Геология и геофизика, *2023*, *т. 64, № 6, с. 870–881*, doi: 10.15372/GiG2022156
Поступила в редакцию 18.12.2022, принята в печать 29.12.2022 *Опубликована онлайн: 12.01.2023*

УДК 550.834.05:551.2(571.56)

ДЕТАЛЬНОЕ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БУОЛКАЛАХ-ЛЕНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ПО ДАННЫМ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ И СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Д.С. Лежнин, М.А. Масленников

АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», Новосибирск, Красный просп., 67, Россия

Использован комплексный подход к изучению глубокозалегающих рифейских толщ Буолкалах-Ленского региона, обладающих определенными перспективами с точки зрения нефтегазоносности. Детально описана методика редакции и синтеза кривых акустического и плотностного каротажа на примере скважин, пробуренных в 1980—1990 гг. для целей корректной привязки скваженных данных к сейсмическим разрезам. Показано, что хайпахская, дебенгдинская, арымасская, кютингдинская и сыгынахтахская свиты раннего и среднего рифея выходят под допермскую поверхность размыва в средней части Лено-Анабарского прогиба. В регионе получили развитие и более древние рифейские отложения, не выходящие на дневную поверхность на Оленекском своде и не изученные глубоким бурением. Перспективы нефтегазоносности рифейских толщ в регионе связаны преимущественно с карбонатными резервуарами, сформированными в кровельной части рифея и выходящими на допермскую эрозионную поверхность. Наиболее перспективны породы, слагающие крупные карбонатные платформы, которые были частично эродированы и подвергались процессам гипергенеза и карстообразования.

Рифейские толщи, нефтегазоносность, синтез кривых акустического и плотностного каротажей, Лено-Анабарский прогиб, карбонатные платформы

DETAILED GEOSEISMIC STRUCTURE OF THE RIPHEAN DEPOSITS IN BUOLKALAKH–LENA AREA BASED ON DEEP DRILLING AND SEISMIC EXPLORATION DATA

D.S. Lezhnin, M.A. Maslennikov

The work considered an integrated approach to the study of deep-lying Riphean strata of the Buolkalakh–Lena region, which have certain prospects in terms of oil and gas potential. The method of revision and synthesis of acoustic and density logs is described in detail using the example of wells drilled in 80–90 for the purpose of correct reference to seismic sections. It has been shown that the Khaipakh, Debengdin, Arymas, Kyutingdinsky, and Sygynakhtakh formations of the Early and Middle Riphean eras overlook the pre-Permian surface in the middle part of the Lena–Anabar trough. The region also developed older Riphean deposits that are not exposed on the Olenek uplift and are not studied by deep drilling. The prospects for the oil and gas content of Riphean strata in the region are mainly associated with carbonate reservoirs formed in the top of the Riphean sequence and cropping out on the pre-Permian erosive surface, the most promising rocks are those constituting large carbonate platforms that were partially eroded and subjected to processes of hypergenesis and karst formation.

Riphean strata, oil and gas content, synthesis of acoustic and density logs, carbonate platforms, Lena–Anabar trough

ВВЕДЕНИЕ

Район исследования расположен на самом севере Республики Саха (Якутия), на континентальной окраине Сибирской платформы (рис. 1). Анализ геолого-геофизических материалов показал, что в регионе развит осадочный бассейн значительной мощности (до 15 км), в разрезе которого выделяются пять регионально-развитых сейсмогеологических мегакомплексов: рифейский, вендский, нижнесреднепалеозойский, пермский и мезозойский [Конторович и др., 2021]. Рифейские отложения представлены чередованием терригенных и карбонатных пород, нижняя часть разреза на западе рассматриваемой территории по характеру сейсмической волновой картины имеет аналогичное строение с разрезами Куюмбинского и Юрубчено-Тохомского месторождений Красноярского края.

Регион относительно слабо изучен глубоким бурением и сейсморазведочными работами, скважины вскрывают лишь верхи верхнерифейской толщи.

Авторы постарались скоррелировать (вплоть до отдельных свит) внутририфейские отложения, детально закартированные стратиграфами ИНГГ СО РАН [Nagovitsin et al., 2015] в юго-восточной части рассматриваемой территории, где они выходят на дневную поверхность.

© Лежнин Д.С.✉, Масленников М.А., 2023
✉e-mail: LezhninDS@rusgeology.ru

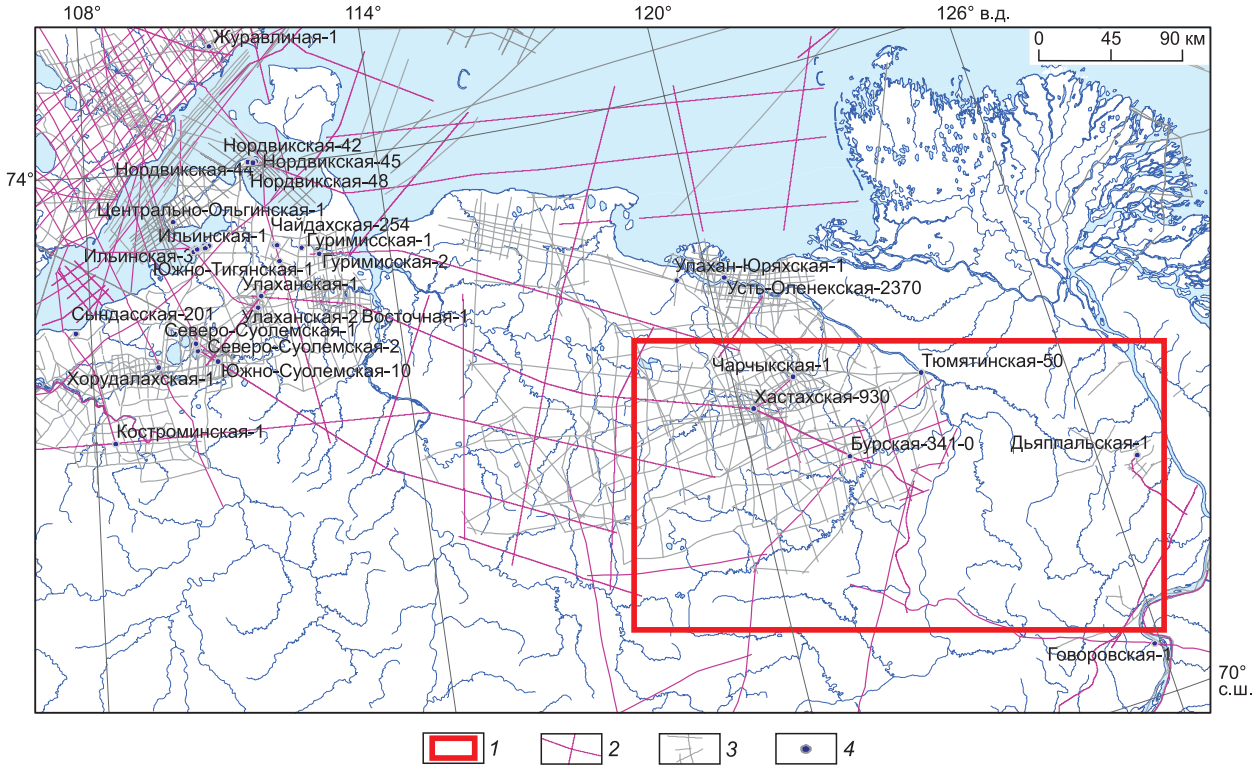

Рис. 1. Обзорная карта территории исследования.

