УДК 551.734.5:551.735(234.82) DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-5-668-681

Геоисторический анализ северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона в позднем девоне–карбоне

Д. А. Груздев[1], А. И. Герасимова[2], А. В. Журавлев[1], Я. А. Вевель[1]

[1]ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: dag@yandex.ru
[2]ВСЕГЕИ, 199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74

Поступила в редакцию 15.10.2019 г., принята к печати 30.01.2020 г.

Объект исследования. В статье рассматриваются особенности геологического строения северной (обнаженной) части Коротаихинской впадины Припайхойско-Новоземельского краевого прогиба. Впадина представляет собой крупную геологическую структуру, в строении осадочного чехла которой значительную роль играет верхнедевонско-каменноугольный карбонатный комплекс, выходящий на дневную поверхность в пределах Пай-Хойского карбонатного паравтохтона. *Материалы и методы.* Фактическим материалом послужили результаты изучения разрезов северо-западного Пай-Хоя, позволившие уточнить местную стратиграфическую схему паравтохтона, а также составить обоснованные сводные последовательности для стратиграфических подразделений. При анализе геологических материалов были использованы литолого-фациальный метод, анализ мощностей (построение кривых погружения), реконструкция степени термального катагенеза по индексам окраски конодонтов, а также определение пористости рентгенотомографическим методом. *Результаты.* Разрез верхнего девона–карбона общей мощностью около 900 м слагают терригенно-карбонатная пырковская толща (франский ярус), карбонатные лымбадъяхинская (фаменско-турнейский интервал), болванская (визейско-башкирский интервал) свиты, хойпонганасейская толща и риф Чайка (московско-касимовский интервал). Формирование раннефранской части разреза происходило в условиях изолируемого шельфового мелководья. В среднем-позднем фране произошло заложение Коротаихинской палеовпадины и образование изолированной карбонатной платформы. Заполнение впадины завершилось в конце раннего визе. В позднем визе–позднем карбоне существовали условия карбонатной платформы (рампы). Палеогеотермальный градиент, реконструируемый по индексам окраски конодонтов для среднего палеозоя Пай-Хойского карбонатного паравтохтона, в разы превышает таковой для большинства районов севера Печорской плиты. Вероятно, это связано с тектонической активностью края плиты в позднекаменноугольно-мезозойское время. Наблюдается последовательное снижение открытой пористости отложений вниз по разрезу (от 6 до 0.1%), что отражает возрастание степени уплотнения и перекристаллизации карбонатов. *Заключение.* Фаменско-турнейский карбонатный комплекс Пай-Хойского паравтохтона сформировался в условиях изолированной карбонатной платформы, а визейско-позднекаменноугольные отложения накапливались в условиях внешнего края рампы. Карбонатный верхний девон–средний карбон Пай-Хойского паравтохтона характеризуется крайне низкой открытой пористостью и высокой степенью термальной переработки пород (градации катагенеза до МК4-АК3). В сочетании с высокой степенью дислоцированности (изоклинальная складчатость и разрывные нарушения) эти характеристики существенно снижают перспективы нефтегазоносности данных отложений.

Ключевые слова: *Коротаихинская впадина, Пай-Хойский паравтохтон, верхний девон, карбон, геологическая история, термальный катагенез, пористость*

Источник финансирования

Эта работа выполнялась в рамках государственных проектов Института геологии ФИЦ Коми СО РАН № 18-5-5-13 и АААА-А17-117121140081-7

Geohistorical analysis of the northern part of the Pai-Khoi carbonate parautochthone in Late Devonian–Carboniferous

Denis A. Gruzdev[1], Alexandra I. Gerasimova[2], Andrey V. Zhuravlev[1], Yadviga A. Vevel[1]

[1]IG FRC Komi Sc UB RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar 167982, Russia, e-mail: jiiin-94@mail.ru
[2]VSEGEI, 74 Srednii av., St.Petersburg 199106, Russia

Received 15.10.2019, accepted 30.01.2020

Для цитирования: Груздев Д.А., Герасимова А.И., Журавлев А.В., Вевель Я.А. (2020) Геоисторический анализ северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона в позднем девоне–карбоне. *Литосфера*, 20(5), 668-681. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-5-668-681

For citation: Gruzdev D.A., Gerasimova A.I., Zhuravlev A.V., Vevel Ya.A. (2020) Geohistorical analysis of the northern part of the Pai-Khoi carbonate parautochthone in Late Devonian–Carboniferous. *Litosfera*, 20(5), 668-681. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-5-668-681

© Д.А. Груздев, А.И. Герасимова, А.В. Журавлев, Я.А. Вевель, 2020

Research subject. This article focuses on the geological structure of the northern part of the Pai-Khoi carbonate parautochthone. *Materials and methods*. The study was based on the data obtained on the key sections of the North-Western Pai-Khoi. Research methods included lithological and facies analysis, subsidence curves, reconstruction of the thermal maturity of deposits based on conodont alteration indexes, X-ray microtomography for determining porosity values. *Results*. The Upper Devonian–Carboniferous succession (ca. 900 m thick) is composed of the terrigenous and carbonate Pyrkov Fm. (Frasnian), carbonate Lymbadyakha Fm. (Famennian-Tournaisian), Bolvanskii Fm. (Visean-Bashkirian), and Hoiponganase Fm. and Reef Chaika (Moskovian-Kasimovian). The early Frasnian part of the succession was deposited in a shallow-water environment. In the Middle–Late Frasnian, the Korotaikha paleodepression and an isolated carbonate platform was formed on the shelf edge. Filling of the paleodepression was completed at the end of the Early Visean. In the Late Visean–Late Carboniferous, a carbonate platform (ramp) formed. A Middle Paleozoic paleogeothermal gradient reconstructed on the basis of conodont alteration indexes is much higher in the Pai-Khoi carbonate parautochthone than in the most of Pechora Plate regions. This is likely to have been caused by the tectonic activity of the plate border in the Late Carboniferous–Mesozoic. A downward decrease in open porosity (from 6% to 0.1%) is likely to have been associated with increased compaction and recrystallization of the carbonates. *Conclusions*. Famennian-Tournaisian carbonate formations of the Pai-Khoi carbonate parautochthone were deposited under the conditions of isolated platform environment; however, the Visean–Late Carboniferous deposits were formed in the outer ramp environment. The Late Devonian–Middle Carboniferous carbonate deposits of the Pai-Khoi parautochthone demonstrate an extremely low open porosity and a high thermal maturity. These properties, along with the pronounced faulting and folding of the rocks, significantly decrease petroleum-bearing prospects of these deposits.

Keywords: *Korotaikha depression, Pai-Khoi parautochthone, Upper Devonian, Carboniferous, geological history, thermal maturity, porosity*

Funding information

This work was fulfilled under the state-financed projects of the Institute of Geology FIC Komi Sc UB RAS No. 18-5-5-13 and AAAA-A17-117121140081-7

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the reviewer for constructive comments that helped us improve this work significantly

ВВЕДЕНИЕ

Коротаихинская впадина Припайхойско-Новоземельского краевого прогиба представляет собой крупную геологическую структуру, осложненную складчато-надвиговыми дислокациями позднекаменноугольно-юрского возраста (Юдин, 1994; Тимонин и др., 2004). В строении осадочного чехла северо-восточного борта впадины значительную роль играет верхнедевонско-каменноугольный карбонатный комплекс, с которым связываются основные перспективы нефтегазоносности (Варламов и др., 2012; Дмитриева и др., 2011, 2014). Прогнозные ресурсы по категории Д1+Д2 в пределах Сабриягинской, Янгарейской и Верхнеянгарейской структур северо-восточного борта Коротаихинской впадины составляют 28.95 млн т по нефти и 15.127 млрд м^3 по свободному газу (Прищепа и др., 2008, 2012; Акимов, 2013; Ступакова и др., 2017). Практическое отсутствие детальных геологических данных, в том числе бурения, в сочетании с интенсивной складчатой и разрывной тектоникой делает сейсмо-геологические исследования в данном районе малоэффективными. Наиболее достоверную информацию о строении, составе и свойствах верхнедевонско-каменноугольного карбонатного комплекса северо-восточного борта Коротаихинской впадины можно получить по естественным выходам на северо-западном Пай-Хое, которые в тектоническом плане приурочены к Пай-Хойскому карбонатному паравтохтону (Юдин, 1994; Дмитриева и др., 2014; Чумаков и др., 2014). Именно юго-восточное продолжение паравтохтона, перекрытое пермскими терригенными образованиями, формирует перспективные горизонты в пределах Сабриягинской, Янгарейской и Верхнеянгарейской структур. Из-за относительно плохой геологической изученности Коротаихинской впадины важной задачей является изучение взаимоотношений горизонтов осадочного чехла и палеозойской истории его развития (Белонин, Прищепа, 2005; Варламов и др., 2012).

