УДК [551.762+551.763](550.47)

ГОЛЬЧИХИНСКАЯ СВИТА (верхи бата—низы бореального берриаса) ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО ПРОГИБА (запад Северо-Сибирской низменности) Б.Л. Никитенко^{1, 2}, В.П. Девятов ³, А.П. Родченко¹, Л.К. Левчук¹, Е.Б. Пещевицкая¹, Е.А. Фурсенко^{1,2}

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

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия

³Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, Новосибирск, Красный просп., 67, Россия

Глинистые горизонты верхов бата—низов бореального берриаса (гольчихинская свита) Енисей-Хатангского регионального прогиба рассматриваются как потенциально нефтематеринские толщи. Значительный отбор керна в разрезах свиты, вскрытых скважинами Пайяхской площади, и наличие нефтей в перекрывающих толщах шуратовской свиты позволяют осуществить комплексные стратиграфические (био-, лито-, хемо- и сейсмостратиграфические) и геохимические (органическое вещество, нефти) всего разреза гольчихинской свиты и пограничных слоев, выявить нефтепроизводящие уровни и определить соответствие нефтей по генотипу и уровню зрелости с потенциально нефтематеринским органическим веществом (ОВ) пород. Проведено детальное зональное расчленение разрезов гольчихинской свиты по микрофоссилиям. Сравнительный анализ вариаций $\delta^{13}C_{onr}$ в разрезе волжского яруса и низах бореального берриаса с таковыми из Баренцевского шельфа и северо-востока Восточной Сибири позволил уточнить и обосновать положение границ ярусов и подъярусов в разрезах на Пайяхской площади в интервалах, не содержащих фоссилий. Изученный разрез гольчихинской свиты расчленен на восемь литологических пачек, увязанных с био- и сейсмостратиграфическими подразделениями. Предложены критерии распознавания верхней границы гольчихинской свиты по материалам ГИС. Анализ био- и хемостратиграфических данных позволил привязать серию сейсмических отражающих горизонтов, прослеженных в гольчихинской свите и на ее границах, к геологическому разрезу и увязать с лито- и биостратонами. Установлено, что максимально обогащенные органическим веществом толщи приходятся на верхнюю часть гольчихинской свиты (верхневолжский подъярус и основание бореального берриаса). По данным отражательной способности витринита, катагенез ОВ верхневолжского интервала соответствует главной зоне нефтеобразования, что подтверждается пиролитическими исследованиями. Таким образом, эти толщи могут рассматриваться как нефтепроизводившие. Низкие значения $\delta^{13}C_{app}$ подтверждают преимущественно аквагенный генотип ОВ. Результаты аналитического исследования нефтей из меловых продуктивных толщ Пайяхской площади позволяют считать их образованными в единый этап аккумуляции за счет аквагенного ОВ верхней части гольчихинской свиты. Стратиграфическая полнота изученных разрезов и комплексная характеристика гольчихинской свиты на Пайяхской площади позволяют рассматривать их в качестве гипостратотипических.

Юра, мел, стратиграфия, микрофоссилии, геохимия органического вещества и нефтепроявлений, углеводороды-биомаркеры нефти, Арктика, Енисей-Хатангский прогиб.

THE GOL'CHIKHA FORMATION (upper Bathonian–lower Boreal Berriasian) OF THE YENISEI–KHATANGA DEPRESSION (west of the North Siberian lowland)

B.L. Nikitenko, V.P. Devyatov, A.P. Rodchenko, L.K. Levchuk, E.B. Pestchevitskaya, and E.A. Fursenko

The uppermost Bathonian–lowermost Boreal Berriasian clay horizons (Gol'chikha Formation) of the Yenisei–Khatanga regional depression are regarded as probable oil source strata. Considerable core recovery in the Middle Jurassic to Lower Cretaceous sections from the boreholes drilled in the Paiyakhskaya well site and the presence of oils in the overlying strata of the Shuratovo Formation permit us to carry out integrated stratigraphic (bio-, litho-, chemo-, and seismostratigraphic) and geochemical (organic matter and oils) studies of the entire section of the Gol'chikha Formation and boundary beds, to reveal oil-producing horizons, and to compare the genotype and maturation level of their oils with those of the gol'chikha Formation based on microfossils has been carried out. Comparison of $\delta^{13}C_{org}$ variations in the Volgian and in the lower beds of the Boreal Berriasian with those in the Barents Sea shelf and in the northeast of East Siberia provided the basis for more accurate definition of the Gol'chikha Formation has been divided into eight lithologic members calibrated

© Б.Л. Никитенко[⊠], В.П. Девятов, А.П. Родченко, <mark>Л.К. Левчук</mark>, Е.Б. Пещевицкая, Е.А. Фурсенко, 2020

[™]e-mail: NikitenkoBL@ipgg.sbras.ru

with bio- and seismostratigraphic units. The distinctive features allowing the definition of the upper boundary of the Gol'chikha Formation are proposed using GIS data. Analysis of bio- and chemostratigraphic data allowed the correlation of the seismic reflecting horizons defined in the Gol'chikha Formation and its boundaries with the geologic section and relevant litho- and biostratigraphic units. It has been established that the strata with the highest content of organic matter consist of the upper part of the Gol'chikha Formation (the Upper Volgian and basal Boreal Berriasian). According to the vitrinite reflectance data, the OM catagenesis in the Upper Volgian interval corresponds to the oil window, which is confirmed by pyrolysis data. Thus, these strata can be considered oil-producing. The low $\delta^{13}C_{\rm org}$ values confirm the predominantly marine OM composition. Analysis of oils from the Cretaceous productive strata of the Paiyakhskaya area shows that they formed from the marine OM of the upper part of the Gol'chikha Formation in the Paiyakhskaya well site and complete stratigraphic coverage of the sections confirm that they can be considered a hypostratotype.

Jurassic, Cretaceous, stratigraphy, microfossils, geochemistry of organic matter and oil shows, hydrocarbon biomarkers of oil, Arctic, Yenisei–Khatanga depression

введение

Арктические территории Сибири, в том числе Енисей-Хатангский региональный прогиб, имеют высокий нефтегазовый потенциал, но до сих пор остаются слабоизученными. Верхнеюрские и меловые терригенные толщи на значительной части Северного полушария включают благоприятные сочетания коллекторов и флюидоупоров, а также высокоуглеродистые осадочные формации. На территории Енисей-Хатангского регионального прогиба и прилегающей части Западно-Сибирской геосинеклизы одной из нефтепроизводящих толщ рассматривается гольчихинская свита [Филипцов и др., 2006; Ким, Родченко, 2013; и др.]. В последние годы этот объект начал интенсивно изучаться по материалам бурения, ГИС и сейсмическим данным [Головин, 2009; Конторович, 2011; Фомин, 2016; Афанасенков и др., 2016, 2017; Климова и др., 2018; Конторович и др., 2018; Рыжкова и др., 2018; и др.].

Гольчихинская свита была введена в региональные стратиграфические схемы Западной Сибири решением 5-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания (МРСС) [Решение..., 1991]. В качестве стратотипа свиты была предложена толща в интервале глубин 2937—3312 м, вскрытая в разрезе скв. Дерябинская 5 (рис. 1, *A*) [Кукушкина, Кислухин, 1983; Кислухин, 1986]. В эти же годы [Карцева и др., 1983] в разрезе, вскрытом этой же скважиной, была выделена дерябинская свита с разделением на две подсвиты: нижнюю (инт. 2968—3313 м) и верхнюю (инт. 2510—2968 м). И в том, и в другом случае для двух новых свит предполагался близкий стратиграфический объем. Позднее было показано, что гольчихинская свита принята на МРСС в 1991 г. [Решение..., 1991] с номенклатурными нарушениями и игнорированием рекомендаций Стратиграфического кодекса [Стратиграфический..., 1992, 2006; Шурыгин и др., 2000]. Однако в дальнейшем использование этого литостратона вошло в практику геолого-разведочных работ на северо-востоке Западной Сибири и Енисей-Хатангского прогиба. Свита характеризуется значительными колебаниями мощности и изменчивостью строения при общем относительно монотонном алевритоглинистом составе.

Следует отметить, что опубликованная биостратиграфическая характеристика была очень схематичной. В одном случае отмечалось, что по данным исследований гольчихинская свита имеет келловейволжский (возможно, раннеберриасский) возраст, но не приводился фактический материал (таксономический состав комплексов фоссилий), на основании которого был сделан этот вывод. В другом случае (для дерябинской свиты) были указаны названия комплексов фораминифер и некоторых аммонитов, но отсутствовала их привязка к стратотипическому разрезу [Карцева и др., 1983; Кислухин, 1986].

Д.П. Куликовым [1989] в качестве нового стратотипа гольчихинской свиты был предложен разрез, вскрытый скв. Южно-Носковская 318 (см. рис. 1, *A*), инт. 3720—4028 м, с выделением двух подсвит (нижняя — 3895—4028 м, верхняя — 3720—3895 м). Для этого разреза как эталона гольчихинской свиты была приведена детальная макро- и микропалеонтологическая информация. Но по исследованиям керна охарактеризованными оказались только интервалы верхов бата—келловея и в прикровельной части свиты, по шламу из одного интервала (3690—3742 м) приведены находки фораминифер верхов оксфорда, кимериджа, волжского яруса и низов мела [Куликов, 1989]. В других разрезах Енисей-Хатангского прогиба определялись отдельные находки аммонитов и комплексов фораминифер келловея, верхов оксфорда, кимериджа, волжского яруса и низов бореального берриаса.

