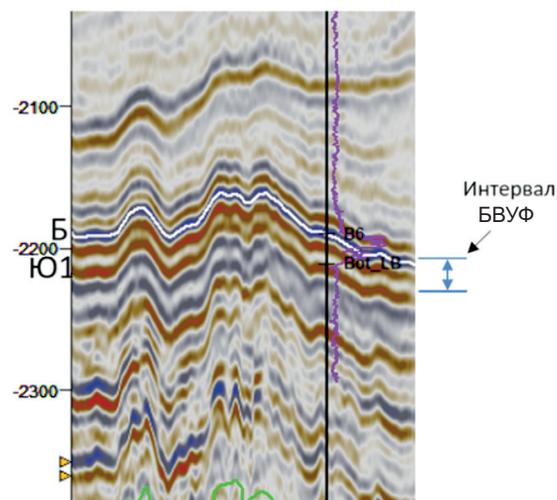


Рис. 2. Положение интервала БВУФ на сейсмическом временном разрезе



Методика типизации разрезов базировалась на анализе структурных карт, карт мощностей БВУФ в целом и каждой пачки в отдельности, седиментологическом и циклостратиграфическом анализе керн, с использованием каротажных обливок, которые отражают характерные изменения литологических, геохимических, петрофизических параметров (например, глинистости, пористости, ТОС и др.) в разных частях бассейна.

Построение структурной карты по отражающему горизонту Б (ОГ(Б)) Западного Сибирского бассейна заключалось в объединении региональных и локальных структурных карт в единые поверхности и увязке полученной карты с отбивкой ГИС, соответствующей кровле ОГ(Б) (рис. 4).

По локальным площадям, где необходимые структурные карты отсутствовали, карты рассчитывались на основе корреляции горизонтов, данных ВСП или сейсмокаротажа в скважинах, расположенных на изучаемой площади или на смежных территориях, отметок глубин по ГИС и глубинно-скоростной модели. Выбор методики построения локальных карт зависел от объема скважинных и сейсморазведочных данных и от сложности строения геологического разреза. Для оценки достоверности региональных структурных карт по ОГ(Б) была рассчитана разница сеток между региональными и детальными площадными картами. Среднее зна-

чение стандартного отклонения составило для ОГ(Б) порядка 13 м, что достаточно объективно характеризует погрешность региональных карт. Итоговая структурная карта по ОГ(Б) представлена на рис. 4. Структурные карты всех пачек БВУФ строились методом схождения от структурной карты по отражающему горизонту Б, который заключается в последовательном учете карт толщин соответствующих пачек. Карты мощностей отдельных пачек рассчитывались на основе значений толщин, определенных по данным ГИС при межскважинной корреляции 2616 скважин с полным стандартным комплексом исследований (GR, NK, BK). Обязательным этапом построения всех структурных карт было определение их невязок с отбивками соответствующего пласта по скважинам, построением корректирующих карт и внесение поправок.

Полученные результаты. Во всех изученных в керне разрезах выделяются и прослеживаются от скважины к скважине одинаковые литолого-стратиграфические пачки. Выделяются эти пачки по комплексам микро- и макрофауны, и характеризуются определенными литофизическими параметрами, отличающимися в разных участках бассейна. Для этих пачек выявлены геофизические критерии, позволяющие перейти к дифференциации разреза на зональном и региональном уровнях по данным ГИС.

Нижняя часть разреза БВУФ (объединенные пачки I–III) выделяется по низким относительно верхней части значениям гамма-каротажа, повышенным значениям сопротивления (BK, GZ, PZ), средним значениями плотности и акустики. По керну нижняя часть разреза делится на *три пачки*, но учитывая то, что по каротажу они не разделяются, пачки были объединены в одну. Граница с вышележащей четвертой пачкой характеризуется резким повышением значений радиоактивности и понижением плотности. **Четвертая пачка (IV)** выделяется по высоким значениям гамма-каротажа, сопротивления и акустического каротажа, а также по низким значениям нейтронного и плотностного каротажей, что связано с высоким содержанием органического вещества в пачке. **Пятая пачка (V)** выделяется по более низким, чем в четвертой пачке, показаниям гамма-каротажа, но всё еще высоким показаниям сопротивления. В большинстве случаев в V пачке показания нейтронного каротажа повышены относительно IV пачки. Часто по каротажу затруднительно провести границу между IV и V пачками, в этом случае их объединяют в одну верхнюю пачку. **Шестая пачка (VI)** ввиду высокого содержания пирита на большей части территории выделяется по низким значениям сопротивления вплоть до 0,1 Ом·м, при этом гамма-каротаж имеет относительно высокие значения.

Пачки слагаются комплексами пород, которые по схожести литологического состава и геофизических свойств были объединены в шесть основных ЛФТ, которые для простоты дальнейшего использования при индикаторном моделировании были обозначены индексами: 0 — глинисто-кремнёвые и кремнево-глинистые породы; 1 — керогеново-глинисто-кремнёвые породы; 2 — керогеново-глинисто-кремнёвые с пиритовой составляющей; 3 — кремнисто-карбонатные и кремнёвые породы; 4 — карбонатные и карбонатно-фосфатные породы; 5 — кероген-карбонатно-глинисто-кремнёвые породы.

Каждая пачка БВУФ отличается своим набором ЛФТ. Для нижней части разреза характерны ЛФТ 0, 3, 4, для IV пачки — 0, 1, 5, для V пачки — 1, 4, 5, для VI пачки — 2.

Наибольший интерес с точки зрения перспектив нефтеносности и улучшенных фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) представляют радиоляриты, которые относятся к кремнёвым породам — ЛФТ-3; ЛФТ-1, для которого характерны повышенные значения содержания органического вещества (ТОС) и ЛФТ-4, естественные коллектора которого приурочены к фосфоритовым прослоям.

Продуктивность кремнёвых пород в разрезе БВУФ (ЛФТ-3) была описана в работах Алексеева А.Д. [2009], Немовой В.Д., Панченко И.В. [2017], Калмыкова Г.А. [2016, 2017] и других исследователей. Радиоляритовые слои являются основным коллектором в разрезе БВУФ и встречаются как в виде

небольших и крупных линз с четкими границами, так и в виде слабочитаемых по керну прослоев с нечеткими границами, переслаивающимися с глинисто-кремнёвыми породами. Различие в морфологии радиоляритов обусловлено условиями их формирования. Предположительно, различные формы радиоляритов связаны с палеотечениями и зонами их воздействия [Немова, Панченко, 2017; Хотылев и др., 2019; 2021]. Предполагается, что толщина прослоев радиоляритов коррелируется с интенсивностью и продолжительностью существования палеотечений.

Керогеново-глинисто-кремнёвые разности (ЛФТ-1), как правило, слагают основную «матрицу» БВУФ и ФЕС в таких породах обычно характеризуются низкими значениями: $K_p < 2\%$, $K_{пр} < 0,01$ мД. Однако, зафиксированы повышенные значения ФЕС (K_p 5–10%, $K_{пр}$ 0,03–2,56 мД) в некоторых скважинах, приуроченных к зонам с повышенной зрелостью пород БВУФ, где за счет катагенетической преобразованности ОВ в матриксе породы образовалось поровое пространство. Подобное явление прослеживается на территории Салымского, Приразломного и других месторождений [Калмыков, Балущкина, 2017].

Фосфатсодержащие прослои (ЛФТ-4) были описаны в работах Эдер В.Г., Замирайловой А.Г. [2006; 2020], Зубкова М.Ю. [2015], Калмыкова Г.А. [2016] и др. В исследованиях отмечается, что данные образования обладают высокими емкостными свойствами — значения K_p могут достигать 15%.

