

УДК 551.763.12, 551.763.13

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРАТИГРАФИИ И ГЛЕНДОНИТАХ СВИТЫ КАРОЛИНЕФЬЕЛЛЕТ (СРЕДНИЙ АПТ–НИЖНИЙ АЛЬБ, НИЖНИЙ МЕЛ) ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

© 2021 г. К. Ю. Михайлова^{1, *}, М. А. Рогов², В. Б. Ершова^{1, 2},
К. Ю. Васильева¹, Б. Г. Покровский², Е. Ю. Барабошкин^{2, 3}

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

²Геологический институт РАН, Москва, Россия

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Геологический факультет, Москва, Россия

*e-mail: mikhailova.ky@gmail.com

Поступила в редакцию 05.04.2020 г.

После доработки 20.05.2020 г.

Принята к публикации 28.05.2020 г.

Биостратиграфически аптский ярус в настоящее время является одним из наименее изученных ярусов мела на Шпицбергене, а данные о распределении окаменелостей в апте и альбе окрестностей города Лонгйир в публикациях отсутствовали. В настоящей работе впервые приведены результаты биостратиграфического изучения свиты Каролинефельлет в этом районе, по аммонитам обосновано выделение слоев с *Tropaneum arcticum* (средний апт) и слоев с *Grantziceras* (нижний альб). Это позволило уточнить возраст свиты и впервые обосновать присутствие здесь нижнеальбских отложений. Изучены глендониты, встреченные в свите Каролинефельлет. Представлены результаты оптических и изотопных исследований пяти образцов глендонитов, отобранных из среднеаптской части разреза. Глендониты состоят из трех генераций, маркирующих основные этапы формирования глендонита: первая представляет собой кальцит, замещающий исходный икаит; вторая и третья генерации – это цемент, который заполняет пустоты и частично корродирует кальцит первой генерации после седиментации. Для валовых проб глендонитов был определен изотопный состав кислорода и углерода. Изотопный состав кислорода в глендонитах значительно отличается от морского, являясь индикатором привноса диагенетических флюидов; изотопный состав углерода формировался при разложении органического вещества и анаэробном окислении метана. Благодаря находкам аммонитов удалось уточнить стратиграфические интервалы распространения глендонитов в свите Каролинефельлет и время проявления соответствующих им эпизодов похолодания климата, а также впервые для рассматриваемого района доказать раннеальбский возраст глендонитов из верхней части данной свиты.

Ключевые слова: аммониты, глендониты, Шпицберген, стратиграфия, стабильные изотопы, нижний мел

DOI: 10.31857/S0869592X21010269

ВВЕДЕНИЕ

Аптские отложения архипелага Шпицберген, по сравнению с другими ярусами нижнего мела, слабо изучены с точки зрения биостратиграфии. Для данного стратиграфического интервала имеются лишь отрывочные сведения о распространении двустворок, аммонитов и диноцист. Представления о возможном расчленении апта Шпицбергена по аммонитам основываются главным образом на результатах изучения разреза мыса Фестнингген, опубликованных более 80 лет назад (Hoel, Orvin, 1937), тогда как в дальнейшем данных о распределении аммонитов в каком-либо разрезе не было опубликовано. В настоящее вре-

мя в среднем апте Шпицбергена по аммонитам выделяется единственная “зона” *Tropaneum arcticum*, включенная (Барабошкин, 2004; Барабошкин, Гужиков, 2018) в Бореальный зональный стандарт. С учетом того, что эта зона подстилается и перекрывается мощными толщами, не охарактеризованными находками аммонитов, правильнее называть это стратиграфическое подразделение “слоями с *T. arcticum*” (Ершова, 1983). При этом стратиграфическое распространение вида-индекса этих слоев, а также других встреченных здесь таксонов пока недостаточно ясно.

Альбский ярус на Шпицбергене изучен существенно лучше аптского. Благодаря многочисленным находкам аммонитов, для альбских отло-

жений этого региона были разработаны достаточно детальные зональные шкалы (Nagy, 1970; Ершова, 1983). В то же время присутствие альба было надежно установлено только для более южных районов Шпицбергена, тогда как единственным свидетельством возможного присутствия альбского яруса близ города Лонгйир были упоминания Л.Ф. Спэтом (Spath, 1921) неизображенных аммонитов с горы Брейноза, расположенной примерно в 15 км к юго-востоку от изученного разреза.

Глендониты — кальцитовые псевдоморфозы, которые часто используются в качестве индикатора низких придонных температур (Каплан, 1979; Kemper, Schmitz, 1981). Доказано, что первичным минералом, по которому образовались эти псевдоморфозы, является икаит — метастабильный гексагидрат карбоната кальция ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Каплан, 1979; Suess et al., 1982). В отличие от других карбонатов, стабильность икаита возрастает с понижением температуры; наиболее устойчивый икаит формируется при температурах 0–4°C (Bischhoff et al., 1993). Углерод, необходимый для построения кристаллов икаита, происходит из трех источников: неорганического растворенного углерода, разрушающегося органического вещества и окисляющегося в анаэробных условиях метана (Whiticar, Suess, 1998). Повышенные концентрации ионов магния, ортофосфатов, сульфатов и аминокислот в поровых или придонных водах могут также способствовать кристаллизации икаита (Whiticar, Suess, 1998), поскольку такие условия ингибируют осаждение негидратированных форм карбоната кальция — кальцита и арагонита. Экспериментальные данные свидетельствуют о широком разнообразии условий формирования икаита. В работе Ху и др. (Hu et al., 2014) показано, что повышение солености морских вод ускоряет рост кристаллов икаита, а предельные температуры роста в лабораторных условиях могут достигать 18°C (Purgstaller et al., 2017).