Согласно современной региональной стратиграфической схеме Западной Сибири [Решение..., 2004], гольчихинская свита является возрастным аналогом точинской (верхи бата—нижняя часть верхнего келловея), сиговской (верхи келловея—низы верхнего оксфорда) и яновстанской свит (верхи ок-



Рис. 1. Положение стратотипических разрезов гольчихинской свиты на северо-востоке Западной Сибири и западе Северо-Сибирской низменности (A) и изученных разрезов Пайяхской площади (E) на структурной карте по кровле юрского—основанию мелового сейсмогеологического мегакомплекса (E) [Конторович, 2011] (B) и тектонической карте запада Енисей-Хатангского регионального прогиба [Конторович, 2011] (Γ).

сфорда—низы бореального берриаса) Усть-Енисейского района. Она согласно залегает на малышевской свите и перекрывается в разных районах ахской, шуратовской и нижнехетской свитами. Однако во многих разрезах верхняя граница гольчихинской свиты по исследованиям керна опознается с трудом, что не является исключением в связи с постепенным изменением литологического состава приграничных толщ баженовского и вышележащего куломзинского стратиграфических горизонтов, как и на востоке Западной Сибири. Следует отметить, что даже в последней региональной стратиграфической схеме Западной Сибири [Решение..., 2004] биостратиграфическая характеристика гольчихинской свиты не соответствует современным требованиям.

Пайяхский участок бурения (см. рис. 1, *Б*, *Г*) находится в зоне периклинали западного склона Рассохинского мегавала и Беловского прогиба, или по иному тектоническому районированию в юго-западной части Восточно-Носковской впадины представляет собой по кровле верхней юры—основанию мела довольно крутой моноклинальный склон [Исаев и др., 2010; Конторович, 2011] (см. рис. 1, *B*). Пайяхская площадь пересекается рядом сейсмических профилей, в том числе 3 590 010 и 0 602 113 в субширотном и субмеридиональном направлениях. На сейсмических разрезах интервал гольчихинской свиты характеризуется почти параллельной записью части высокодинамичных отражений. В этом районе гольчихинская свита имеет почти максимальную мощность (722 м). Полный разрез свиты вскрыт первой параметрической скважиной с забоем на глубине 4207 м, достигшим верхов малышевской свиты. В этой скважине керном охарактеризованы нижняя (инт. 4000—4029 м) и прикровельная (инт. 3453—3463 м) части гольчихинской, а также низы шуратовской (инт. 3322—3349 м) свит. Наиболее полно представлен керном разрез средней и верхней части гольчихинской свиты (инт. 3890—3900, 3785—3800, 3627—3730, 3463—3564.5 м) в скв. 4 с забоем на глубине 3910 м внутри свиты. В подошве шуратовской свиты залегает нефтенасыщенный существенно алевролитовый пласт (продуктивная группа пластов HX-IV).

Значительный отбор керна в разрезах свиты, вскрытых скважинами Пайяхской площади, и наличие нефтей в меловой части этих разрезов позволяют провести комплексные стратиграфические (био-, лито-, хемо- и сейсмостратиграфические) и геохимические (органическое вещество, нефти) исследования всего разреза гольчихинской свиты и пограничных слоев, выявить нефтепроизводящие уровни и определить соответствие нефтей с потенциально нефтематеринским ОВ пород по генотипу и уровню зрелости. Таким образом, этот разрез свиты можно рассматривать в качестве гипостратотипического.

Свита сложена относительно монотонной алевритоглинистой толщей. По данным сейсмических работ, ее мощность достигает более 800 м в погруженной части Центрально-Таймырского желоба, значения которой снижаются во всех направлениях, достигая первых десятков метров в краевых частях.

Распределение микрофауны в разрезе гольчихинской свиты центральной части запада Енисей-Хатангского прогиба весьма неравномерное. Многие образцы не содержат остатков микрофоссилий, что, вероятно, связано с очень высокими темпами осадконакопления. Тем не менее в настоящее время наиболее полное микропалеонтологическое обоснование стратиграфического положения гольчихинской свиты проведено именно по Пайяхской площади. Это дает возможность последующего детального сопоставления разноудаленных разрезов верхов средней юры—основания мела.

В итоге результаты комплексных исследований (стратиграфических, геофизических и геохимических) позволяют предложить разрезы гольчихинской свиты Пайяхской площади в качестве эталона для разрезов верхов бата—низов бореального берриаса погруженных участков Енисей-Хатангского прогиба.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения литостратиграфического строения и положения границ гольчихинской свиты в разрезе использован анализ материалов ГИС: стандартного — спонтанной поляризации (ПС), кажущегося сопротивления (КС), кавернометрии (ДС), радиоактивного нейтронного (НГК) каротажа, гаммакаротажа (ГК) и акустического (АК) каротажа. Анализировались сейсмические разрезы, пересекающие Пайяхскую площадь с привязкой к разрезу высокодинамичных сейсмических отражений, приуроченных к гольчихинской свите и ее границам, что позволило проследить изменение морфологии и строения свиты в пространстве.

Микропалеонтологический анализ проведен для 212 образцов из разрезов гольчихинской свиты, вскрытой скважинами Пайяхская 1 и Пайяхская 4. При изучении микрофауны использовали 200-граммовую навеску породы. Раздробленные образцы для их дезинтеграции обрабатывали путем неоднократной пропитки нагретым пересыщенным раствором серноватисто-кислого натрия (гипосульфита), с последующей кристаллизацией раствора при его охлаждении. Затем породу кипятили в воде в течение нескольких дней и отмывали под струей воды через сито с диаметром ячеек 56 мкм. В случае, если образец полностью не дезинтегрировался, сцементированный осадок взвешивался, и проводился пересчет обнаруженной микрофауны на 200 г навески. Во время отбора микрофауны определялась частота встречаемости каждого вида, соотношение целых и поломанных раковин, количество взрослых и ювенильных особей, регистрировался минеральный состав, зернистость, степень окатанности и сортировки осадка, наличие или отсутствие детрита, пирита, проблематики и др., а также вес осадка после отмывки и сушки.

Палинологическим методом исследовались 34 образца из разреза верхней юры по скв. Пайяхская 4. После предварительного очищения образцы дезинтегрировались до частиц размером 2—4 мм и растворялись в плавиковой кислоте в течение нескольких суток. Затем они отмывались до нейтральной среды. Разделение органической и минеральной частей мацерата выполнялось центрифугированием в тяжелой кадмиевой жидкости с удельным весом 2.25. Затем образцы еще раз заливались на сутки плавиковой кислотой для растворения остаточных силикатов. После отмывки образцы обрабатывались соляной кислотой (2—3 ч) для удаления вторичных минералов. После вторичной отмывки образцы высушивались и заливались глицерином.

Полученные микропалеонтологические и палинологические данные использовались при биостратиграфическом анализе для прослеживания зональных подразделений по микрофоссилиям верхней юры и низов мела, определения стратиграфического положения границ сейсмогоризонтов. Для уточнения положения границ ярусов и подъярусов в изученных разрезах также применялись хемостратиграфические данные, полученные по вариациям δ¹³C_{орг} в разрезе верхней юры и низов мела.

Геохимические исследования OB выполнены для 67 проб аргиллитов и алевритистых аргиллитов гольчихинской свиты и 13 проб алевролитов шуратовской свиты из скважин Пайяхская 1 и Пайяхская 4. Для проведения анализов породы предварительно дробились до размерности 0.25 мм. Содержание органического углерода (С_{орг} в % на породу) определялось в декарбонатизированной породе после обработки образца 10 %-й соляной кислотой методом сжигания в токе кислорода на приборе АН-7529 при температуре 1000—1100 °C. Пиролитические характеристики пород (S₁, S₂, T_{max}) измерялись в варианте Rock-Eval на приборе SourceRockAnalyzer (HumbleInstruments).

Катагенез OB оценивался по значениям отражательной способности витринита (R_{Vt}°) для 11 образцов (заключение д.г.-м.н. А.Н. Фомина, ИНГГ СО РАН) и анализу пиролитических данных.

Исследованные нефтяные пробы отбирались на устьях скв. Пайяхская 1, интервалы испытаний: 3420—3426 м (3 пробы), 1489—1501 и 1503—1506 (1 проба) и скв. Пайяхская 8; интервал испытаний 3458—3494 м (1 проба). Физико-химические характеристики нефтей (плотность, фракционный состав, содержание серы, групповой состав) получены стандартизованными методами. Методами газожидкостной хроматографии (ГЖХ, газовый хроматограф «Маэстро» Agilent Technologies 7820A GC System с кварцевой капиллярной колонкой HP5) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС, газовый хроматограф Hewlett Packard 5890 с кварцевой капиллярной колонкой HP5 в комплексе с масс-селективным детектором Agilent MSD 5972A) в углеводородных фракциях нефтей идентифицированы наборы углеводородов, применяемых для геохимических интерпретаций: *н*-алканы и ациклические изопренаны, стераны, терпаны, ароматические соединения (дибензтиофены, фенантрены, моно- и триароматические стероиды). Углеводородные фракции получены методом элюентной жидкостной хроматографии нефтяных фракций с температурой начала кипения > 200 °C с предварительным осаждением асфальтенов. Распределение идентифицированных углеводородов-биомаркеров использовано для генетической типизации нефтей и определения уровня зрелости, генерировавшего их OB [Петров, 1984; Peters et al., 2005; и др.].