Картина распределения радиоактивности разных частей разреза существенно различается по площади распространения БВУФ [Калмыков, Балущкина, 2017]. Радиоактивность нижней части разреза минимальна в зоне действия палеотечений с относительно активной гидродинамикой. Вне зоны действия течений в спокойных обстановках величина ГК нижней части разреза возрастает. К скачкообразному увеличению показаний ГК верхней части разреза приводит появление фосфоритов.

Сокращение мощностей разрезов происходит за счет последовательного выпадения отдельных пачек из разрезов на наиболее возвышенных участках палеорельефа вплоть до полного отсутствия нижней части разрезов и выклинивания отложений в приостровных участках.

В единый тип разреза относились зоны, скважины в которых обладают похожими характеристиками каротажных кривых, подчиняются общим законам корреляции пачек в интервале БВУФ, имеют общий диапазон мощностей пачек и их количество, обладают одинаковым набором ЛФТ и схожими средними значениями содержания органического углерода.

Основой для структурно-фациального зонирования Западно-Сибирского бассейна по соответствующим типам разреза по площади послужили структурные карты, построенные по отражающему

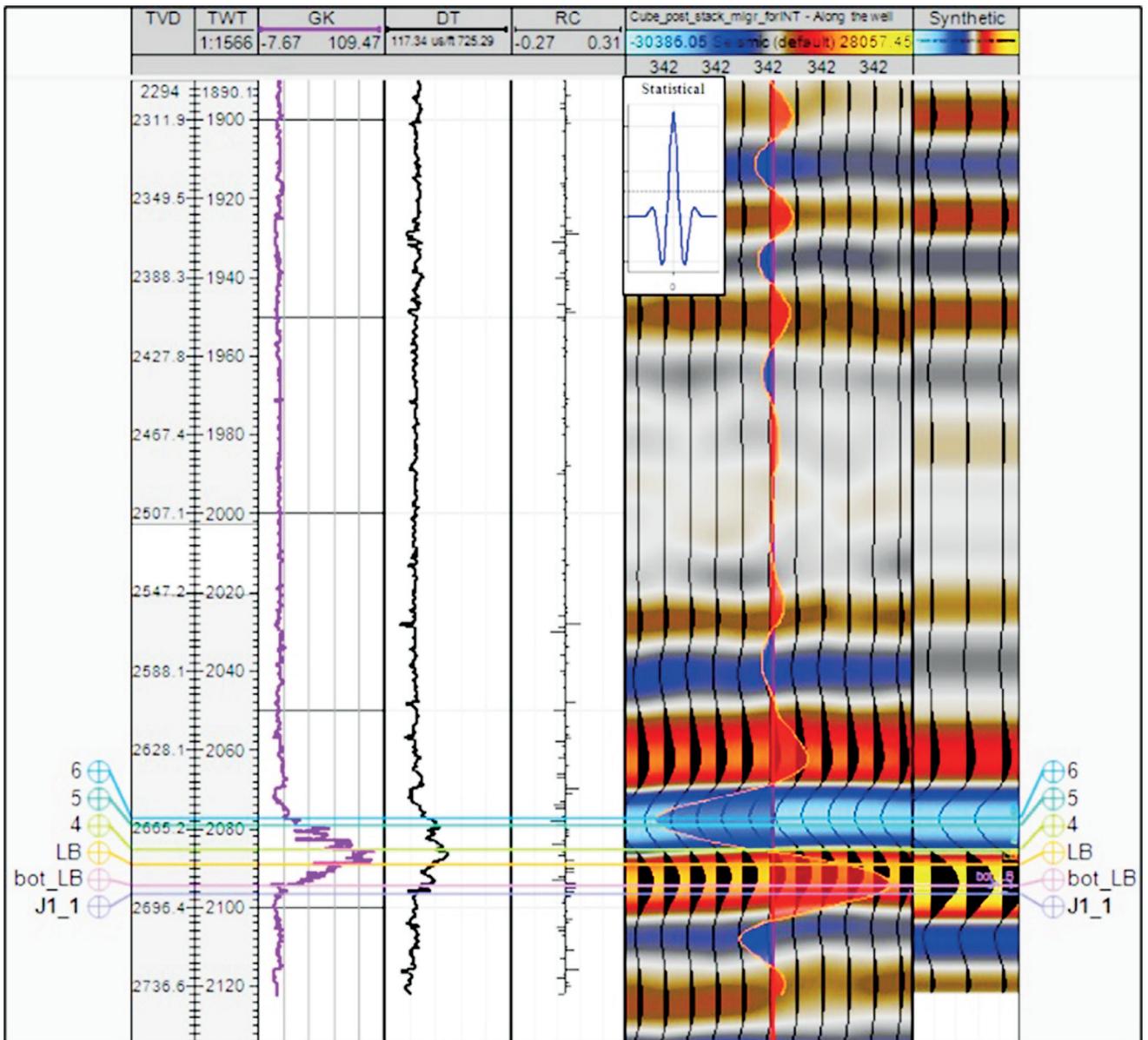


Рис. 3. Пример сейсмоакустического моделирования в районе Салымского мегавала

горизонту Б (ОГ(Б)) соответствующему кровле бажен-
новской свиты, отражающему горизонту Т (ОГ(Т)),
соответствующему кровле тюменской свиты, по
кровле каждой из выделенных в разрезе БВУФ пачек,
а также карты их мощностей.

На сейсмических разрезах интервал отложе-
ний БВУФ представлен динамически выраженным
2–3-фазным отражением, прослеживаемым на
временах от 1,3–1,5 с, на склонах поднятий южных
и западных границ Западно-Сибирского бассейна,
до 2,8 с на севере (двойное время пробега волны).
Экстремум интенсивной отрицательной фазы, со-
гласно одномерному сейсмоакустическому модели-
рованию, выполненному с использованием данных
ГИС, ВСП и сейсмокаротажа, соответствует кровле
ОГ(Б) и положению кровли V пачки по ГИС (рис. 3).
Стоит отметить, что кровля VI пачки изменяется по
отношению к фазам сейсмической записи и зависит
от местоположения скважины на площади, наличия

пирита и количества терригенного материала в отло-
жениях VI пачки. На сейсмическом разрезе интервал
БВУФ ограничен отражениями, ассоциируемыми
с ачимовскими отложениями сверху и отражениями,
формируемыми в интервале отложений георгиев-
ской и васюганской свит и их аналогов снизу.

Всего было выделено 13 типов разрезов,
характерных для соответствующих структурно-
фациальных зон: Красноленинский, Фроловский,
Салымский, Малобалыкский, Сургутский, Ниж-
невартровский, Самогторский, Островной, Губкин-
ский, Таркосалинско-Уренгойский, Тамбейский,
Низкоомный, Краинный. В отдельную категорию
вошли аномальные разрезы и зоны отсутствия
высокоуглеродистых отложений внутри разреза
(рис. 5).

