

УДК 550.8

СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ БУРЕНИЕ НА СЕВЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ: ПЕРВЫЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Н.А. Малышев¹, В.Е. Вержбицкий¹, М.В. Скарятин², М.Д. Балагуров³, Д.В. Илюшин²,
А.А. Колубакин², О.А. Губарева², Ю.А. Гатовский⁴, В.Г. Лакеев⁵, Р.В. Лукашев⁵,
А.В. Ступакова⁴, А.А. Суслова⁴, В.В. Обметко¹, Д.К. Комиссаров¹

¹ПАО «НК Роснефть», 115054, Москва, ул. Дубининская, 31а, Россия

²ООО «РН-Эксплорейшн», 121151, Москва, ул. Можайский Вал, 8, Россия

³ООО «Арктический научный центр», 119333, Ленинский просп., 55/1, стр. 2, Россия

⁴Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, ул. Ленинские горы, 1, Россия

⁵Фонд «НИР», 119192, Москва, Ломоносовский просп., 27, корп. 1, Россия

Проблема определения возрастного диапазона и состава чехла Северо-Карского осадочного бассейна (север Карского моря, Российская Арктика) до недавнего времени не могла быть решена однозначно по причине отсутствия данных параметрического и поискового бурения. Принимая во внимание крайнюю важность этих вопросов для региональной геологии и оценки перспектив нефтегазоносности шельфа Арктики, осенью 2020 г. по инициативе ПАО «НК «Роснефть» совместно с АО «Росгеология» с судна НИС «Бавенит» впервые в регионе было пробурено 10 малоглубинных стратиграфических скважин, равномерно осветивших разрез Северо-Карского бассейна во всем возрастном диапазоне. В результате было отобрано 300 м керна из 11 палеозойских и 2 мезозойских комплексов, ранее выделенных по данным сейсморазведки 2D и изучения естественных обнажений пород на арх. Северная Земля. Для оперативной корректировки положения проектных скважин и детальной увязки их разрезов с имеющейся региональной сейсмогеологической моделью во время экспедиции также проводилась сейсмическая съемка высокого разрешения (НИС «Капитан Воронин»). Камеральные работы выполнялись силами специалистов МГУ им. М.В. Ломоносова и включали прежде всего комплексные биостратиграфические, литолого-седиментологические, геохимические и другие виды лабораторных исследований керна. Результаты подтверждают палеозойскую модель основной части стратиграфического разреза Северо-Карского бассейна. К настоящему времени получены биостратиграфические датировки пород в интервале позднего кембрия—позднего девона. В целом наметилась тенденция удревления возрастов отдельных палеозойских сейсмокомплексов по сравнению с ранее опубликованными возрастными моделями. КERN преимущественно представлен терригенными породами с подчиненным значением карбонатных отложений. Палеозойские комплексы с резким угловым несогласием перекрываются маломощными мезозойскими терригенными отложениями, датированными в диапазоне от среднего триаса до средней юры. Проведенные лабораторно-аналитические исследования позволили завершить датировку возраста вскрытых осадочных комплексов и определить их литологический состав. В дальнейшем планируется реконструировать обстановки накопления, установить наличие и распространение в разрезе элементов углеводородных систем (пород-коллекторов, нефтегазоматеринских толщ, флюидоупоров) и, таким образом, с существенно большей достоверностью оценить нефтегазовый потенциал Северо-Карского бассейна. Мы предполагаем, что результаты проводимых работ будут также иметь важное значение для расшифровки строения, реконструкции геологического развития и анализа перспектив нефтегазоносности всей Арктики.

Стратиграфическое бурение, шельф Арктики, возраст и состав осадочного чехла, нефтегазовый потенциал, Северо-Карский бассейн

STRATIGRAPHIC DRILLING IN THE NORTHERN KARA SEA: FIRST CASE AND PRELIMINARY RESULTS

N.A. Malyshev, V.E. Verzhbitskii, M.V. Skaryatin, M.D. Balagurov, D.V. Ilyushin, A.A. Kolyubakin, O.A. Gubareva,
Y.A. Gatovskii, V.G. Lakeev, R.V. Lukashev, A.V. Stupakova, A.A. Suslova, V.V. Obmetko, D.K. Komissarov

Until recently, the sedimentary cover age and composition of the marginal North Kara Basin (northern part of the Kara Sea, Russian Arctic) remained uncertain because of the absence of direct data from parametric and exploration wells. Taking into consideration the absolute importance of these issues for understanding the regional geology of the Arctic shelf and evaluating its petroleum potential, Rosneft Oil Company, together with AO RosGeo, drilled ten shallow stratigraphic wells in fall 2020 using the research vessel (RV) *Bavenit* to reveal

© Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Скарятин М.В., Балагуров М.Д., Илюшин Д.В., Колубакин А.А.✉, Губарева О.А., Гатовский Ю.А., Лакеев В.Г., Лукашев Р.В., Ступакова А.В., Суслова А.А., Обметко В.В., Комиссаров Д.К., 2023

✉ e-mail: a_kolubakin@rn-exp.rosneft.ru

the complete stratigraphic range of the North Kara Basin. The ultrahigh-resolution (UHR) seismic survey was carried out by the RV *Kapitan Voronin* to adjust the well site locations and integrate the well sections into the regional geological model based on 2D seismic data during the drilling campaign. As a result, 300 m core was recovered from 11 Paleozoic and two Mesozoic stratigraphic units, previously investigated by 2D seismic and outcrop studies of the Severnaya Zemlya Archipelago. Lab analyses (biostratigraphy, lithology, sedimentology, geochemistry, and other types of core analysis) were performed at Lomonosov Moscow State University. We present obtained lab results confirming that the main part of the North Kara Basin section belongs to the Paleozoic; late Cambrian–Late Devonian rock ages have been derived. Several Paleozoic units tend to be older than those in previously published models. Core samples include mainly terrigenous rocks with insignificant carbonate presence. Paleozoic units are overlain by a thin Mesozoic terrigenous section dated from Middle Triassic to Middle Jurassic above a distinct angular unconformity. After a thorough analysis of all the lab results, we will obtain data on the ages of sedimentary units, as well as their lithology and depositional environments, and establish elements of the hydrocarbon system (source rocks, reservoirs, and seals) to evaluate the North Kara Basin petroleum potential with lesser uncertainty. We suppose that our results will significantly contribute to establishing a stratigraphic framework, reconstructing the basin history, and evaluating the petroleum potential of the whole Arctic region.

Stratigraphic drilling, sedimentary cover age and composition, petroleum potential, North Kara Basin, Arctic shelf

ВВЕДЕНИЕ

Северо-Карский потенциально нефтегазоносный бассейн является одним из наиболее крупных тектонических элементов арктического шельфа. Общая мощность (толщина) слагающих его осадочных комплексов в отдельных депоцентрах достигает 14–20 км. Представления о возрасте и вещественном составе пород чехла Северо-Карского осадочного бассейна в условиях отсутствия данных параметрического и поискового бурения в значительной степени противоречивы и допускают существенно различные толкования. Так, предыдущие исследования осадочного чехла опирались на результаты полевых работ на прилегающей суше [Государственная..., 1955; Наливкин и др., 1973; Верниковский и др., 1995, 2013; Проскурнин, 1999; Lorenz et al., 2008; Верниковский, 2009; Качурина и др., 2013] и интерпретации данных геофизических съемок. Представления о возрасте строились на основе выделения несогласий [Drachev et al., 2010; Вержицкий и др., 2011, 2012; Долгунов и др., 2011; Мартиросян и др., 2011; Ступакова и др., 2011; Малышев и др., 2012, 2013; Никишин, 2012, 2013; Дараган-Суцова и др., 2013; Nikishin et al., 2014; Конторович, Конторович, 2019] и эвапоритовых горизонтов [Никишин, 2012; Малышев и др., 2013].

С целью определения возраста и состава пород осадочного чехла Северо-Карского бассейна, являющихся важнейшими составляющими при прогнозировании и поисках месторождений углеводородов, выполнялись следующие задачи:

1. Обновление геолого-геофизической модели бассейна с использованием данных геофизических съемок, полевых наземных экспедиций и тематических работ предшественников.

2. Проведение ПАО «НК Роснефть» совместно с АО «Росгеология» комплексной экспедиции на буровом научно-исследовательском судне (НИС) «Бавенит» в сопровождении инженерно-геофизического НИС «Капитан Воронин» вблизи арх. Северная Земля (рис. 1) в сентябре–октябре 2020 г. В задачи экспедиции входили бурение малоглубинных (до 100 м) скважин с отбором керна из различных стратиграфических уровней осадочного чехла и проведение сейсморазведочных работ сверхвысокого разрешения (ССВР) для определения и корректировки положения точек проектных скважин, а также для привязки результатов бурения к существующим геолого-геофизическим данным.

3. Лабораторные исследования каменного материала, полученного в ходе экспедиции.

Получение и использование новых данных о возрасте и составе осадочных пород тесно связано с решением ряда фундаментальных научных задач для всего Арктического региона, таких как тектоническое районирование, палеогеодинамические и палеогеографические реконструкции для палеозоя и мезозоя и др. Важнейшим прикладным аспектом установления возраста и состава чехла рассматриваемого сектора Карского моря является создание комплексных 3D моделей (сейсмогеологической, литолого-фациальной, эволюции УВ систем) для обоснованного прогноза нефтегазоносности и снижения геологических рисков при проведении геолого-разведочных работ на углеводородное сырье.

МЕТОДИКА

Обновление геолого-геофизической модели проводилось путем интерпретации данных сейсморазведки МОГТ (метод общей глубинной точки) 2D проектной командой ПАО «НК «Роснефть». Тек-

тоностратиграфическое расчленение осадочного разреза проводилось на основе: 1) наличия в разрезе значимых геологических границ, 2) анализа распределения мощностей (толщин) осадочных комплексов и их сейсмофациального облика и 3) оценки развития и взаимоотношения плективных и дизъюнктивных структур различной природы. Литологический состав сеймокомплексов прогнозировался с учетом результатов изучения естественных обнажений прилегающей суши и особенностей морфологии выделяемых неоднородностей в волновом поле.