Определение отклонений изотопной сигнатуры стабильных изотопов углерода от стандартных значений ($\delta^{13}C_{opr}$) недебитуминизированных бескарбонатных остатков пород выполнялось в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) с использованием масс-спектрометрического комплекса, состоящего из масс-спектрометра Finnigan MAT 253 и линии пробоподготовки Gas Bench II (Thermo Electron Corporation). Значения δ^{13} С нефтей определены на масс-спектрометре DELTA V Advantage (ThermoFisher) в Томском филиале АО «СНИИГГиМС». Изотопный состав углерода характеризуется отношением ${}^{13}C_{12}$ С, а также величиной отклонения $\delta^{13}C_{opr}$ (‰) относительно международного белемнитового (V-PDB) стандарта: $\delta = [(R_{oбразца} - R_{cтандарт})/R_{стандарт}] \times 1000$, где $R = {}^{13}C/{}^{12}$ С. Погрешность полученных значений величин $\delta^{13}C_{opr}$ находилась на уровне ± 0.1 (по стандартам) и менее ± 0.25 ‰ (для образцов). Погрешность изотопных исследований углерода бескарбонатного остатка пород не превышает 0.3 ‰, а нефтей 0.5 ‰.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Биостратиграфия

Микрофауна. Распределение микрофауны в разрезе гольчихинской свиты Пайяхской площади достаточно спорадичное. Значительное количество анализируемых образцов не содержали микрофаунистических остатков (рис. 2). В нижней части гольчихинской свиты широко распространен комплекс фораминифер зоны Dorothia insperata, Trochammina rostovzevi JF25 [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013], имеющей достаточно широкий стратиграфический диапазон: верхи верхнего бата—келловей (рис. 3). Первые находки фораминифер этого комплекса (*Trochammina rostovzevi, Recurvoides* cf. *scherkalyensis, Ammobaculites borealis, Haplophragmoides* cf. *magnus, Saccammina compacta*) определены в глинистых, темно-серых алевролитах с глубины 4018 м, скв. Пайяхская 1 (см. рис. 1, 2). Несколько выше (гл. 4017.4 м) ранее были определены верхнекелловейские аммониты Longaeviceras novosemelicum [Алифиров, Меледина, 2010].

Рис. 2. Био- и литостратиграфическое расчленение разрезов гольчихинской свиты Пайяхской площади, положение основных отражающих горизонтов. Геохимические характеристики ОВ и нефтей.

I — аммониты (a), фораминиферы (б) и диноцисты (в); 2 — индексы фораминиферовых зон, см. рис. 3; 3 — генотип OB: аквагенное OB (a), террагенное (б), смешанное (в); 4 — нефтематеринская толща (a), продуктивный горизонт HX-IV (б); 5 — кривые вариаций С_{орг}, %: скв. Пайяхская 4 (a) и Пайяхская 1 (б) и δ¹³С_{орг}, ‰ (V-PDB): скв. Пайяхская 4 (в) и Пайяхская 1 (г); 6 — притоки нефти из продуктивного горизонта (a) и значения δ¹³С нефтей (б).





Рис. 3. Стратиграфическая схема верхов бата—низов бореального берриаса северо-востока Западной Сибири и запада Северо-Сибирской низменности.

l — месторождения нефти (*a*) и газа (б).

В ряде случаев в зоне развития низов гольчихинской свиты могут быть прослежены биостратоны по фораминиферам гораздо более узкого стратиграфического диапазона. Так, в основании гольчихинской свиты Озерной и Хабейской площадей известны комплексы фораминифер слоев с *Kutsevella memorabilis, Guttulina tatarensis* JF28 (верхи верхнего бата—низы нижнего келловея) [Карцева и др., 1983]. На более высоком стратиграфическом уровне в разрезе, вскрытом на Хабейской площади, обособляются верхнекелловейские фораминиферовые зоны Ammobaculites igrimensis JF31 и Conorboides taimyrensis JF32. В типовом разрезе гольчихинской свиты (скв. Южно-Носковская 318) в основании свиты (инт. 4021.2—4032.3 м) определены аммониты верхов бата—нижнего келловея: *Cadoceras* sp. juv., Cadoceratinae gen. et sp.ind., *Kosmoceras* sp. juv., ? Keppleritinae gen. et sp. ind. Средней части келловея (инт. 4011.9—4016.1 м) свойственны находки *Rondiceras* sp. juv., *R*. ex gr. *milaschevici*. В инт. 3986.2—4010.7 м определены верхнекелловейские *Longaeviceras* sp., Quenstedtoceratinae [Алифиров, Меледина, 2010]. Более высокие горизонты этого (см. рис. 1) эталонного для гольчихинской свиты разреза фоссилиями практически не охарактеризованы. Лишь в образцах шлама из интервала 3690—3742 м (верхи гольчихинской и низы нижнехетской свит) найдены фораминиферы, типичные для кимериджа, волжского яруса и низов мела [Куликов, 1989].

Несколько выше, в интервале 4000—4015 м разреза скв. Пайяхская 1 (см. рис. 1, 2), из темно-серых слюдистых, в разной степени алевритистых, аргиллитов выявлен другой комплекс фораминифер с *Trochammina* cf. oxfordiana, Glomospira oxfordiana, Recurvoides scherkalyensis, Ammodiscus thomsi, Ammobaculites cf. syndascoensis, Saracenaria ex gr. carzevae, характерный для зоны Trochammina oxfordiana JF36 (нижний—основание верхнего оксфорда) (см. рис. 3) [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013].

Более высокие уровни гольчихинской свиты микропалеонтологически охарактеризованы в разрезе скв. Пайяхская 4 (см. рис. 1, 2). В интервале 3895—3900 м в темно-серых песчаных аргиллитах с гнездами глауконита определен таксономически разнообразный комплекс фораминифер с *Haplophragmoides* ex gr. *canuiformis*, *Trochammina* sp., *Recurvoides* ex gr. *sublustris*, *Lenticulina* cf. *mikhailovi*, *Saracenaria subsuta*, *Pseudonodosaria tutkowskii*, *Dentalina* sp., *Geinitzinita* cf. *praenodulosa*. Подобные ассоциации типичны для фораминиферовой зоны Haplophragmoides canuiformis JF40 (верхи верхнего оксфорда—нижний кимеридж). Однако, учитывая значительную долю в комплексе известковистых форм, не исключено, что этот уровень относится только к верхней части этой зоны (JF39, верхи нижнего кимериджа) [Никитенко, 2009].

В средней части гольчихинской свиты в интервалах 3785—3800, 3715—3730, 3700—3715, 3685— 3700, 3671—3685 и 3657—3671 м в скв. Пайяхская 4, сложенной черными аргиллитами с прослоями алевролитов, в разной степени крупнозернистых, иногда с фрагментами раковин двустворок и онихитами, микрофауна не обнаружена (см. рис. 2).

В низах интервала 3657—3671 м скв. Пайяхская 4 в черных аргиллитах с прослоями алевролитов установлены комплексы с *Recurvoides* ex gr. *stschekuriensis*, *Dorothia tortuosa*, *Haplophragmoides* ex gr. *volgensis*, *Kutsevella* cf. *haplophragmoides*, *Lenticulina* ex gr. *sosvaensis*, *Cribrostomoides* sp., *Saracenaria* sp., наиболее характерные для верхней половины фораминиферовой зоны Kutsevella haplophragmoides JF44 или для нижней части зоны Spiroplectammina vicinalis, Dorothia tortuosa JF45, которые соответствуют верхам нижневолжского подъяруса (см. рис. 2) [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013].

В вышележащей части разреза, вскрытой скв. Пайяхская 4 (инт. 3550—3464 и 3538—3550 м), в разной степени алевритистых аргиллитах, черных с прослоями серых алевролитов выявлены комплексы, содержащие только агглютинирующие формы (*Recurvoides* ex gr. *praeobskiensis*, *Dorothia* cf. *tortuosa*, *Glomospira* sp., *Cribrostomoides* sp. ind., *Haplophragmoides* sp. ind., *Evolutinella* sp. ind.) с резким преобладанием *Trochammina septentrionalis*, часто образующих моновидовые скопления. Совместно с фораминиферами найдены аммониты *Dorsoplanites* sp. Фораминиферовая зона Trochammina septentrionalis JF46 широко прослеживается в арктических регионах Западной и Восточной Сибири [Никитенко, 2009] и соответствует средневолжскому подъярусу без верхней части (см. рис. 2, 3).

Верхняя часть гольчихинской свиты (инт. 3478—3538 м) на Пайяхской площади сложена черными аргиллитами с прослоями алевролитов. В основании этого интервала найдены обильные Ammodiscus veteranus, редкие Evolutinella ex gr. emeljanzevi, Trochammina ex gr. rosacea, Recurvoides praeobskiensis. Подобная структура комплекса и таксономический состав типичны для слоев с Ammodiscus veteranus JF55 (нижняя часть фораминиферовой зоны Ammodiscus veteranus, Evolutinella emeljanzevi JF52), сопоставляемых с самыми верхами средневолжского подъяруса и низами верхневолжского подъяруса. В остальной (верхней) части интервала спорадически встречаются редкие *Ammodiscus veteranus*, *Evolutinella emeljanzevi*, *Recurvoides praeobskiensis*, что позволяет отнести его к зоне JF52 (верхи средневолжского подъяруса — основание бореального берриаса) (см. рис. 2, 3) [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013].