Основные характеристики каждой структурно-
фациальной зоны (СФЗ) приведены в таблице. Схема
корреляции широтного направления по опорным

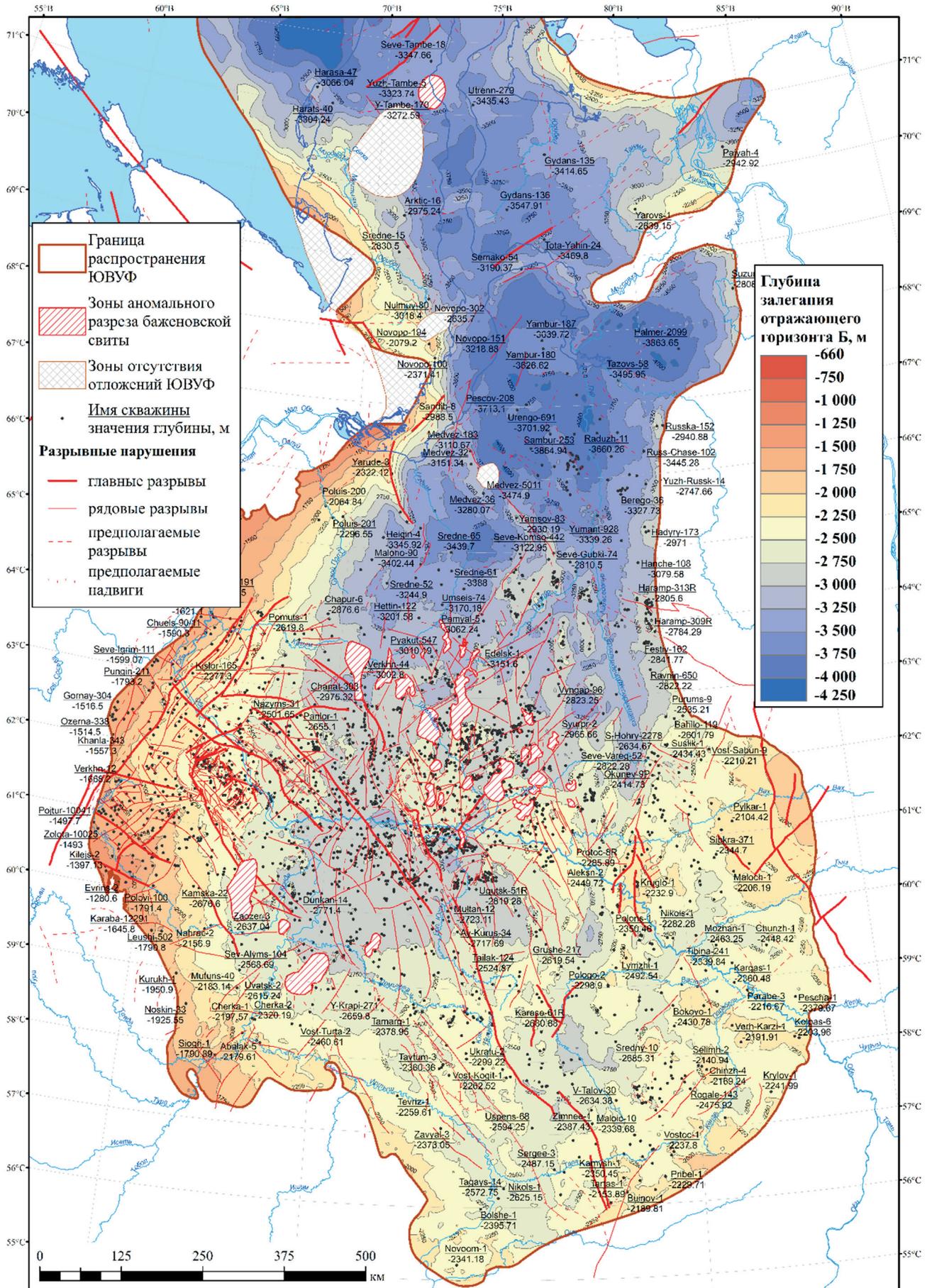


Рис. 4. Структурная карта ОГ(Б)