Данная статья нацелена на рассмотрение особенностей геологического строения северной (обнаженной) части паравтохтона, выявление основных этапов его развития в позднем девоне–карбоне, а также на оценку свойств пород, слагающих паравтохтон (пористость, плотность, степень термального катагенеза).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фактическим материалом для данной работы послужили результаты изучения разрезов северо-западного Пай-Хоя на побережье Баренцева моря, пролива Югорский Шар и в долинах р. Лымбадъяха, руч. Хойпонганасе, руч. Пырков (Журавлев и др., 2015, 2018; Журавлев, 2016; Журавлев, Вевель, 2017) (рис. 1). На основе изучения разрезов была существенно уточнена местная стратиграфическая схема паравтохтона, а также составлены обоснованные сводные последовательности для стратиграфических подразделений (Журавлев и др., 2015; Журавлев, 2016; Журавлев, Вевель, 2017). Детальное кар-

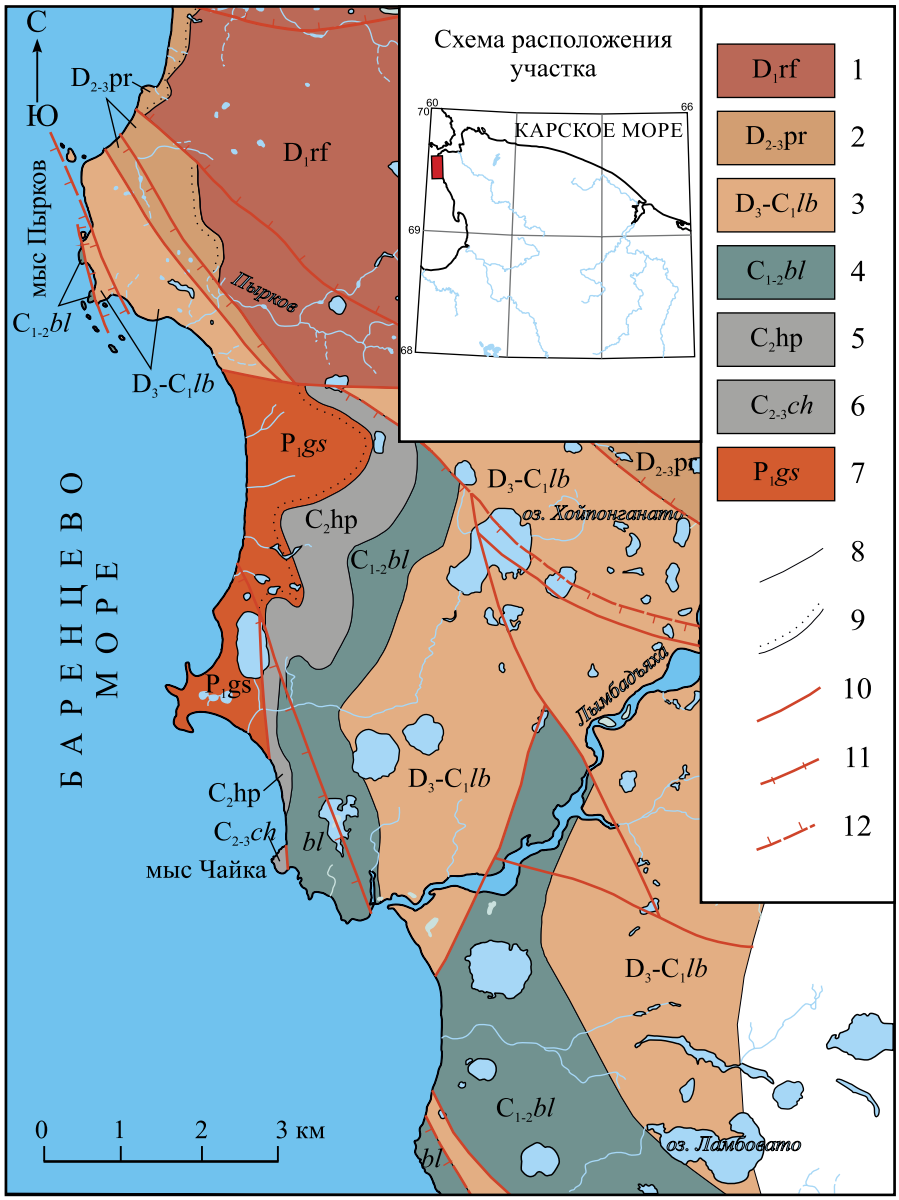

Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона, по (Романов, Журавлев, 2017) с изменениями.

1 – рифовая толща, 2 – пырковская толща, 3 – лымбадъяхинская свита, 4 – болванская свита, 5 – хойпонганасейская толща, 6 – риф Чайка, 7 – гусиная свита, 8 – геологические границы согласные, 9 – геологические границы с размывом, 10 – разрывные нарушения субвертикальные, 11 – надвиги, 12 – надвиги предполагаемые.

Fig. 1. Sketch geological map of the northern part of the Pai-Khoi carbonate parautochthone (from Romanov, Zhuravlev, 2017) with changes.

1 – Rifovaya strata, 2 – Pyrkov st., 3 – Lymbadyakha Formation, 4 – Bolvan Fm., 5 – Hoiponganase st., 6 – Reef Chaika, 7 – Gus Fm., 8 – conform geological boundaries, 9 – disconformity, 10 – subvertical faults, 11 – thrusts, 12 – supposed thrusts.

тирование отдельных участков позволило сформировать новые представления о геологическом строении территории (Шишкин и др., 2012; Чумаков и др., 2014; Романов, Журавлев, 2017).

При анализе геологических материалов был использован комплекс методов. Литолого-фациальный анализ проводился на основе выделения последовательностей пород, обладающих определенными структурно-текстурными признаками, для уточнения полученных данных использовалось описание шлифов. Среди текстурных особенностей при полевом описании осадочных последовательностей учитывались такие признаки, как тип слоистости, знаки ряби, характер межслоевых поверхностей, гиероглифы. При микроскопическом изучении устанавливались структурные характеристики породы: размер форменных элементов, характер сортировки, степень окатанности и ориентировка, а также характер цемента.

Реконструкция погружения для позднедевонско-среднекаменноугольного интервала осуществлена с помощью программного обеспечения Back-Strip (Cardozo, 2019). Исходными данными для реконструкции послужили сводные разрезы, их фациальная интерпретация и материалы по эвстатическим колебаниям в палеозое (Haq, Schutter, 2008). Кроме того, использованы данные по разрезам обрамления Коротаихинской впадины: разрез на р. Талота и скв. 1-Рифовая (север Вашуткино-Талотинской зоны), скв. 1-Хавдейская (юг Коротаихинской впадины).

По индексам окраски конодонтов (ИОК) для 65 образцов, характеризующих рассматриваемые стратиграфические подразделения, была проведена реконструкция степени термального катагенеза (Журавлев, 2017). Для сравнения такие же данные были получены для скважин Падимейской площади (Воркутинское поперечное поднятие) и скв. Оленья-10 (северо-восток Хорейверской впадины).

Определение общей и открытой пористости было проведено для 46 образцов рентгенотомографическим методом с пространственным разрешением 7 мкм (микротомограф Skyscan 1173, Горный институт, г. Санкт-Петербург). Подробно методика и результаты микротомографического определения пористости были описаны ранее (Журавлев и др., 2017).

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Стратиграфия верхнедевонско-каменноугольного интервала Пай-Хойского карбонатного паравтохтона рассмотрена в ряде работ (Крылова, 1940; Степанов и др., 1977; Барсков, Кононова, 1983; Тимонин, 2006; Журавлев и др., 2015; Журавлев, 2016). Все местные стратоны детально охарактеризованы как литологически, так и биостратиграфически (Журавлев и др., 2015; Журавлев, 2016), поэтому ниже приводится лишь краткая их характеристика (рис. 2).

На размытой поверхности микробиально-водорослевых карбонатов раннедевонского возраста (рифовая толща) залегает пырковская толща. Нижняя часть толщи сложена чередованием сероцветных алевролитов, аргиллитов и кварцевых косослойчатых песчаников. Вверх по разрезу появляются прослои детритовых известняков с брахиоподами и происходит постепенный переход к чередованию серых аргиллитов и известняков. Выше залегают серые доломитистые известняки с линзами гравийных известняковых конгломератов и темно-серыми кремнистыми стяжениями линзовидной формы. В конгломератах присутствуют обломки ветвистых строматопор и известковых водорослей. Верхняя часть пырковской толщи представлена микритовыми кремнистыми известняками. Мощность толщи по имеющимся оценкам составляет 60–80 м. В кровле толщи предполагается незначительный перерыв в осадконакоплении. Основание толщи сопоставляется с отражающим горизонтом (ОГ) IIId. По конодонтам нижняя глинисто-терригенная часть толщи датирована ранним-средним франом, а глинисто-карбонатная и карбонатная – средним-поздним франом (Журавлев, 2016). Средняя открытая пористость карбонатных отложений составляет 0.1, песчаных – 0.4%.