В прикровельной части гольчихинской свиты, сложенной аргиллитами черными, иногда с прослоями алевролитов в разной степени песчаных, тонкогоризонтально- и косослоистых, вскрытой скважинами Пайяхская 4 (гл. 3465 м) и Пайяхская 1 (гл. 3460 м), установлен комплекс фораминиферовой зоны Gaudryina gerkei, Trochammina rosaceaformis KF1 (нижняя часть бореального берриаса) (см. рис. 2, 3) [Никитенко и др., 2013; Nikitenko et al., 2018]. Здесь выявлены редкие *Trochammina* ex gr. *rosaceaformis, Gaudryina* ex gr. *gerkei, Cribrostomoides* sp. (ex gr. *volubilis*), *Ammodiscus veteranus, Kutsevella praegoodlandensis*.

Палиноморфы. В верхней части гольчихинской свиты, в интервале керна 3564.5—3508.0 м скв. Пайяхская 4 (см. рис. 1, 2) из образцов получен обильный палинологический мацерат. Он почти полностью состоит из органического вещества, сильноизмененного и преобразованного до пелитового состояния, что может быть результатом деятельности бактерий и детритофагов. Последнее не исключается, так как в некоторых слоях в разрезе наблюдались следы биотурбации. Палиноморфы встречаются крайне редко. В ассоциациях отмечаются споры и пыльца наземных растений, а также растительный детрит, сохранивший структуру растительных тканей, что может свидетельствовать о привносе континентального органического вещества. Следы пиритизации палиноморф, что часто рассматривается как показатель ярко выраженных застойных условий и сероводородного заражения, отсутствуют. Палиноморфы в основном представлены таксонами, имеющими широкий стратиграфический диапазон распространения. Спорадически встречаются ребристые и бугорчатые споры схизейных папоротников родов Cicatricosisporites, Trilobosporites/Concavissimisporites. Эти палиноморфы появляются в верхнем оксфорде в Сибири, Австралии, Северной Африке и на севере Западной Европы [Ильина, 1985; Batten, 1996; Шурыгин и др., 2000; Herngreen et al., 2000; Sajjadi, Playford, 2002; Никитенко и др., 2015]. В кимеридже и низах волжского яруса они встречаются редко. В верхневолжском подъярусе и берриасе их количество постепенно возрастает. На глубине 3561.48 м определены диноцисты Gochteodinia mutabilis (Riley in Fisher et Riley) Fisher et Riley, которые характерны для верхов кимериджа—низов верневолжского подъяруса [A stratigraphic..., 1992; Herngreen et al., 2000].

В верхней части разреза гольчихинской свиты, вскрытого скв. Пайяхская 4 (см. рис. 1, 2), в интервале 3508—3463 м из образцов получен гораздо менее обильный органический мацерат. Сохранность его несколько лучше, отсутствует преобразованность, характерная для более низких слоев изученного разреза. Среди палиноморф резко доминируют празинофиты Leiosphaeridia spp., в верхней части достаточно многочисленны празинофиты *Tasmanites* spp. Обилие празинофитов часто связывают с дизоксидными и аноксидными обстановками [Tyson, 1995; Jansonius, McGregor, 1996; Ilyina et al., 2005]. Однако следы пиритизации палиноморф, рассматривающиеся как показатель ярко выраженных застойных условий и сероводородного заражения, отсутствуют. Обилие празинофитов также может быть связано с увеличением продуктивности фотической зоны и поступлением обильного органического вещества в придонные слои, что, в свою очередь, благоприятно для развития бактериальной флоры, которая и может вызывать сероводородное заражение [Peters et al., 2005; Каширцев и др., 2018; и др.]. Наличие спор и пыльцы наземных растений и растительного детрита, сохранившего структуру растительных тканей, может свидетельствовать о привносе органического вещества с континента. Более частые находки ребристых и бугорчатых спор схизейных папоротников предполагают более высокий стратиграфический интервал, возможно, соответствующий верхневолжскому подъярусу—нижней части бореального берриаса. На глубине 3491.05 м определены диноцисты Apteodinium maculatum Eisenack et Cookson, наиболее древние находки которых отмечаются на севере Сибири и на Русской платформе в верхах верхневолжского подъяруса—низах бореального берриаса [Pestchevitskaya et al., 2011].

Хемостратиграфия

Полученная кривая вариаций $\delta^{13}C_{opr}$ на разрезах верхов кимериджа—низов бореального берриаса Пайяхской площади (см. рис. 2, 4) практически идентична по трендам развития с таковыми из Баренцевского шельфа (о. Шпицберген) и северо-востока Восточной Сибири (низовья р. Оленек), несмотря на различающиеся абсолютные значения [Hammer et al., 2012; Nikitenko et al., 2018] (см. рис. 4, *Б*). Естественные выходы верхней юры и низов мела этих регионов имеют хорошо разработанную биостратиграфическую основу по разным группам фоссилий, что позволяет с использованием корреляций разрезов по изотопно-углеродным данным уточнить положение границ ярусов и подъярусов на Пайяхской площади в интервалах, не содержащих фоссилий. При сопоставлениях вариаций $\delta^{13}C_{opr}$ разных регионов необходим биостратиграфический контроль. Совместное использование био- и хемостратиграфических данных позволяет увеличить точность глобальных корреляций.



Рис. 4. Сравнение вариаций значений $\delta^{13}C_{opr.}$ в разрезах волжского регионального яруса и низов бореального берриаса разных регионов: о. Шпицберген (1), Пайяхской площади (2) и Восточной Сибири, р. Оленек (3) (*A*) и глобальная палеогеография Северного полушария в конце поздней юры и начале мела (*Б*) (палинспастические реконструкции, по [Scotese, 2011] с изменениями).

Б — цифры в кружках: 1 — Западно-Европейский бассейн, 2 — прол. Викингов, 3 — Баренцевский бассейн, 4 — Западно-Сибирский бассейн, 5 — Енисей-Хатангский пролив, 6 — Анабаро-Ленский бассейн.

Наиболее высокие значения $\delta^{13}C_{opr}$ (-24...-25 ‰) установлены в кимериджской части разреза Пайяхской площади, они постепенно снижаются в нижневолжской части разреза до -26.5...-27.9 ‰. Вблизи границы нижне- и средневолжского подъярусов отмечается незначительное повышение значений $\delta^{13}C_{opr}$ до -25.9 ‰. На этом рубеже в разрезах и на Баренцевском шельфе, и в Восточной Сибири также отмечается малоамплитудное повышение значений $\delta^{13}C_{opr}$ (см. рис. 4) [Hammer et al., 2012; Nikitenko et al., 2018]. В средней части средневолжского подъяруса отмечается отрицательный экскурс, достигающий 2 ‰ с постепенным снижением значений $\delta^{13}C_{opr}$ к верхневолжскому подъярусу до -28.5 ‰. В конце волжского яруса значения $\delta^{13}C_{opr}$ уменьшаются до -29.5 ‰ и достигают минимума в основании бореального берриаса (-30.0...-31.2 ‰). Затем в нижней части бореального берриаса интервал с негативным экскурсом резко сменяется в разрезе интервалом с высокими значениями $\delta^{13}C_{opr}$, достигающими в среднем -25.3 ‰ (см. рис. 2, 4).

Литостратиграфия

Анализ материалов ГИС и опубликованных данных [Карцева и др., 1983; Кислухин, 1986; Куликов, 1989; и др.] свидетельствует о том, что нижняя граница гольчихинской свиты определяется однозначно по смене песчаников с «пилообразной» кривой КС аргиллитами с низкими и слабодифференцированными ее значениями, а также положительной аномалией ПС на глубине 4158 м в скв. 1 Пайяхской площади (см. рис. 1, 2). Граница шуратовской и гольчихинской свит по описанию керна в скв. Пайяхская 4 практически не опознается. И выше, и ниже этого уровня толщи сложены алевролитами черными плотными глинистыми, и только с глубины 3463 м и ниже описаны аргиллиты. В отличие от разных вариантов стратиграфического положения кровли свиты в публикациях [Злобина, Родченко, 2015; Климова и др., 2018; и др.], нами, вслед за производственными геологами и принципам комплексного обоснования верхней границы баженовского горизонта [Рыжкова и др., 2018], она фиксируется в подошве первого высокоомного (нефтеносного в скв. 1) пласта шуратовской свиты на глубине 3436 м в скв. Пайяхская 1 и 3435 м в скв. Пайяхская 4 (см. рис. 1, 2).

Существует мнение о том, что свита имеет четкое двучленное строение [Куликов, 1989; Борисов, 2015]. Нижняя подвита [Куликов, 1989; и др.] характеризуется более грубым составом слагающих пород, верхняя — существенно глинистая. При прослеживании по латерали эти отличия опознаются с трудом. Судя по анализу диаграмм ГИС скв. 1, разрез свиты имеет цикличное строение, что позволяет выделить восемь крупных сложнопостроенных пачек (см. рис. 2). Первая представляет собой два трансгрессивно-регрессивных циклита, сложенных переслаиванием аргиллитов и алевролитов (репроциклитов, по Ю.Н. Карогодину [1980]). Вторая имеет регрессивную направленность структурного состава от аргиллитов к алевритам вверх по разрезу.