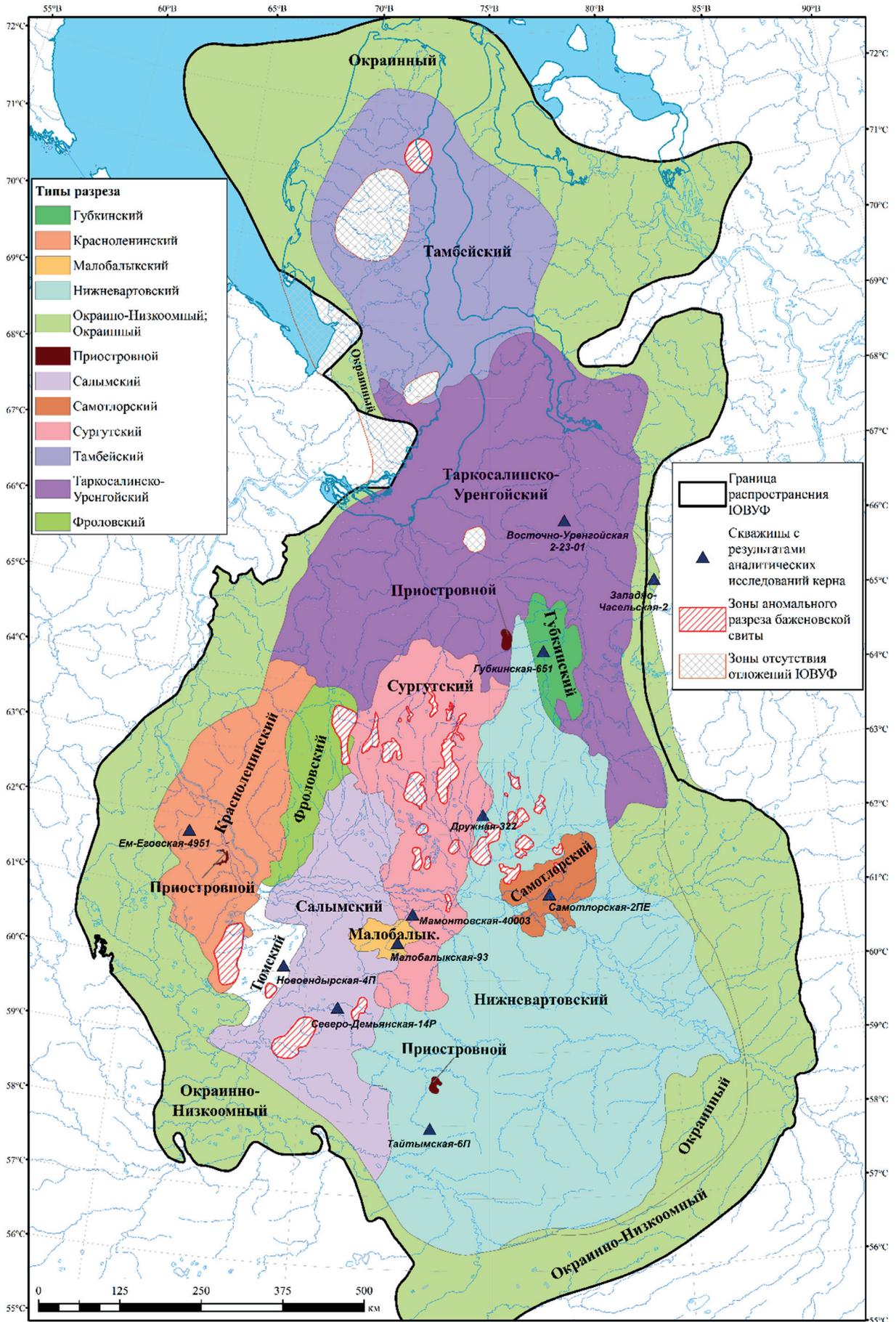


Рис. 5. Структурно-фациальные зоны БВУФ Западно-Сибирского бассейна

Комплексная характеристика каждого типа разреза БВУФ

Структурно-фациальная зона	Основные тектонические элементы	Средняя мощность БВУФ, м	Свита БВУФ	Площадь, км ²	Наличие пачек	Наличие ЛФТ по пачкам	ТОС _{Ср} , %	Примечания
КРАСНОЛЕНИНСКАЯ	Красноленинский свод, Согомская моноклинал, Полуийский свод, западный борт Фроловской мегавпадины	30–40	тутлеймская, баженновская	65 100	I–VI	I–III — 0, 3, 4 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5 VI — 0, 1, 2	9,6	VI пачка представлена преимущественно ЛФТ 2. Яркие пики GR в V пачке. Карбонатно-фосфатные и фосфатные стяжения в V пачке
ФРОЛОВСКАЯ	Фроловская мегавпадина	25–35	баженновская, тутлеймская	30 400	I–VI	I–III — 0, 3 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5 VI — 0, 1, 2	9	Переходный от Красноленинского к Салымскому
САЛЫМСКАЯ	Восточный борт Фроловской мегавпадины, западный склон Сургутского свода, западная часть Салымского мегавала, юго-западная часть Юганской мегавпадины и северная часть Верхнесалымского мегавала	30–40	баженновская, тутлеймская	80 285	I–VI	I–III — 0, 3, 4 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5 VI — 0, 1	10	Двучленное строение V пачки. Радиоактивность верхней части разреза выше нижней части
МАЛОБАЛЫКСКАЯ	Восточная часть Салымского мегавала, Малобалыкской седловины, юго-западная часть Усть-Балык-Мамонтовского вала	30–35	баженновская	4400	I–VI	I–III — 0, 3, 4 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5 VI — 0, 1	13,3	Мощный (до 2 м) радиолярит в кровле нижней части разреза. Радиоактивность нижней части разреза сопоставима с верхней частью
СУРГУТСКАЯ	Сургутский свод, Северо-Сургутская моноклинал, северная часть Юганской мегавпадины	25–30	баженновская	75 500	отсутствие II пачки	I–III — 0, 3, 4 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5 VI — 0, 1, 2	11,2	Радиолярит в кровле нижней части разреза до 0,7 м. Наличие зон АРБ. Переходный разрез от погруженных областей к восточным приподнятым зонам
НИЖНЕВАРТОВСКАЯ	Северо-Вартовская моноклинал, Нижневартовский свод, юго-восточная часть Юганской мегавпадины	20	баженновская	265 800	отсутствие I, II, VI пачек	III — 0, 3 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5	9,3	Мощность БВУФ уменьшается. Форма GR дугобразная с максимум в IV пачке. VI пачка по керну не выделяется
САМОГЛОРСКАЯ	Нижневартовский свод	15	баженновская	13 250	отсутствие I, II, VI пачек	III — 0, 3 IV — 0, 1, 5 V — 1, 4, 5	11,8	Мощность БВУФ уменьшается за счет отсутствия двух нижних пачек. Форма кривой GR сохраняет форму «сундучок». VI пачка по керну не выделяется

Структурно-фациальная зона	Основные тектонические элементы	Средняя мощность БВУФ, м	Свита БВУФ	Площадь, км ²	Наличие пачек	Наличие ЛФТ по пачкам	ТОС _{ср.} , %	Примечания
ПРИОСТРОВНАЯ	Каменная вершина, Урненская вершина	15–13	баженовская, тутлеймская	Локальные участки (Каменная вершина, Урненский выступ)	отсутствие I–III пачек	III — 0, 3, 4 IV — 0, 1 V — 1, 4, 5	8,9	БВУФ залегает с размывом. Приурочен к выступам фундамента. Уменьшение мощностей с полным отсутствием нижней части разреза. Выделение пачек не всегда возможно, VI пачка по керну не выделяется
ГУБКИНСКАЯ	Етыпурский мегавал, северная часть Вэнгапу-ровского мегавала, Губкинский и Таркосалинский валы, восточная часть Пякупурского мегапрогиба	50–60	баженовская	11 400	I–V	I–III — 0, 4, 5 IV — 0, 1, 3 V — 1, 4, 5	8	Большая мощность БВУФ, низкое содержание ТОС
ТАРКОСАЛИНСКО-УРЕНГОЙСКАЯ	Верхнеполуйская моноклираль, Заполярно-Береговая мегатерраса, Северо-Ямбургский мегапрогиб, Северо-Комсомольская террасы	15	баженовская	216 900	отсутствие II пачки	I–III — 0, 3 IV — 0, 1 V — 0, 1	7	Небольшая мощность БВУФ, низкое содержание ТОС
ТАМБЕЙСКАЯ	Центральная часть полуостровов Ямал и Гыдан, территория севернее Мессояхской гряды	15–20	баженовская, гольчихинская	117 500	I–V	I–III — 0, 3 IV — 0, 1 V — 0, 1, 5	6	Небольшая мощность БВУФ, низкое содержание ТОС, разрез заглинизирован
НИЗКООМНАЯ	Картируются внутри окраинного типа	–	баженовская, яновстанская, даниловская, ма-рьяновская, мулымбинская, тутлеймская	276 500	пачки не выделяются	–	2,6	Выделяются по сопротивлению в разрезе менее 10 Ом·м. Внутрипластовая корреляция не проводится ввиду отсутствия надежных реперов. Керна не было
ОКРАИННАЯ	Обрамляет Западно-Сибирский бассейн со всех сторон	–	мулымбинская, тутлеймская, баженовская, ма-рьяновская, яновстанская	248 000	пачки не выделяются	–	3,7	Внутрипластовая корреляция не проводится ввиду отсутствия надежных реперов. Большой привнос терригенного материала. Разрез алевро-глинистый с микролинзами кремнисто-глинистого состава

скважинам основных структурно-фациальных зон приведена на рис. 6.

Красноленинский тип разреза развит в западной части бассейна (за исключением зоны Каменной вершины, где представлен приостровной тип). По керну выделяется полный разрез БВУФ (пачки с I по VI).

При работе с ГИС в Красноленинской структурно-фациальной зоне сложно выделить подошву БВУФ, так как нижняя часть разреза низкорadioактивна и по значениям GR сложно отличима от подстилающей абалакской свиты. Для наиболее высокоуглеродистых IV и V пачек характерны яркие пики GR в верхней части разреза. VI пачка выделяется по низким значениям сопротивления вследствие большого содержания пирита.