В нижнемеловых отложениях Шпицбергена находки глендонитов отмечались начиная с 1960-х годов (Пчелина, 1965а, 1965б, 1967, 1983; Nagy, 1970), при этом их присутствие нередко рассматривалось как характерный признак определенных пачек и свит. В последние годы нижнемеловые глендониты Шпицбергена привлекают большое внимание исследователей (Price, Nunn, 2010; Vickers et al., 2016, 2018, 2019). Предшественниками были описаны глендониты из верхнего готерива разреза Фестнинген, по этим образцам определен изотопный состав углерода и кислорода в валовых пробах кальцита глендонитов (Price, Nunn, 2010). Викерс и др. (Vickers et al., 2016, 2018, 2019) установили, что апт-альбские глендониты разрезов Фестнинген и Дорога на аэропорт (Airport Road) о. Западный Шпицберген были сформированы в условиях мелководного шельфа, на

глубинах до 100 м, ниже зоны действия штормовых волн. В настоящей работе приводятся новые данные об аптских и альбских глендонитах и стратиграфии свиты Каролинефьеллет, полученные в ходе изучения обнажения Дорога на аэропорт (Vickers et al., 2018), расположенного в окрестностях г. Лонгйир. Глендониты из этого обнажения ранее были изучены М. Викерс с коллегами (Vickers, 2017; Vickers et al., 2018, 2019), они же предложили расчленение наблюдаемого здесь разреза на пачки, принимаемое в настоящей работе. Некоторые палеонтологические и седиментологические данные по этому обнажению (Sverdruphamaren в (Birkenmajer, 1966); западная часть бухты Адвент в (Stolley, 1912; Frebold, 1930)) были опубликованы ранее, но сведения о положении уровней распространения глендонитов и аммонитов до сих пор не приводились.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

В окрестностях города Лонгйир широко распространены выходы апт-альбских отложений, несогласно перекрытых палеогеновыми толщами (Major, Nagy, 1972). Доаптские отложения в районе Лонгйир вскрываются только скважинами.

В позднем барреме и в начале раннего апта на территории современного о. Западный Шпицберген преобладали континентальные обстановки осадконакопления (Dallmann, 2015). Последующая трансгрессия моря в конце раннего апта—альбе привела к распространению на этой территории обстановок мелководного шельфа и накоплению терригенной свиты Каролинефьеллет (Vickers et al., 2018). В рассматриваемом районе свита представлена двумя пачками: нижней пачкой Далхьегла, сложенной главным образом песчаниками, и перекрывающей ее пачкой Иннхьегла, в составе которой преобладают аргиллиты и алевролиты, тогда как прослои песчаников сравнительно редки. В обеих пачках довольно часто встречаются аутигенные карбонатные образования различной морфологии: крупные каравановидные конкреции, небольшие шарообразные карбонатные конкреции (“cannon balls” или “cannon-ball”), вертикально ориентированные конкреции и кальцитовые псевдоморфозы (глендониты) (Vickers et al., 2018). Осадконакопление происходило преимущественно в условиях открытого морского шельфа (Vickers, 2017). В свите Каролинефьеллет окрестностей г. Лонгйир регулярно встречаются остатки аммонитов и двустворчатых моллюсков, но до настоящего времени отсюда были изображены лишь не привязанные к разрезу экземпляры (Lindström, 1865; Lundgren, 1883; Stolley, 1912; Frebold, 1930). При этом часть встреченных в данном стратиграфическом интервале форм была в первоначальных публикациях отнесена к аптским видам, а часть — ошибочно к валанжинским, готеривским или юрским. Ника-

кой информации о распределении находок макрофауны по разрезу до сих пор не было опубликовано.

В настоящей работе мы приводим предварительные данные о распространении аммонитов, важные как для датировки уровней с находками глендонитов, так и для уточнения стратиграфии апта и нижнего альба о. Западный Шпицберген.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для настоящей работы послужили 5 образцов нижнемеловых (аптских) глендонитов и коллекция аммонитов (20 экземпляров в основном удовлетворительной сохранности), собранных в свите Каролинефьеллет в окрестностях г. Лонгйир (архипелаг Шпицберген, о. Западный Шпицберген) М.А. Роговым и К.Ю. Михайловой в 2018–2019 гг. Было изучено несколько разрезов, расположенных на северном склоне горы Свердрупхамарен. С учетом фациальной изменчивости отдельных слоев, наиболее надежным репером служила граница пачек Далхьегла и Иннхьегла, к которой привязывали все находки, тогда как сопоставление конкретных слоев в соседних разрезах было практически невозможным.

Нами было выполнено петрографическое описание 5 шлифов на оптическом микроскопе Olympus BX-53 с катодолюминесцентной приставкой Mk5-2 (на базе кафедры региональной геологии Санкт-Петербургского государственного университета). Рабочие параметры приставки: вакуум 0.003 мбар, напряжение 324 кВ, ток 6–13 мкА.

Для уточнения условий формирования глендонитов были изучены изотопные составы углерода и кислорода ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) кальцита псевдоморфоз. Измерения проводили на масс-спектрометре Delta V Advanced в комплексе с элементным анализатором “ThermoFisher” и установкой Gas-Bench-II. Для анализа углерода и кислорода никакой предварительной обработки образцов не проводили. Значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ приводятся в промилле (‰) относительно стандарта V-PDB. Точность (воспроизводимость) определения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ находится в пределах $\pm 0.2\text{‰}$ (Зайцев, Покровский, 2014).