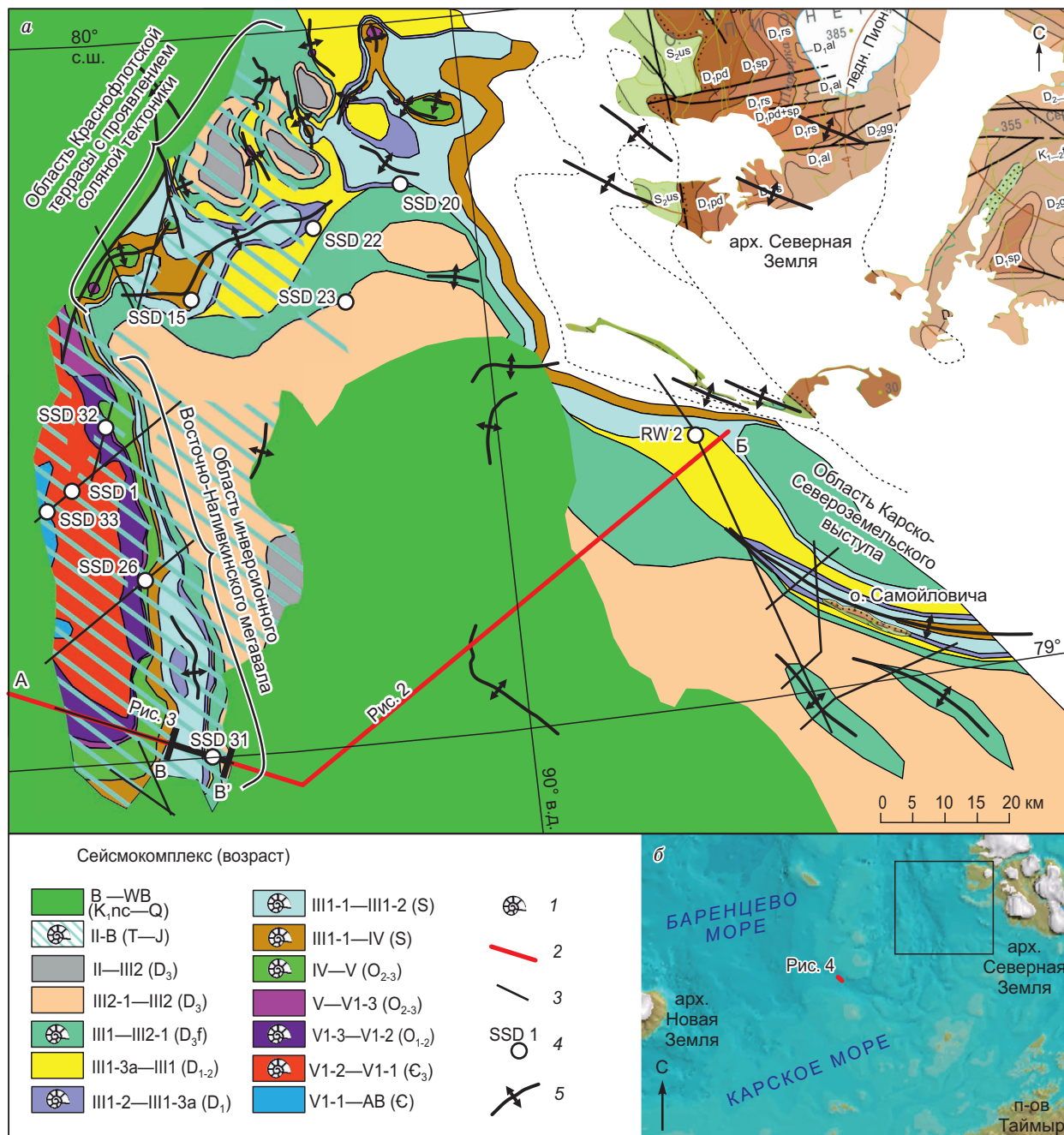


Рис. 1. Карта выхода разновозрастных сейсмических комплексов осадочного чехла вблизи дна моря (см. пояснения в тексте и на рис. 2, 3) (а), фрагмент геологической карты арх. Северная Земля (б), по [Качурина и др., 2013].

Возрастная привязка сейсмических комплексов дана согласно текущим результатам анализа данных бурения малоглубинных скважин. 1 — находки окаменелостей; 2 — профили МОГТ 2D, 3 — профили ССВР, 4 — точки пробуренных малоглубинных скважин, 5 — оси антиклинальных складок под несогласием II.

В частности, эвапоритовые отложения выделялись (прогнозировались) по признакам проявления соляной тектоники, включая малоамплитудные деформации, связанные со скольжением (срывом) перекрывающих толщ по пластичным горизонтам. Вблизи интервалов эвапоритов на арх. Северная Земля развиты карбонатные отложения [Качурина и др., 2013], что может быть использовано для интерпретации литологического состава сейсмокомплексов смежных с толщами эвапоритов.

Карбонатные интервалы были также спрогнозированы на основании анализа устойчивости пород сейсмокомплексов к выветриванию и эрозии в областях их срезания поверхностями несогласий по данным сейсморазведки различной частотности. В этих областях карбонатные отложения могут формировать палеоподнятия и останцы, а также иметь угловатую поверхность кровли, что, возможно, связано с карстообразованием. Помимо этого, быстрая литификация карбонатных отложений могла способствовать развитию хрупких деформаций вскоре после накопления этих пород, например, при скольжении по подстилающим эвапоритам. Эти деформации рассматривались нами как один из косвенных признаков идентификации карбонатных интервалов в разрезе.

Сейсмическая съемка высокого разрешения (ССВР) 2D проводилась специалистами центра морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова на НИС «Капитан Воронин» вдоль ранее полученных профилей МОГТ 2D, проходящих через проектные точки бурения стратиграфических скважин, с целью повышения разрешенности сейсмического изображения верхней части разреза. В подготовительный период экспедиции специалистами ПАО «НК «Роснефть»» на основе сейсмогеологической модели Северо-Карского лицензионного участка были обоснованы приоритетные и резервные точки для стратиграфического бурения. Необходимо отметить, что базовая геологическая модель была построена с использованием около 37 000 км сейсмических профилей МОГТ 2D и других региональных геолого-геофизических данных, включая материалы аэрогравимагниторазведочной съемки в объеме 70 000 км и двух геологических экспедиций, организованных ПАО «НК «Роснефть»» в 2013 и 2019 гг. на арх. Северная Земля. Основной принцип выбора как приоритетных, так и резервных точек бурения состоял в опробовании максимально широкого стратиграфического диапазона осадочного чехла.

Сейсмоакустический комплекс состоял из накопителя энергии «SplitMultiSeis Source 5000» с максимальной скоростью заряда 5 кДж/с, а также приповерхностной системы буксировки электроискрового источника типа «Спаркер» (300 электродов) и многоканальной телеметрической приемной косы «XZone® Bottom Fish» с 96 активными каналами.

Общая протяженность полученных 12 профилей ССВР составила 298 км. При центральной частоте источника 330 Гц качество полученных материалов получилось достаточно высоким с вертикальной разрешающей способностью около 2.5 м. В зависимости от сейсмогеологических условий верхней части разреза глубинность полученных данных варьировалась от 5 до 270 м от дна. Данные ССВР непосредственно после оперативной набортной обработки передавались с НИС «Капитан Воронин» через интернет в офис проектной команды ПАО «НК «Роснефть»», где происходила интерпретация этих данных и их увязка с сейсмическими отражающими горизонтами (ОГ) сейсмической съемки МОГТ 2D. Во время бурения на утвержденной точке в случае необходимости проводилась корректировка последующих проектных точек по результатам экспресс-интерпретации данных ССВР и оперативного анализа получаемого каменного материала.

Бурение малоглубинных стратиграфических скважин осуществлялось с НИС «Бавенит» и включало определение режима и глубин бурения скважин, интервалов отбора керна. Бурение проводилось стандартными бурильными трубами API с породоразрушающим инструментом 215.9 мм. В дисперсных грунтах отбор образцов осуществлялся вдавливаемыми и поршневыми пробоотборниками. В скальных и полускальных породах бурение выполнялось колонковым вращательным способом с использованием съемных керноприемников. В случае бурения без отбора керна использовалась шарошечная вставка в долото. Скорость отбора скального и полускального керна составила в среднем 1 м/ч.

Общий объем выноса керна из десяти пробуренных скважин составил 80 % и равен 298.4 м. В результате были подняты терригенные и карбонатные отложения различного состава и степени диагенетического и катагенетического преобразования. Первичное описание и фотодокументация керна были проведены непосредственно на судне.

Лабораторные исследования каменного материала включали следующие направления: литология, седиментология, биостратиграфия, геохимия, изучение фильтрационно-емкостных характеристик. В этой статье мы приводим первые литолого-седиментологические и биостратиграфические результаты. Литолого-седиментологические исследования включали в себя описание каменного материала с выделением текстурно-структурных особенностей. Биостратиграфические исследования подразделялись на макропалеонтологические и микропалеонтологические, которые, в свою очередь, включали анализ микрофауны и палинологические определения.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РАБОТ

Район работ характеризуется глубинами моря от 50 до 150 м. Он расположен в пределах трех крупных тектонических структур с геологическим строением, описанным ранее во многих публикациях [Государственная..., 1955; Проскурнин, 1999; Lorenz et al., 2008; Drachev et al., 2010; Вержбицкий и др., 2011, 2012; Долгунов и др., 2011; Мартиросян и др., 2011; Ступакова и др., 2011; Малышев и др., 2012, 2013; Никишин, 2012, 2013; Дараган-Суцова и др., 2013; Качурина и др., 2013; Nikishin et al., 2014; Metelkin et al., 2015; Конторович, Конторович, 2019; и др.], и благоприятным для малоглубинного бурения с вскрытием предполагаемых целевых палеозойских осадочных комплексов (рис. 2): инверсионного Восточно-Наливкинского мегавала, Краснофлотской террасы с проявлениями соляной тектоники [Долгунов и др., 2011; Никишин, 2012, 2013; Малышев и др., 2013] и Карско-Североземельского выступа, выраженного в современном структурном плане в виде области воздымания древних осадочных комплексов вблизи арх. Северная Земля. Следует также отметить, что рассматриваемая северо-восточная часть Северо-Карского бассейна характеризуется наименьшими толщами нецелевых мезозойско-кайнозойских отложений, перекрывающих несогласие II (рис. 2, 3), ниже которого на доступных глубинах и расположены предполагаемые палеозойские осадочные отложения. Стратиграфическим скважинам в Северо-Карском бассейне присвоен индекс SSD (shallow stratigraphic drilling) с соответствующими номерами. Скважины SSD 1, 26, 31, 32 и 33 расположены на Восточно-Наливкинском мегавале, скв. SSD 15, 20, 22 и 23 — в пределах Краснофлотской террасы, а скв. RW 2 (reserved well), пробуренная во время штормовой стоянки судна, на Карско-Североземельском выступе (см. рис. 1).

РАСЧЛЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

В основании осадочного чехла Северо-Карского бассейна залегает предположительно нижний терригенный синрифтовый комплекс, который частично срезан поверхностью несогласия VI в осевой

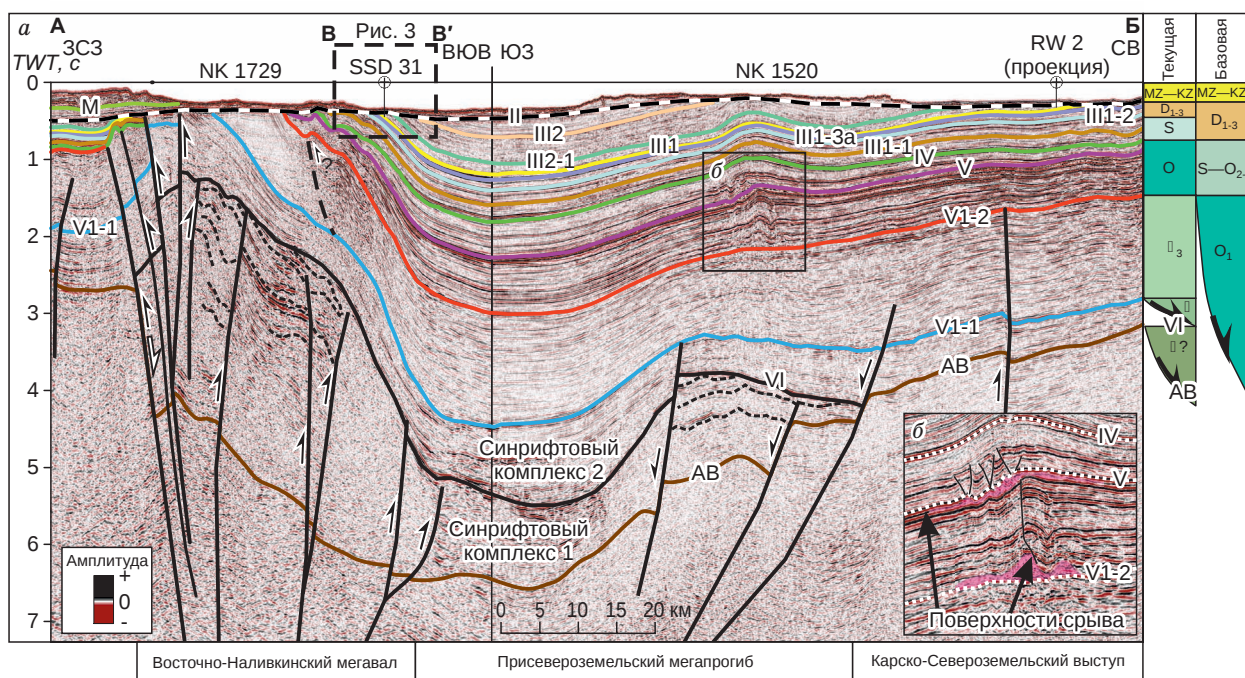


Рис. 2. Сейсмический профиль МОГТ 2D с интерпретацией ключевых отражающих горизонтов и моделью стратиграфической привязки осадочного чехла по текущим результатам анализа данных бурения малоглубинных скважин в сравнении с базовой моделью (в правой части рисунка), проходящий через Восточно-Наливкинский мегавал и скв. SSD 31 на его восточном склоне (а); врезка с укрупненным фрагментом сейсмического профиля МОГТ 2D, иллюстрирующая поверхности срыва (показаны стрелками), связанные с кровлями предполагаемых интервалов развития эвапоритовых отложений (б).

Отложения, залегающие ниже ОГ III2-1, вскрытые в скв. SSD 31 и RW 2, датированы франским веком (поздний девон). Положение профиля см. на рис. 1.

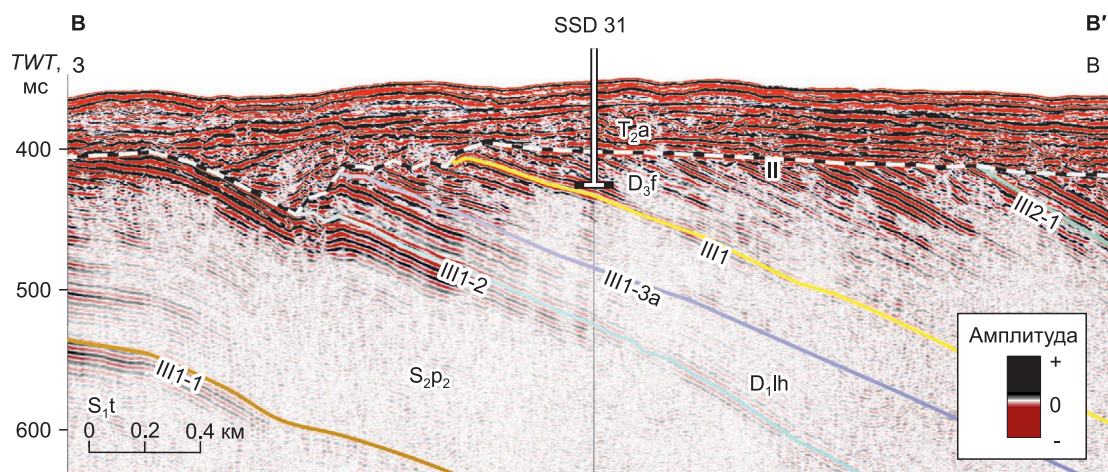


Рис. 3. Сейсмический профиль сверхвысокого разрешения, проходящий через скв. SSD 31 с нанесенными датировками пород сейсмокомплексов по результатам биостратиграфического исследования керна малоглубинных стратиграфических скважин.

части Восточно-Наливкинского мегавала (см. рис. 2). Важно отметить, что граница VI на участках с выраженными деформациями сжатия приобретает характер углового несогласия, т. е. структура нижнего синрифтового комплекса свидетельствует о локальных проявлениях тектонической инверсии, проявившейся до начала накопления вышележащего комплекса. Верхний предположительно терригенно-карбонатный синрифтовый комплекс залегает выше и венчается границей V1-1 («рифт-пострифт»). Нижний пострифтовый комплекс, ограниченный в кровле несогласием V1-2, представлен терригенными клиноформными толщами, которые, по всей видимости, отражают поступление обломочного материала с прилегающих областей палеосуши в обрамлении бассейна.

Сейсмокомплекс, залегающий выше нижнего пострифтового комплекса, ограничен в кровле поверхностью V и имеет, по нашему мнению, преимущественно карбонатный состав. Как вблизи подошвы, так и в кровле данного комплекса прогнозируется развитие эвапоритов, что ранее было предложено для ордовикского комплекса отложений северо-восточной части Северо-Карского бассейна [Мартыросян и др., 2011; Никишин, 2012; Малышев и др., 2013] (см. рис. 2). Перекрывающий его комплекс маркируется в кровле поверхностью IV, характеризующейся на западном склоне Восточно-Наливкинского мегавала, а также в других частях Северо-Карского бассейна за пределами района стратиграфического бурения признаками углового несогласия. Это угловое несогласие IV является отражением проявления импульса регионального сжатия, которое локально оказало существенное влияние на внутреннюю структуру сейсмокомплекса IV—V (см. рис. 2, врезка б). В нижней части рассматриваемого комплекса наблюдаются протяженные высокоамплитудные отражения. Здесь же в разрезе локально присутствуют признаки хрупких и (второстепенных) пластических деформаций, что гипотетически можно связать со скольжением компетентных пород по подстилающим эвапоритам. Верхняя часть сейсмокомплекса характеризуется непротяженными мало- и среднеамплитудными отражениями, местами косонаклоненными. Для нее характерно заполнение синклиналий структур, происходившее при вышеописанных деформациях. Таким образом, по нашему мнению, существуют косвенные основания предполагать, что нижняя часть комплекса IV—V имеет карбонатный состав, а верхняя — терригенный.

Осадочные комплексы между несогласиями IV и II не претерпевают значительных изменений в толщинах, что наряду с их сейсмофациальным обликом указывает на преимущественно мелководные условия осадконакопления. Состав этих комплексов предполагается в основном терригенным, за исключением карбонатного интервала между ОГ IV — III1-1 (рис. 4).

Выше основного углового несогласия II, проявленного на значительной части площади Северо-Карского бассейна, субгоризонтально залегают маломощные терригенные отложения с субпараллельным характером напластования. Они закономерно увеличиваются в толщинах в северо-западном направлении, составляя значительную часть осадочного выполнения восточной части Баренцевоморского бассейна.

Важными реперами для стратиграфической привязки сейсмокомплексов к разрезам прилегающей суши являются интервалы с развитием эвапоритов. В разрезе арх. Северная Земля выделяются три уровня развития эвапоритов: в среднеушаковской подсвите верхов нижнего ордовика, озернинской свите сред-

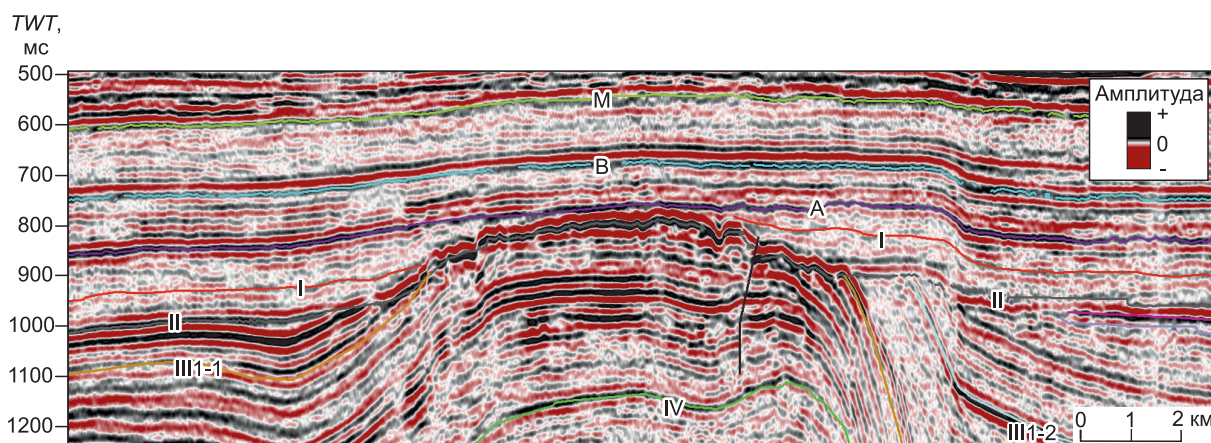


Рис. 4. Фрагмент сейсмического профиля МОГТ 2D, иллюстрирующий повышенную устойчивость к выветриванию отложений сейсмокомплекса между ОГ IV и III1-1 по сравнению с вышележащими толщами (III 1-1—III 1-2 и более молодые до несогласия II) вблизи их срезания угловым несогласием II.