1 — территория исследования; *2*, *3* — сейсморазведочные профили, отработанные: *2* — после 2000 г., *3* — до 2000 г.; *4* — глубокие скважины.

Был выбран композитный сейсмический маршрут по линии профилей 24714001_3—24714004—140305 (рис. 2) от средней части Лено-Анабарского прогиба до Оленёкского свода. Профили отработаны силами АО «Росгеология» в рамках выполнения Государственного контракта № 82 от 16.09.2016 г. (объект 510-66). Сейсмические данные высокого качества и с длиной записи до 7 с, что позволяет прослеживать отражения на значительных глубинах.

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ПРИВЯЗКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ПРОСЛЕЖИВАНИЕ ОСНОВНЫХ ОТРАЖАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ

Стратиграфическая привязка скважинных и сейсмических данных, как известно, является важной частью работы в любом сейсмогеологическом проекте. При комплексировании данных сейсморазведки и ГИС плотностные характеристики играют важную роль, как и интервальное время пробега упругой волны. На малоизученной территории приходится обходиться минимумом априорной информации, например данными вертикального сейсмического профилирования (ВСП), сейсмокаротажа (СК) или акустического каротажа (ΔT_P) с привлечением плотностного (*RHOB*).

На исследуемой территории пробурено пять глубоких скважин (см. рис. 1) две из которых непосредственно лежат на линии композитного маршрута: Хастахская-930 поисковая (пробурена в 1988—1989 гг.) и Бурская-341-0 параметрическая (март 1994 г.).

В Хастахской скважине проведено вертикальное сейсмопрофилирование и сделана запись интервального времени продольной волны. Стоит отметить, что данные ВСП требуют коррекции, так как местами интервальная скорость сильно завышена (11 000—12 000 м/с). Акустический каротаж также требует корректировок в местах каверн и срыва записи.

В Бурской скважине сейсмокаротаж не проводился, а акустический каротаж записан с глубины 500 м.

Для целей увязки скважинных и сейсмических данных было принято решение провести одномерное геосейсмическое моделирование по скважинам Хастахская-930 и Бурская-341-0.

Акустический каротаж проведен стандартной отечественной аппаратурой в масштабе глубин 1:200.

На первом этапе была проведена процедура контроля качества исходных кривых ΔT_P, выполнена проверка увязки кривых по глубине, проверены уровни записи и проведена оценка достоверности изме-

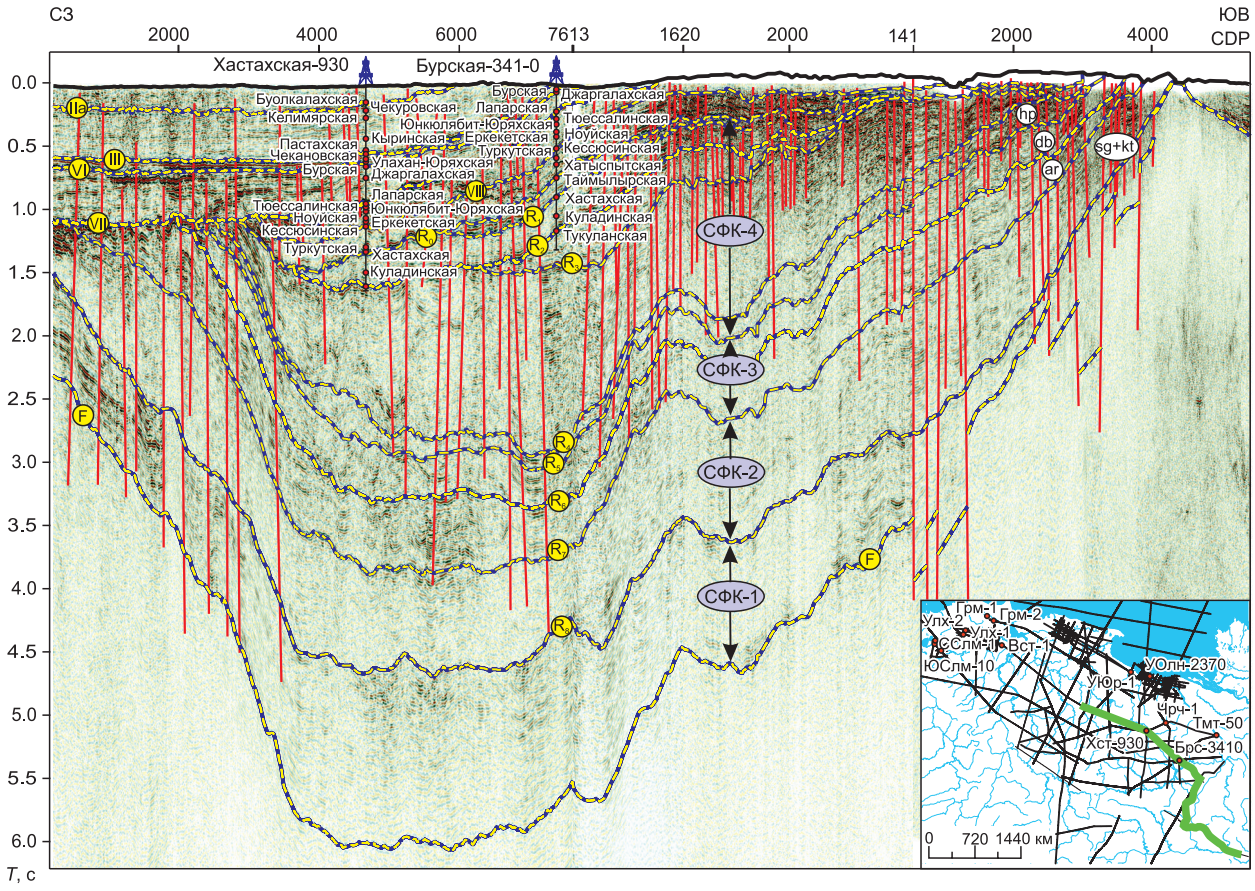

Рис. 2. Стратифицированный сейсмический разрез по линии профилей 24714001_3 — 24714004 — 140305.

На врезке — расположение профиля.