Первая и вторая пачки отвечают характеристике нижней подсвиты Д.П. Куликова [1989], поскольку являются более грубозернистыми по отношению к вышележащим слоям. Стратиграфическое положение нижней подсвиты было определено в объеме келловея—нижнего кимериджа. Причем кимериджское или оксфордское стратиграфическое положение самых верхов подсвиты обосновано определениями двустворок (*Astarte* sp. juv (cf. *A. extensa*) и *Dacryomya* sp. nov.) из керна скв. Среднеяровская 4 (гл. 3302 + 12.5 м) [Куликов, 1989] и не может быть принято так однозначно, учитывая родовые определения. По нашим данным, «грубозернистые» первая и вторая пачки не выходят за пределы келловея низов оксфорда (см. рис. 2; фораминиферовые зоны JF36, JF25 и древнее).

Третья пачка также имеет регрессивную направленность состава с преобладанием аргиллитов. Четвертая пачка вверху сложена аргиллитами, внизу переслаиванием аргиллитов и алевролитов при доминанте последних и в нижней части содержит комплекс фораминифер кимериджской зоны JF40 или JF39 (см. рис. 2, 3). Пятая пачка является маркирующей в обоих ранее предложенных типовых разрезах гольчихинской свиты [Кислухин, 1986; Куликов, 1989], и на ряде других площадей правобережья р. Енисей она сложена преимущественно высокоомными алевролитами и отличается аномально высокими значениями НГК (в стратотипах и ГК). Шестая пачка характеризуется регрессивной направленностью структуры пород с увеличением доли алевролитов вверх по разрезу и в средней части содержит комплекс фораминифер зон JF44, JF45 волжского яруса (см. рис. 2, 3). Седьмая пачка сложена аргиллитами, в том числе тонкоотмученными с комплексом фоссилий средневолжского подъяруса в верхней части. Восьмая пачка отличается стабильно высокими показателями радиоактивности глинистых пород, возрастающими вверх по разрезу (верхневолжский подъярус — низы бореального берриаса) (см. рис. 2).

За пределами Пайяхской площади (см. рис. 1) количество пачек, строение разреза свиты, как и ее мощность, резко меняются. Фациальная изменчивость свиты обусловлена составом пород и расчлененностью палеорельефа различных районов области сноса, удаленностью от них и особенностями формирования инициальных частей верхнеюрско-нижнемелового клиноформного комплекса. Близкорасположенные разрезы скважин характеризуются различными трендами поведения кривых ГИС. Замещение точинско-сиговско-яновстанского типа разреза прибортовых частей бассейна на гольчихинский имеет весьма постепенный характер, поэтому в переходной зоне разными исследователями зачастую используются различные варианты расчленения разреза.

Сейсмостратиграфия

На сейсмических разрезах, пересекающих Пайяхскую площадь в субширотном и субмеридиональном направлениях (рис. 5), устанавливается ряд высокодинамичных сейсмических отражений, приуроченных к кровле нижележащей малышевской свиты (Tml, верхи верхнего бата) и кровле гольчихинской свиты (Gl₁, низы бореального берриаса). Помимо этого, три отражающих горизонта (ОГ), формируя самостоятельные сейсмокомплексы, хорошо прослеживаются в средней части гольчихинской свиты, которые нами условно индексированы как Gl₂-Gl₄ с обоснованной ниже привязкой к геологическому разрезу.





Сейсмокомплекс Tml—Gl₄ (см. рис. 5) в рассматриваемом районе отвечает нижней части гольчихинской свиты и характеризуется серией непрерывных протяженных отражений. В целом на территории эта часть разреза, судя по ГИС, сложена преимущественно глинистыми алевролитами и характеризует относительно грубозернистую нижнюю часть свиты. Сейсмический горизонт Tml приурочен к кровле малышевской свиты, которая во многих разрезах охарактеризована комплексами фоссилий верхов верхнего бата [Шурыгин и др., 2000; Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013]. Стратиграфическое положение отражающего горизонта Gl₄ в разрезе, вскрытом скв. Пайяхская 1 ниже границы фораминиферовых зон келловея и оксфорда (JF25/JF36), дает основание полагать, что он соотносится с верхней частью келловея и, таким образом, сейсмокомплекс примерно отвечает точинской свите юга Енисей-Хатангского прогиба. Стратиграфический объем сейсмокомплекса принимается как верхи верхнего бата—верхняя часть келловея (см. рис. 2, 3).

Сейсмокомплекс Gl_4 — Gl_3 (см. рис. 5) на сейсмической записи также характеризуется серией протяженных динамичных отражений. В то же время намечается картина черепицеобразного подошвенного налегания отдельных сейсмических отражений (см. рис. 5, δ ; профиль 3590010). В керне скв. Пайяхская 1 нижняя часть сейсмокомплекса представлена преимущественно темно-серыми до черных тонкогоризонтально-слоистыми слюдистыми аргиллитами с прослоями глинистых алевролитов, с остатками морских микрофоссилий и многочисленными стяжениями сидерита. Отражающий горизонт Gl_3 расположен между уровнями, охарактеризованными фораминиферовыми комплексами зоны JF36 (нижний—основание верхнего оксфорда) и зоны JF40 (верхи оксфорда—нижний кимеридж, или JF39—верхи нижнего кимериджа). Его положение, по микропалеонтологическим данным, соотносится с самыми верхами оксфорда или низами кимериджа и примерно соответствует границе между нижней и верхней подсвитами сиговской свиты (уровень барабинской пачки) в разрезах других фациальных районов Западной Сибири [Решение..., 2004; Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013]. Стратиграфический объем сейсмокомплекса принимается как верхняя часть келловея—верхи оксфорда/основание кимериджа (см. рис. 2, 3).

Сейсмокомплекс Gl₃—Gl₂ (см. рис. 5) представлен серией непрерывных протяженных отражений. В геологическом разрезе соответствующая часть гольчихинской свиты представлена в нижней части темно-серыми аргиллитами, в разной степени алевритовыми с линзочками глауконита, в верхней части — аргиллитами черными с прослоями алевролитов. Стратиграфическое положение сейсмогоризонта Gl₂ определяется его положением между фораминиферовыми зонами JF40 (верхи нижнего кимериджа) и JF44/JF45 (нижневолжский подъярус) и соответствует верхам кимериджа [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013]. На северо-востоке Западной Сибири по обрамлению Сибирской платформы этот уровень может отвечать нижней границе яновстанской свиты. Таким образом, стратиграфический объем сейсмокомплекса принимается как верхи оксфорда/основание кимериджа—верхняя часть верхнего кимериджа (см. рис. 2, 3).

Сейсмокомплекс Gl_2 — Gl_1 (см. рис. 5) отличается от вышеописанных серией хорошо выраженных отражений, в верхней части сливающихся с клиноформными отражениями шуратовской свиты по типу кровельного прилегания (см. рис. 5, *a*; профиль 3590010), отчего создается ложное впечатление стратиграфического несогласия. Близ подошвы сейсмокомплекса имеются фрагменты подошвенного налегания ОГ (см. рис. 5, δ). В геологическом разрезе этот уровень сложен преимущественно аргиллитами черными, с прослоями алевролитов, местами глинистых. Стратиграфическое положение отражающего горизонта Gl_1 зафиксировано в нижней части фораминиферовой зоны KF1 (нижняя часть бореального берриаса) и отвечает самым низам бореального берриаса [Никитенко и др., 2013]. Стратиграфический объем сейсмокомплекса отвечает верхней части верхнего кимериджа—низам бореального берриаса (см. рис. 2, 3).

ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ГОЛЬЧИХИНСКОЙ СВИТЫ И НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В РАЗРЕЗАХ МЕЛА ПАЙЯХСКОЙ ПЛОЩАДИ

Изученные породы из разрезов гольчихинской и низов шуратовской свит по содержанию OB от 0.6 до 9.9 % на породу являются потенциально нефтегазопроизводящими (см. рис. 2). Для определения типа OB, содержащегося в породах, использовались результаты пиролиза и значений $\delta^{13}C_{opr}$, а также оценка его вариаций по разрезу оксфорда—низов бореального берриаса. Катагенез OB в изученных скважинах закономерно увеличивается с глубиной отбора образцов от градации MK₁² до MK₂, согласно шкале А.Э. Конторовича [1976], значения отражательной способности витринита находятся в интервале 0.70—1.14 %. В целом зрелость OB, оцененная по пиролитическим данным, соответствует результатам углепетрографических исследований. Проведенный анализ зависимости значений водородного индекса (HI) и пиролитической температуры T_{max} , отражающей качество OB (тип керогена) и степень его зрелости, позволил выявить определенные закономерности (рис. 6).

Рис. 6. Диаграмма зависимости водородного индекса HI от температуры максимального выхода углеводородов $T_{\rm max}$ для разных горизонтов гольчихинской свиты Пайяхской площади.

I — линии, ограничивающие максимальные значения водородного индекса (HI), для трех типов органического вещества: I — аквагенного, озерного типа; II аквагенного, морского; III — террагенного, связанного с высшей наземной растительностью; 2 — изолинии отражательной способности витринита (R_{Vl}°); 3 — направленность изменения величин HI и T_{max} в катагенезе; 4 — образцы из низов бореального берриаса (a) и низов оксфорда (δ), скв. Пайяхская 1; 5 — образцы из низов бореального берриаса (a), верхне- (δ), средне-(ϵ) и нижневолжского (z) подъярусов и кимериджа (d), скв. Пайяхсквая 4.

В темно-серых аргиллитах и алевролитах нижней части разреза гольчихинской свиты (низы оксфорда) из скв. Пайяхская 1 (верхи пачки 2) концентрации органического вещества изменяются в широких пределах, от 1.8 до 9.9 % на породу. Аномально высокие для низов гольчихинской свиты концентрации С_{орг} (6.0—9.9 % на породу) имеют пробы из инт. 4009.0—4015.1 м (см.