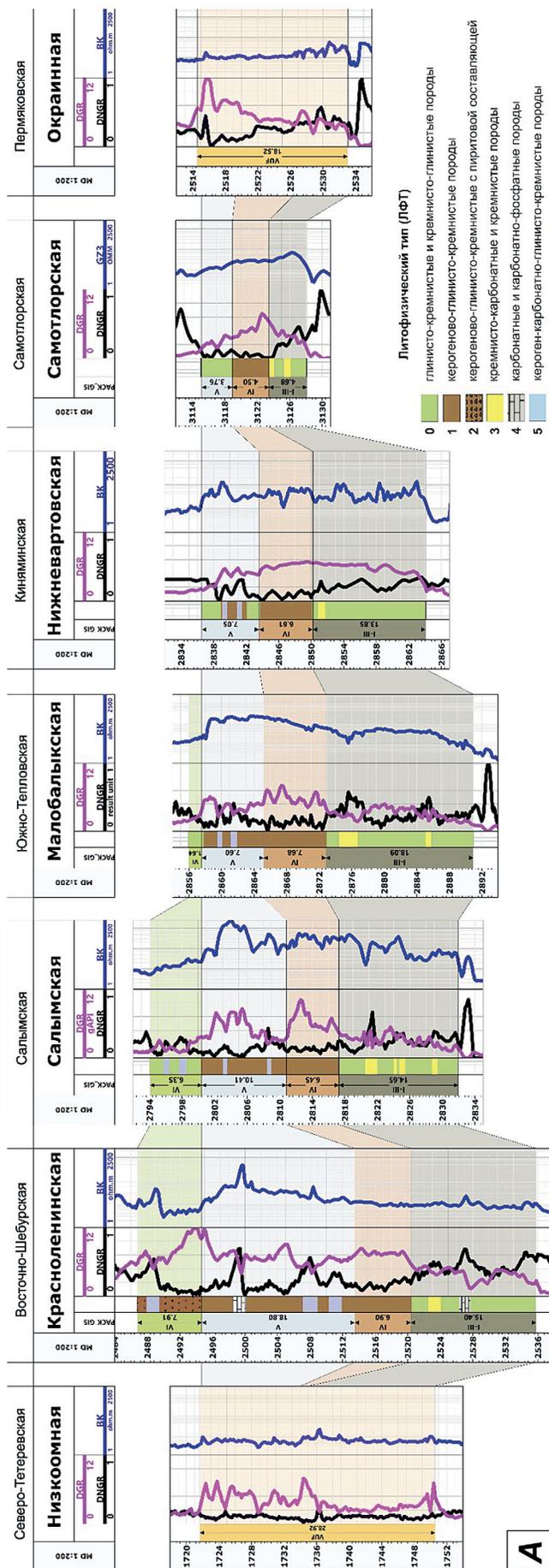
Анализ поведения отражений на региональных сейсмических профилях позволил предположить, что ось палеобассейна на завершающем этапе формирования клиноформного комплекса проходила в Красноленинской структурно-фациальной зоне. На рис. 7 показан фрагмент регионального профиля 19, проходящий от Березовской моноклинали на западе через Радомский мегавал и Помутскую мегатеррасу на востоке, и фрагмент регионального профиля 11, пересекающего Березовскую моноклинали, Сергинское купольное поднятие, Красноленинский свод в районе Ем-Еговского месторождения, Елизаровский прогиб в районе Средне-Назымского месторождения и, далее на восток — Фроловскую мегавпадину. Предполагаемое положение оси палеобассейна показано стрелкой и соответствует наиболее глубоководной области, в которой происходило «смыкание» клиноформ западного и юго-восточного фронтов. Сравнивая геометрию клиноформных отложений в самый ранний период их формирования и на стадии замыкания бассейна, можно предположить, что ось бассейна постепенно смещалась в восточном направлении, в сторону Пальяновского ЛУ, что может быть связано как с постепенным вздыманием территории со стороны Уральских гор, так и с сокращением сноса терригенного материала с восточной стороны бассейна [Захаров, 2006].

Средняя мощность БВУФ Красноленинского типа разреза 30–40 м, площадь 65 100 км², среднее содержание органического углерода (ТОС_{ср}) = 9,6%.

Фроловский тип. Фроловская СФЗ простирается узкой полосой в средней части бассейна и занимает центральное положение во Фроловской мегавпадине. Изучение керна материала показало, что разрез БВУФ в этой зоне, как правило, полный, схож по своему строению с Красноленинским типом. В верхах III пачки четко прослеживаются прослойки радиоляритов, мощность которых изменяется от 0,1 до 0,5 м.

Средняя мощность БВУФ Фроловского типа разреза 25–35 м, площадь 30 400 км², ТОС_{ср} 9%.

Фроловский тип разреза является переходным от Красноленинского к Салымскому.



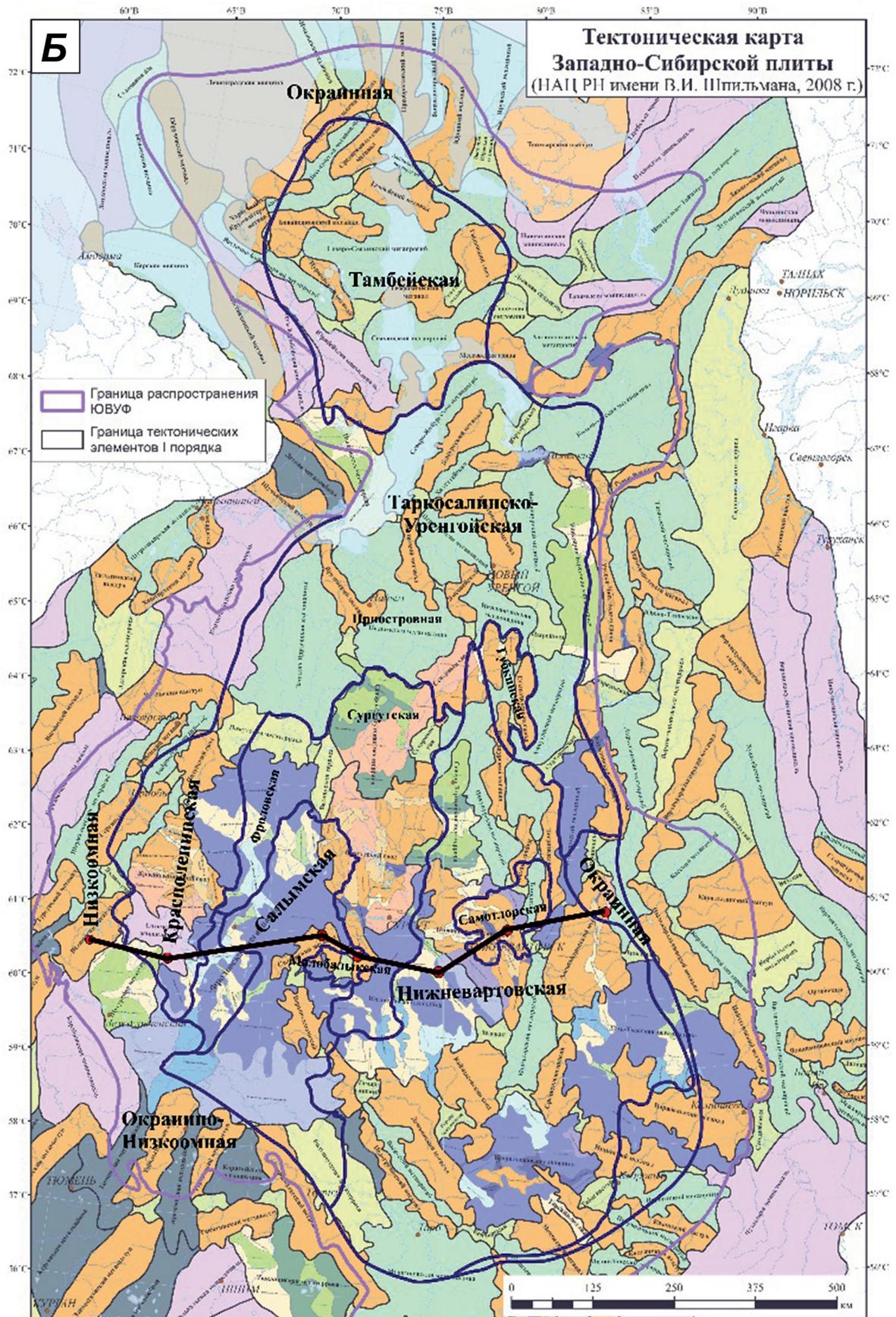


Рис. 6. А — Схема корреляция БВУФ широтного направления по опорным скважинам структурно-фациальных зон Западно-Сибирского бассейна; Б — Тектоническая карта осадочного чехла Западной Сибири с линией профиля корреляции ([Шпилыман и др., 2004] с дополнениями)