рений интервального времени пробега продольной волны в опорных пластах песчаников (ΔT_P = 240—300 мкс/м) и плотных пластах значительной мощности (ΔT_P = 170—180 мкс/м). Анализ акустического каротажа по продольной волне показал, что кривые ΔT_P низкого качества, связанного со скважинными условиями и нестабильной работой аппаратуры в интервалах с повышенным кавернообразованием, и требуют введения аддитивных поправок. Кроме того, показания кривой ΔT_P приводились к уровню средних значений интервального времени, характерных для данного типа разреза (тренд ΔT_P с глубиной).

Коррекция кривых времени пробега продольной волны в интервалах каверн, в интервалах отсутствия записи, а также удаление высокоамплитудных выбросов проводилось с использованием уравнений Фауста и/или Заляева [Faust, 1953; Заляев, 1990]:

$$\Delta T_P = \frac{a}{(Depth \cdot Rt)^b}, \tag{1}$$

$$\Delta T_P = -90 \cdot \ln\left(NK - k\right) + m, \tag{2}$$

где (1) и (2) — общий вид уравнений Фауста и Заляева; *Depth* — измеренная глубина в метрах, *Rt* — сопротивление неизмененной части пласта (Ом·м), *a* и *b* — нормировочные коэффициенты, зависящие от литологического состава пород; *NK* — стандартизованные показания нейтронного каротажа (у. е.), *k* — фоновое значение нейтронного каротажа, *m* — аддитивная поправка.

Нормировочные коэффициенты в приведенных уравнениях физически могут изменяться в следующих пределах:

a — от 500 до 2000; *b* — от 0.1 до 0.3; *k* — от 1.1 до 4; *m* — от 180 до 300.

Для песчано-глинистого разреза Западной Сибири нормировочные коэффициенты уравнения Фауста обычно имеют следующие значения *a* = 1947, *b* = 0.1667 [Черепанов, 2018].

Наиболее «универсальный» вид уравнения Фауста:

$$\Delta T_P = \frac{513.3}{(Depth \cdot Rt)^{\frac{1}{6}}}, \tag{3}$$

где нормировочные коэффициенты: $a = 513.3$ и $b = 0.1667$.

В таком виде его используют и для восстановления данных акустического каротажа в терригенных разрезах центральной части Западной Сибири и в центральной части Непского свода (Восточная Сибири, терригенный и галогенно-карбонатный разрез).

Опытно-методическим путем для северо-восточных районов Сибирской платформы (территория исследования) приняты следующие значения нормировочных коэффициентов в уравнении Фауста: для терригенного разреза: $a = 650$, $b = 0.166$; для карбонатного: $a = 515$, $b = 0.167$.

Как уже упоминалось, для синтеза кривых ΔT_P дополнительно использовалось и уравнение Заляева, в нашем случае имеющее вид:

$$\Delta T_P = -90 \cdot \ln\left(NK - 1.1\right) + 210\,. \tag{4}$$

Плотностной каротаж в скважинах Бурская-341-0 и Хастахская-930 не проводился. Для прогноза плотности существует много моделей, каждая имеет ряд достоинств и недостатков. Наиболее часто используемая — модель Гарднера [Gardner et al., 1974]:

$$RHOB = a \cdot v_P^b\,, \tag{5}$$

где $RHOB$ — плотность, г/см^3; v_P — скорость продольных волн, м/с; a, b — эмпирические коэффициенты.

По идее в расчетной плотности заложена и глинистая составляющая, т. е. расчет синтетической кривой плотностного каротажа корректнее проводить по расширенной формуле Гарднера—Кастанья:

$$RHOB = a \cdot v_P + b \cdot v_P + c + K_{\text{гл}} \cdot m\,, \tag{6}$$

где a, b, c — эмпирические коэффициенты; v_P — скорость продольных волн, км/с; $K_{\text{гл}}$ — коэффициент объемной глинистости; m — пересчетный коэффициент для горных пород (от 0 до 0.35).

Используя эмпирические уравнения Гарднера—Кастаньи (табл. 1, 2), нами были синтезированы кривые плотности с учетом глинистости из акустического каротажа для скважин Бурская-341-0 и Хастахская-930.

В качестве примера приведен фрагмент геолого-геофизического планшета с отображением скорректированной кривой ΔT_P и синтезированной кривой $RHOB$ по скв. Хастахская-930 (рис. 3).

Далее было выполнено геосейсмическое одномерное моделирование по скважинам Бурская-341-0 и Хастахская-930. Рассчитана акустическая модель среды, а также соответствующие ей коэффициенты

Таблица 1. **Эмпирические уравнения Гарднера—Кастаньи**

Литотип	$\rho = a \cdot v_P^2 + b \cdot v_P + c$ (г/см^3) (км/с)	$\rho = d \cdot v_P^f$ (г/см^3) (км/с)
Глина	$\rho = -0.0261 \cdot v_P^2 + 0.373 \cdot v_P + 1.458$	$\rho = 1.75 \cdot v_P^{0.265}$
Песчаник	$\rho = -0.0115 \cdot v_P^2 + 0.261 \cdot v_P + 1.515$	$\rho = 1.66 \cdot v_P^{0.261}$
Известняк	$\rho = -0.0296 \cdot v_P^2 + 0.461 \cdot v_P + 0.963$	$\rho = 1.5 \cdot v_P^{0.225}$
Доломит	$\rho = -0.0235 \cdot v_P^2 + 0.390 \cdot v_P + 1.242$	$\rho = 1.74 \cdot v_P^{0.252}$
Ангидрит	$\rho = -0.0203 \cdot v_P^2 + 0.321 \cdot v_P + 1.732$	$\rho = 2.19 \cdot v_P^{0.160}$
Песчаник-глина		$\rho = 1.74 \cdot v_P^{0.250}$

Таблица 2. **Коэффициенты уравнения Гарднера—Кастаньи**

Литотип	ρ(г/см^3) $= a \cdot v_P^2 + b \cdot v_P + c$			$\rho = d \cdot v_P^f$ (г/см^3) (км/с)		Порядок изменения v_P, км/с
	a	b	c	d	f	
Глина	–0.0261	0.373	1.458	1.75	0.265	1.5—5.0
Песчаник	–0.0115	0.261	1.515	1.66	0.261	1.5—6.0
Известняк	–0.0296	0.461	0.963	1.5	0.225	3.5—6.4
Доломит	–0.0235	0.390	1.242	1.74	0.252	4.5—7.1
Ангидрит	–0.0203	0.321	1.732	2.19	0.16	4.6—7.4
Песчаник-глина	—	—	—	1.74	0.25	1.5—6.0

отражения. Модельная трасса получена путем свертки импульса с трассой коэффициентов отражения (рис. 4).

Корреляция отражающих горизонтов в пределах исследуемого региона проведена по принципам фазовой корреляции. Отождествление волн производилось на основании кинематических и динамических особенностей сейсмических записей, путем создания «образов» отражений, приуроченных к определенным стратиграфическим уровням и последующего отождествления их по площади.