Пырковская толща перекрывается лымбадъяхинской свитой, которая сложена серыми известняками и доломитами с кремнистыми и кальцитовыми стяжениями в верхней части. Для свиты, исключая самую верхнюю часть, характерны маломощные водорослево-строматопоровые органогенные постройки (Журавлев и др., 2015), в ней присутствуют отдельные скопления мелких брахиопод, одиночные и колониальные кораллы, редкие остатки известковых водорослей, фораминифер, криноидей и остракод. Мощность свиты около 150 м. Нижняя часть ее датирована по конодонтам и остракодам ранним фаменом, а верхняя сопоставляется со средним турне (Журавлев и др., 2018). Для прикровельной части свиты характерно интенсивное окремнение. Средняя открытая пористость пород лымбадъяхинской свиты составляет 0.4%.

На лымбадъяхинской свите с размывом залегает болванская свита. Стратиграфический объем размыва оценивается в верхнюю часть турне и нижний подъярус визейского яруса (Журавлев и др., 2015). По аналогии с более полным разрезом свиты на северо-востоке о. Вайгач (Журавлев и др., 2011, 2018) предполагается, что на севере Пай-Хоя отсутствует (размыто и/или не накопилось) около 200–300 м по мощности. Болванская свита сложена преимущественно детритовыми известняками, формирующими линзовидные чередования различающихся по гранулометрии разностей. В извест-

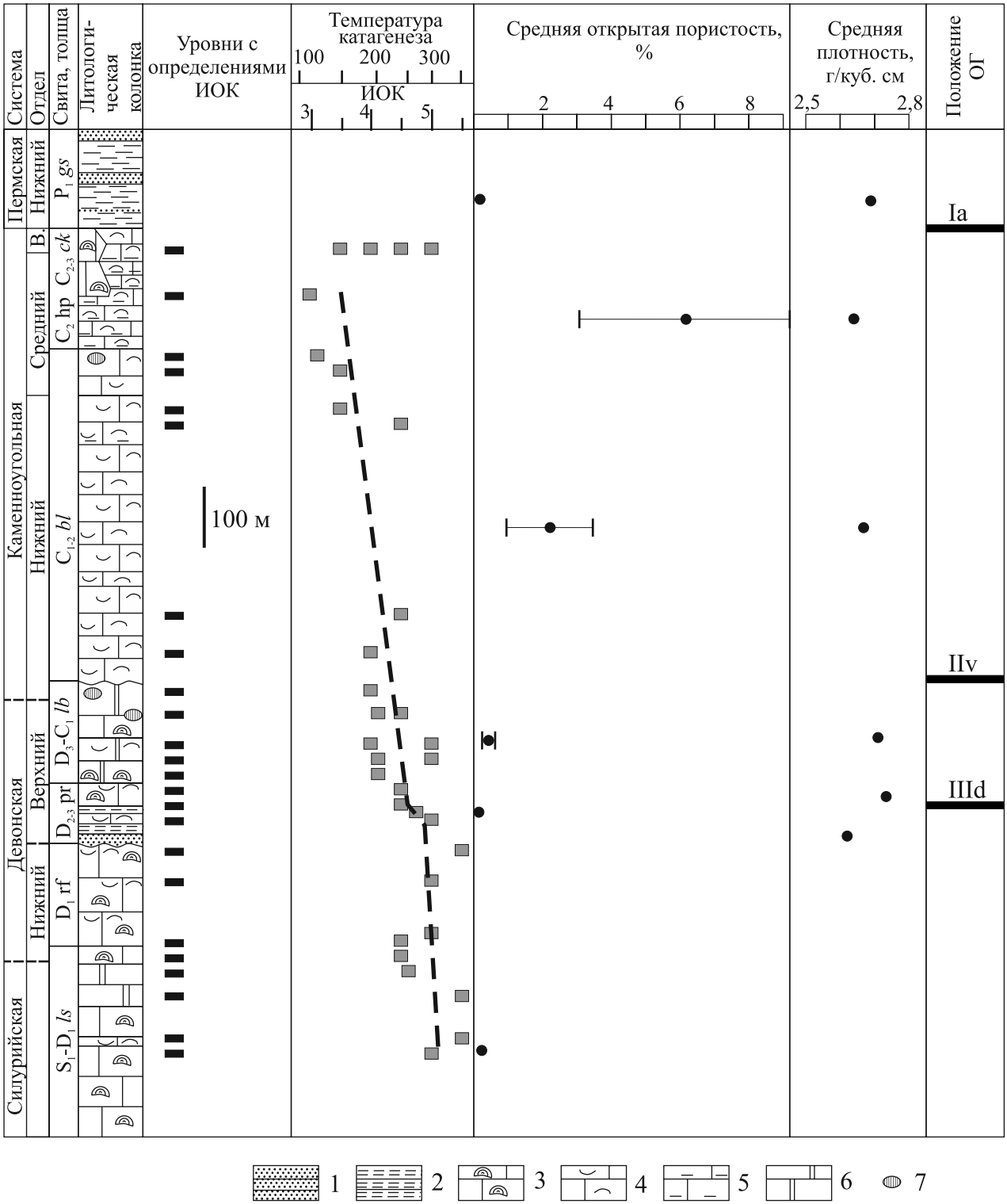

Рис. 2. Сводный разрез палеозойских отложений северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона.

1 – песчаник, 2 – аргиллит и алевролит, 3 – известняк органогенный, 4 – известняк органогенно-детритовый, 5 – известняк глинистый, 6 – доломит, 7 – кремнистые стяжения.

Fig. 2. Composite succession of the Paleozoic of the northern part of the Pai-Khoi carbonate parautochthone.

1 – sandstone, 2 – shale and siltstone, 3 – organogenous limestone, 4 – detritic limestone, 5 – clayey limestone, 6 – dolostone, 7 – siliceous concretions.

няках присутствуют кремнисто-карбонатные конкреции и конкреционные плиты, особенно в верхней части свиты. Для нижней части характерны доломитистые известняки. Многочисленны остатки бентосных организмов с карбонатным скелетом: фораминифер, известковых водорослей, колониальных и одиночных кораллов, крупных брахиопод, гастропод, мшанок, криноидей. Отмечаются коралловые биостромы, брахиоподовые банки и криноидные известняки. В верхнесерпуховской части отмечена маломощная (0.3–0.5 м) пачка известковых аргиллитов. Мощность болванской свиты около 550 м. С ее подошвой связан ОГ IIv. Стратиграфический объем свиты соответствует интервалу от верхней части визейского до башкирского яруса включительно (Журавлев и др., 2015; Журавлев, Вевель, 2017). Средняя открытая пористость пород составляет 2.2%.

Кровля болванской свиты в северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона проводится по подошве органогенных построек рифа Чайка, нижняя часть которых датирована по макрофауне, фораминиферам и конодонтам московским веком (Крылова, 1940; Степанов и др., 1977; Барсков, Кононова, 1983; Соловьева, 1984; Журавлев и др., 2015). Вне зоны развития органогенных построек болванская свита перекрывается хойпонганасейской толщей. Граница проводится по появлению в известняках частых глинистых прослоев и приблизительно датируется началом московского века среднего карбона (Журавлев и др., 2015).

Хойпонганасейская толща представлена линзовидными чередованиями тонко- и среднедетритовых известняков с криноидеями и брахиоподами. Границы чередований подчеркнуты тонкими глинисто-карбонатными прослоями. В верхней части толщи присутствуют мелкие (первые метры в поперечнике, до 1 м по мощности) брахиоподово-мшанковые органогенные постройки (калиптры). В известняках отмечаются кремнисто-карбонатные стяжения темно-серого цвета неправильной формы. Мощность толщи 150–200 м. Редкие находки конодонтов позволяют сопоставить хойпонганасейскую толщу с московским ярусом среднего карбона (Журавлев и др., 2015). В верхней части толщи возможно присутствие отложений позднего карбона, синхронных верхней части рифа Чайка.

Средняя открытая пористость пород хойпонганасейской толщи составляет 6.2%.

Латерально хойпонганасейская толща замещается рифом Чайка, который представляет собой серию брахиоподово-криноидно-мшанковых органогенных построек, разделенных маломощными (первые метры) пачками слабоглинистых детритовых, криноидных и брахиоподовых известняков. Видимая мощность рифа Чайка составляет около 150–200 м.

Риф Чайка и хойпонганасейская толща перекрываются терригенно-глинистыми отложениями ранненермского возраста (гусиная свита). С кровлей хойпонганасейской толщи и органогенных построек связан ОГ Ia. По конодонтам и фораминиферам риф Чайка отвечает стратиграфическому интервалу от московского яруса среднего карбона до касимовского яруса верхнего карбона (Барсков, Кононова, 1983; Соловьева, 1984; Михайлова, Калашников, 1996).