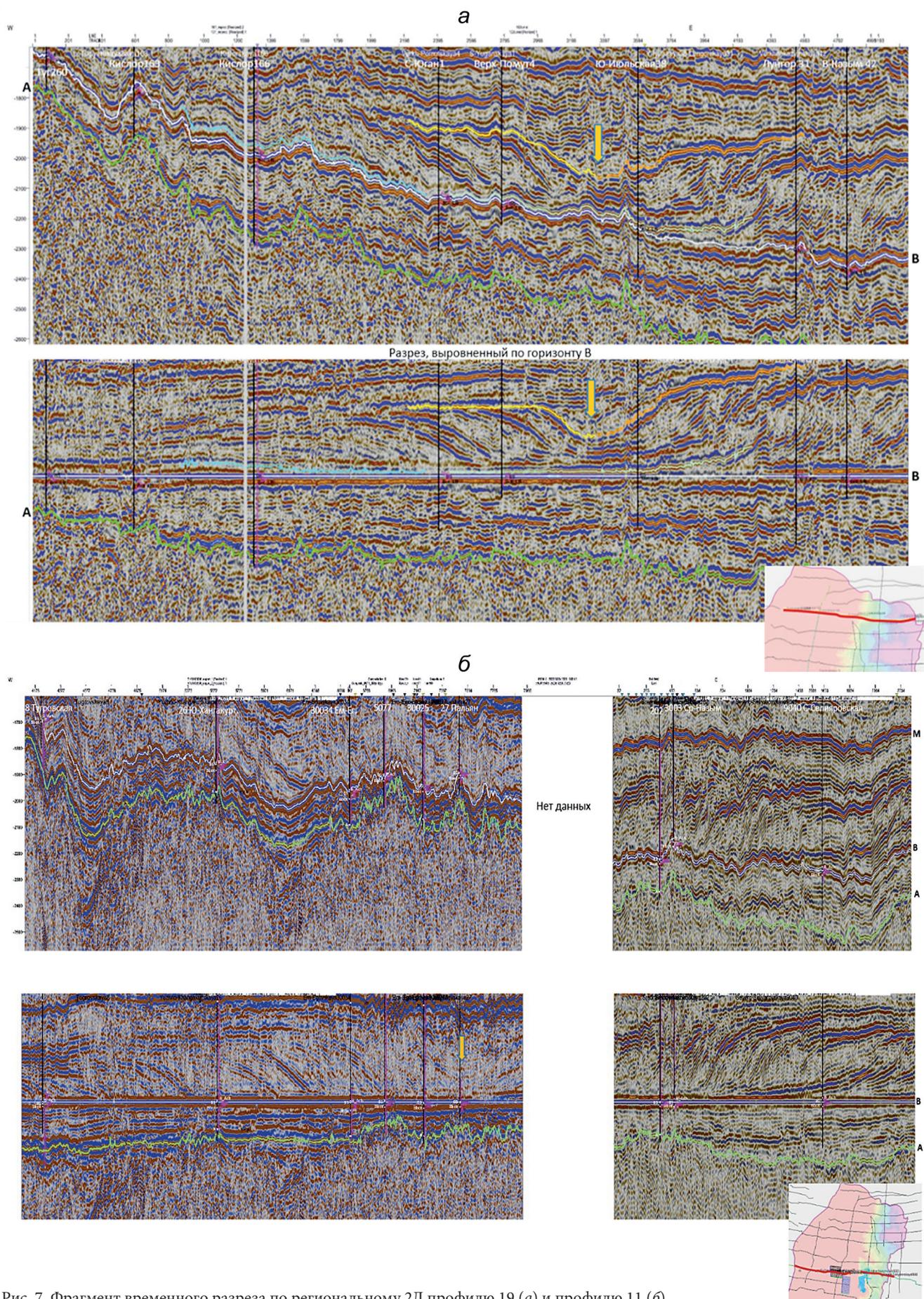


Рис. 7. Фрагмент временного разреза по региональному 2Д профилю 19 (а) и профилю 11 (б)

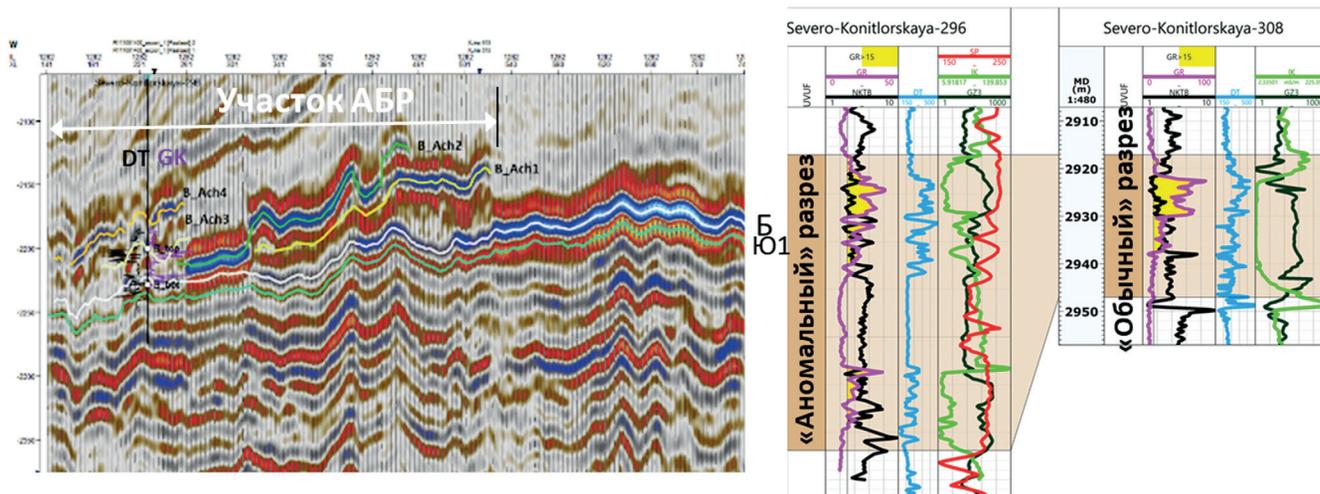


Рис. 8. Пример АРБ на временном разрезе и по скважинным данным Северо-Конитлорского ЛУ

Салымский тип разреза приурочен к западной части Среднеобской зоны. Разрез скважин Салымского типа, как правило, полный и литологически схожий с Красноленинским и Фроловским типам, но с более четко выраженным двучленным строением V пачки — нижняя часть обогащена остатками аммонитов, верхняя — двустворок *Inoceramus* и *Buchia*. Отмечается уменьшение мощности БВУФ в опорных скважинах в северном направлении, что нашло подтверждение межскважинной и сейсмической корреляцией.

По геофизическим признакам Салымский тип разреза идентифицируется по двухчленному контрастному строению V пачки (понижение и возрастание GR), повышенным значениям НК по всему разрезу, связанными как с кремнистостью, так и с карбонатной составляющей, пиритизированным прослоям более 0,2 м, которые характеризуются пониженными значениями сопротивления. В Салымской СФЗ постепенно начинает увеличиваться радиоактивность нижних пачек разреза БВУФ.

Средняя мощность БВУФ Салымского типа разреза 30–40 м, площадь 80 285 км², ТОС_{ср} 10%.

Малобалыкский тип разреза занимает небольшой участок в юго-восточной части Среднеобской зоны. Как правило, БВУФ представлен полным разрезом, состоящим из 6-ти пачек. Мощности пачек по латерали изменяются незначительно. Отличительной особенностью Малобалыкской СФЗ является наличие в III пачке выдержанного, относительно мощного (до 1 м) пропластка голубовато-серого, линзовидного радиолярита, имеющего четкие границы, по которым часто развивается вторичная карбонизация (ЛФТ-3).