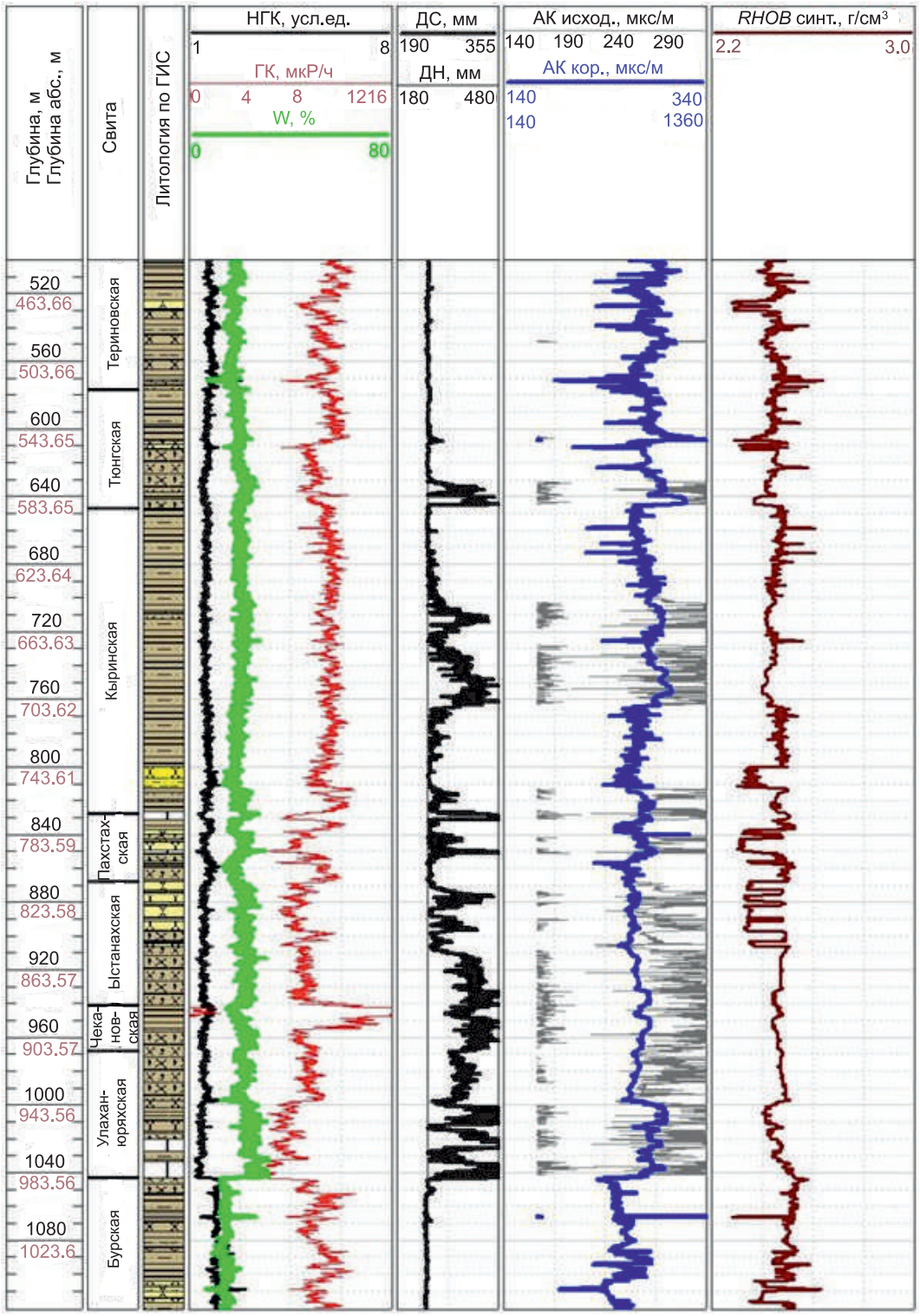

Рис. 3. Визуализация скорректированной кривой ΔT_P и синтезированной кривой *RHOB* по скв. Хастахская-930.