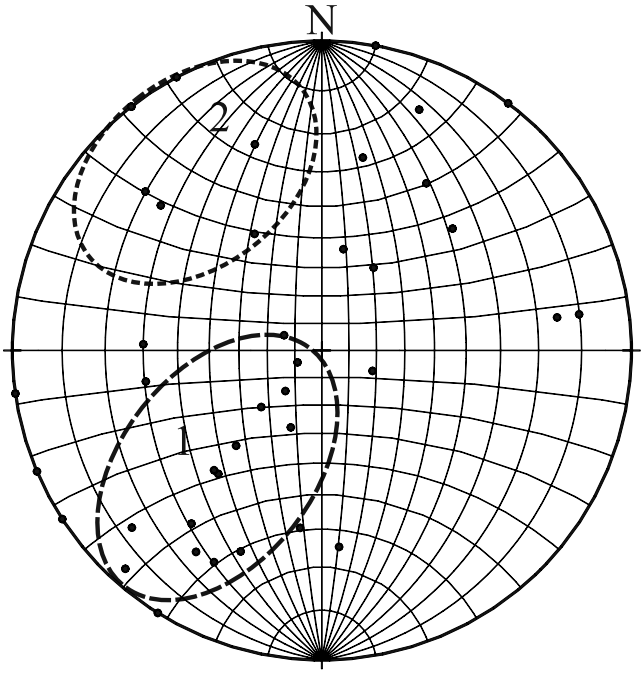

Рис. 3. Ориентировка осевых плоскостей складок в пределах северной части Пай-Хойского карбонатного паравтохтона (N = 40). Равноугольная стереографическая проекция нормалей на нижнюю полусферу. Объяснения см. в тексте.

Fig. 3. Orientation of the axial planes of folds in the northern part of the Pai-Khoi carbonate parautochthone (N = 40). Equal-angle stereographic projection on lower hemisphere. See explanations in text.

Все отложения среднего палеозоя на рассматриваемой территории сильно дислоцированы. Характерна близкая к изоклинальной и изоклинальная складчатость с преобладающим падением осевых плоскостей складок на северо-восток (рис. 3, область 1). Отмечается также другая система складок с крутопадающими на юго-восток осевыми плоскостями (рис. 3, область 2). Такая картина хорошо согласуется с левосдвиговой моделью формирования складчато-надвиговых дислокаций на Пай-Хое (Curtis et al., 2017).

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Составленная для района стратиграфическая последовательность позволяет реконструировать историю осадконакопления в позднем девоне–карбоне.

Глинисто-терригенная часть пырковской толщи предположительно сформировалась в условиях изолируемого мелководья с терригенной седиментацией (Журавлев, 2016). По ориентировке знаков ряби в песчаных пачках предполагается северо-западный источник терригенного стока (в современной системе координат). Периодически встречающиеся линзы биокластического материала, вероятно, фиксируют стадии относительного динамического равновесия, формирующие подводные валы-намывы.

К середине пырковского времени (примерно средний фран) поступление терригенного материала стало сокращаться и полностью прекратилось в конце франа – начале фамена (конец пырковского–начало лымбадъяхинского времени). Самая верхняя часть пырковской толщи и лымбадъяхинская свита накапливались в условиях мелководья с практически отсутствующим поступлением терригенного и даже глинистого материала. Снижение глинистой взвеси и, как следствие, чистота вод способствовали заселению акватории типично морскими организмами. Однако разнообразие и обилие бентоса были невысокими. Наиболее широкое развитие получили мелкие строматопороводорослевые органогенные постройки и небольшие брахиоподовые банки. Примечательно практическое отсутствие фораминифер, колониальных кораллов и мшанок, а также относительная редкость остатков одиночных кораллов, криноидей и брахиопод.

Одним из возможных объяснений отсутствия поступления глинистого материала даже на регрессиях может быть понижение в палеорельефе в пределах современной Коротаихинской впадины, которое играло роль ловушки для терригенного и глинистого стока. Существование такой палеодепрессии предполагалось многими исследователями (Варламов и др., 2012), а ее формирование может быть связано с эпиконтинентальным рифтогенезом на Печорской плите на рубеже среднего и позднего девона (Тимонин и др., 2004; Пучков, 2010). Палеодепрессия изолировала Пай-Хойскую карбонатную платформу от Печорской карбонатной платформы, для которой характерны ассоциации органогенных построек с терригенными отложениями, что в значительной степени было обусловлено прибрежным характером фаций (рис. 4).

Установленный в частных разрезах тип изолированной карбонатной платформы на Пай-Хое, вероятно, являлся одним из звеньев в цепочке целого ряда карбонатных платформ (Журавлев, 2012а; Мизенс и др. 2014; Груздев, 2017), протягивающихся вдоль внешнего края шельфа, ограниченных относительно глубоководными впадинами от внутреннего шельфа, аналогичных сформировавшейся в это же время камско-кинельской системе прогибов.

В ранневизейское время из-за значительного падения уровня моря и возможной активизации поднятия края шельфа произошел размыв отложений на глубину до 200 м. Следы предпоздневизейского субаэрального перерыва в кровле лымбадъяхинской свиты на северо-западном Пай-Хое проявлены в виде окремнения карбонатов и значительного облегчения в них изотопного состава углерода (рис. 5). Низкое содержание органического вещества в породах верхней части лымбадъяхинской свиты позволяет связать это облегчение изотопного состава углерода с древними гипергенными процессами, обусловленными ранневизейской субаэральной экспозицией, а не с миграцией органического вещества.

Переотложение продуктов размыва привело к частичному заполнению палеовпадины и вероятному прекращению в раннем визе существования изолированной карбонатной платформы. Палеовпадина, скорее всего, превратилась в серию остаточных депрессий, следы которых отмечаются в западных разрезах Центрального Пай-Хоя (Журавлев, 2012б).

Начало осадконакопления на рассматриваемой территории приурочено к поздневизейскому времени, когда бассейн стал последовательно заполняться сначала карбонатными, а затем глинисто-карбонатными осадками. На протяжении позднего визе и значительной части серпухова осадконакопление происходило в условиях карбонатной платформы с низким поступлением терригенного и глинистого материала. В это время в условиях волнового воздействия на дне накапливались мелководные биокластовые известняки. Локально существовали коралловые биостромы и брахиоподовые банки, вне построек преобладала седиментация биокластового и пелитоморфного карбонатного осадка.

В позднем серпухове (позднеболванское время) на рассматриваемой территории происходит интенсификация терригенного стока, которая маркируется появлением пачки известковых аргиллитов в верхней части болванской свиты. Этот этап развития бассейна знаменуется сравнительно быстрым падением относительного уровня моря и привносом аллохтонной примеси, отсутствием пелагических и сокращением бентосных организмов. Аналогичные колебания уровня моря в позднем серпухове, отмеченые в работе (Haq, Schutter, 2008), вполне сопоставимы с данным регрессивным эпизодом.

На рубеже среднего и верхнего карбона произошло очередное изменение седиментационной ситуации. В среднем карбоне на периферии карбонатной платформы росли рифогенные массивы, ныне выведенные на дневную поверхность (риф Чайка).

Вариации относительного уровня моря, вероятно, приводили к периодическому затуханию роста органогенных построек и их миграции, возникали обширные площади накопления песчаного кар-