По геофизическим признакам Малобалыкский тип разреза определяется по мощному (до двух метров) кремнистому и карбонатно-кремнистому пласту в кровле нижней части разреза, выделяемому по повышенным значениям нейтронного каротажа, сильно пониженным значениям гамма-каротажа и высокой радиоактивности нижней части разреза.

Средняя мощность БВУФ Салымского типа разреза 30–35 м, площадь 4400 км², ТОС_{ср} 13,3%.

Сургутский тип разреза занимает центральную, вытянутую в меридиональном направлении, часть Среднеобской зоны. В большинстве скважин отмечается плохо выраженная II пачка или же полное ее замещение I пачкой.

Отличительной особенностью северной части Сургутской структурно-фациальной зоны является широкое распространение зон аномального разреза в баженовской свите (АРБ). В процессе выполнения работы по материалам всех региональных и локальных сейсморазведочных работ в комплексе с материалами ГИС были верифицированы и уточнены контуры участков с аномальным разрезом БВУФ (рис. 5). Характерной и главной особенностью аномальных разрезов являются «раздутые» мощности БВУФ за счет появления песчаных или карбонатных прослоев, характеризующихся резко другой геофизической картиной. На рис. 8 показан разрез АРБ на примере временного сейсмического разреза МОГТ 3D на Северо-Конитлорском участке и выделение БВУФ по скважинам. Скважина 296 Северо-Конитлорского ЛУ по данным GR и АК вскрыла два интервала, характерных по своим значениям и форме кривых для отложений баженовской свиты, между которыми можно выделить песчаный интервал, для которого характерно понижение значений GR, BK, повышенные значение IK и дифференциация кривой PS. К сожалению, имеющиеся данные ГИС и отсутствие кернового материала характеризуют лишь предполагаемый интервал БВУФ. Ориентировочная привязка кривых ГИС к сейсмическому разрезу проведена с опорой на достаточно выдержанный ОГ(Ю₁), распространяющийся согласно нижележащим юрским пластам.

Межскважинная корреляция пачек БВУФ в АРБ затруднена. Аномальный тип разреза связан прежде всего с привнесом терригенного ачимовского материала [Фокин и др., 2023], и по анализу сейсмического разреза находит свое отражение в максимальных

толщинах либо в верхней части разреза, либо на границе III–IV пачки.

По геофизическим признакам Сургутский тип разреза похож на Малобалыкский. Основное отличие заключается в меньших средних мощностях и в отсутствии мощного кремнистого пласта (ЛФТ-3) в кровле III пачки. К восточной части зоны форма кривой GR выполаживается, становится менее расчлененной и имеет одну вершину в районе 4 пачки. Сургутская СФЗ является переходной от западных более погруженных областей к восточным приподнятым зонам.

Средняя мощность БВУФ Сургутского типа разреза 25–30 м, площадь 75 500 км², ТОСср 11,2%.

Нижневартовский тип разреза. Нижневартовская СФЗ занимает юго-восточную часть бассейна. В опорных скважинах Нижневартовского типа разреза отсутствуют I, II, VI пачки. Радиоляриты образуют редкие прослои с нечеткими, размытыми границами мощностью до 3–4 см и единичные линзы с четкими границами. Мощность IV пачки обладает относительно повышенными значениями и в центральной части зоны достигает 20 м, что может быть связано с развитием зон АРБ в этих районах.

V пачку перекрывают глинистые породы верхней переходной зоны, которые имеют небольшую мощность в северной и южной частях зоны и относительно высокие мощности в центральной части, что может быть связано с проградацией клиноформ с востока. Вероятно, по этой же причине в восточном направлении наблюдается более глинистый состав V пачки.

По геофизическим признакам Нижневартовский тип разреза характеризуется дугообразной формой кривой GR и напоминает сундучок. Деление на пачки внутри верхней части разреза (выделение IV и V пачки) неоднозначно, корреляция часто проблематична.

Средняя мощность БВУФ Нижневартовского типа разреза 20 м, площадь 265 800 км², ТОСср 9,3%.

Самотлорский тип разреза является подвидом Нижневартовского и приурочен к вершине Нижневартовского свода. Разрез БВУФ здесь сокращен — отсутствуют нижние I, II, VI пачки, а также сокращена мощность III пачки.

По геофизическим признакам Самотлорский тип характеризуется резким уменьшением (вплоть до отсутствия) отложений нижней части БВУФ. Форма кривой GR сохраняется дугообразной.

Средняя мощность БВУФ Самотлорской СФЗ 15 м, на локальных юго-восточных участках уменьшаются до 7 м. Площадь 13 250 км², ТОСср 11,8%.

Приостровный тип разреза приурочен к палеовыступам фундамента, например, выступ Каменной вершины на Краснотенинском своде, Урненская вершина на Урненском поднятии.

Принципиальное отличие модели Приостровного типа — в сокращенной мощности разреза БВУФ. Отсутствует, как правило, вся нижняя часть

разреза, включая I–III пачки, а IV пачка с размывом залегает на породах фундамента или на отложениях абалакской или георгиевской свиты.

Средняя мощность БВУФ Приостровного типа разреза 13–15 м, ТОСср 8,9%.

Губкинский тип разреза занимает относительно небольшую территорию в восточной части Западно-Сибирского бассейна.

По данным скважин с керном БВУФ данной зоны имеет, как правило, полный разрез. Отличительными особенностями Губкинской структурно-фациальной зоны по керну и ГИС является увеличенная мощность разреза БВУФ, достигающая 70–80 м, не связанная с аномальным типом разреза, а также повышенная глинистость БВУФ.

Площадь Губкинской структурно-фациальной зоны составляет порядка 11 400 км², ТОСср 8%.

Таркосалинско-Уренгойский тип разреза охватывает большую часть севера Западной Сибири. По керну разрез выглядит «однородным» — без явной смены минеральных разностей. В нижней части разреза выделяются I и III пачки, сложенные преимущественно ЛФТ-0. Относительной особенностью Таркосалинско-Уренгойской СФЗ является небольшая, порядка 15 м, мощность БВУФ и ТОСср 7%. Площадь зоны составляет 216 900 км².

Тамбейский тип разреза приурочен к центральной части полуостровов Ямал и Гыдан — территории севернее Мессояхской гряды. Особенностью Тамбейской зоны является небольшая мощность БВУФ, (порядка 15 м), низкое содержание ТОСср 6% и заглинизированность разреза. Площадь составляет порядка 117 500 км².

Окраинный, Низкоомный типы разреза и зоны отсутствия БВУФ. Окраинный тип обрамляет Западно-Сибирский бассейн. На территории данного типа распространены мулымьинская и даниловская свиты на западе, максимоярская и марьяновская — на юге и юго-востоке, яновстанская свита — на востоке, и гольчихинская — на северо-востоке. Близость территории к источникам сноса оказала существенный эффект — разрез имеет более «терригенный» характер, обладает большими мощностями, относительно пониженным содержанием ОВ и полным отсутствием радиоляритовых пластов.

В окраинном типе четко картируются низкоомные разрезы с сопротивлением менее 10 Ом·м. Показатели радиоактивности БВУФ незначительно превышают значения в глинах и достигают в среднем 20–22 МкР/ч. Часто происходит чередование высокоуглеродистых и терригенных пропластков, что приводит к увеличению всей толщи разреза вплоть до 100 м.

В силу отсутствия надежных реперов по ГИС, внутрипластовая корреляция в Окраинном и Низкоомном типах разреза не проводилась. Для последующего моделирования использовались кровля V пачки и подошва нижней пачки.