Изученная коллекция аммонитов хранится в Музее землеведения МГУ (г. Москва).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ОБНАЖЕНИЯ ДОРОГА НА АЭРОПОРТ

Несмотря на широкое распространение аптских и альбских отложений в окрестностях г. Лонгйир, их обнаженность преимущественно плохая. Исключением является изученная нами серия разрезов, расположенная вдоль дороги из аэропорта в г. Лонгйир и названная М. Викерс с соав-

торами (Vickers et al., 2018, 2019) “Airport Road”. Здесь на протяжении нескольких километров в обрывах вдоль дороги, а также в долинах ручьев, стекающих к морю с горы Свердрупхамарен, вскрываются песчаники, аргиллиты и алевролиты свиты Каролинефьеллет суммарной мощностью около 170 м (Vickers et al., 2018) (рис. 1). Слои залегают субгоризонтально, но местами они слабо дислоцированы, в разрезе видны как разрывные нарушения, смещающие слои на несколько метров по вертикали, так и небольшие складки. В разрезе, вскрытом вдоль дороги от города до аэропорта, на участке длиной около 4 км слои падают преимущественно на юго-запад, но ближе к аэропорту становятся практически горизонтальными. Пачки в разрезе выделяются уверенно, но большинство прослоев песчаников и конгломератов (особенно это характерно для пачки Далхьегла) имеет линзовидное строение. Линзовидными являются также конкреционные карбонатные прослои. Находки глендонитов внутри слоев тоже распределены неравномерно: они приурочены, как правило, к небольшим по протяженности участкам в пределах отдельных слоев. В верхней части пачки Иннхьегла, где прослои песчаников редки, присутствуют крупные линзовидные карбонатные конкреции. С учетом того, что отдельные интервалы разреза недоступны для наблюдения, возникают трудности при прослеживании слоев в разных обнажениях. В целом слои надежно могут быть сопоставлены друг с другом лишь на основании своего положения по отношению к границе пачек (рис. 2).

Находки моллюсков в разрезе распределены неравномерно. В нижней пачке Далхьегла они редки, но в вышележащей пачке Иннхьегла становятся многочисленными. Хотя единичные находки здесь встречаются в песчаниках, алевролитах и карбонатных конкрециях, скопления окаменелостей, как правило, приурочены к линзам гравелитов и конгломератов, залегающим в основании мощных прослоев песчаника. Насыщенные окаменелостями линзы хорошо опознаются в разрезе по присутствию многочисленных вышеложенных трубчатых раковин серпулид. Эти окаменелости настолько характерны для свиты Каролинефьеллет, что ранее данный стратиграфический интервал носил название “Ditrupe Schichten” — по роду серпулид *Ditrupe* (Stolley, 1912). По мнению А.П. Ипполитова (устное сообщение), этих серпулид следует относить к роду *Tetraserpula*. В таких линзах вместе с галькой, переотложенными карбонатными конкрециями (в том числе с переотложенными глендонитами на некоторых уровнях) и серпулидами встречаются мелкие двусторонки и обломки аммонитов. Целые аммониты редки, в основном они происходят из более тонкозернистых разностей пород (песчаники, алевролиты, верхние части прослоев конгломератов).