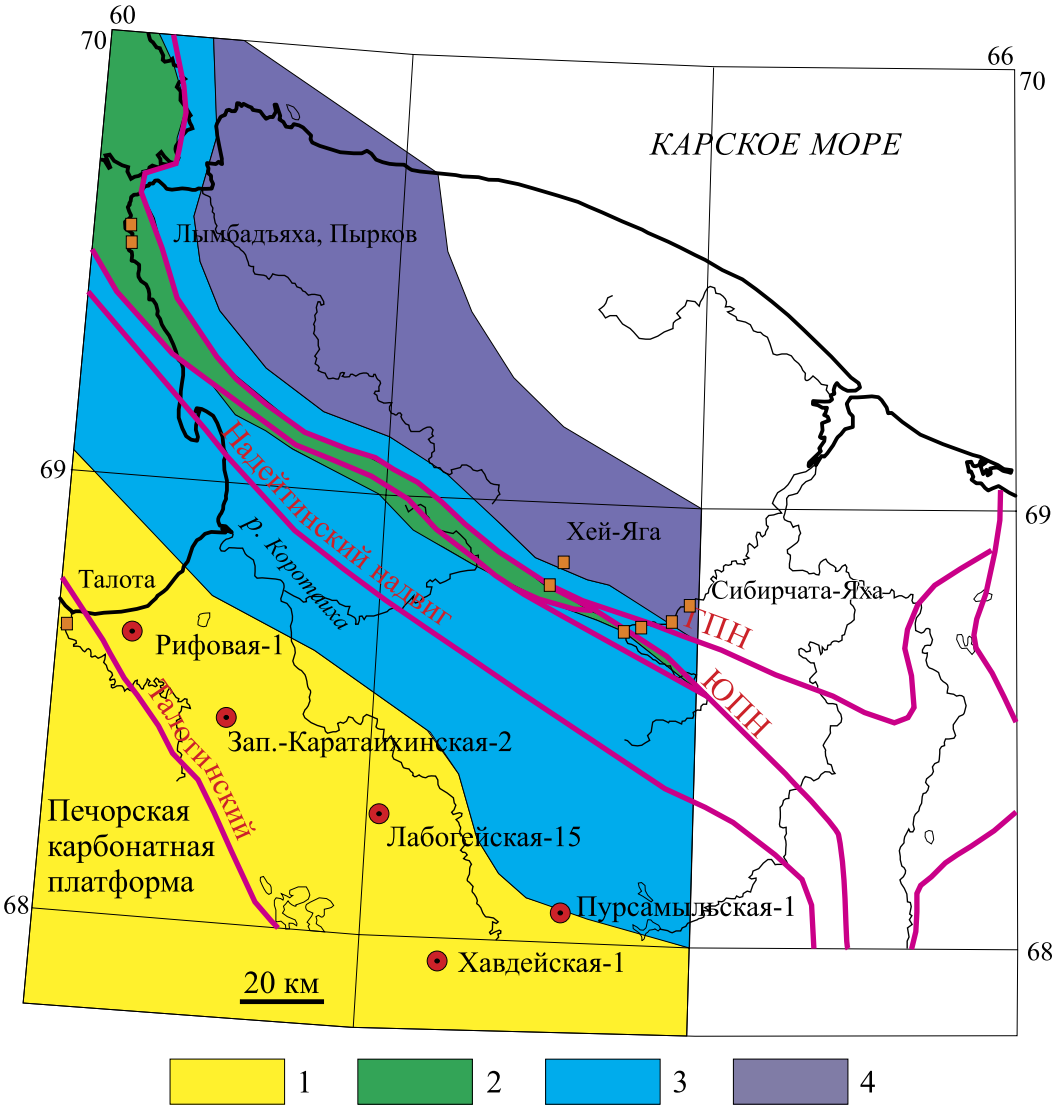

Рис. 4. Схематическая карта типов разреза верхнего девона–нижнего карбона (фамена–турне).

1 – мелководно–карбонатный, 2 – отмельный карбонатный (изолированная платформа), 3 – склоновый глинисто–карбонатный, 4 – глубоководный кремнисто-глинистый и глинисто-карбонатный.

Fig. 4. Sketch map of the types of sequences of the Upper Devonian–Lower Carboniferous (Famennian–Tournaisian).

1 – shallow-water carbonates, 2 – shoal carbonates (isolated carbonate platform), 3 – slope clayey and carbonate deposits, 4 – deep-water siliceous-clayey and clayey-carbonate deposits.

бонатного материала, обогащенного форменными элементами бентоса и планктона.

Таким образом, для средне-позднекаменноугольного этапа характерен ряд особенностей: практическое отсутствие в разрезах оолитов, ограниченное развитие коралловых биостромов (в верхах болванской свиты) и последующее формирование мшанково-брахиоподовых биогермов и их производных. Эти особенности, возможно, являются следствием смены температурного режима в условиях периферийно-крутого рампа в среднем-позднем карбоне (Жемчугова, 2014). Можно предположить, что в это время шло накопление относительно прохладноводных карбонатов.

Для сводных разрезов Пай-Хойского карбонатного паравтохтона, Вашуткино-Талотинской зоны надвигов (разрез на р. Талота и скв. 1-Рифовая) и юго-запада Коротаихинской впадины (скв. 1-Хавдейская) построены кривые погружения для позднедевонско-раннекаменноугольного интервала (рис. 6). Они позволяют реконструировать формирование в позднем фране–турне поднятия края шельфа, на котором погружение субстрата отставало от такового на западном и юго-западном бортах Коротаи-

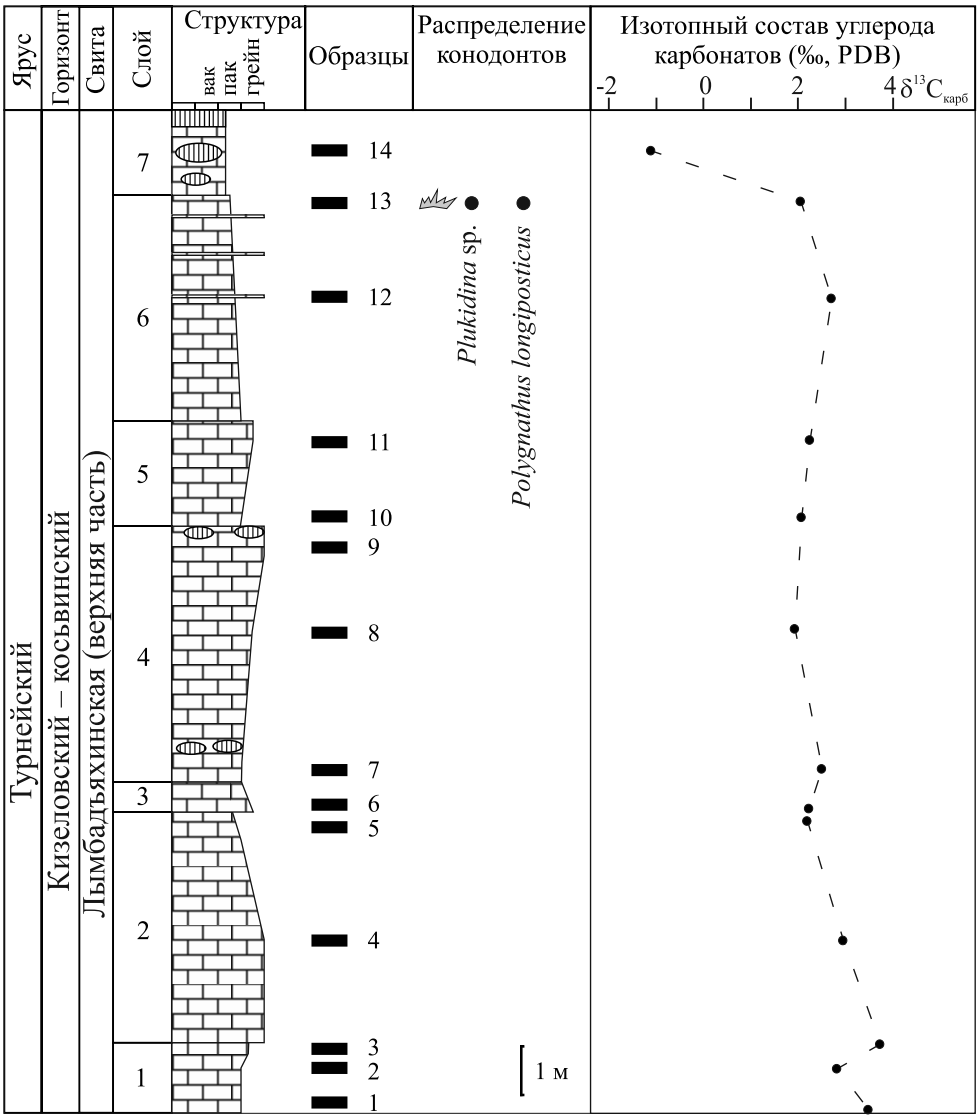

Рис. 5. Разрез верхней части лымбадъяхинской свиты на мысе Пырков.

Fig. 5. Log of the upper part of the Lymbadyakha Fm., Cape of Pyrkov.

хинской впадины (см. рис. 6). Амплитуда отставания может быть оценена в 150–400 м. После ранневизейского перерыва скорость погружения края шельфа возросла и сравнялась с погружением на западном и юго-западном бортах Коротаихинской впадины, а в среднем карбоне скорость погружения во всем регионе резко замедлилась (см. рис. 6). Предполагается, что именно наблюдаемое отставание в погружении края шельфа от восточной части Печорской плиты привело к образованию в позднем фране–раннем фамене поднятия, на котором сформировалась изолированная карбонатная платформа. Позднефанско-раннефаменское время заложения изолированной карбонатной платформы подтверждается и литологическими данными. В разрезе лымбадъяхинской и нижней части болванской свиты наблюдаются исключительно карбонатные отложения, практически не содержащие примеси глинистых минералов и обломочных зерен терригенного происхождения. Это рассматривается как косвенное свидетельство существования относительно глубоководной впадины (депрессии) на шельфе, служившей ловушкой для терригенного материала. В современном структурном плане этой впадине, вероятно, отвечает центральная и восточная часть Коротаихинской впадины (см. рис. 4).