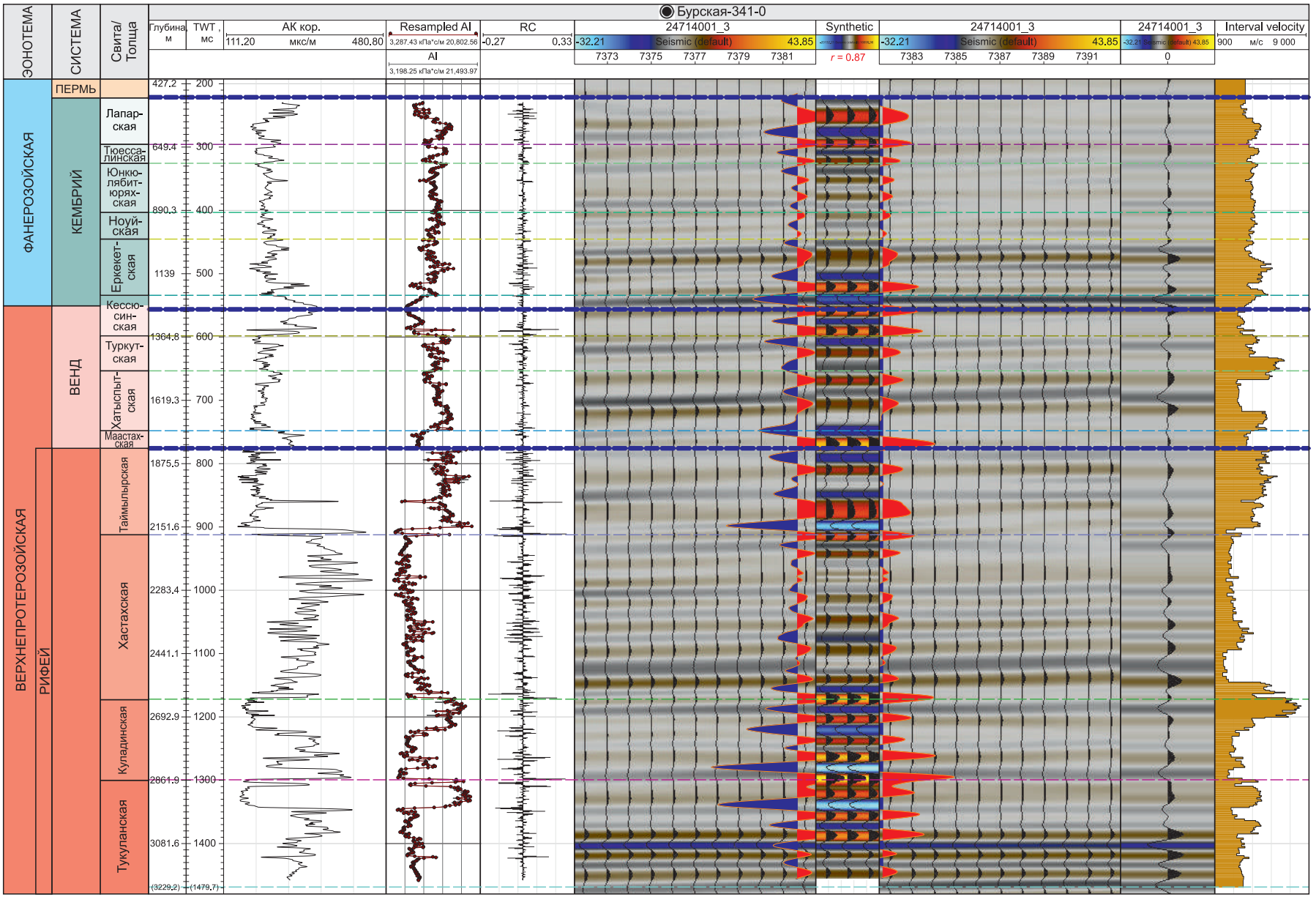

Рис. 4. Результаты одномерного геосейсмического моделирования по скв. Бурская-341-0.

Отражающий **горизонт F** стратифицируется с подошвой рифейских отложений (см. рис. 2). Горизонт выделяется на временных разрезах исходя из априорных представлений о геологическом строении района работ на основании комплексирования данных сейсморазведки и ЗСБ, а также рисунка волнового поля. Отражающий горизонт F отделяет регулярные отражения осадочного чехла от хаотической формы записи. Время регистрации 0.0—6.1 с.

Отражающий **горизонт R_0** прослежен по «нольфазе» (crossing) сейсмической записи и традиционно отождествлен с подошвой вендских отложений. Фазовая корреляция сложна и неоднозначна. Отражение на всей площади исследования динамически неустойчиво, что связано с различием в геологическом строении как вендских толщ, так и рифея в целом. В Бурской скважине горизонт приурочен к карбонатной кровельной части таймылырской свиты рифея и, соответственно, к подошве чисто терригенной маастахской свиты венда. В разрезе скв. Хастахская-930 глинистые доломиты туркутской свиты венда залегают на песчаниках хастахской свиты рифея, на границе пород с различными упругими свойствами также формируется отражающий горизонт. Время регистрации 0.1—2.2 с.

Отражающий **горизонт VIII** стратифицируется с кровлей туркутской свиты венда, представлен положительным экстремумом по результатам одномерного моделирования. Отражение формируется за счет перепада акустических свойств на границе между доломитами туркутской свиты и песчаниками нижней части кесюсинской свиты и носит мозаичный характер. Это является следствием литофациальной изменчивости как самих карбонатов туркутской свиты, так и перекрывающей толщи.

Отражающий **горизонт VII** относится к подошве пермских отложений и является границей регионального несогласия. Прослеживается по всей территории исследования. Горизонт представляет собой положительное, динамически устойчивое отражение. Редкое изменение формы импульса связано с изменчивостью эрозионной поверхности, составом пород, залегающих под ней, наличием тектонических нарушений. Однозначно отражающий горизонт коррелируется в тех случаях, когда:

— на временных разрезах определяется угловое несогласие с нижележащими отложениями (выход рифейских толщ на допермскую эрозионную поверхность);

— литологический состав подстилающих и перекрывающих толщ контрастно различается по акустическим свойствам (пермские терригенные отложения залегают на лапарской свите или доломитовой толще кембрия).

Отражающий **горизонт VI** приурочен к кровле пермских отложений. Прослеживается достаточно уверенно по положительной фазе. Выше залегает нижнетриасовая толща — относительно выдержанная по толщине (около 215 м или 100 мс), является одним из самых насыщенных высокоамплитудными отражающими горизонтами интервалом разреза [Губин, Конторович, 2021]. Время регистрации — 0.01—0.70 с.

Отражающий **горизонт III** протрассирован по границе юра—триас. Приурочен к положительному экстремуму и следится так же уверенно.

Отражающий **горизонт IIа** прослеживается близ кровли юрских отложений по отрицательной фазе. Привязка этого отражающего горизонта выполнялась на основе одномерного геосейсмического моделирования. Юрские отложения выходят на дневную поверхность северо-восточнее рассматриваемого разреза. Отражающий горизонт IIа наиболее приближен к дневной поверхности, часто оказывается в зонах неполнократного суммирования по ОГТ и обладает невысоким энергетическим уровнем [Конторович и др., 2013]. Корреляция отражающего горизонта сложна и неоднозначна. Время регистрации 0.01—0.20 с.

КОРРЕЛЯЦИЯ ОТРАЖАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ ВНУТРИРИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ, ВЫДЕЛЕНИЕ СЕЙСМОФАЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРЕДЕЛАХ ОЛЕНЁКСКОГО СВОДА И ХАСТАХСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ

Структурно-тектоническая характеристика, сейсмогеологические модели и сейсмофациальное районирование осадочных комплексов Анабаро-Ленского региона подробно рассмотрены в публикациях В.А. Конторовича, А.Э.Конторовича, Л.М. Калининой, А.Ю. Калинина, И.А. Губина, С.В. Котовой и других [Конторович и др., 2013, 2014, 2019а, б; Kotova et al., 2018; Губин, Конторович, 2021].

Авторами статьи детально рассмотрено строение рифейских отложений северо-восточных районов Сибирской платформы.

Рифейские отложения в окрестностях исследуемой территории выходят на дневную поверхность в районе Оленёкского поднятия. Толщины рифейских отложений в наиболее погруженной части территории (Хастахская мегавпадина) составляют более 10 км (~5 с на временных разрезах) (см. рис. 2).

Особенностью Хастахской мегавпадины является ее асимметричное строение [Kotova et al., 2018]. Восточный борт имеет более пологое моноклинальное крыло с характерными микрограбенами, говоря-

щими о рифтогенной природе прогиба. Западный борт представляет собой зону, в пределах которой рифейские отложения с угловым несогласием выходят к допермской границе несогласия. Рифейские отложения центральной части Хастахской мегавпадины перекрыты венд-кембрийскими отложениями.

Существует множество геологических факторов, осложняющих сейсмическую запись рифейского интервала разреза. К основным из них можно отнести:

— глубокое залегание рифейских отложений;

— сложные поверхностные сейсмогеологические условия;

— латеральную неоднородность среды, фациальные замещения глинистых отложений карбонатными, степень метаморфизма осадочных отложений;

— блоковое строение и наличие тектонических нарушений с большой амплитудой смещения по вертикали, а также наличие внутририфейских несогласий.

По результатам анализа волновой картины в интервале рифейских отложений выделяется до восьми отражающих горизонтов (R_1—R_8), которые приурочены в основном к границам терригенных и карбонатных отложений и, соответственно, к границам свит.