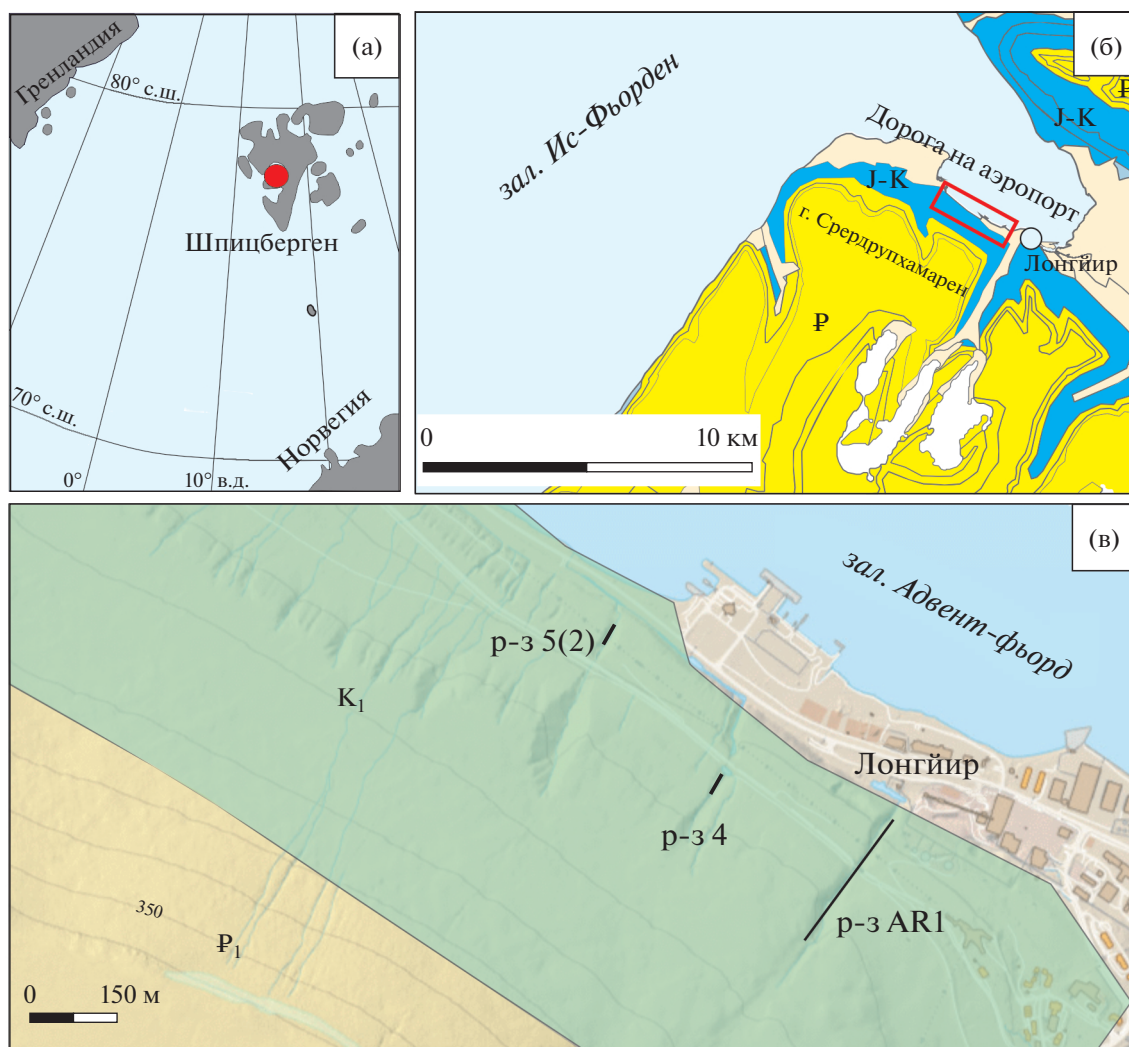


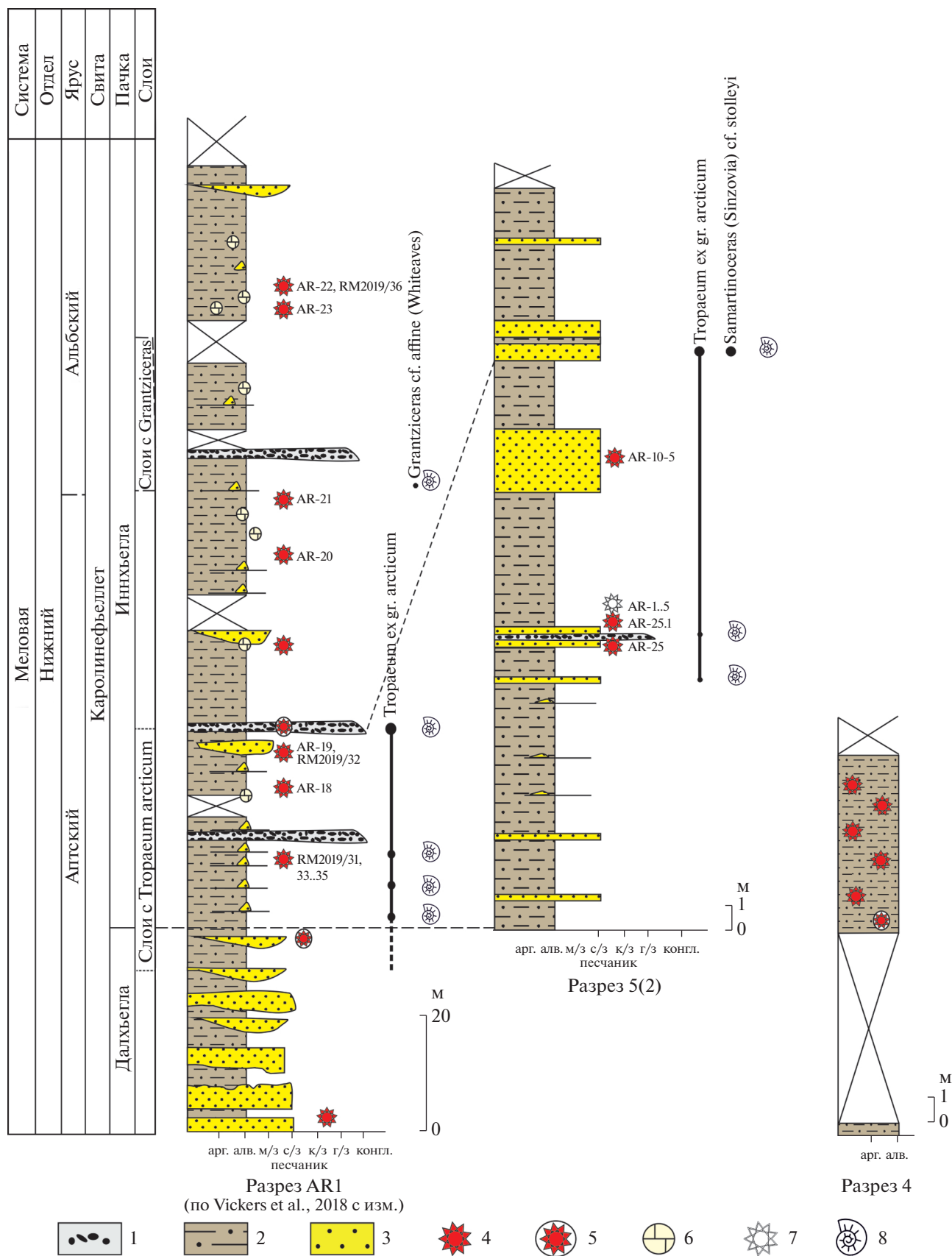
Рис. 1. Геологическая карта окрестностей Лонгйир с указанием местоположения изученных разрезов: (а) — географическое расположение архипелага Шпицберген; (б) — геологическая карта с указанием местоположения разреза Дорога на аэропорт; (в) — расположение изученных разрезов на горе Свёрдрупхамрен.