Отложения сейсмокомплекса IV—III1-1 формируют угловатую кровлю, выступы и останцы в палеорельефе, что может косвенно указывать на развитие карста и, следовательно их карбонатный состав.

него ордовика и русановской свите нижнего девона (пражский ярус—нижнеэмский подъярус) [Геология..., 1982; Стратиграфия...1999; Lorenz, 2005; Bogolepova et al., 2006, 2009; Никишин, 2012, 2013].

Для первого уровня эвапоритов в разрезе среднеушаконской подсвиты между реками Озерная и Ушакова на о. Комсомолец арх. Северная Земля наблюдается залегание прослоев и линзовидных тел гипса на толще из карбонатных, глинисто-карбонатных и песчано-карбонатных разностей. Для второго уровня эвапоритов в разрезах среднеордовикской озернинской свиты по рекам Озерная, Бедная, Ледниковая и Кружилиха также характерно соседство карбонатных и эвапоритовых разностей. Так, в нижней части свиты наблюдается присутствие карбонатных, глинистых и глинисто-алевритовых карбонатных пород с подчиненными пачками гипсолитов. В средней части свиты отмечено преимущественное развитие гипсолитов с подчиненным количеством прослоев карбонатов и глинисто-карбонатных пород. Свиту венчают карбонатные, глинисто-карбонатные, иногда алевритистые, а также терригенные разности с незначительным развитием гипсолитов, вплоть до их отсутствия. Для верхнего уровня эвапоритов в нижнедевонской русановской свите в районе левобережья рек Спокойная и Пионерка наблюдается преимущественно карбонатный разрез, а в верхней части — переслаивание карбонатов с гипсами. Русановская свита перекрывается альбановской (эмский ярус), нижняя подсвита которой глинисто-карбонатная, а верхняя — терригенная.

СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

На основании имеющихся геологических данных по отложениям кембрийско-пермского возраста, развитым на арх. Северная Земля, и интерпретации доступных данных сейсморазведки 2D разными исследователями предлагались существенно различные стратиграфические модели осадочного чехла Северо-Карского бассейна. Принципиальные различия моделей состоят в датировке наиболее древних комплексов в основании осадочного чехла и углового несогласия II в верхнем интервале разреза (рис. 5).

Так, наиболее древние, рифей-вендские, отложения в основании осадочного чехла выделяются В.Н. Мартыросяном с соавторами [2011] в последней версии геологической модели ОАО «Севморнефтегеофизика», а также Л.А. Дараган-Суцовой с коллегами [2013]. В работе [Ступакова и др., 2011] в основании чехла прогнозируются верхнерифейские отложения. В начальном варианте геологической модели ОАО «Севморнефтегеофизика» (материалы Е.А. Васильевой и др. за 2009 г.) и ее обновлении в 2011 г. [Долгунов и др., 2011], а также в статье [Конторович, Конторович, 2019] разрез Северо-Карского бассейна начинается предположительно с кембрийских отложений. В.А. Конторович, А.Э. Конторович [2019] выделяют их в отдельный, развитый в депрессионных зонах, «базальный» сейсмокомплекс. Авторы работ [Drachev et al., 2010; Вержбицкий и др., 2011, 2012; Малышев и др., 2012; Nikishin et al., 2014] полагают, что основание осадочного чехла бассейна имеет возраст не древнее раннего ордовика. Это представление основано на наличии в разрезах естественных обнажений пород на о. Октябрьской

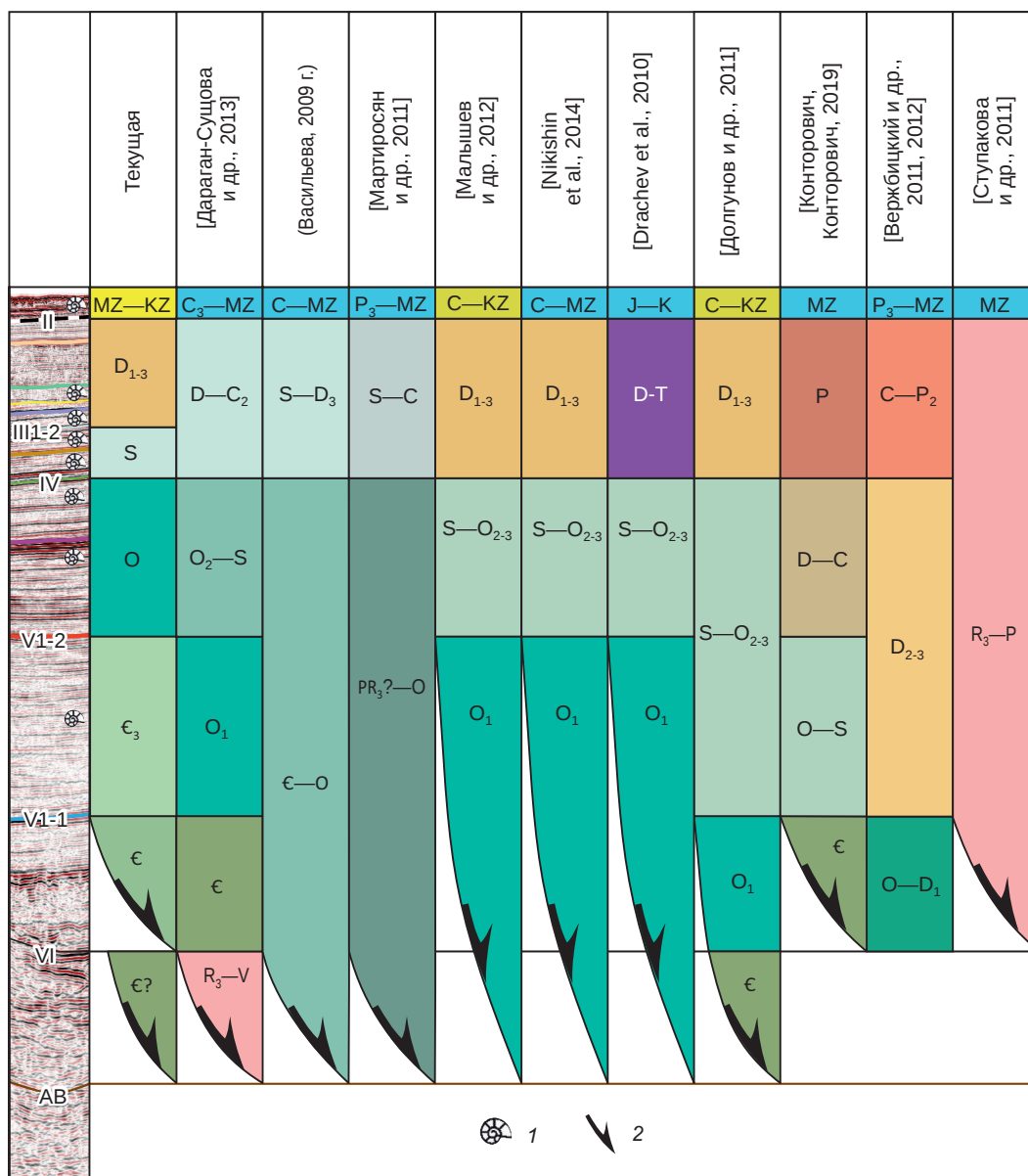


Рис. 5. Модели стратиграфической привязки осадочного чехла по ранее опубликованным данным и текущая по результатам бурения малоглубинных скважин.

1 — датировка по палеонтологическим данным, 2 — синрифтовые отложения.

революции резкого углового несогласия на границе кембрийских и ордовикских отложений, описанного первоначально Б.Х. Егiazаровым и другими [Государственная..., 1955] и затем рассмотренного в работах [Проскурнин, 1999; Lorenz et al., 2008].

Различные толкования вызывает также у исследователей возраст пород как выше, так и ниже наиболее ярко выраженного на сейсмических профилях поверхности несогласия II (см. рис. 2, 3). В начальном варианте геологической модели ОАО «Севморнефтегеофизика» (материалы Е.А. Васильевой и др. за 2009 г.) и его обновлении в 2011 г. [Долгунов и др., 2011], а также Н.А. Малышевым с соавторами [Малышев и др., 2012] и А.М. Никишиным с соавторами [Nikishin et al., 2014] предполагается наличие в разрезе под несогласием II, связанным предположительно с элсмирским тектогенезом, проявившимся примерно на рубеже девона и карбона, верхнедевонских отложений. Выше поверхности несогласия II Е.А. Васильева с коллегами (2009 г.), А.М. Никишин с соавторами [Nikishin et al., 2014]. В.А. Конторович, А.Э. Конторович [2019] предполагали развитие каменноугольно-мезозойских отложений, а в работах [Долгунов и др., 2011; Малышев и др., 2012] — каменноугольно-кайнозойских. В.Н. Мартиросян в

последней версии геологической модели ОАО «Севморнефтегеофизика» [Мартirosян и др., 2011] и Л.А. Дараган-Сущева с соавторами [Дараган-Сущева и др., 2013] соотносят несогласие II с герцинским тектогенезом, проявившимся в карбоне. Л.А. Дараган-Сущева с соавторами [2013] предполагают развитие верхнекаменноугольно-мезозойских отложений непосредственно над поверхностью несогласия II.

В.Е. Вержбицким с соавторами [2011, 2012] несогласие II датируется серединой перми, основываясь на опубликованных данных по возрасту герцинских син- и постколлизийных гранитов, отмечающих окончание деформаций в пределах Таймыро-Североземельского орогена [Верниковский, 2009]. В данной модели под несогласием II залегают отложения приуральского и частично гваделупского отделов перми по международной шкале, тогда как отложения капитанского яруса гваделупия, лопинского отдела и мезозойский разрез помещаются выше данного несогласия. В моделях, представленных в работах [Ступакова и др., 2011; Конторович, Конторович, 2019], предполагается, что под поверхностью основного углового несогласия II залегают пермские отложения, а над ней — мезозойские. С.С. Драчевым с соавторами [Drachev et al., 2010] принимается триасовый возраст отложений под несогласием II, перекрытых юрско-меловыми отложениями.