Поскольку глубокие скважины региона вскрыли лишь верхи верхнего рифея (Хастахская-930 и Бурская-341-0), то стратификация внутририфейских ОГ на данном этапе весьма условна. Однако авторам удалось сопоставить сейсмические отражения с выходами рифейских свит на дневную поверхность (см. рис. 2).

Условно сейсмокомплексы названы СФК-1, СФК-2, СФК-3 и СФК-4, а контролирующие их отражающие горизонты F, R_8, R_7, R_5 и R_0.

Выделенные сейсмокомплексы характеризуются чередованием динамически выраженных отражений (СФК-1, СФК-3) с акустически слабо выраженными (СФК-2). На основании этого можно предположить различную стратиграфическую приуроченность и разный вещественный состав этих сейсмокомплексов (см. рис. 2).

СФК-1: наиболее древний внутририфейский интервал характеризуется субпараллельными, переменно-амплитудными отражениями. Мощность СФК-1 сокращается по мере приближения к выходу Оленёкского свода на дневную поверхность. На сейсмических разрезах в интервале, соответствующем фундаменту, должна бы наблюдаться хаотичная форма записи без каких-либо ярких и протяженных отражающих площадок. Это бы отражало консолидированную структуру фундамента, в отличие от слоистых отложений осадочного чехла. Тем не менее в действительности отсутствует четкая граница, разделяющая отложения рифейского интервала от пород консолидированного фундамента. Поэтому кровля фундамента (F) протрассирована с использованием данных МТЗ по контрастной границе изменения проводимости разреза.

СФК-2: в верхнем интервале нижнерифейских отложений наблюдается ухудшение волновой картины, при которой динамически выдержанные отражения сменяются слабоамплитудными. Характерно искривление и прерывистость осей синфазности. Зачастую волновая картина отображается как хаотическая форма записи. Сейсмокомплекс соответствует отложениям сыгынахтахской и кютингдинской свит нижнего рифея, сложенными преимущественно конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами, и строматолитовыми доломитами в верхней части.

СФК-3: в интервале среднерифейских образований наблюдается чередование высокоамплитудных, динамически выдержанных отражений с менее акустически контрастными. В прибортовых частях Хастахской мегавпадины сейсмические отражения еще более контрастны. Отложения представлены известковисто-силикокластической арымасской и терригенно-карбонатной дебенгдинской свитами.

СФК-4 (средний—верхний рифей?): комплекс сложного геологического строения с резкими литологическими замещениями. В пределах данного сейсмофациального комплекса выделена серия границ, имеющих клиноформный характер, что позволяет также говорить о возможных фациальных замещениях (см. рис. 2). Отмечается также приуроченность подобных замещений к тектоническим нарушениям. Наиболее уверенно сейсмокомплексы прослеживаются в пределах западного борта Хастахской мегавпадины. Достоверно протянуть сейсмокомплексы на восточный борт прогиба сложно. Несмотря на то, что характер сейсмической записи является динамически контрастным, рисунок волнового поля становится акустически «монотонным». Возможно, это связано с тем, что состав пород становится наиболее литологически однородным. Опыт исследователей, занимающихся изучением рифейских отложений в пределах Сибирской платформы, показывает, что в случае, когда мощные карбонатные толщи замещаются глинисто-карбонатными и глинистыми породами, на временных разрезах появляются резкие границы, в том числе имеющие клиноформное строение [Филипцов, 2012]. Комплекс в восточной части рассматриваемой территории представлен отложениями хайпахской, тукуланской, куладинской, хастахской и местами таймылырской свит.

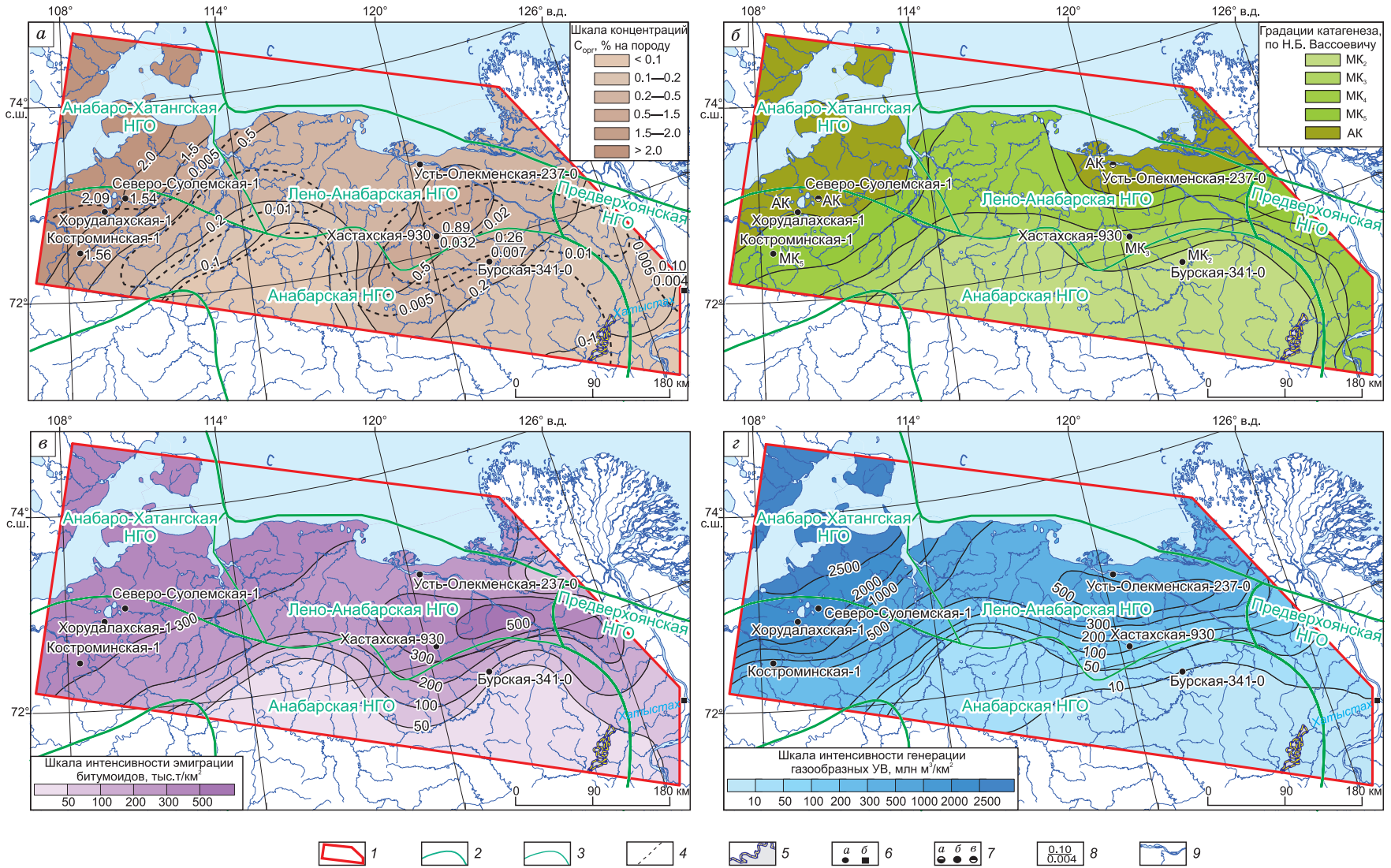

Рис. 5. Прогнозные схематические карты геохимических параметров в нефтегазоматеринских отложениях рифея [Лежнин и др., 2021].