Первые сведения о находках моллюсков в свите Каролинефьеллет окрестностей г. Лонгйир относятся к началу второй половины XIX в., когда Г. Линдстрем (Lindström, 1865) изучил остатки фауны, собранные на западном побережье Адвент-фьорда во время экспедиций Норденшельда (в 1858 г.) и Бломстранда (в 1861 г.). В основном это были остатки двустворчатых моллюсков и серпулиды, на основе которых Линдстрем пришел к выводу о юрском возрасте отложений. Он также упомянул о находке аммонита из группы *Ammonites falciferum* (Lindström, 1865, s. 10). Этот экземпляр был позднее описан и изображен

Г. Фребольдом (Frebold, 1930, S. 31, Taf. VI, Fig. 2). Фребольд отнес эту находку к раннеюрскому роду *Grammoceras*, посчитав, что это переотложенный экземпляр из конгломерата. Линзы конгломератов часто встречаются в свите Каролинефьеллет, однако в дальнейшем ни одним исследователем подобные находки из них не упоминались. По нашему мнению, этот аммонит очень близок к аконецератидам из апта Шпицбергена, отнесенным Е.С. Ершовой (1983, табл. LII, фиг. 1–2) к *Sanmartinoceras* sp. ind., и не переотложен. В то же время эти находки нельзя отнести ни к одному из известных видов аконецератид.

Рис. 2. Литологические колонки с указанием уровней находок аммонитов и глендонитов.

1 — конгломерат; 2 — алевролит; 3 — песчаник; 4 — уровни находок глендонитов; 5 — вышележащие глендониты; 6 — карбонатные конкреции “cannon balls”; 7 — изученные глендониты; 8 — находки аммонитов.



Позже Б. Лундгрэн (Lundgren, 1883) описал и привел изображения еще нескольких двустворок из свиты Каролинефьеллет рассматриваемого района, также посчитав их юрскими.

Раннемеловой возраст отложений, которые в настоящее время относятся к свите Каролинефьеллет, был установлен только в начале XX в., когда Э. Штоллей (Stolley, 1912) изобразил и описал аммонитов, двустворок и серпулид, собранных на западном берегу Адвент-фьорда. Им отсюда был описан новый вид *Crioceras arcticum* (сейчас относится к роду *Tropaneum*), что позволило установить присутствие апта. В то же время Штоллей считал, что здесь имеются и более древние (“средненеокомские”, т.е. валанжин-готеривские) отложения, о чем, по его мнению, свидетельствовали находки аммонитов, близких к *Garnieria* (= *Delphinites*) и *Polypptychites* или *Simbirskites*. Поскольку на западном берегу Адвент-фьорда не обнажается даже нижняя часть свиты Каролинефьеллет (Major, Nagy, 1972), можно предположить, что за “*Garnieria*” Штоллей принял аптских аконецератид, а аммонит, определенный им как *Polypptychites* или *Simbirskites* (Stolley, 1912, Taf. 2, Fig. 4), может относиться к раннеальбскому роду *Colvillia*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Новые биостратиграфические результаты

Изученные разрезы свиты Каролинефьеллет до настоящего времени не были датированы биостратиграфическими методами. М. Викерс с соавторами (Vickers et al., 2018, 2019) на основе изучения изотопов углерода органического вещества ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) и с учетом мощностей слоев и пачек предложили схему сопоставления основного из разрезов (AR1) с разрезом м. Фестнинген, отнеся весь изученный интервал к аптскому ярусу (Vickers et al., 2019).

В разрезе AR1 нашими предшественниками обнаружен единственный стратиграфический уровень с аммонитами. Этот уровень (прослой конгломерата в 34.5 м выше основания пачки Иннхьегла) не был отмечен на опубликованной ими литологической колонке (Vickers et al., 2019), но

благодаря любезности М. Викерс, предоставившей авторам свои полевые данные, он был идентифицирован нами в разрезе (см. также Vickers, 2017). Это действительно наиболее насыщенный аммонитами уровень, в котором нами было встречено 19 фрагментов гетероморфных аммонитов *Tropaneum* (T.) *arcticum* и T. (T.) cf. *arcticum* (табл. I, фиг. 6, 9, 10).

В двух разрезах из трех изученных нами на нескольких уровнях обнаружены аммониты удовлетворительной сохранности, позволяющие судить о возрасте отложений. В большинстве случаев это гетероморфные аммониты, близкие к находкам из других разрезов Шпицбергена (Stolley, 1912; Frebold, 1930; Sokolov, Bodylevsky, 1931; Nagy, 1970; Ершова, 1983), в меньшем количестве найдены мономорфные аммониты. Следует оговориться, что мы следуем трехчленному делению апта, принятому в России. В нем средний и верхний апт соответствуют верхнему апту западноевропейских схем.