рис. 2), что связано со значительными содержаниями в составе аргиллитов рассеянного тонкодисперсного углефицированного растительного детрита. Для остальных образцов из низов оксфорда значения С_{орг} составляют 1.8—4.1 % на породу. Определение типа ОВ по данным пиролиза для этих пород затруднительно, так как оно находится в начале глубинной зоны газообразования (ГЗГ) и почти полностью исчерпало свой начальный углеводородный потенциал (35—97 мг УВ/г С_{орг}) (см. рис. 6). При этом некоторое увеличение значений НІ, до 77—97 мг УВ/г С_{орг}, вызвано значительным содержанием рассеянного углефицированного растительного детрита. По данным изотопного состава углерода, в изученном интервале ОВ имеет смешанный, террагенно-аквагенный состав, так как присутствуют прослои аргиллитов, содержащих аквагенное или смешанное ОВ со значениями δ¹³С_{орг} –27.2 и –29.9 ‰ (см. рис. 2).

В темно-серых и черных аргиллитах кимериджа из разреза, вскрытого скв. Пайяхская 4 (пачки 4 и 5), концентрации органического углерода изменяются от 0.6 до 2.8 % (среднее значение 1.4 %) на породу (см. рис. 2). Генерационный потенциал ОВ кимериджской части разреза гольчихинской свиты также достаточно сильно реализован. Значения НІ изменяются от 48 до 68 мг УВ/г С_{орг}, а зрелость ОВ соответствует концу главной зоны нефтеобразования (ГЗН) — началу ГЗГ ($R_{Vt}^{\circ} = 1.09$ %, градация МК₂, $T_{max} = 453$ —465 °C) (см. рис. 6). Изотопно тяжелый состав углерода ($\delta^{13}C_{opr}$ –24.8...–24.0 ‰) в этой части разреза позволяет диагностировать террагенный генотип ОВ (III тип керогена).

Органическое вещество аргиллитов нижнего и низов средневолжского подъярусов (скв. Пайяхская 4, пачка 6) относится преимущественно к террагенному типу, связанному с высшей наземной растительностью. Значения $\delta^{13}C_{opr}$ в нерастворимых остатках пород в среднем составляют –26.3 ‰ (–26.9... –25.8 ‰) (см. рис. 2). Величины остаточного генерационного потенциала в образцах из этого интервала варьируют от 30 до 110 мг УВ/г С_{орг} (среднее значение 75 мг УВ/г С_{орг}). Для двух образцов из нижнего подъяруса (гл. 3685 м) и нижней части средневолжского яруса (гл. 3637 м) отмечается увеличение водородного индекса до 101 и 146 мг УВ/г С_{орг} соответственно, что в совокупности с изотопным составом углерода $\delta^{13}C_{opr}$ (–27.7 и –28.3 ‰) позволяет предполагать в этой части разреза увеличение влияния морского ОВ. Значения R_{Vt}° в нижневолжских аргиллитах, равные 0.87—1.01 %, указывают на зрелость ОВ градации MK₂. В вышележащих средневолжских толщах замеров значений отражательной способности витринита не было выполнено и глубину, соответствующую смене градаций MK₁² и MK₂, сложно определить. Температуры T_{max} для всего интервала изменяются от 444 до 456 °C и указывают на ГЗН (см. рис. 6). Максимально обогащенные OB (содержание C_{opr} меняется от 1.0 до 5.0 %, со средними значениями 2.5 %) образцы аргиллитов верхов гольчихинской свиты (верхневолжский подъярус и основание бореального берриаса) выявлены в разрезе скв. Пайяхская 4 (см. рис. 2). В верхах средневолжской части разреза (верхи пачки 7) продолжается начавшийся в нижней части средней волги тренд на увеличение значений водородного индекса (от 109 до 203 мг УВ/г C_{opr}), здесь OB характеризуется смешанным аквагенно-террагенным типом OB (II/III). В верхневолжском интервале (нижняя половина пачки 8) идентифицируется преимущественно аквагенное OB (II и II/III тип керогена) со значениями HI больше 200 мг УВ/г C_{opr} (см. рис. 6). В основании бореального берриаса (верхняя часть пачки 8) породы гольчихинской свиты характеризуются как высокими (265—312 мг УВ/г C_{opr}), так и пониженными (67.134 и 155 мг УВ/г C_{opr}) значениями водородного индекса, указывающими на уменьшение доли аквагенного OB в составе пород в этом интервале.

Для проб из разреза от верхов средней волги до основания бореального берриаса характерны низкие значения $\delta^{13}C_{opr}$ от -31.2 до -28.2 ‰, подтверждающие преимущественно аквагенный состав OB (см. рис. 2). В синхронном стратиграфическом интервале разрезов центральной части Западной Сибири (баженовская свита) значения $\delta^{13}C_{opr}$ изменяются от -34.0 до -28.0 ‰ [Конторович и др., 1986], в естественных выходах побережья моря Лаптевых (паксинская свита) варьируют от -30.5 до -28.0 ‰ [Каширцев и др., 2018]. Катагенез OB верхневолжского интервала соответствует главной зоне нефтеобразования по данным отражательной способности витринита (0.70—0.80 %, градация MK₁²) и подтверждается результатами пиролиза (T_{max} от 439 до 450 °C) (см. рис. 6).

В алевролитах низов шуратовской свиты (нижняя часть бореального берриаса) из скв. Пайяхская 1 содержание C_{opr} находится на уровне кларкового значения 0.9 % (см. рис. 2) на породу, по классификации Н.Б. Вассоевича [1973]. Органическое вещество в большинстве образцов шуратовской свиты из скв. Пайяхская 1 характеризуется III типом керогена, связанным преимущественно с остатками высшей наземной растительности. Величины водородного индекса для этого интервала меньше 150 мг УВ/г С_{орг}. Значения изотопного состава углерода нерастворимых остатков пород меняются в пределах от -25.5 до -24.2 ‰. Катагенез ОВ этой части разреза отвечает градации MK₁² со значением $R_{Vt}^{0} = 0.7$ % (см. рис. 6).

В пределах Пайяхской площади (см. рис. 1) при испытаниях получены притоки нефти из разных продуктивных горизонтов мела. Нефтяные пробы отбирались на устьях скв. 1 (см. рис. 2) (интервалы испытаний: 3420—3426 м, основание шуратовской свиты; 1489—1501 и 1503—1506 м, яковлевская свита) и скв. 8 (интервал испытаний 3458—3494 м, шуратовская свита).

Исследованные пробы характеризуются низкой (808.9 кг/м³) и средней (849.8—868.7 кг/м³) плотностями, в них содержится от 19 до 35 % фракций, выкипающих до 200 °С. Нефти являются малосернистыми (содержание серы <<0.5 %) и парафинистыми (содержание парафинов ~ 4.0 %). В их составе преобладают углеводороды (> 85 %), смол значительно меньше (6.0—13.7 %) и еще меньше асфальтенов (0.16—0.53 %). Содержания насыщенных углеводородов более чем в два раза выше по сравнению с ароматическими соединениями.

Изученные нефти характеризуются легким изотопным составом углерода — δ^{13} С изменяется от -31.3 до -29.7 ‰ (см. рис. 2).

В насыщенной фракции нефтей методом ГЖХ идентифицированы *н*-алканы C_{12} — C_{40} с максимумом на C_{17} (8.2—9.4 % на сумму идентифицированных *н*-алканов). Такое распределение *н*-алканов типично для углеводородных флюидов. Среди идентифицированных ациклических изопренанов C_{13} — C_{25} больше всего пристана (32.5—37.0 % на сумму идентифицированных ациклических изопренанов), концентрации фитана (17.0—20.9 % на сумму) и норпристана (16.5—19.4 % на сумму) тоже высоки, но значительно ниже по сравнению с пристаном. Отношение *н*-алканы/ациклические изопренаны изменяется в узком диапазоне (5.0—6.5). Другие геохимические показатели по составу *н*-алканов и ациклических изопренанов также имеют близкие значения: пристан/фитан — 1.7—1.9; пристан/*н*- C_{17} — 0.6—0.8; фитан/*н*- C_{18} — 0.4—0.5; индекс нечетности СРІ — 1.06—1.08; *н*- C_{27} /*н*- C_{17} — 0.3—0.5.

При помощи XMC насыщенных фракций нефтей установлено распределение в них стеранов и терпанов. Стераны C_{27} , C_{28} и C_{29} имеют близкие концентрации (28.7—36.0; 28.0—30.1; 26.9—31.1 % на сумму стеранов соответственно), а содержания стеранов C_{30} значительно ниже (7.6—12.0 % на сумму стеранов). В двух пробах отмечено незначительное преобладание гомологов C_{29} над C_{27} , а в трех, наоборот, стеранов C_{27} немного больше по сравнению с C_{29} . Отношение стеранов C_{29}/C_{27} изменяется от 0.75 до 1.08. Среди изомерных групп стеранов преобладают регулярные структуры ($\alpha - \mu \beta\beta$ -) по сравнению с диастеранами ($\beta\alpha$ -), а соотношение $\beta\alpha/(\alpha\alpha + \beta\beta)$ находится в диапазоне 0.5—0.8. Исследованные нефти характеризуются несущественным разбросом значений изомерных показателей зрелости по составу регулярных стеранов $C_{29} \beta\beta$ (20S+20R)/ $\alpha\alpha$ 20R (3.6—5.4) и $\alpha\alpha$ 20S/ $\alpha\alpha$ 20R (1.3—2.3). Среди идентифицированных терпанов преобладают гопановые структуры (гопан C_{30} , нор- (C_{27} — C_{29}) и гомогопаны (C_{31} — C_{35}); 70.8—84.4 % на сумму терпанов), далее в порядке убывания концентрации следуют трицикланы

(хейлантаны) (C₁₉—C₃₁; 10.3—24.8 %), моретаны (C₂₉—C₃₂; 2.4—4.5 %) и тетрациклические терпаны (C₂₄—C₂₇; 0.8—2.0 %). Соотношение между насыщенными стероидными структурами и терпанами изменяется от 0.5 до 0.7. Соотношения, рассчитанные по составу терпанов, имеют следующие значения: Ts/Tm (18 α (H) 22,29,30-триснорнеогопан/ 17 α (H) 22,29,30-трисноргопан) — 1.77—2.37; гомогопаны C₃₅/гомогопаны C₃₄— (0.5—0.7); адиантан/гопан C₃₀— 0.30—0.33; трициклановый индекс (Itc = $2 \cdot \sum C_{19-20} / \sum C_{23-26} - 0.4$ —0.6.