а — распределение концентраций органического углерода; *б* — катагенетическая преобразованность органического вещества; *в* — интенсивность эмиграции битумоидов; *г* — интенсивность генерации газообразных УВ. Границы: *1* — района работ, *2* — нефтегазоносных провинций, *3* — нефтегазоносных областей; *4* — прогнозные изолинии средних концентраций $Б_{хл}$, % на породу; *5* — отсутствие отложений; *6* — скважины (*а*) и обнажения (*б*) с указанием содержания $C_{орг}$; *7* — точки с данными по катагенезу РОВ (*а*) в подстилающих, (*б*) в рифейских, (*в*) в перекрывающих отложениях; *8* — среднее значение $C_{орг}$ (над чертой), $Б_{хл}$, % на породу (под чертой); *9* — речная сеть.

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

В отношении нефтегазогенерационного потенциала исследуемой территории несомненный интерес представляют глинистые верхнерифейские отложения хастахской свиты. Свита состоит из тонкого переслаивания линзовидно-волнистых слоев красновато- и зеленовато-серых песчаников, темноцветных аргиллитов, доломитовых мергелей и светло-коричневых аргиллитов. Темноцветные аргиллиты и доломитовые мергели имеют повышенные содержания органического углерода (0.24—1.72 %). По результатам пиролитических исследований в скв. Хастахская-930 катагенез РОВ соответствует градациям $МК_2$—$МК_3$. Это свидетельствует о том, что рассматриваемая толща рифейских пород, вероятно, достигала условий проявления главной зоны нефтеобразования (ГЗН) [Соболев и др., 2019].

Анализируя набор геохимических карт по всему Хатангско-Ленскому региону, представленных в научной работе коллектива авторов АО «СНИИГГиМС», АО «Росгео» и ФГБУ НФ «ВНИГНИ» — «Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья», можно сделать вывод, что для рифейских отложений прогнозируются максимальные значения концентраций $С_{орг}$ на западе территории, где они оцениваются по средним значениям в 0.5—2.0 % на породу (рис. 5). При этом в силу интенсивного катагенеза рифейских отложений остаточные концентрации хлороформенных битумоидов вряд ли превышают 0.01 % на породу. Наиболее интенсивно РОВ рифейских НГМП преобразовано на севере Лено-Анабарского прогиба и северо-западе Анабаро-Хатангской седловины (см. рис. 5, *б*). Генерационные показатели рифейских отложений наиболее существенны в отношении УВ газов. Интенсивности их генерации достигали 500—2500 $м^3/км^2$.

В рифейском перспективном нефтегазоносном комплексе потенциальными коллекторами могут являться кавернозные и трещиноватые карбонатные породы тукуланской, куладинской и таймылыр-

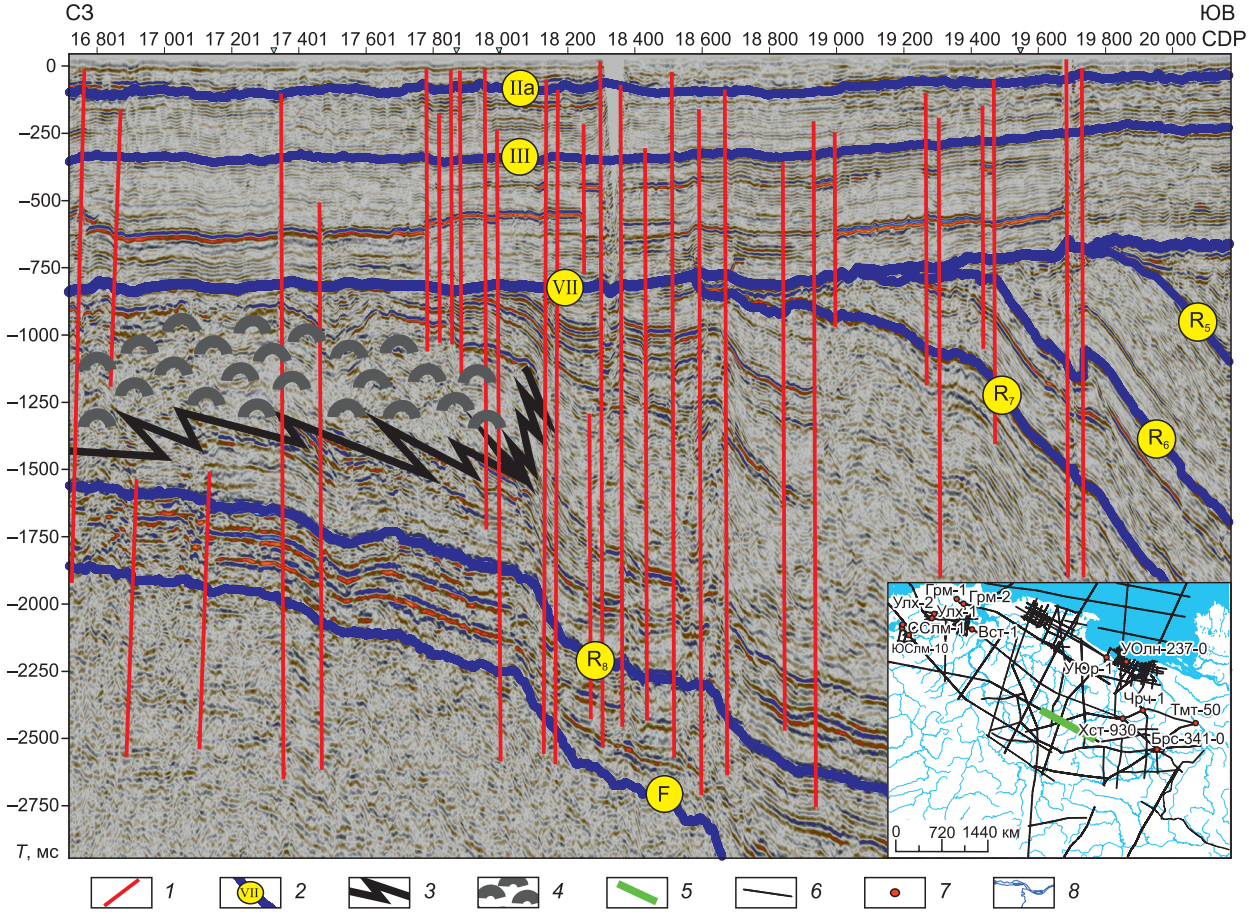

Рис. 6. Часть рифейской карбонатной платформы на стратифицированном временном разрезе 24614001.