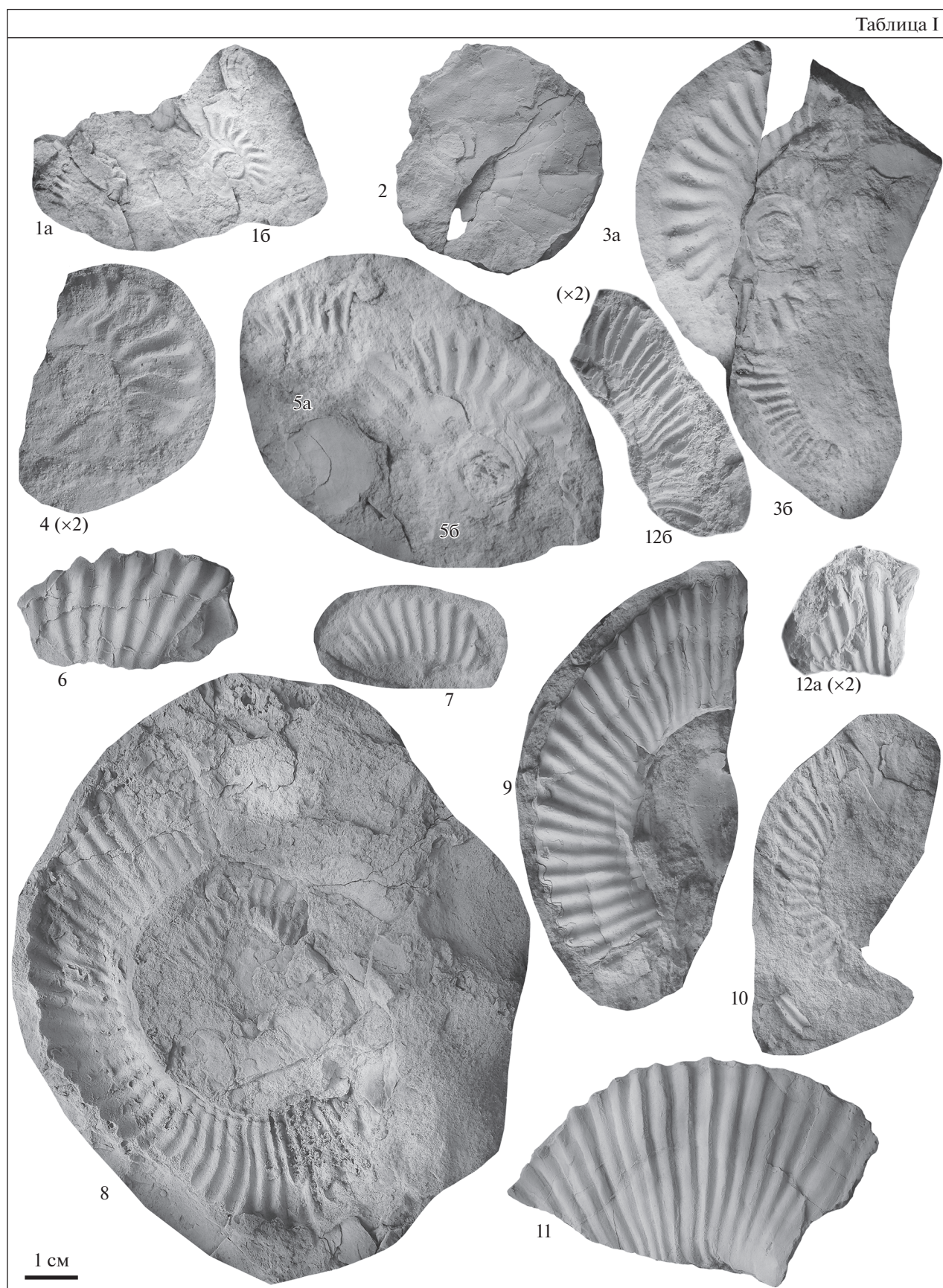
Мономорфные аммониты имеют достаточно грубые двураздельные сигмоидальные ребра, характерные для рода *Sanmartinoceras*. К сожалению, все экземпляры имеют плохую сохранность: нигде не сохранился киль, а зачастую и прикилевая область, поэтому все определения приведены в открытой номенклатуре. Систематика рода *Sanmartinoceras* спорная, и мы принимаем ее в соответствии с работой (Kennedy, Klinger, 1979).

У большинства экземпляров (табл. I, фиг. 1б, 3а, 4, 5) ребра появляются на ранних стадиях развития, что типично как для *Sanmartinoceras* (*Theganoceras*), так и для *Sanmartinoceras* (*Sinzovia*). Обращает на себя внимание тот факт, что на ранних оборотах ребра достаточно грубые и относительно редкие (табл. I, фиг. 1б, 4). У всех известных *Sanmartinoceras* (*Theganoceras*) на ранней стадии присутствуют тонкие многочисленные ребра (Kennedy, Klinger, 1979), а вот среди *Sanmartinoceras* (*Sinzovia*) имеется вид *S. (S.) stolleyi* Casey, для которого характерна аналогичная грубая ребристость. Поэтому мы определяем данных аммонитов как *Sanmartinoceras* (*Sinzovia*) cf. *stolleyi* Casey. Стоит отметить, что вид *S. (S.) stolleyi* в разрезах

Таблица I. Аммониты из пачки Иннхьегла окрестностей г. Лонгйир.