Позднетурнейские отложения внутреннего (обращенного к впадине) склона отмели известны на р. Сибирчата-Яха (тип разреза 1 по (Журавлев, 2012б)), так же как и их отмельные стратиграфические аналоги (тип разреза 2 по (Журав-

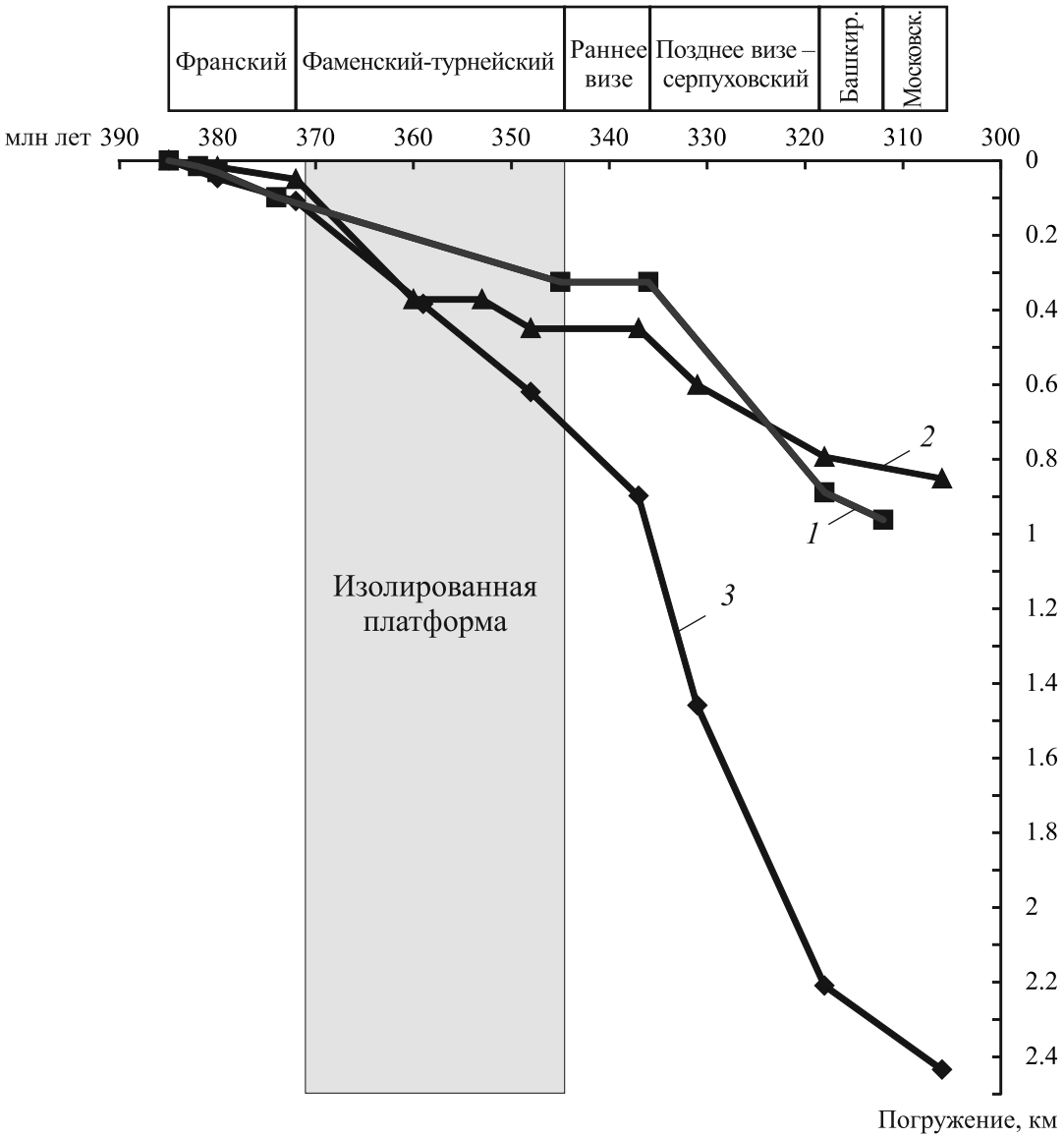

Рис. 6. Кривые погружения для разрезов Пай-Хойского карбонатного паравтохтона (график *1*), Вашуткино-Талотинской зоны надвигов (р. Талота) (график *2*) и юга Коротаихинской впадины (скв. Хавдейская-1) (график *3*).

Расположение разрезов и скважин см. на рис. 4.

Fig. 6. Subsidence curves for the secquences of Pai-Khoi carbonate parautochthone (curve *1*), Vashutkino-Talota thrust zone (Talota River section) (curve *2*), and south part of Korotaikha depression (Khavdeiskaya-1 borehole) (curve *3*).

Localities are shown in Fig. 4.

лев, 2012б)). Фаменско-турнейские отложения внутреннего склона отмели отмечены также в разрезе на р. Бельковская (устное сообщение Т.Б. Волченковой). В конце турнейского–начале визейского века изменилась и морфология впадины. Внутренний склон впадины, вероятно, стал более пологим относительно предшествующего позднедевонского этапа ее формирования, за счет формирования обширных карбонатных конусов выноса (Варламов и др., 2012).

Ранневизейский размыв как карбонатной платформы Печорской плиты, так и изолированной карбонатной платформы привел к заполнению осадками Коротаихинской депрессии и выравниванию рельефа. Начиная с позднего визе район карбонатного паравтохтона начинает развиваться как край единой Печорской карбонатной платформы.

Времени существования Коротаихинской палеодепрессии отвечает стратиграфический интервал, заключенный между отражающими горизон-

тами IIId и IIv (см. рис. 2). На весьма условной геологической интерпретации сейсмопрофиля 15РС (Прищепа и др., 2008, 2012) отмечается сокращение мощности осадочного комплекса между этими отражающими горизонтами в центральной части Коротаихинской впадины, что может расцениваться как косвенное подтверждение существования некомпенсированной палеодепрессии. Более детальная и корректная сейсмо-геологическая модель (Варламов и др., 2012) подтверждает эти выводы для турнейского века и позволяет локализовать положение палеодепрессии в центральной и северо-восточной части современной Коротаихинской впадины.

ТЕРМАЛЬНЫЙ КАТАГЕНЕЗ

Стратиграфическая динамика индексов окраски конодонтов (ИОК) в разрезах карбонатного паравтохтона и рассчитанных по ним температур катагенеза (см. рис. 2) показывает погружение кровли хойпонганасейской свиты минимум на 1 км, а пырковской толщи – более чем на 1.5 км при высоком палеогеотермальном градиенте около 160 град/км (Журавлев, 2017). При этом среднепалеозойские карбонаты характеризуются градациями катагенеза МК4-АК3 (Клименко, 2008; Журавлев, 2017). Палеогеотермальный градиент, реконструированный для среднего палеозоя Пай-Хойского карбонатного паравтохтона, в разы превышает таковой для большинства районов севера Печорской плиты. Так, по индексам окраски конодонтов для скв. Оленья-10 (северо-восток Хорейверской впадины) в интервале глубин 2568–3996 м реконструирован градиент около 30 град/км, а для скважин Падимейской площади (Воркутинское поперечное поднятие) в интервале глубин 1549–3791 м – от 50 до 70 град/км. Высокий палеогеотермальный градиент в пределах Пай-Хойского карбонатного паравтохтона, вероятно, связан с тектонической активностью края плиты в позднекаменноугольно-мезозойское время (см. также (Юдин, 1994; Тимонин и др., 2004; Zhuravlev, Iosifidi, 2012)).

ПОРИСТОСТЬ ОТЛОЖЕНИЙ

Наблюдаемое последовательное снижение общей и открытой пористости вниз по разрезу (см. рис. 2), вероятно, отражает возрастание степени уплотнения и перекристаллизации карбонатов. В нижней части разреза (лымбадъяхинская свита и пырковская толща) средняя открытая межформенная пористость снижается до крайне низких значений 0.1–0.4% (общая пористость 3.7–9.8%). Низкая межформенная пористость сочетается с отсутствием открытой трещиноватости, практически все трещины заполнены кристаллическим кальцитом (Журавлев, 2017). Почти полное отсутствие пустотного пространства в карбонатах подтверждается и измерениями плотности пород. Для всех рассматриваемых стратонов средняя плотность находится в диапазоне 2.64–2.71 г/см^3 (см. рис. 2), что близко к плотности кристаллического кальцита (2.71 г/см^3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фаменско-турнейский карбонатный комплекс Пай-Хойского паравтохтона сформировался в условиях изолированной карбонатной платформы, а визейско-позднекаменноугольные отложения накапливались в условиях внешнего края рампы. Специфика седиментационной ситуации отразилась как на биоразнообразии, так и на морфогенетическом типе органогенных сооружений. Характерной особенностью позднефранско-турнейского интервала являлся обедненный состав бентосной фауны, примитивные (монотаксонные) банки и небольшие строматопорово-водорослевые постройки. В поздневизейско-позднекаменноугольное время характерно развитие брахиоподово-коралловых банок, коралловых биостромов и брахиоподово-мшанковых органогенных построек.

Карбонатный верхний девон–средний карбон Пай-Хойского паравтохтона характеризуется крайне низкой открытой межформенной пористостью (менее 10%) и высокой степенью термальной переработки пород (до градаций МК4–АК3). В сочетании с высокой степенью дислоцированности (изоклинальная складчатость и разрывные нарушения) эти характеристики существенно снижают перспективы нефтегазоносности данных отложений. Существующие оптимистичные оценки прогнозных ресурсов северо-восточного борта Коротаихинской впадины требуют серьезных корректировок.

Благодарности

Авторы выражают благодарность рецензенту за конструктивные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимов В.В. (2013) Проблемы оценки и освоения углеводородного потенциала недр Коротаихинской впадины. *Вести газовой науки. Науч.-техн. сб.*, **5** (16), 148-152.

Барсков И.С., Кононова Л.И. (1983) О конодонтах каменноугольных отложений мыса Чайка (Юго-Западный Пай-Хой). *Изв. АН СССР. Геол.*, **270**(5), 1163-1167.