В составе нафтеноароматической фракции нефтей методом ХМС идентифицированы дибензтиофены, фенантрены, моно- и триароматические стероиды. Максимум концентрации приходится на фенантрены (64.7—84.9 % на сумму идентифицированных ароматических соединений), значительно ниже содержания триароматических стероидов (4.9—20.8 %), а дибензтиофенов (6.4—9.5 %) и моноароматических стероидов (0.7—7.8) на порядок меньше по сравнению с фенантренами. Отношение фенантрены/дибензтиофены изменяется от 8.8 до 11, а три-/моноароматические стероиды — от 2.6 до 7.1. Показатели зрелости, рассчитанные по составу идентифицированных ароматических структур, имеют незначительные разбросы: дибензтиофеновый индекс (2- + 3-метилдибензтиофены/дибензтиофен) — 0.8—1.1; фенантреновый индекс (2 метилфенантрен/фенантрен) — 0.5—0.6; метилфенантреновый индекс 1 ($1.5 \cdot (2- + 3-метилфенантрен)/(фенантрен + 9- + 1-метилфенантрен))$ — 0.03—0.05; $R_0(0.6 \cdot M\Phi M 1 + + 0.4; %)$ — 0.42—0.43.

Результаты аналитического исследования нефтей из меловых продуктивных толщ (бореальный берриас, апт—альб) Пайяхской площади показали сходство их физико-химических свойств, значений δ^{13} С и компонентного состава (углеводороды и ароматические соединения), что позволяет считать их образованными в единый этап аккумуляции за счет общего источника. Согласно изотопному составу углерода и генетическим показателям по составу идентифицированных соединений, исследованные нефти могли быть образованными за счет преимущественно аквагенного органического вещества, которое накапливалось в слабо- и/или умеренно-восстановительных мелководно-морских обстановках в условиях терригенной седиментации [Bray, Evans, 1961; Тиссо, Вельте, 1981; Петров, 1984; Конторович и др., 1986, 2013; Peters et al., 2005; и др.]. Уровень зрелости нефтей, согласно рассчитанным показателям зрелости, соответствует главной зоне нефтеобразования [Петров, 1984; Peters et al., 2005; и др.].

Согласно материалам по пиролизу и $\delta^{13}C_{opr}$, которые обсуждались выше, а также в соответствии с информацией по органической геохимии юры и нижнего мела Енисей-Хатангского региона [Ким, Родченко, 2013; Родченко, 2016] исследованные нефти по генотипу и уровню зрелости более всего соответствуют органическому веществу верхней части гольчихинской свиты. Наблюдаемое соответствие позволяет рассматривать толщу с преимущественно аквагенным ОВ в верхней части этой свиты (пачка 8; верхневолжский подъярус—основание бореального берриаса) в качестве нефтепроизводящей (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные комплексные исследования разрезов гольчихинской свиты (верхи бата—низы бореального берриаса), вскрытой скважинами Пайяхской площади в погруженной центральной части на западе Енисей-Хатангского прогиба, позволяют рассматривать их в качестве эталонных. Учитывая недостаточную стратиграфическую характеристику предлагаемых ранее стратотипов гольчихинской свиты в скв. Дерябинская 5 или Южно-Носковская 318 [Кукушкина, Кислухин, 1983; Кислухин, 1986; Куликов, 1989; Решение..., 1991] разрезы Пайяхской площади предлагаются в качестве гипостратотипов свиты (см. рис. 1, 2).

В исследованных интервалах скв. Пайяхская 1 и Пайяхская 4 установлены фораминиферовые комплексы зон келловея (JF25), нижнего и основания верхнего оксфорда (JF36), верхов оксфорда нижней части нижнего кимериджа или верхов нижнего оксфорда (JF40/JF39), верхней части нижневолжского подъяруса (JF44/JF45), нижней части средневолжского подъяруса (JF46), верхов среднего и низов верхневолжского подъяруса (JF55), верхов средневолжского подъяруса—основания бореального берриаса (JF52) и низов бореального берриаса (KF1) [Никитенко, 2009; Никитенко и др., 2013]. Биостратиграфический анализ разрезов соседних площадей показывает, что граница между гольчихинской и шуратовской свитами фиксируется внутри фораминиферовой зоны KF1 (низы бореального берриаса) (см. рис. 2, 3). Несмотря на неудовлетворительную сохранность палиноморф и их бедный таксономический состав, удалось обосновать положение в разрезе верхневолжского подъяруса.

Проведенный анализ вариаций отклонений изотопной сигнатуры стабильных изотопов углерода от стандартных значений ($\delta^{13}C_{opr}$) в верхней части гольчихинской и низах шуратовской свит (волжский ярус—нижняя часть бореального берриаса) позволил установить, что полученная кривая вариаций $\delta^{13}C_{opr}$ практически идентична по трендам развития с таковыми из Баренцевского шельфа (о. Шпицберген) и северо-востока Восточной Сибири (низовья р. Оленек), несмотря на различающиеся абсолютные значения [Hammer et al., 2012; Nikitenko et al., 2018]. Это дало возможность уточнить и обосновать по-

ложение границ ярусов и подъярусов на Пайяхской площади в интервалах, которые не содержали фоссилий (см. рис. 2, 4).

Нижняя граница гольчихинской свиты по ГИС определяется изменениями «пилообразной» кривой КС с низкими, слабодифференцированными ее значениями, положительной аномалией ПС, фиксируя смену песчаников малышевской свиты аргиллитами гольчихинской (см. рис. 2). Верхняя граница, согласно принципу комплексного обоснования границы баженовского горизонта [Рыжкова и др., 2018], фиксируется в подошве первого высокоомного пласта шуратовской свиты (см. рис. 2). В разрезе гольчихинской свиты Пайяхской площади установлены восемь литологических пачек, увязанных с био- и сейсмостратиграфическими подразделениями. За пределами площади количество пачек, строение разреза свиты, как и ее мощность, изменяются. Фациальная неоднородность гольчихинской свиты не позволяет всюду однозначно обособлять ранее предложенное расчленение на подсвиты [Куликов, 1989].

На сейсмических разрезах, пересекающих Пайяхскую площадь в субширотном и субмеридиональном направлениях (см. рис. 5), устанавливается ряд высокодинамичных сейсмических отражений, приуроченных к кровле нижележащей малышевской (Tml) и кровле гольчихинской (Gl₁) свит. Внутри интервала развития гольчихинской свиты обособляются три отражающих горизонта (Gl₂—Gl₄), формирующих самостоятельные сейсмокомплексы. Анализ био- и хемостратиграфических данных позволил обоснованно привязать эти отражающие горизонты к геологическому разрезу.

Изученные породы из разрезов гольчихинской и низов шуратовской свит по содержанию OB от 0.6 до 9.9 % на породу (см. рис. 2) являются потенциально нефте- и газопроизводящими. Установлено, что стабильно максимально обогащенные OB толщи приходятся на верхнюю часть гольчихинской свиты (верхневолжский подъярус и основание бореального берриаса). Низкие значения $\delta^{13}C_{opr}$ подтверждают преимущественно аквагенный состав OB этой части разреза (см. рис. 2). По данным отражательной способности витринита, катагенез OB верхневолжского интервала соответствует главной зоне нефтеобразования, что подтверждается пиролитическими исследованиями. Таким образом, эти толщи могут рассматриваться как нефтепроизводившие. Нижние слои свиты, по данным пиролиза OB, находятся в начале глубинной зоны газообразования, что указывает на то, что OB почти полностью исчерпало свой начальный углеводородный потенциал (см. рис. 6).

Результаты аналитического исследования нефтей из меловых продуктивных толщ Пайяхской площади показали сходство их физико-химических свойств, значений δ¹³С и компонентного состава (углеводороды и ароматические соединения), что позволяет считать их образованными в единый этап аккумуляции за счет общего источника. Исследованные нефти по генотипу и уровню зрелости более всего соответствуют OB верхней части гольчихинской свиты (верхневолжский подъярус—основание бореального берриаса).

Авторы искренне признательны В.А. Каширцеву, В.Г. Князеву и Н.К. Лебедевой за ценные рекомендации, способствовавшие улучшению рукописи статьи.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РНФ (проект 18-17-00038) и РФФИ (проект 18-05-70035).