1 — дизъюнктивные нарушения; *2* — отражающие горизонты; *3* — границы фациальных зон; *4* — рифогенные барьеры; *5* — фрагмент иллюстрируемого сейсморазведочного профиля на схеме; *6* — сейсморазведочные профили на схеме; *7* — глубокие скважины на схеме; *8* — речная сеть.

ской свит преимущественно в зонах эрозионного контакта с вышележащими породами кембрия и перми. Интерес также представляют терригенные отложения куладинской и хастахской свит [Лежнин и др., 2021].

В скважине Бурская-341-0 при испытании интервала 2092—2158 м получен приток пластовой воды с растворенным газом (дебит 66.6 м^3/сут). Этот интервал сложен доломитами, доломитами известковыми, участками перекристаллизованными, с трещинами и слабой кавернозностью. Роль флюидоупора может играть пачка аргиллитов вышележащей маастахской свиты венда. Ниже таймылырской свиты выделяется мощная толща терригенных пород (хастахская свита). В ее составе помимо песчаных коллекторов заметную роль играют глинистые разности с повышенным содержанием РОВ.

В скважине Хастахская-930 также выделяется карбонатная пачка в верхней части рифейских отложений (инт. 3130—3340 м). Пачка представлена доломитами и кавернозно-трещиноватыми известняками. При испытании интервала 3163—3246 м получен приток пластовой воды с растворенным газом значительного дебита — 687.3 м^3/сут. Выше, в интервале 3113—3130 м, присутствует пачка известковистых аргиллитов [Лежнин и др., 2021].

Основываясь на новых сейсмических данных, авторами установлены зоны, благоприятные для поиска стратиграфически и литологически экранированных ловушек в кровельной части рифея, при этом вполне вероятно и их тектоническое экранирование.

Наиболее перспективной представляется зона, где под допермскую эрозионную поверхность выходят карбонатные породы, слагающие крупную карбонатную платформу, по аналогии с Юрубчено-Тохомской зоной нефтегазонакопления (ЮТЗ), с той лишь разницей, что в пределах ЮТЗ рифейские карбонаты залегают под рифей-вендским несогласием (рис. 6). Крупная карбонатная платформа выделена по характеру волновой картины, на сейсмическом разрезе отчетливо видно, что сейсмически «прозрачная» волновая картина в восточном направлении сменяется на динамически выраженную, с клиноформным строением отражающих горизонтов, появление которых маркирует окраину карбонатной платформы — предрифовый склон.

Рифейские отложения карбонатных платформ не обладают первичными коллекторами с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами в связи с специфичными особенностями карбонатонакопления, так как собственно продуктами жизнедеятельности «рифостроителей» являются микробиалиты, но в ходе дальнейшей геологической истории карбонатные платформы подвергались процессам гипергенеза и карстования во время длительных перерывов в осадконакоплении, в частности, предпермского. С учетом наличия выдержанной глинистой пачки в основании пермского комплекса участки выходов карбонатных отложений на допермскую эрозионную поверхность являются наиболее перспективными с точки зрения прогноза нефтегазоносности.

Статья подготовлена по результатам исследования, проводимого при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках крупного научного проекта «Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий». Соглашение № 075-15-2020-804 от 02.10.2020 г. (грант № 13.1902.21.0016).

ЛИТЕРАТУРА

Губин И.А., Конторович В.А. К сейсмогеологической модели строения Анабаро-Оленекской зоны // Георесурсы, 2021, т. 23, № 1, с. 70—77.

Заляев Н.З. Методика автоматизированной интерпретации геофизических исследований скважин. Минск, Университетское, 1990, 142 с.

Конторович В.А., Конторович А.Э., Губин И.А., Зотеев А.М., Лапковский В.В., Малышев Н.А., Соловьев М.В., Фрадкин Г.С. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1253—1274.

Конторович В.А., Конторович А.Э., Моисеев С.А., Соловьев, М.В. Структурно-тектоническая характеристика Лено-Анабарского региона //Геология нефти и газа, 2014, № 1, с. 76—84.

Конторович В.А., Калинина Л.М., Калинин А.Ю., Соловьев М.В. Сейсмогеологические модели и нефтегазоносность осадочных комплексов в арктических регионах Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская нефтегазоносные области) // Геология нефти и газа, 2019а, № 5, с. 15—26.

Конторович В.А., Калинина Л.М., Калинин А.Ю., Соловьев М.В. Структурно-тектоническая характеристика и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины (Хатангский залив моря Лаптевых и прилегающие территории) // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2019б, т. 14, № 3, с. 9—9.

Конторович В.А., Конторович А.Э., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Лапковский В.В., Лунев Б.В., Моисеев С.А., Соловьев М.В. Сейсмогеологическая и структурно-тектоническая характеристика континентальной окраины Сибирской платформы (Хатангско-Ленское междуречье) // Геология и геофизика, 2021, т. 62 (8), с. 1153—1171.

Лежнин Д.С., Афанасенков А.П., Соболев П.Н., Найдёнов Л.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья // Геология нефти и газа, 2021, № 4, с. 7—28.

Соболев П.Н., Лежнин Д.С., Панарин И.А., Гаврилова Е.Н., Пименова А.М. Геохимические критерии нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Лено-Анабарского регионального прогиба и сопредельных территорий // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2019, № 8, с. 62—74.

Филипцов Ю.А. Геологическое строение рифейских отложений зоны сочленения Сибирской платформы и Енисейского кряжа // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2012, № 1, с. 49—66.

Черепанов Е.А. Методическое обеспечение обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин с целью построения сейсмогеологических моделей терригенных отложений Западной Сибири: Автореф. дис.… к.г.-м.н. Тюмень, 2018, 23 с.

Faust L.Y. A velocity function including lithologic variations // Geophysics, 1953, v. 18, p. 271—287.

Gardner G.H.F., Gardner L.W., Gregory A.R. Formation velocity and density — The diagnostic basics for stratigraphic traps // Geophysics, 1974, v. 39 (6), p. 770—780.

Kotova S.V., Lezhnin D.S., Uhlova G.D. Seismogeological model of the structure of Riphean deposits in the north-east of the Anabar anteclise // Geomodel 2018, EAGE, 2018, № 1.

Nagovitsin K.E., Rogov V.I., Marusin V.V., Karlova G.A., Kolesnikov A.V., Bykova N.V., Grazhdankin D.V. Revised Neoproterozoic and Terreneuvian stratigraphy of the Lena-Anabar Basin and north-western slope of the Olenek Uplift, Siberian Platform // Precambrian Res., 2015, v. 270, p. 226—245.

.