Белонин М.Д., Прищепа О.М. (2005) Основные положения Программы комплексного освоения ресурсов углеводородного сырья Северо-Западного региона России до 2020 года. СПб.: ВНИГРИ, 116 с.

Варламов А.И., Фортунатова Н.К., Мушин И.А., Швец-Тэнэта-Гурий А.Г., Гумаров Р.К., Баранова А.В.

(2012) Строение и перспективы нефтегазоносности турнейских карбонатных клиноформных комплексов Коротаихинской впадины. *Геология нефти и газа*, **2**, 14-24.

Груздев Д.А. (2017) Позднедевонская-раннекаменноугольная изолированная карбонатная платформа на Приполярном Урале (р. Бол. Надота). *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, **4** (268), 16-23.

Дмитриева Т.В., Еременко Н.М., Сокиран Е.В. (2014) Литофациальные и стратиграфические особенности доманиково-турнейского нефтегазоносного комплекса краевых мегапрогибов Тимано-Печорской плиты. *Разведка и охрана недр*, **10**, 27-30.

Дмитриева Т.В., Журавлев А.В., Николаев А.И., Еременко Н.М. (2011) Фациально-стратиграфическая модель девонско-каменноугольных отложений Коротаихинской впадины ТПП. *Разведка и охрана недр*, **4**, 22-27.

Жемчугова В.А. (2014) Резервуарная седиментология карбонатных отложений. М.: ЕАГЕ Геомодель. 232 с.

Журавлев А.В. (2012а) Седиментационная модель области сочленения Елецкой и Лемвинской формационных зон Приполярного Урала в пограничном девонско-каменноугольном интервале. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. Т. 7, **4**, http://www.ngtp.ru/rub/2/59_2012.pdf

Журавлев А.В. (2012б) Условия формирования раннекаменноугольных отложений Центрального Пай-Хоя. Ленинградская школа литологии. *Материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина.* СПб.: СПбГУ, Т. 1, 182-184.

Журавлев А.В. (2016) Строение и условия формирования франских отложений северо-западного Пай-Хоя. *Нефтегазовая геология. Теория и практика,* Т. 11, **4**, http://www.ngtp.ru/rub/2/38_2016.pdf, DOI: https://doi.org/10.17353/2070-537938_2016

Журавлев А.В. (2017) Оценка степени термального катагенеза палеозойских отложений севера Пай-Хойского паравтохтона по индексам окраски конодонтов. *Литосфера*, **1**, 44-52.

Журавлев А.В., Вевель Я.А. (2017) Среднекаменно-угольная граница на севере Пай-Хоя – корреляция мелководных и глубоководных разрезов. *Ученые зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки,* Т. 159, кн. 1, 152-163.

Журавлев А.В., Вевель Я.А., Груздев Д.А. (2017) Характеристика порового пространства в породах верхнедевонско-каменноугольного карбонатного комплекса Пай-Хойского паравтохтона. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, Т. 12, 2 http://www.ngtp.ru/rub/2/17_2017.pdf, DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2017

Журавлев А.В., Вевель Я.А., Груздев Д.А. (2018) Местная стратиграфическая схема верхнего девона и карбона севера Пай-Хоя. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, т. 13. 2. http://www.ngtp.ru/rub/2/19_2018.pdf, DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/19_2018. 21 с.

Журавлев А.В., Вевель Я.А., Иосифиди А.Г., Томша В.А., Чермных В.А. (2011) Разрез верхнего девона - нижнего карбона на мысе Костяном (о. Вайгач). *Нефтегазовая геология. Теория и практика,* т. 6.**1**, http://www.ngtp.ru/rub/2/6

Журавлев А.В., Герасимова А.И., Вевель Я.А. (2015) Местная стратиграфическая схема верхнедевонско-среднекаменноугольного интервала севера Пайхойского карбонатного паравтохтона. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, **4**, 8-13.

Клименко С.С. (2008) Катагенез органического вещества осадочных толщ Коротаихинской впадины в аспекте перспектив нефтегазоносности. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*, **9** (165), 28-32.

Крылова А.К. (1940) К стратиграфии среднего и верхнего палеозоя юг-западного Пай-Хоя. *Зап. ВМО*, ч. 69, сер. 2, вып. 2-3, 418-427.

Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Сапурин С.А. (2014) Геохимические особенности известняков и условия осадконакопления на изолированной карбонатной платформе в позднем девоне и начале карбона на восточной окраине Урала. *Литосфера,* **6**, 53-76.

Михайлова З.П., Калашников Н.В. (1996) Палеонтологическая характеристика московского и касимовского ярусов мыса Чайка (Пай-Хой). *Сыктывкарский палеонтологический сборник.* Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, вып. 1, 70-79.

Прищепа О.М., Житников В.А., Орлова Л.А., Чумакова О.В. (2012) Коротаихинская впадина – новое направление наращивания сырьевой базы нефти и газа в Тимано-Печорской провинции. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, (5), 4-13.

Прищепа О.М., Орлова Л.А., Чумакова О.В. (2008) Направления геологоразведочных работ на нефть и газ в северо-восточной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, Т. 3, **3**. http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2008.pdf

Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.

Романов А.А., Журавлев А.В. (2017) Взаимоотношения карбонатного паравтохтона и сланцевого аллохтона Пай-Хоя (Югорский полуостров). *Вестн. Института геологии Коми НЦ УрО РАН,* **1** (265), 22-28. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-1-22-28

Соловьева М.Н. (1984) Нижняя граница верхнего карбона по фауне фораминифер Югорского полуострова. *Верхний карбон СССР.* М.: Наука, 121-155.

Степанов Д.Л., Султанаев А.А., Гроздилова Л.П., Дегтярев Д.Д., Кручинина О.Н., Лапина Н.Н., Муромцева В.А., Николаев А.И., Попов А.В., Симакова М.А., Ткачева И.Д. (1977) Новое о среднем карбоне Юго-Западного Пай-Хоя. *Вестн. ЛГУ,* **24**, 25-32.

Ступакова А.В., Санникова И.А., Гильмуллина А.А., Большакова М.А., Бордунов С.И., Митронов Д.В., Мордасова А.В. (2017) Перспективы нефтегазоносности Коротаихинской впадины Тимано-Печорского бассейна. *Георесурсы. Спецвыпуск*, ч. 1, 88-101. DOI: http://doi.org/10.18599/grs.19.10

Тимонин Н.И. (2006) Геологическое строение северо-западной части Пай-Хоя. *Проблемы геологии и минералогии* (Ред. А.М. Пыстин). Сыктывкар: Геопринт, 117-127.

Тимонин Н.И., Юдин В.В., Беляев А.А. (2004) Палеогеодинамика Пай-Хоя. Екатеринбург: УрО РАН, 223 с.

Чумаков И.С., Зархидзе Д.В., Алексеева Н.А., Витковский И.В., Герасимова А.И., Журавлев А.В., Рома-

нов А.А. (2014) Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточного борта Каратаихинской впадины. *Проблемы воспроизводства запасов нефти и газа в современных условиях. Сборник докладов конференции, посвященной 85-летию ВНИГРИ.* СПб.: ФГУП ВНИГРИ, 1-10.

Шишкин М.А., Шкарубо С.И., Молчанова Е.В., Маркина Н.В., Молчанова Е.В., Ванштейн Б.Г., Зинченко А.Г., Зуйкова О.Н., Калаус С.В., Козлов С.А., Костин Д.А., Котляр Г.В., Парамонова М.С., Певзнер В.С., Попов М.Я., Пухонто С.К., Савенкова Г.Б., Солонина С.Ф., Чудакова Д.В., Шипилов Э.В., Яковлева Т.В. (2012) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Южно-Карская. Лист R-41 – Амдерма. Объяснительная записка. СПб.: Картографич. фабрика ВСЕГЕИ, 383 с.

Юдин В.В. (1994) Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ Наука, 285 с.