1б, 3а, 4, 5б – *Sanmartinoceras* (*Sinzovia*) cf. *stolleyi* Casey, разрез 5 (2), 11.4 м выше основания разреза, средний апт, слой с *Tropaneum arcticum*, 1б – экз. МЗ МГУ 141/1; 3а – экз. МЗ МГУ 141/3, 4 – экз. МЗ МГУ 141/4, 5б – экз. МЗ МГУ 141/5; 2 – *Grantziceras* cf. *affine* (Whiteaves), нижний альб, разрез 1, ~80 м выше основания пачки Иннхьегла, слой с *Grantziceras*, экз. МЗ МГУ 141/2; 1а, 3б, 5а, 6, 7, 10, 11 – *Tropaneum* (T.) cf. *arcticum* (Stolley), средний апт, слой с *Tropaneum arcticum*, 1а, 5а – разрез 5 (2), 11.4 м выше основания разреза; 6 – разрез 1, 34.7 м выше основания пачки Иннхьегла, экз. МЗ МГУ 141/6; 7 – разрез 1, 2–2.5 м выше основания пачки Иннхьегла, экз. МЗ МГУ 141/7; 3б – разрез 5 (2), 11.4 м выше основания разреза; 10 – разрез 1, 12 м выше основания пачки Иннхьегла, экз. МЗ МГУ 141/10; 11 – разрез 1, 25–27 м выше основания пачки Иннхьегла, экз. МЗ МГУ 141/11; 8, 9 – *Tropaneum* (T.) *arcticum* (Stolley), средний апт, слой с *Tropaneum arcticum*, 8 – разрез 1, 10 м выше основания пачки Иннхьегла, экз. МЗ МГУ 141/8; 9 – разрез 1, 34.7 м выше основания пачки Иннхьегла, МЗ МГУ 141/9; 12а – ядро *Tropaneum* (T.) sp. indet., средний апт, слой с *Tropaneum arcticum*, разрез 1, осыпь пачки Далхьегла, МЗ МГУ 141/12; 12б – отпечаток *Tropaneum* (T.) sp. indet., средний апт, слой с *Tropaneum arcticum*, разрез 1, осыпь пачки Далхьегла, МЗ МГУ 141/12.

Таблица I



среднего апта (зона *Parahoplites nutfieldiensis*) Северной Германии (Gaida et al., 1978) встречается совместно с *Tropaneum* (Т.) *arcticum* (Stolley), точно так же, как на Шпицбергене. Подрод *Sanmartinoceras* (*Theganoceras*) распространен в германских разрезах в основании нижнего апта, зоне *Deshayesites weissii* (Koenen, 1902). В разрезах Шпицбергена *Sanmartinoceras* (Sinzovia) отмечается впервые. Представители рода *Sanmartinoceras*, изображавшиеся отсюда ранее, отличаются от наших находок более слабой скульптурой и более эволютным навиванием (Ершова, 1983, табл. XLII, фиг. 2), но их отнесение к какому-либо виду или подроду затруднено.

Гетероморфные аммониты могут быть определены как *Tropaneum* (Т.) *arcticum* (Stolley) (табл. I, фиг. 8–9) и *Tropaneum* (Т.) cf. *arcticum* (Stolley) (табл. I, фиг. 3б, 3в, 3д, 3ж, 3и), последние – ввиду их фрагментарной сохранности. Наиболее полные находки Т. (Т.) *arcticum*, встреченные нами, близки к экземплярам из типовой серии данного вида, описанным из Шпицбергена (Stolley, 1912, s. 16), а также к экземплярам из Северной Германии (Gaida et al., 1978; Kemper, 1982, 1995). Они характеризуются слабым разворачиванием спирали, частыми одиночными ребрами (30–35 на пол-оборота), наклонными и слегка изгибающимися вперед. На севере Канады из верхней части апта также известны *Tropaneum* n. sp. aff. *arcticum*, отличающиеся от типичных Т. (Т.) *arcticum* быстрым разворачиванием спирали и более частыми ребрами (Jeletzky, 1964) и принадлежащие, вероятно, к другому виду. Представители *Sanmartinoceras* в разрезах Канады неизвестны.

В изученных разрезах к слоям с *Tropaneum arcticum* могут быть отнесены нижние 35 метров пачки Иннхьегла, а также верхняя часть пачки Далхьегла, в осыпи которой также встречены остатки *Tropaneum* (табл. I, фиг. 12).

Выше находок аптских аммонитов встречен *Grantziceras* cf. *affine* (Whiteaves) (табл. I, фиг. 2). Этот аммонит хотя и имеет плохую сохранность, но демонстрирует основные признаки данного вида: большую инволютность, сравнительно частые узкие пережимы и тонкую слабую ребристость. Подобные формы ранее уже описывались из пачки Иннхьегла, где они были встречены вместе с типично раннеальбскими *Leymeriella* (L.) *germanica* и *Freboldiceras singulare* (Nagy, 1970). Таким образом, найденные аммониты позволяют установить два стратиграфических интервала: слои с *Tropaneum* (Т.) *arcticum* в среднем апте и слои с *Grantziceras* в нижнем альбе.

Новые результаты изучения глендонитов

Глендониты из свиты Каролинефьеллет изученного разреза характеризуются разнообразной морфологией. Наиболее часто встречаются звездчатые глендониты, диаметр которых варьирует от 0.3 до 5–7 см (рис. 3б, 3в, 3д, 3ж, 3и). Такие глендониты присутствуют в карбонатных прослоях, в алевролитовых и песчаных толщах и, вероятно, в переотложенном состоянии встречаются в конгломератах. Наиболее хорошо заметны глендониты, как правило, на выветрелой поверхности слоев. Нередко карбонатное вещество растворяется, и от глендонитов остаются только отпечатки (рис. 3а, 3г). Такие отпечатки тем не менее хорошо идентифицируются благодаря их специфической форме. Значительно реже и только на некоторых стратиграфических уровнях (в том числе на тех, из которых глендониты детально изучены в настоящей работе) встречаются глендониты в форме одиночных вытянутых “кристаллов” (рис. 3е, 3з).