ПЕРВЫЕ ЛИТОЛОГО-СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА КЕРНА

Следует отметить разнообразие литологического состава, а также текстурно-структурных особенностей пород, вскрытых малоглубинными скважинами. Так, например, скв. SSD 33 в интервале VI—V1-1 вскрыты красноцветные неравномерно окрашенные косослоистые алевритопесчаные породы (рис. 6, а; 7). Скважинами SSD 32, 26 и 15 (см. рис. 1, 7) был установлен карбонатный состав отложений верхней части комплекса V1-2—V, нижней части разреза между ОГ V—IV и комплекса IV—III-1 соответственно, считавшихся ранее исследователями терригенными образованиями.

Палеозойские алевропесчаные отложения, вскрытые скв. SSD 20, разделены глинистыми разностями вблизи границы III-2 (см. рис. 7). Эти отложения характеризуются красноватыми оттенками. Мы предполагаем, что вскрытые породы могут являться аналогами верхнесилурийско-нижнедевонских отложений, образовавшихся в результате размыва каледонид Северо-Западной и Центральной Европы и широко известных как Old Red Sandstone («древний красный песчаник») [Хаин, 2001; и др.; Lorenz et al., 2008]. Важно отметить, что еще существенно ранее, в 1973 г., Д.В. Наливкин указывал, что девонские отложения арх. Северная Земля представляют собой типичные континентальные красноцветные песчаники каледонской молассы «Old Red», весьма сходные с одновозрастными отложениями Шпицбергена и других северных каледонид [Стратиграфия..., 1973].

Осадочный разрез интервала между ОГ III—III-2, вскрытый скв. SSD 31 (см. рис. 7), сложен обмеляющей вверх по разрезу толщей, представленной в нижней части темно-серыми глинистыми отложениями с текстурными признаками оползания, в средней части серыми алевропесчаными породами с глинистыми пропластками различной степени биотурбации, а в верхней части — серыми и светло-коричневыми алевропесчаными разностями с горизонтальной и линзовидной слоистостью. Венчает вскрытый палеозойский (см. датировки далее) разрез интервал пород алевропесчаного состава с углефицированным растительным детритом. Эти наблюдения согласуются с представлениями о мелководных условиях осадконакопления отложений данного интервала, основанными на результатах интерпретации данных сейсморазведки 2D.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ВОЗРАСТОВ ВСКРЫТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Для построения достоверной геологической модели образования отложений в регионе необходимо было получить данные возрастов терригенных и карбонатных пород с помощью палеонтологического метода. В разрезах изученных скважин были обнаружены и определены многочисленные фаунистические остатки и палиноморфы. Исследования проводились сотрудниками геологического факультета МГУ Ю.А. Гатовским (конодонты) и Д.А. Мамонтовым (споры). По конодонтам консультации оказали А.С. Алексеев (МГУ), П. Мянник (Таллинский технический университет) и Т.Ю. Толмачева (ВСЕГЕИ). При изучении телодонтов использованы определения Т. Мясра из Института геологии Таллинского технического университета (Эстония). Макрофауну изучали такие специалисты, как В.А. Захаров, О.А. Лутников (двустворчатые моллюски) (ГИН РАН), А.П. Ипполитов (белемниты) (ГИН РАН), Т.М. Безносова (брахиоподы) (ИГ Коми НЦ УрО РАН), рыбы — О.А. Лебедев (ПИН РАН) и П.А. Безносков (ИГ Коми НЦ УрО РАН). Палинологические работы полностью проведены силами АО «ВНИГРИ-Геологоразведка» под руководством Е.Г. Раевской (А.Г. Федяевский, Е.С. Разумкова, О.В. Шурекова).

Мезозойские отложения определены в верхних частях разрезов скважин SSD 31 и SSD 33 (см. рис. 7). В разрезе скв. SSD 31 обнаружен среднетриасовый палинокомплекс, в котором доминируют споры, присутствуют пыльца и зеленые водоросли. Ключевыми для определения возраста являются таксоны: *Perotriletes minor*, *Stellapollenites thiergartii*, *Triadisporea crassa*. Стратиграфически важным со-

бытием является наличие значительного числа спор *Perotriles minor*, стратиграфический диапазон которых ограничивается анизием (средний триас). Вид характерен для туринской серии Приуральской фациальной области [Киричкова, 2011]. В европейской спорово-пыльцевой зональности вышеуказанные виды приурочены к анизийскому ярусу среднего триаса [Millennium Atlas..., 2002]. Комплекс в

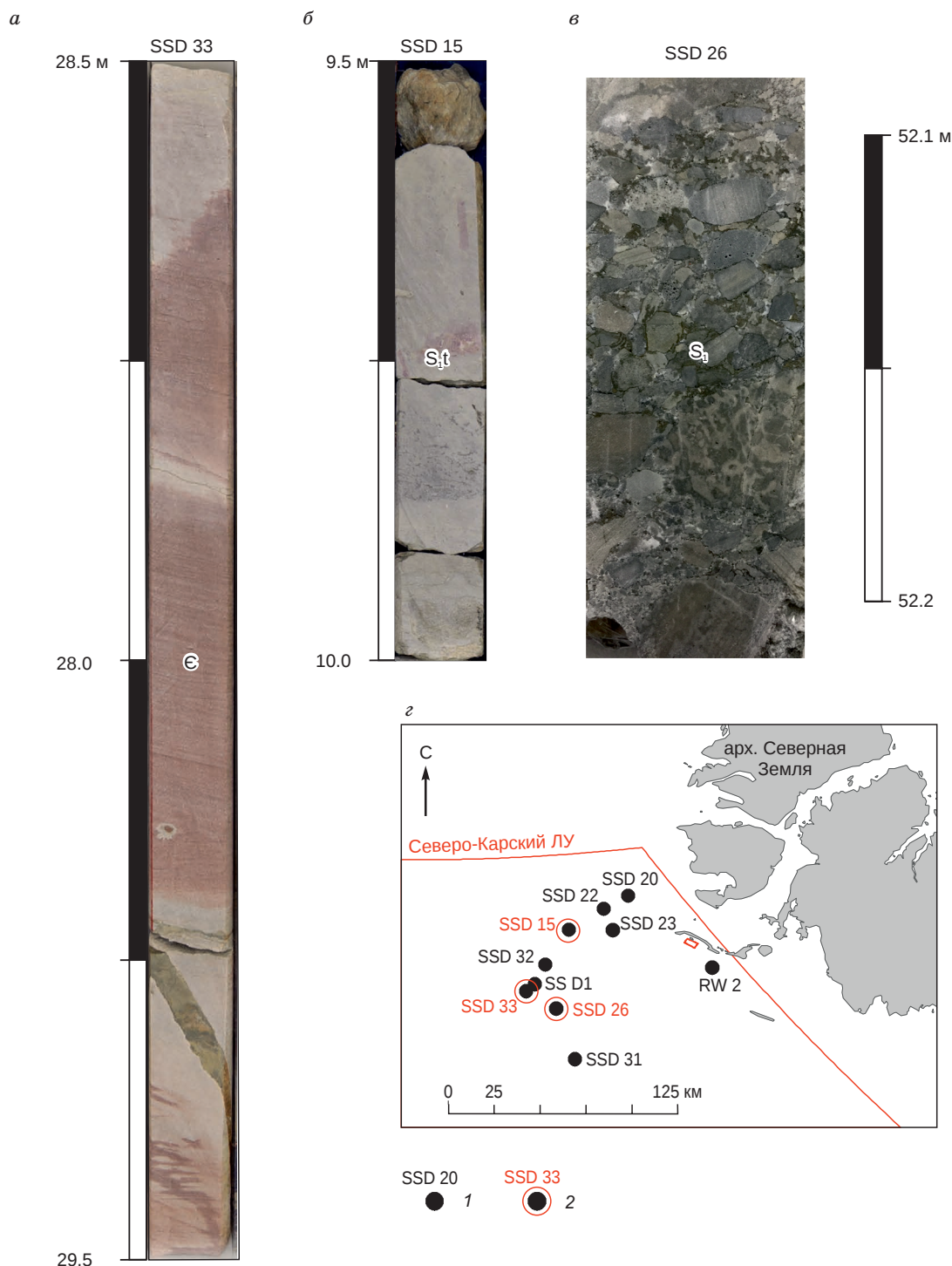


Рис. 6. Фотографии керна:

a — красноватые неравномерно окрашенные алевритопесчаные косослоистые породы; *б* — известняки водорослевые доломитизированные и доломиты, пятнисто окрашенные; участками породы сильнопористые и кавернозные (размер каверн от 1 мм до 1 см); *в* — интракластовые карбонатные конгломерато-брекчии; *г* — обзорная карта с положением малоглубинных стратиграфических скважин. ЛУ — лицензионный участок. 1 — стратиграфические скважины, 2 — стратиграфические скважины с керном, представленным на этом рисунке.