ЛИТЕРАТУРА

Алифиров А.С., Меледина С.В. Келловейские аммониты Западной Сибири: хронология и хорология // Новости палеонтологии и стратиграфии: Приложение к журналу «Геология и геофизика», 2010, т. 51 (14), с. 61—84.

Афанасенков А.П., Бондаренко М.Т., Киссин Ю.М., Тарасенко Е.М., Кондратьев И.К. О выявлении перспективных нефтегазоносных объектов под глубокое бурение по результатам региональных сейсмических исследований Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология нефти и газа, 2016, № 3, с. 44—54.

Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В. Мезокайнозойская история развития севера Западной и Восточной Сибири на основе анализа сейсмических данных (Гыдан, Усть-Енисейский район) // Геология нефти и газа, 2017, № 1, с. 34—40.

Борисов Е.В. Геологическое строение Гольчихинской свиты западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 13—25 апреля 2015 г.). Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: Т. 1. 2015, с. 13—17.

Вассоевич Н.Б. Основные закономерности, характеризующие органическое вещество современных и ископаемых осадков // Природа органического вещества современных и ископаемых осадков, М., Наука, 1973, с. 11—59.

Головин С.В. Классификация нефтегазоносных комплексов мезозоя Енисей-Хатангского прогиба // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2009, т. 4, № 1, с. 1—21. Злобина О.Н., Родченко А.П. Литолого-геохимическая характеристика гольчихинской свиты в разрезе скважины Пайяхская 4 (Гыданский фациальный район, север Средней Сибири) // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 13—25 апреля 2015 г.) Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: Т. 1. 2015, с. 48—53.

Ильина В.И. Палинология юры Сибири. М., Наука, 1985, 237 с.

Исаев А.В., Девятов В.П., Карпухин С.М., Кринин В.А. Перспективы нефтегазоносности Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология нефти и газа, 2010, № 4, с. 13—23.

Карогодин Ю.Н. Седиментационная цикличность. М., Недра, 1980, 242 с.

Карцева Г.Н., Кузнецов Л.Л., Образкова В.П. Новые данные по стратиграфии юрских и меловых отложений в западной части Енисей-Хатангского прогиба // Реперные горизонты палеозоя и мезозоя севера европейской части СССР и Сибири. Л., ВНИГРИ, 1983, с. 96—100.

Каширцев В.А., Никитенко Б.Л., Пещевицкая Е.Б., Фурсенко Е.А. Биогеохимия и микрофоссилии верхней юры и нижнего мела Анабарского залива моря Лаптевых // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (4), с. 481—501.

Ким Н.С., Родченко А.П. Органическая геохимия и нефтегазогенерационный потенциал юрских и меловых отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1236—1252.

Кислухин В.И. Литолого-фациальное районирование юрских и нижнемеловых отложений севера Западной Сибири // Нефтегазоносность отложений Северных районов Западной Сибири. Тюмень, Зап-СибНИГНИ, 1986, с. 13—31.

Климова Е.Н., Кучерявенко Д.С., Поляков А.А. Новые данные об условиях формирования резервуаров Пайяхского месторождения и перспективы их нефтеносности на территории Нижнеенисейского нефтегазоносного района // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2018, т. 13, № 1, с. 1—17.

Конторович А.Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М., Недра, 1976, 250 с. (Тр. СНИИГГиМС, вып. 229).

Конторович А.Э., Верховская Н.А., Тимошина И.Д., Фомичев А.С. Изотопный состав углерода органического вещества и битумоидов и некоторые спорные вопросы теории образования нефти // Геология и геофизика, 1986 (5), с. 3—13.

Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 972—1012.

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

Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (8), с. 1027—1050.

Куликов Д.П. Стратиграфическое расчленение и структурно-фациальное районирование верхнеюрских отложений Енисей-Хатангского прогиба // Геология и геофизика, 1989 (10), с. 10—18.

Кукушкина Т.С., Кислухин В.И. Районирование верхнеюрских осадочных образований по типам разрезов (заполярные районы Западной-Сибири) // Творческое участие молодежи в ускоренном достижении на промыслах Тюменской области суточной добычи 1 млн т нефти и 1 млрд куб. м газа. Тезисы докладов VI науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов ЗапСибНИГНИ (23—24 марта 1983 г.). Тюмень, 1983, с. 20—21.

Никитенко Б.Л. Стратиграфия, палеобиогеография и биофация юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды). Новосибирск, Параллель, 2009, 680 с.

Никитенко Б.Л., Шурыгин Б.Н., Князев В.Г., Меледина С.В., Дзюба О.С., Лебедева Н.К., Пещевицкая Е.Б., Глинских Л.А., Горячева А.А., Хафаева С.Н. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1047—1082.

Никитенко Б.Л., Князев В.Г., Пещевицкая Е.Б., Глинских Л.А., Кутыгин Р.В., Алифиров А.С. Высокоразрешающая стратиграфия верхней юры побережья моря Лаптевых // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (4), с. 845—872.

Петров А.А. Углеводороды нефти. М., Наука, 1984, 263 с.

Решение 5-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины / Ред. И.И. Нестеров. Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1991, 54 с.

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири / Ред. Ф.Г. Гурари. Новосибирск, 2004, 114 с.

Родченко А.П. Геохимия органического вещества верхнеюрских отложений северо-востока Западной Сибири и генезис меловых нефтей региона // Геология нефти и газа, 2016, № 6, с. 107—118.

Рыжкова С.В., Бурштейн Л.М., Ершов С.В., Казаненков В.А., Конторович А.Э., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Никитенко Б.Л., Фомин М.А., Шурыгин Б.Н., Бейзель А.Л., Борисов Е.В., Золотова О.В., Калинина Л.М., Пономарева Е.В. Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины // Геология и геофизика, 2018, т. 59 (7), с. 1053—1074.

Стратиграфический кодекс. Издание второе, дополненное / Ред. А.И. Жамойда. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 1992, 120 с.

Стратиграфический кодекс России. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2006, 96 с.

Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М., Мир, 1981, 502 с.

Филипцов Ю.А., Давыдова И.В., Болдушевская Л.Н., Данилова В.П., Костырева Е.А., Фомин А.Н. Взаимосвязь материнских пород и нефтей в мезозойских отложениях северо-востока Западно-Сибирской плиты на основе изучения углеводородов-биомаркеров и катагенеза органического вещества // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2006, № 5—6, с. 52—57.

Фомин М.А. Тектоническое строение мезозойско-кайнозойских отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2016, № 9, с. 4—18.

Шурыгин Б.Н., Никитенко Б.Л., Девятов В.П., Ильина В.И., Меледина С.В., Гайдебурова Е.А., Дзюба О.С., Казаков А.М., Могучева Н.К. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000, 480 с.

A Stratigraphic Index of dinoflagellate cysts / Ed. A.J. Powell. London, 1992, p. 1-290.

Batten D.J. Upper Jurassic and Cretaceous miospores // Palynology: principles and applications / Eds. J. Jansonius, D.C. McGregor. Salt Lake City, AASP, 1996, v. 2, p. 807–831.

Bray E.E., Evans E.D. Distribution of *n*-paraffins as a clue to recognition of source beds // Geochim. Cosmochim. Acta, 1961, № 22, p. 2—15.

Hammer Ø., Collignon M., Nakrem H.A. Organic carbon isotope chemostratigraphy and cyclostratigraphy in the Volgian of Svalbard // Norwegian J. Geol., 2012, v. 92, p. 103—112.

Herngreen G.F.W., Kerstholt S.J., Munsterman D.K. Callovian-Ryazanian (Upper Jurassic) palynostratigraphy of the Central North Sea Graben and Vlieland Basin, the Netherlands // Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 2000, v. 63, p. 1—97.

Ilyina V.I., Nikitenko B.L., Glinskikh L.A. Foraminifera and dinoflagellate cyst zonation and stratigraphy of the Callovian to Volgian reference section in the Tyumenskaya superdeep well (West Siberia, Russia) // Recent developments in applied biostratigraphy / Eds. A.J. Powell, J.B. Riding. The Micropalaeontological Society, Spec. Issue, 2005, p. 109—144.

Jansonius J., McGregor D.C. Palynology: principles and application. Salt Lake City, Publishers Press, 1996, v. 1, 452 p.

Nikitenko B.L., Pestchevitskaya E.B., Khafaeva S.N. High-resolution stratigraphy and palaeoenvironments of the Volgian—Valanginian in the Olenek key section (Anabar-Lena region, Arctic East Siberia, Russia) // Revue de Micropaléontologie, 2018, https://doi.org/10.1016/j.revmic.2018.07.001.

Pestchevitskaya E., Lebedeva N., Rybokon A. Uppermost Jurassic and lowermost Cretaceous dinocyst successions of Siberia, Subarctic Urals and Russian Platform and their interregional correlation // Geologica Carpathica, 2011, v. 62, № 3, p. 189–202.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. Cambridge, Cambridge University Press, 2005, 1155 p.

Sajjadi F., Playford G. Systematic and stratigraphic palynology of Late Jurassic—earliest Cretaceous strata of the Eromanga Basin, Queensland, Australia. Part II // Palaeontographica, 2002, v. 261, p. 99—165.

Scotese C.R. Paleogeographic and paleoclimatic atlas // AAPG Data Pages. Search and Discovery Article

#30192 (2011). http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2011/30192scotese/ndx_scotese.pdf.html Tyson R.V. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies. London, Chapman and Hall,

1995, 615 p.

Рекомендована к печати 5 февраля 2019 г. В.А. Каширцевым Поступила в редакцию 10 декабря 2018 г., после доработки — 3 января 2019 г.