При изучении разреза так же были выделены зоны отсутствия БВУФ различного генезиса. По

каротажу они узнаваемы по низким значениям показаний GR, не превышающим значение в 15 МкР/ч, и низким сопротивлениям, соответствующим значениям в глинистых интервалах. В таких зонах было принято решение проводить выклинивание БВУФ с условной границей между скважинами или по сейсмической записи при достаточном количестве профилей.

Выводы. Отмечены следующие закономерности структурно-фациальной типизации БВУФ Западного Сибирского региона:

- Кремнисто-карбонатные породы (ЛФТ-3), с которыми связаны основная продуктивность и запасы БВУФ, чаще всего встречаются в Малобалыкском, Салымском и Красноленинском типах разреза.
- Самотлорский, Нижнеуртовский и Приостровный типы разреза имеют сокращенное строение БВУФ. В первых двух типах могут отсутствовать I и II пачки. В Приостровном типе отсутствует вся нижняя часть разреза.
- Для Сургутского и Таркосалинско-Уренгойского типов разреза характерно отсутствие II пачки.
- Красноленинский, Фроловский, Салымский и Малобалыкский типы разрезов имеют полное строение БВУФ. Пачки хорошо коррелируются и выдержаны по площади структурно-фациальных зон.
- Наибольшая пиритизация VI пачки наблюдается в Красноленинском и Фроловском типах разреза. Данная закономерность связана с развитием и структурной перестройкой палеобассейна.
- Разделение на пачки и внутрислоевая корреляция в Низкоомной и Окраинной структурно-

фациальной зоне не проводилась ввиду отсутствия kernового материала и надежных реперов по ГИС.

- Ось баженовского эпиконтинентального палеобассейна на момент закрытия фиксируется в зоне смыкания восточных и западных клиноформ, которая приурочена к Красноленинской структурно-фациальной зоне.
- Распространение аномального разреза отражается в картах мощностей I–III пачек БВУФ.
- Среднее содержание органического углерода уменьшается до минимальных значений от центральных частей бассейна (Сургутская, Салымская, Малобалыкская, Фроловская, Красноленинская зоны) — к границам распространения БВУФ (Окраинная, Низкоомная, Таркосалинско-Уренгойская, Тамбейская зоны).

Выделение в пределах Западно-Сибирского бассейна различных структурно-фациальных зон позволило разделить баженовскую высокоуглеродистую формацию на области с относительно одинаковыми условиями формирования отложений, свойства которых можно определить отдельно для каждой зоны по петрофизическим связям и количественным зависимостям между минеральным составом и физическими свойствами пород. Применение вероятностного подхода и анализ статистических данных позволит в дальнейшей работе при трехмерном моделировании прогнозировать распространение различных литофизических типов, их свойства, а также выделять перспективные контуры залежей отдельно для каждой структурно-фациальной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Д. Природные резервуары нефти в отложениях баженовской свиты на западе Широкого Приобья: Дисс. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2009. 185 с.
2. Бриндзинский А.М., Нестеров И.И., Новиков Г.Р. и др. Салымский нефтегазоносный район // Тр. ЗапСибНИГНИ. Тюмень, 1970. Вып. 41. 314 с.
3. Бумагина В.А., Потапова А.С., Кудаманов А.И. и др. Строение и условия формирования бажен-абалакского комплекса в пределах Красноленинского свода // Нефтяные провинции. 2018. Т. 16, № 4. С. 86–108.
4. Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Ультрамикроструктуры в верхнеуртских фосфоритах баженовской и георгиевской свит Западно-Сибирского бассейна // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Материалы VIII Всероссийского совещания с международным участием. Онлайн-конференция, 7–10 сентября 2020 г. / Отв. ред. В.А. Захаров, ред.: М.А. Рогов, Е.В. Щепетова, А.П. Ипполитов. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 294 с.
5. Захаров В.А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразие: к 70-летию А.Ю. Розанова. М.: Товарищ науч. изданий. К.М.К., 2006. С. 552–568.
6. Зубков М.Ю. Процессы нефтегенерации и формирования пустотного пространства за счет керогена баженовской свиты // Горные ведомости. 2015. № 8(135). С. 94–109.
7. Калмыков Г.А. Строение баженовского нефтегазонального комплекса как основа прогноза дифференцированной нефтепродуктивности: Дисс. ... канд. геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2016. 391 с.
8. Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. М.: ГЕОС, 2017. 246 с.
9. Калмыков А.Г., Мануилова Е.А., Калмыков Г.А. и др. Фосфатсодержащие прослои баженовской свиты как возможный коллектор // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2016. № 5. С. 60–66.
10. Марченко Е.А., Шилова Ю.В. Использование геолого-статистического анализа для прогноза фациальной характеристики разреза // Нефтяное хозяйство. 2010. № 2. С. 30–33.
11. Нежданов А.А. Проблемные вопросы стратиграфии мезозоя Западной Сибири // Проблемы стратиграфии мезозоя Западно-Сибирской плиты (материалы к Межведомственному стратиграфическому совещанию по мезозою Западно-Сибирской плиты) / Под ред. Ф.Г. Гурари, Н.К. Могучевой. Новосибирск: СНИИГиМС, 2003. С. 5–10.
12. Немова В.Д., Панченко И.В. Локализация приточных интервалов баженовской свиты и их емкостное пространство на Средне-Назымском месторождении // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12, № 1. С. 1–24.

13. *Нестеров И.И., Монастырев Б.В., Бочкарев В.С.* и др. Переинтерпретация, переобработка и унифицированная стратификация опорных отражающих горизонтов региональных сейсмических профилей Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с целью построения единых нефтегеологических моделей продуктивных комплексов как основы уточнения перспектив нефтегазоносности. Отчет по госконтракту № 12/05 / ОАО «СибНАЦ». Кн. 4. Тюмень, 2007. С. 1169.

14. *Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е.* и др. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керн и ГИС // Геология нефти и газа. 2016. № 6. С. 1–13.

15. Решения 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМСа, ИГНГ СО РАН, 2004.

16. Создание детальной модели геологического строения ниже-среднеюрских образований Западной Сибири, оценка ресурсного потенциала и обоснование главных направлений поисково-разведочных работ. А.В. Шпильман и др., «НАЦ РН им. В.И. Шпильмана», ФГУП «СНИИГГиМС», «ЗапСибНИИГГ», 2008 г.

17. Создание сейсмогеологической модели осадочного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы в пределах южных и восточных районов, отчет по договору / И.Г. Козубовская, В.П. Игошкин. ТНК-ВР, 2007. 229 с.

18. *Фокин П.А., Латыпова М.Р., Федяевский А.Г.* и др. Модель вдвигового оползневого клина с последующим гидравлическим разрывом, как объяснение формирования аномального разреза баженовской свиты на севере Западной Сибири. Статья 1. Описание разреза, литология, палинология // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 2. С. 33–43.

19. *Хотылев О.В., Балушкина Н.С., Вишневская В.С.* и др. Модель формирования радиоляритовых слоев в баженовской свите Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 1. С. 89–95.

20. *Хотылев О.В., Гатовский Ю.А., Балушкина Н.С.* и др. Модели седиментации баженовской высокоуглеродистой формации в зоне развития тутлеимской и баженовской свит // Георесурсы. 2021. Т. 23(2). С. 120–131.

21. *Эдер В.Г.* Некоторые типы разрезов верхнеюрских баженовской и георгиевской свит Обь-Иртышского междуречья. // Геология и геофизика. 2006. Т. 47 (6). С. 746–754.

Статья поступила в редакцию 29.09.2023,
одобрена после рецензирования 02.10.2023,
принята к публикации 05.03.2024