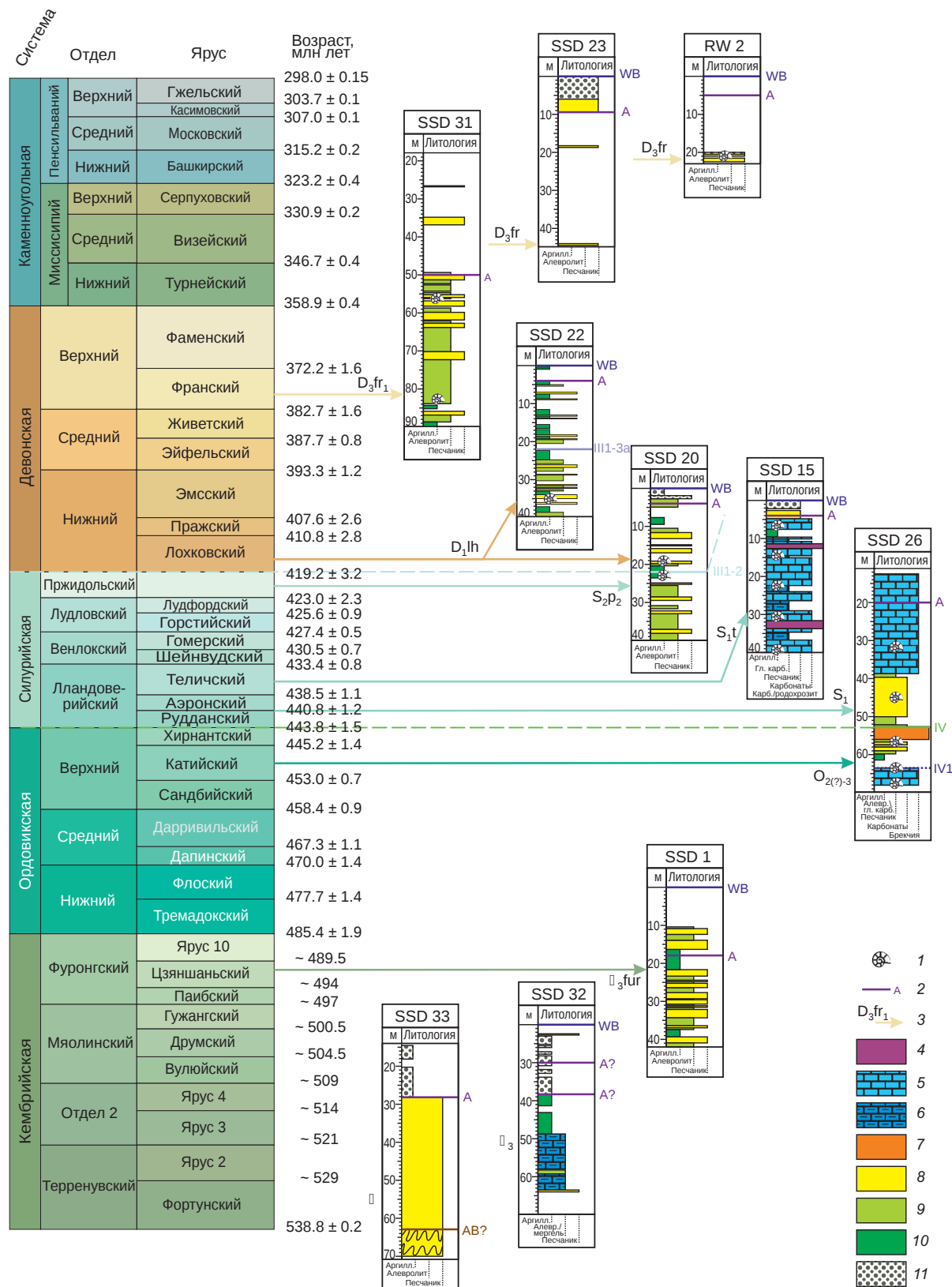


Рис. 7. Литолого-стратиграфические колонки по скважинам с указанием положения фаунистических находок и границ, соответствующих отражающим горизонтам.

Кембрийские возрастные определения выполнены по акритархам, отобраным равномерно по разрезу скв. SSD 1 и 32. Возрастная привязка приводится на основе фрагмента международной геохронологической (хроностратиграфической) шкалы 2022 г. [Cohen et al., 2013, updated]. 1 — остатки фауны, 2 — отражающие горизонты, 3 — текущая датировка, 4 — доломиты, 5 — известняки, 6 — глинистые карбонаты, 7 — грубообломочные отложения, 8 — песчаники, 9 — алевролиты, 10 — аргиллиты, 11 — неконсолидированные терригенные отложения.

целом близок по таксономическому составу комплексу трыбьяхской (первоначально хадырьяхской) свиты, установленному на севере Западной Сибири в Уренгойском нефтегазоносном районе Надым-Пурской нефтегазоносной области по результатам изучения керна Тюменской сверхглубокой скв. ТСГ-6 [Киричкова и др., 1999]. По находкам в породах скв. SSD 33 диноцист *Dissiliodinium baileyi*, *Dissiliodinium* aff. *giganteum*, *Evansia evitti*, *Sirmiodinium grossii*, акритарх *Limbicysta bjarkei*, спор *Lycopodiumsporites intortivallus*, *Neoraistrickia truncata*, *Campotriletes cerebriiformis* установлен байосский и батский (средняя юра) возраст. Обоснованием возраста может служить то, что появление спор *Lycopodiumsporites intortivallus*, *Neoraistrickia truncata* в Сибири отмечается в байосе [Ильина, 1985]. Диноцисты рода *Dissiliodinium* возникают в терминальном аалене [Feist-Burkhardt, Will, 1992], а расцвет рода происходит в байосе [Feist-Burkhardt, Monteil, 2001]. Стратиграфическое распространение вида *Dissiliodinium baileyi* в Европе ограничено байосом—батом [Feist-Burkhardt, Monteil, 2001]. Первое появление *Sirmiodinium grossii* в современных зональных шкалах для Северного моря отмечается в среднем бате. Последнее появление вида *Dissiliodinium willei* зафиксировано в среднем бате Северного моря [Geostrat..., 2021; Biostrat..., 2021]. В этих же отложениях были встречены двустворчатые моллюски и белемниты. Обнаруженные белемниты представлены видом *Paramegateuthis* cf. *ishmensis*, который встречается в пограничных толщах нижнего и среднего бата [Lagausic, Dzyuba, 2017].

В палеозойской части осадочного чехла фаунистические остатки встречены в скважинах: SSD 31, SSD 23, SSD 22, SSD 20, SSD 15 и SSD 26. В разрезе скв. SSD 1 также выявлены акритархи.

В скважине SSD 31 (рис. 8), вскрывшей алевропесчаные отложения комплекса III1—III2-1 (см. рис. 7), были обнаружены остатки панцирных рыб (плакодерм), существовавших в силурийском и девонском периодах [Черепанов, Иванов, 2007]. Изученные образцы панцирных пластинок, возможно, принадлежали *Bothriolepis* aff. *obrutchevi*. По данным И. Лукшевича, вид *Bothriolepis obrutchevi* широко представлен в Прибалтике и России из нижнефранских отложений [Lukševičs, 2001]. О находках этого вида на Среднем и Северном Тимане сообщалось в статье [Ivanov, Lukševičs, 1996]. На архипелаге Северная Земля *Bothriolepis obrutchevi* встречен в нижней части матусевичской свиты франского возраста [Lukševičs, 1999]. По палинологическим данным, возраст отложений датируется франским веком позднего девона. Выявлены два нижнефранских палинокомплекса: *Densosporites sorokinii* и *Cristatisporites deliquescens*. Первый выделенный палинокомплекс сопоставим с комплексом палинозоны *Densosporites sorokinii*, установленной в тиманской свите (нижний фран) Тимано-Печорской провинции (ТПП) [Тельнова, 2005, 2008; Тельнова, Шумилов, 2017]. Второй — коррелируется с комплексом, установленным в саргаевском горизонте ТПП палинозоны *Cristatisporites deliquescens* [Тельнова, 2005], впоследствии переименованной в *Cristatisporites pseudodeliquescens* [Тельнова, 2008] и позже разделенной на две подзоны [Tel'nova et al., 2019]: *C. pseudodeliquescens* и *C. deliquescens*. Нижняя часть палинозоны *Cristatisporites deliquescens* (= *Cristatisporites pseudodeliquescens*) соответствует конодонтовой зоне *Ancyrodella rotundiloba soluta* (нижний фран) [Tel'nova et al., 2019]. В зональности по миоспорам для Восточно-Европейской платформы [Avkhimovitch et al., 1993] оба палинокомплекса соответствуют комплексу подзоны *Acantotriletes bucerus*, *Archaeozonotriletes variabilis insignis* зоны *Contagisporites optivus*, *Spelaeotriletes krestovnikovii* (OK), установленной в нижнем фране Восточной Европы. Подзона сопоставляется с тиманским и саргаевским горизонтами Тимано-Печорской провинции, с верхней частью кыновского и саргаевского горизонтами Волго-Уральской провинции; с верхней частью ланского и саргаевского горизонтами Припятской депрессии.

В скважине SSD 23, вскрывшей интервал III 2-1—III 2, макрофаунистических остатков обнаружено не было. Возраст отложений определен по палинологическим данным и соответствует нижнему франу (верхний девон). Палинокомплекс, включающий преимущественно споры рода *Geminospora* (*G. lemurata*, *G. micromanifesta*, *G. notata*, *G. rugosa*, *G. semilusensa*), сопоставим с комплексом зоны *Contagisporites optivus*, *Spelaeotriletes krestovnikovii* (OK), установленной в нижнем фране Восточной Европы [Avkhimovitch et al., 1993].

В низах разреза скв. SSD 22 в красно-коричневых волнисто-слоистых алевролитах комплекса III1-2—III1-3а (см. рис. 7) встречены микрофаунистические остатки рыб, которые представлены мелкими кожными чешуями акантод и телодонтов. Комплекс телодонтов состоит из представителей трех родов (*Boreania*, *Nikolivia*, *Loganellia*), наиболее важными из которых для определения возраста являются *Boreania minima* и *Nikolivia* sp. Вид *Boreania minima* был обнаружен В.Н. Каратайте-Талимаа в нижнедевонских, жединских (=лохковских) отложениях на Северной Земле. Этим же специалистом впервые был описан род *Nikolivia* [Каратайте-Талимаа, 1978]. Типовой материал происходил из отложений нижнего девона (жедин=лохков) Подолии. В состав рода входят 4 таксона, которые известны из нижнедевонских отложений Подолии, Волыни и Прибалтики.

В зеленовато-темно-серых массивных алевролитах комплекса III1-1—III1-2 в скв. SSD 20 (см. рис. 7) найдены мелкие кожные чешуйки телодонтов и акантод. Из чешуй телодонтов определены две руководящие формы, которые являются зональными видами терминальной части верхнесилурийской