Cardozo N. BackStrip, v.4.7, 2019 http://www.ux.uis.no/~nestor/work/programs.html

Curtis M.L., Lopez-Mir B., Scott R.A., Howard J.P. Early (2017) Mesozoic sinistral transpression along the Pai-Khoi–Novaya Zemlya fold–thrust belt, Russia. *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, **460**, 355-370. DOI:10.1144/SP460.2

Haq B.U., Schutter S.R. (2008) A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. *Science*, **322**(5898), 64-68. DOI: 10.1126/science.1161648

REFERENCES

Akimov V.V. (2013) Problems of evaluation and exploration of the petroleum potential of the Korotaikha depression. *Vesti Gazovoi Nauki*, **5** (16), 148-152. (In Russian)

Barskov I.S., Kononova L.I. (1983) About conodonts of the Carboniferous deposits of cape of Tchaika (South-Western Pai-Khoi). *Isv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.*, **270**(5), 1163-1167. (In Russian)

Belonin M.D., Prischepa O.M. *Osnovnye pologeniya Programmy kompleksnogo osvoeniya resursov uglevodorodnogo syr'ya Severo-Zapadnogo regiona Rossii do 2020 goda*. [Main positions of the Program for the integrated development of hydrocarbon resources in the north-western region of Russia until 2020]. SPb. VNIGRI 2005. 116 p. (In Russian)

Cardozo N. BackStrip, v.4.7, 2019 http://www.ux.uis.no/~nestor/work/programs.html

Chumakov I.S., Zarkhidze D.V., Alekseeva N.A., Vitkovsklii I.V., Gerasimova A.I., Zhuravlev A.V., Romanov A.A. (2014) Geological composition and perspectives of oil and gas bearing of eastern slope of Karataikha depression. *Problemy vosproizvodstva zapasov nefti i gaza v sovremennykh usloviyakh. Sbornik dokladov konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu VNIGRI* [Problems of reproduction of oil and gas reserves in modern conditions. Collection of reports of the conference dedicated to the 85th anniversary of VNIGRI]. St.Petersburg, FGUP VNIGRI, 1-10, (In Russian)

Curtis M.L., Lopez-Mir B., Scott R.A., Howard J.P. Early (2017) Mesozoic sinistral transpression along the Pai-Khoi–Novaya Zemlya fold–thrust belt, Russia. Geol. Soc., London, Spec. Publ. **460**, 355-370. DOI:10.1144/SP460.2

Dmitrieva T.V., Eremenko N.M., Sokiran E.V. (2014) Lithofacies and stratigraphy features of Domanik-Tournaisian oil and gas bearing section of foredeep of the Timan-Pechora plate. *Razvedka i Okhrana Nedr,* (10), 27-30. (In Russian)

Dmitrieva T.V., Zhuravlev A.V., Nikolaev A.I., Eremenko N.M. (2011) Facial-stratigraphic model of the Devonian-Carboniferous of Korotaihinskaya depression, Timan-Pechora province. *Razvedka i Okhrana Nedr,* (4), 22-27. (In Russian)

Gruzdev D.A. (2017) The Late Devonian-Early Carboniferous isolated carbonate platform in the Subpolar Urals (Bol'shaya Nadota River). *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **4** (268), 16-23. (In Russian)

Haq B.U., Schutter S.R. (2008) A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes. *Science*. **322**(5898), 64-68. doi 10.1126/science.1161648

Klimenko S.S. (2008) Organic matter catagenesis of the sedimentary units of Korotaikha depression in respect of petroleum perspectives. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **9**, 28-32. (In Russian)

Krylova A.K. (1940) About stratigraphy of the middle and upper Paleozoic of the South-Western Pai-Khoi. *Zap. VMO,* P. 69, 2-nd series, **2-3**, 418-427. (In Russian)

Mikhailova Z.P., Kalashnikov N.V. (1996) Paleontological characteristic of Moskovian and Kasimovian stages of Cape Tchaika. *Syktyvkar. Paleontol. Sbornik*, 1, 70-79. (In Russian)

Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A., Sapurin S.A. (2014) Geochemical features of limestones and depositional environment on the isolated carbonate platform on the eastern Urals margin during Late Devonian and Early Carboniferous. *Litosfera*, **6**. 53-76. (In Russian)

Prischepa O.M., Orlova L.A., Chumakova O.V. (2008) Directions of exploration for oil and gas in the north-eastern part of the Timan-Pechora petroleum province. *Neftegazovaya geologia. Teoria i practika*. T. 3, http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2008.pdf (In Russian)

Prischepa O.M., Zhitnikov V.A., Orlova L.A., Chumakova O.V. (2012) Korotaikha depression as a new area for generation of oil and gas resource base in Timan-Pechora province. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanych i gazovykh mestorozhdenii*, **5**, 4-13. (In Russian)

Romanov A.A., Zhuravlev A.V. (2017) The relationship of shale allochthone and carbonate parautochthone of Pay-Khoy (Ugra Peninsula). *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN*, **1**(265), 22-28. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-1-22-28. (In Russian)

Shishkin M.A., Shkarubo S.I., Molchanova E.V., Markina N.V. et al. (2012) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii* [State geological map of Russian Federation]). Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Yuzhno-Karskaya series. R-41, Amderma, Descriptive note. St.Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 383 p. (In Russian)

Solov'eva N.M. (1984) Lower boundary of the Upper Carboniferous based on foraminifera fauna of Yugor Peninsula. *Verkhnii karbon SSSR* [Upper Carboniferous of USSR]. Moscow, Nedra Publ., 121-155. (In Russian)

Stepanov D.L., Sultanaev A.A., Grozdilova L.P., Degtyarev D.D., Kruchinina O.N., Lapina N.N., Muromtseva V.A., Nikolaev A.I., Popov A.V., Simakova M.A., Tkachev I.D. (1977) New on Middle Carboniferous of

South-Western Pai-Khoi. *Vestn. LGN*, **24**, 25-32. (In Russian)

Stupakova A.V., Sannikova I.A., Gil'mullina A.A., Bolshakova M.A., Bordunov S.I., Mitronov D.V., Mordasova A.V. (2017) Oil and gas potential of the Korotaikha Depression in the Timan-Pechora basin. *Georesursy. Spets vypusk* [Georesources. Special issue]. Pt 1, 88-101. (In Russian)

Timonin N.I. (2006) Geological structure of the north-western part of the Pay-Khoy. *Problemy geologii i mineralogii* [Problems of Geology and Mineralogy] (Ed. A.M. Pystin) Syktyvkar, Geoprint Publ., 117-127. (In Russian)

Varlamov A.I., Fortunatova N.K., Mushin I.A., Shvets-Teneta-Gurii A.G., Gumarov R.K., Baranova A.V. (2012) Structure and oil and gas potential prospects of Tournaisian clinoform complexes of Korotaikha depression. *Geologiya Nefti i Gaza*, **2**, 14-24. (In Russian)

Yudin V.V. (1994) *Orogenez severa Urala i Pai-Khoya* [Orogenesis of Northern Urals and Pay-Khoy]. Ekaterinburg, Nauka Publ., 285 p. (In Russian)

Zhemchugova V.A. (2014) *Rezervuarnaya sedimentologiya karbonatnykh otlozhenii* [Reservoir sedimentology of carbonate deposits]. Moscow, EAGE Geomodel Publ., 232 p. (In Russian)

Zhuravlev A.V. (2012б) Formation conditions of Early Carboniferous deposits of Central Pay-Khoy. *Leningradskaya shkola litologii. Materialy Vserossiiskogo litologicheskogo soveshchaniya_ posvyashchennogo 100_letiyu so dnya rozhdeniya L.B. Rukhina,* [Leningrad school of Lithology. Matherials of All-Russian Conf. dedicated to 100-anniversary L.B. Rukhin]. T. 1. St.Petersburg. SPb State Univ. Publ., 182-184. (In Russian)

Zhuravlev A.V. (2012a) Sedimentation model of the transitional zone from the Elets to Lemva Formation Belts (Devonian-Carboniferous boundary, Cis-Polar Ural) *Neftegazovaya geologiya. Teoria i praktika*, **7**(4), http://www.ngtp.ru/rub/2/59_2012.pdf (In Russian)

Zhuravlev A.V. (2016) Structure and Formation conditions of Frasnian section, northwest Pay-Khoy. *Neftegazovaya geologya. Teoriya i praktika,* T.11, **4**. http://www.ngtp.ru/rub/2/38_2016.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-537938_2016 (In Russian)

Zhuravlev A.V. (2017) Estimation of Palaeozoic sediments thermal maturity of Northern Pay-Khoy parautochthone on the basis of conodont colour alteration indexes. *Litosfera*, (1), 44-52. (In Russian)

Zhuravlev A.V., Gerasimova A.I., Vevel' Ya.A. (2015) Local stratigraphical map of Upper Devonian-Middle Carboniferous interval of Northern Pay-Khoy carbonate parautochthone. *Vestn. IG Komi NTs UrO RAN,* **4**, 8-13. (In Russian)

Zhuravlev A.V., Vevel' Ya.A. (2017) The Middle Carboniferous boundary in the north of Pay-Khoy – correlation between the shallow- and deep-water sequences. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Ser. Estestvennye Nauki,* Vol. 159, 1, 152-163. (In Russian)

Zhuravlev A.V., Vevel' Ya.A., Gruzdev D.A. (2017) Characteristic of the pore space in the upper Devonian-Carboniferous carbonate section of the Pai-Khoy parautochthone unit. *Neftegazovaya geologya. Teorya i praktika*. T.12, **2**. http://www.ngtp.ru/rub/2/17_2017.pdf. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/17_2017 (In Russian)

Zhuravlev A.V., Vevel' Ya.A., Gruzdev D.A. (2018) Local stratigraphic scheme of the Upper Devonian and Carboniferous of the north of Pai-Khoi. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika,* т. 13. 2. http://www.ngtp.ru/rub/2/19_2018.pdf, DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/19_2018. 21 с. (In Russian)

Zhuravlev A.V., Vevel' Ya.A., Iosifidi A.G., Tomsha V.A., Chermnykh V.A. (2011) Upper Devonian – Lower Carboniferous succession, Kostyanoy Cape, Vaygach Island. *Neftegazovaya geologya. Teoriya i praktika*, T.6, **1**, http://www.ngtp.ru/rub/2/6_