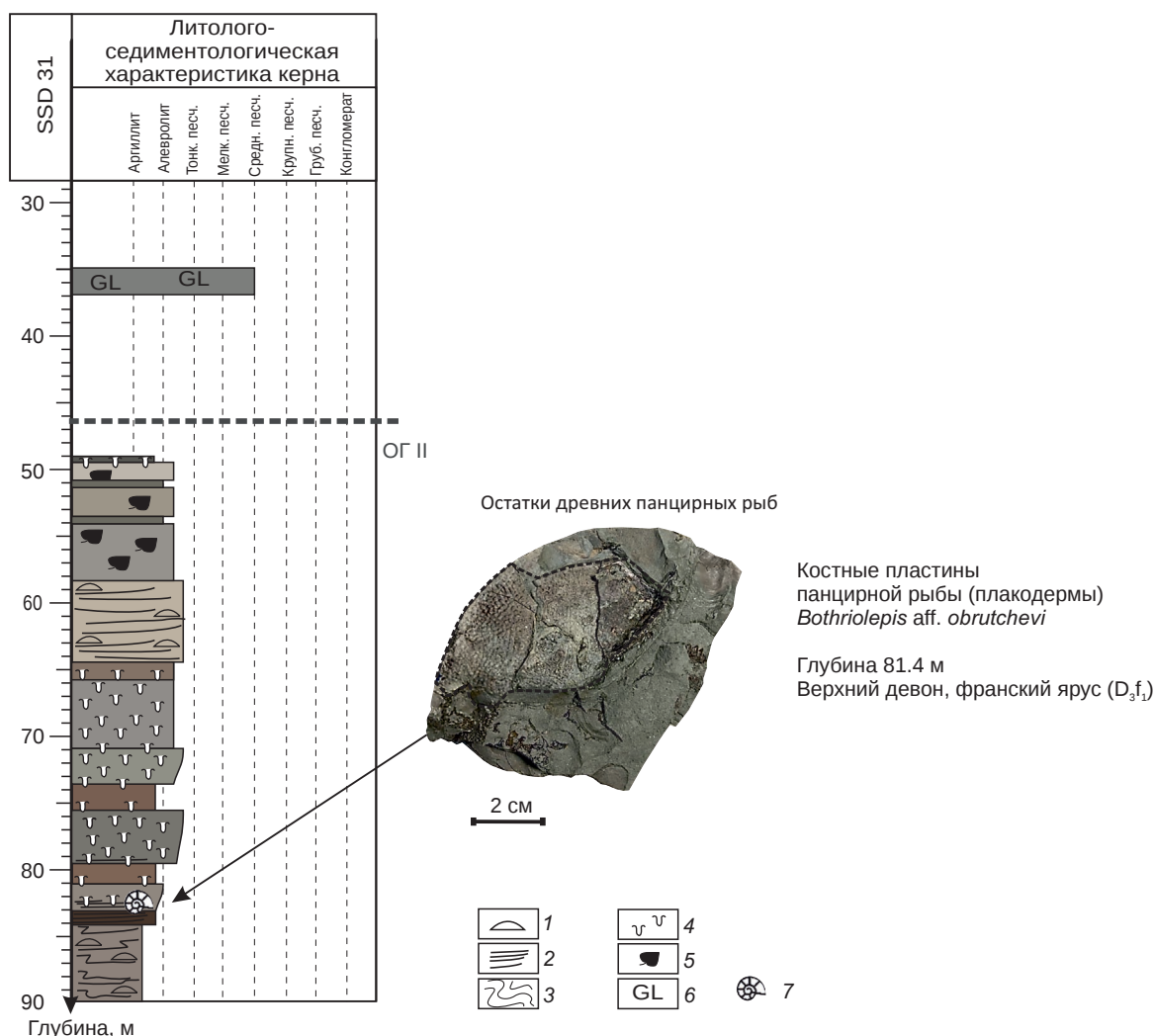


Рис. 8. Литолого-сидиментологическая колонка по разрезу скв. SSD 31.

1 — линзовидная слоистость, 2 — горизонтальная слоистость, 3 — конволютная слоистость и оползневые текстуры, 4 — биотурбация, 5 — углефицированный растительный детрит, 6 — содержание глауконита, 7 — находки окаменелостей. Цвета условно отражают вариации окраски пород в кернах.

подсистемы. К ним относятся два вида рода *Trimerolepis*—*Trimerolepis lithuanica* и *Trimerolepis timanica*. Вид *Trimerolepis lithuanica* распространен главным образом в осевой части Балтийской синеклизы и приурочен к самой верхней части юрской свиты, отвечающей по возрасту самой верхней части пржидольского отдела силурийской системы [Каратайте-Талимаа, 1978]. По данным В.Н. Каратайте-Талимаа, вид *Trimerolepis timanica* встречен в даунтонском ярусе (=пржидольский отдел) Северного Тимана. В зональной международной стратиграфической схеме силура по позвоночным биоцона *Trimerolepis timanica* занимает самую верхнюю позицию. Специалист по телодонтам Т. Мярсс считает, что вышеуказанные виды могут встречаться в основании нижнего девона, лохковском ярусе [Märss, Miller, 2004].

В разрезе скв. SSD 15, вскрывшей комплекс IV—III-1, встречены доломиты и доломитизированные известняки с колониальными кораллами и строматопороидеями (см. рис. 6, б, 7). Породы содержали конодонты: *Panderodus* aff. *greenlandensis*, *Ozarkodina kozhimica* и *Icriodella anca*, распространенные в нижнем силуре [Мельников, 1999; Männik et al., 2009]. В карбонатных отложениях комплекса V—IV скв. SSD 26 по конодонтам выделяются два разновозрастных комплекса. Наиболее древний (средний—верхний? ордовик) комплекс конодонтов представлен двумя родами *Drepanoistodus* и *Pteracontiodus*, первый из которых определен до вида *Drepanoistodus suberectus*, а второй в открытой номенклатуре *Pteracontiodus* sp. Вид *Drepanoistodus suberectus* встречается во многих регионах мира в отложениях верхней части среднего и верхнем ордовике [Männik et al., 2009; Männik, Viira, 2012]. Представители рода *Pteracontiodus* (=Trigonodus) известны из верхней части дапинского и нижней части даривильско-

го ярусов [Мельников, 1999; Толмачева и др., 2013]. Второй, более молодой (нижний силур), комплекс конодонтов включает *Panderodus* aff. *greenlandensis*, *Ozarkodina hassi*, *Ozarkodina* ex gr. *oldhamensis*, *Ozarkodina waugoolaensis* и *Icriodella anca*. На основе анализа распространения конодонтов можно сделать вывод, что отложения изученной части скважины отвечают нижнему силуру (лландвери) [Bischoff, 1986; Armstrong, 1990; Jeppsson et al., 1994; Мельников, 1999; Männik et al., 2009; Raevskaya, Servais, 2009]. В породах комплекса найдены остатки кораллов, представленные обломками массивных лепешковидных колоний табулят отряда *Favositida*. В терригенном разрезе скв. SSD 1 (см. рис. 7), вскрывший интервал V1-1—V1-2, встречены акритархи. Абсолютное большинство в комплексе составляют представители родов *Timofeevia* и *Cymatiogalea*. В их числе диагностированы: *Timofeevia lancarae*, *T. microretis*, *T. phosphoritica*, *Cymatiogalea cristata*, *C. virgulta*, *C. gorkae*. Менее многочисленные, но регулярно встречающиеся формы — *Vulcanisphaera mougnoana* (= *Vulcanisphaera turbata*), *Lophosphaeridium* sp. Единичные — *Vulcanisphaera africana*, *V. simplex*, *Actinotodissus polymorphum* (= *Acanthodiacrodium polymorphum*), *Acanthodiacrodium angustum*, *A. zonatum*, *A. aff. invictum*, *A. petrovi*, *Trachydiacrodium* sp., ?*Schisodiacrodium* sp., ?*Dasydiacrodium* sp., *Cristallinium* sp., ?*Globosphaeridium* sp., ?*Stelliferidium* sp. и *Multiplicisphaeridium* sp. Присутствие, хоть и в небольших количествах диакродиевых акритарх (*Acanthodiacrodium*, *Actinotodissus*, *Dasydiacrodium*, *Schisodiacrodium*, *Trachydiacrodium*), известных повсеместно начиная со второй половины верхнего кембрия (верхи трилобитовой зоны *Parabolina spinulosa*) [Raevskaya, Servais, 2009], свидетельствует в пользу позднекембрийского возраста рассматриваемого комплекса. Поддерживают такую интерпретацию и галеатные таксоны *Cymatiogalea cristata*, *C. gorkae*, *C. virgulta*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты биостратиграфических исследований пород керна подтверждают палеозойскую модель основной части стратиграфического разреза Северо-Карского бассейна с полученными к настоящему времени датировками в интервале от позднего кембрия до позднего девона. Возрастные определения фаунистических остатков позволили предположить в разрезе границу между отложениями ордовика и силура, соответствующую несогласию IV (ранее относимую к границе силура и девона), и установить границу силура и девона вблизи ОГ III-2 (ранее проводимую внутри нижнедевонского интервала). В нижней части осадочного чехла получены позднекембрийские определения. Вопрос отнесения пород с такими датировками к низам осадочного чехла Северо-Карского бассейна или к образованиям его фундамента требует дополнительной комплексной проработки, проводимой на данном этапе камеральных исследований. В целом намечается тенденция удревления возрастов отдельных палеозойских осадочных комплексов по сравнению с принятой до бурения базовой моделью.

На основании результатов проведенных лабораторных исследований карбонатные отложения, прогнозируемые ранее по данным сейсморазведки и с учетом данных 2D, подтвердились в интервалах разреза между ОГ V1-2—V, V—IV и IV—III-1. Остальные вскрытые сейсмогеологические комплексы имеют терригенный состав.

По отобранному в ходе работ уникальному керновому материалу в настоящее время завершены лабораторные исследования в части определения возраста вскрытых осадочных комплексов и их литологического состава. В дальнейшем планируется реконструировать обстановки накопления, установить наличие и распространение в разрезе элементов углеводородных систем (пород-коллекторов, нефтегазоматеринских толщ, флюидоупоров) и, таким образом, с существенно большей достоверностью оценить нефтегазовый потенциал Северо-Карского бассейна. Отметим, что подобные работы на шельфе РФ выполнены впервые, а пробуренные скважины являются самыми северными на арктическом шельфе. Продолжение проекта ПАО «НК «Роснефть» по стратиграфическому бурению с 2021 г. реализуется на шельфах морей российской Восточной Арктики.

Авторы выражают благодарность руководителю буровых работ на НИС «Бавенит» С.А. Гирвичу за слаженную работу буровой команды, успешное решение производственных задач и поддержание дружественной благоприятной рабочей атмосферы на протяжении всего экспедиционного периода.

ЛИТЕРАТУРА

Вержбицкий В.Е., Мурзин Р.Р., Васильев В.Е., Малышева С.В., Ананьев В.В., Комиссаров Д.К., Рослов Ю.В. Новый взгляд на сейсмостратиграфию и углеводородные системы палеозойских отложений Северо-Карского шельфа // Нефтяное хозяйство, 2011, № 12, с. 18—21.

Вержбицкий В.Е., Косенкова Н.Н., Ананьев В.В., Малышева С.В., Васильев В.Е., Мурзин Р.Р., Комиссаров Д.К., Рослов Ю.В. Геология и углеводородный потенциал Карского моря // Oil & Gas Journal Russia, 2012, № 1, с. 48—54.

Верниковский В.А. Тектоническое строение Таймыро-Североземельского региона и его геодинамическая эволюция // Геология полярных областей Земли. М., Геос, 2009, т. 1, с. 90—94.

Верниковский В.А., Неймарк Л.А., Пономарчук В.А., Верниковская А.Е., Киреев А.Д., Кузьмин Д.С. Геохимия и возраст коллизионных гранитоидов и метаморфитов Карского микроконтинента (Северный Таймыр) // Геология и геофизика, 1995, т. 36 (12), с. 50—64.

Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю. Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1083—1107.

Геология архипелага Северная Земля / Под ред. В.Я. Кабанькова, Н.П. Лазаренко. Л., ПГО «Севморгеология», 1982, 180 с.

Государственная геологическая карта СССР м-ба 1:1 000 000. Лист Т-48, 49 — мыс Челюскин. Объяснительная записка / Ред. В.А. Вакар. М., Госгеолтехиздат, 1955.

Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцов Ю.И. Особенности геологического строения Северо-Карского шельфа по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения, 2013, № 54, с. 5—16.

Долгунов К.А., Мартирисян В.Н., Васильева Е.А., Сапожников Б.Г. Структурно-тектонические особенности строения и перспективы нефтегазоносности северной части Баренцево-Карского региона // Геология нефти и газа, 2011, № 6, с. 70—83.

Ильина В.И. Палинология юры Сибири. М., Наука, 1985, 225 с. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 638).

Каратайте-Талимаа В.Н. Телодонты силура и девона СССР и Шпицбергена. Вильнюс, Моксклас, 1978, 336 с.

Качурина Н.В., Макарьев А.А., Макарьев Е.М. Государственная геологическая карта РФ. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймырско-Североземельская. Лист Т-45-48 — м. Челюскин. Объяснительная записка / Под ред. Г.В. Шнейдера, А.Е. Рыбалко, В.Ф. Проскурина. СПб, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013.

Киричкова А.И. Фитостратиграфия опорных разрезов и проблема корреляции триаса Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2011, № 3, http://www.ngtp.ru/rub/2/35_2011.pdf.

Киричкова А.И., Куликова Н.К., Овчинникова Л.Л., Тимошина Н.А., Травина Т.А., Федорова В.А. Биостратиграфическое расчленение мезозойских отложений, вскрытых Тюменской сверхглубокой скважиной // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1999, № 1, с. 71—85.

Конторович В.А., Конторович А.Э. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности шельфа Карского моря // ДАН, 2019, т. 489, № 3, с. 272—276.

Малышев Н.А., Никишин В.А., Никишин А.М., Обметко В.В., Мартирисян В.Н., Клешина Л.Н., Рейдик Ю.В. Новая модель геологического строения и истории формирования Северо-Карского осадочного бассейна // ДАН, 2012, т. 445, № 1, с. 791—795.

Малышев Н.А., Никишин В.А., Никишин А.М., Обметко В.В. Ордовикский эвапоритовый бассейн Урванцева на севере Карского моря // ДАН, 2013, т. 448, № 4, с. 433—436.

Мартирисян В.Н., Васильева Е.А., Устрицкий В.И., Супруненко О.И., Винокуров И.Ю. Север Карского моря — высокоперспективная на нефть область Арктического шельфа России // Геология нефти и газа, 2011, № 6, с. 59—69.

Мельников С.В. Конодонты ордовика и силура Тимано-Североуральского региона. СПб, ВСЕГЕИ, 1999, 136 с.

Никишин В.А. Эвапоритовые отложения и соляные диапиры прогиба Урванцева на севере Карского моря // Вестник МГУ. Сер. 4, Геология, 2012, № 4, с. 54—57.

Никишин В.А. Внутриплитные и окраинно-плитные деформации осадочных бассейнов Карского моря: Автореф. дис.... к. г.-м. н. М., 2013, 21 с.

Проскурнин В.Ф. К вопросу об угловых несогласиях в верхнем докембрии и нижнем палеозое архипелага Северная Земля // Недра Таймыра. Вып. 3, Норильск, Изд-во ВСЕГЕИ, 1999, с. 68—76.

Стратиграфия СССР: Девонская система / Под ред. Д.В. Наливкина, М.А. Джонсницкой, Б.П. Марковского. М., Недра, 1973, 376 с.

Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля / Под ред. Р.Г. Матухина, В.В. Меннера. Новосибирск, СНИИГМС, 1999, 174 с.

Ступакова А.В., Долгунов К.А., Мартирисян В.Н., Васильева Е.А., Сапожников Б.Г. Структура и нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа и прилегающих территорий // Геология нефти и газа, 2011, № 6, с. 99—115.

Тельнова О.П. Палиностратиграфические рубежи в девоне (на примере Тимано-Печорской Провинции): Автореф. дис.... д. г.-м. н. Сыктывкар, 2005, 44 с.

Тельнова О.П. Палинологическая характеристика живецко-франских отложений в эталонном разрезе скв. 1-Бальнеологической (Южный Тиман) // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2008, т. 16, № 2, с. 41—58.

Тельнова О.П., Шумилов И.Х. Саргаевский горизонт верхнего девона в бассейне р. Цильма, Средний Тиман // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2017, т. 25, № 1, с. 1—22.

Толмачева Т.Ю., Алексеев А.С., Реймерс А.Н. Конодонты из ксенолитов кимберлитовых трубок Юго-Восточного Беломорья (Архангельская область): ключ к реконструкции стратиграфии и палеогеографии Восточно-Европейской платформы в ордовике // ДАН, 2013, т. 451, № 1, с. 68—72.

Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М., Научный мир, 2001, 606 с.

Черепанов Г.О., Иванов А.О. Палеозоология позвоночных. М., Академия, 2007, 352 с.

Armstrong H.A. Conodonts from the Upper Ordovician–Lower Silurian carbonate platform of North Greenland // Grønlands Geologiske Undersøgelse, 1990, v. 159, p. 1—151.

Avkhimovich V.I., Tchibrikova E.V., Obukhovskaya T.G., Nazarenko A.V., Umnova V.T., Raskatova L.G., Mantsurova V., Lobaziak S., Streel M. Middle and Upper Devonian miospore zonation of Eastern Europe // Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine, 1993, v. 17 (1), p. 79—147.

BioStrat Stratigraphic Consultancy [Electronic resource] / D. Bailey, the BioStrat Ltd. director. Backbarrow, United Kingdom, 2021, <http://biostrat.org.uk>.

Bischoff G.C.O. Early and middle Silurian conodonts from midwestern New South Wales // Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 1986, v. 89, p. 1—337.

Bogolepova O.K., Gubanov A.P., Pease V.L. The Ordovician of the Severnaya Zemlya Archipelago, Russia // Newsletters on Stratigraphy, 2006, v. 42 (1), p. 21—41.

Bogolepova O.K., Gubanov A.P., De Ronde A. Severnaya Zemlya: initial report including locality and sample details // CASP Reports, Severnaya Zemlya Project, 2009, v. 1, p. 1—22.

Cohen K.M., Finney S.C., Gibbard P.L., Fan J.-X. The ICS International Chronostratigraphic Chart // Episodes, 2013, updated, v. 36, p. 199—204.

Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview // Petroleum Geology: from Mature Basins to New Frontiers. Proc. 7th Pet. Geol. Conf. Geol. Soc. London, 2010, p. 591—619.

Feist-Burkhardt S., Monteil E. Gonyaulacacean dinoflagellate cysts with multi-plate precingular archaeopyle // Neues Jahrb. Geol. Paläontol.: Abh., 2001, v. 219 (1/2), p. 33—81.

Feist-Burkhardt S., Wille W. Jurassic palynology in southwest Germany — state of the art // Cah. Micro-paléontol., 1992, v. 7 (1/2), p. 141—164.

GeoStrat Consultants Ltd. [Electronic resource] / R. Dyer, G. Williams. Scotland, United Kingdom, 2021, http://www.geostratuk.com/schemes_and_support.

Ivanov A.O., Lukševičs E. Late Devonian vertebrates of the Timan // Daba un Muzejs, 1996 (6), p. 22—33.

Jeppsson L., Viira V., Männik P. Conodont-based correlations between Estonia and Gotland // Geol. Mag., 1994, v. 131, p. 201—218.

Lagausic B., Dzyuba O. Biostratigraphy of the Bajocian-Bathonian boundary interval in northern Siberia: new data on belemnites from the Yuryung-Tumus peninsula // Bull. Soc. Géol. Fr., 2017, v. 188 (1—2), p. 1—9.

Lorenz H.O. Eurasian Arctic tectonics: geology of Severnaya Zemlya (North Kara Terrane) and relationships to the Timanide margin of Baltica. Ph.D. Thesis. University of Uppsala, Sweden, 2005, 93 p.

Lorenz H., Männik P., Gee D.G., Proskurnin V. Geology of the Severnaya Zemlya Archipelago and new tectonic interpretation for the North Kara Terrane in the Russian high Arctic // Int. J. Earth Sci., 2008, v. 97, p. 519—547.

Lukševičs E. Stratigraphic occurrence of vertebrate remains in the Upper Devonian of Severnaya Zemlya (Russia) // Acta Geol. Pol., 1999, v. 49 (2), p. 125—131.

Lukševičs E. Bothriolepid antiarchs (Vertebrata, Placodermi) from the Devonian of the north-western part of the East European Platform // Geodiversitas, 2001, v. 23 (4), p. 489—609.

Männik P., Viira V. Ordovician conodont diversity in the northern Baltic // Est. J. Earth Sci., 2012, v. 61 (1), p. 1—14.

Männik P., Bogolepova O.K., Pöldvere A., Gubanov A.P. New data on Ordovician–Silurian conodonts and stratigraphy from the Severnaya Zemlya Archipelago, Russian Arctic // Geol. Mag., 2009, v. 146 (4), p. 497—516.

Märss T., Miller C.G. Thelodonts and distribution of associated conodonts from the Llandovery–lowermost Lochkovian of the Welsh Borderland // Palaeontology, 2004, v. 47, p. 1211—1265.

Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Matushkin N.Yu. Arctida between Rodinia and Pangea // Precambrian Res., 2015, v. 259, p. 114—129.

Millennium Atlas: Petroleum Geology of the Central and Northern North Sea, CD / A Millennium industry project owned by the Millennium Atlas Co. Ltd. Distributed by GSL, 2002.

Nikishin A.M., Malyshev N.A., Petrov E.I. Geological structure and history of the Arctic Ocean. Houten, Netherlands, EAGE Publ. B.V., 2014, 88 p.

Raevskaya E.G., Servais T. *Ninadiacrodium*: A new Late Cambrian acritarch genus and index fossil // Palynology, 2009, v. 33 (1), p. 219—239.

Telnova O., Soboleva M., Sobolev D. Upper Devonian Cristatisporites Deliquescens palynozone and its correlation (Timan-North Urals Region) // Proc. Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2019. Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources (Kazan, 24—28 September 2019), 2019, p. 253—261.