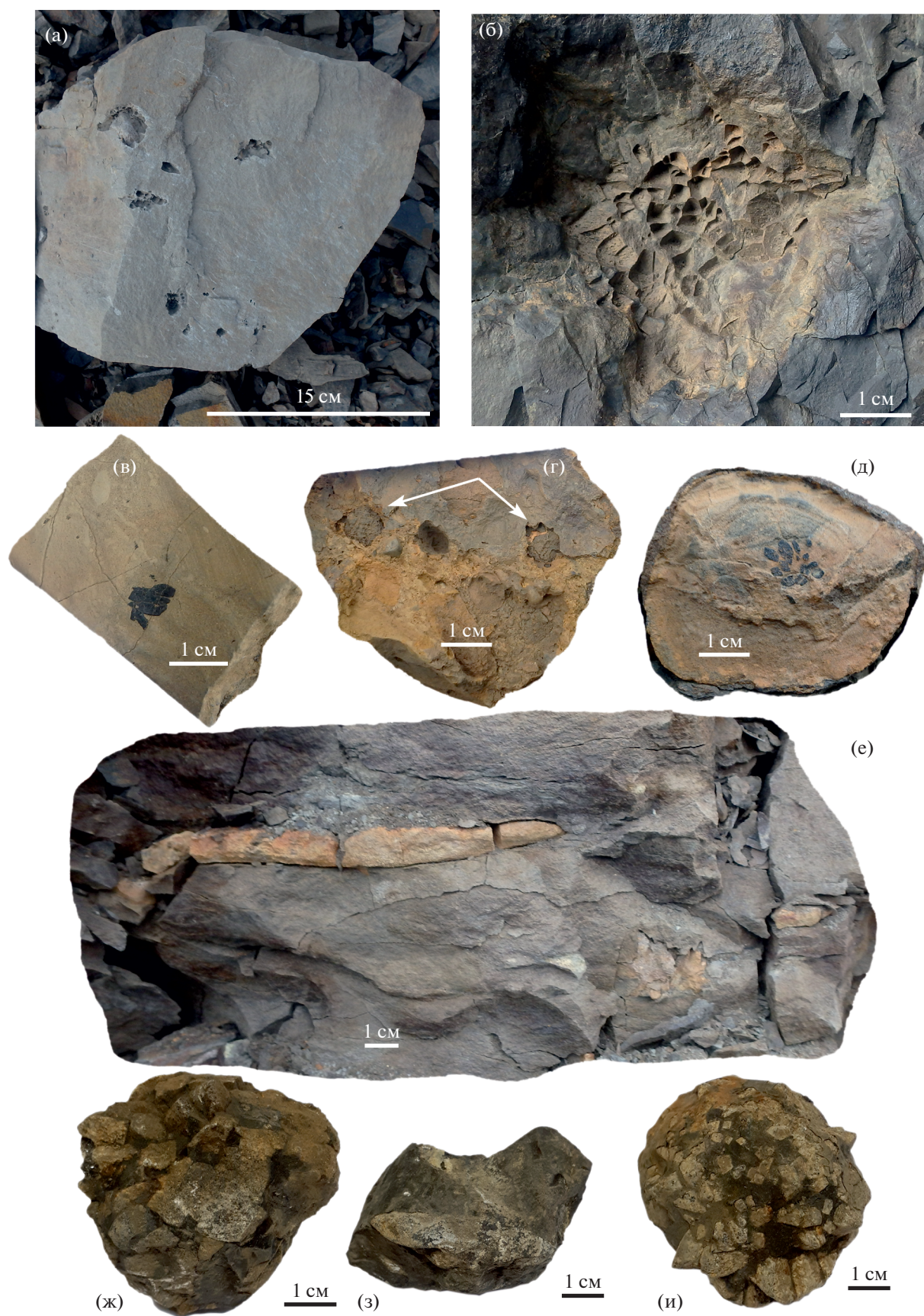
Нашими предшественниками в данном разрезе были указаны два глендонитовых горизонта: первый – вблизи видимого основания пачки Далхьегла, второй – в пачке Иннхьегла, примерно в 80 м выше ее подошвы. В ходе изучения разрезов свиты Каролинефьеллет в 2018 и 2019 гг. нам удалось выявить несколько ранее неизвестных уровней с глендонитами (рис. 2). В настоящей работе приводятся результаты исследования глендонитов из горизонта, расположенного в 15–16 м выше подошвы пачки Иннхьегла (рис. 2). Изученные кальцитовые псевдоморфозы представлены одиночными кристаллами и звездчатыми сростками, не несут следов абразии и/или окатывания, в связи с чем мы считаем, что они не были переотложены. Длина одиночных кристаллов 0.6–10 см, габитус кристаллов дипирамидальный. Диаметр звездчатых сростков 2.5–5 см.

Петрографическая характеристика глендонитов. Глендониты непористые, все пространство внутри псевдоморфоз плотно заполнено кальцитом. Внутреннее строение псевдоморфоз в проходящем свете довольно однородное, в то же время при катодолюминесцентном свечении хорошо выделяется последовательная смена кальцитовых генераций, отражающая отдельные этапы образования и преобразования вещества глендонитов.

Катодолюминесцентные исследования карбонатных минералов основаны на способности пучка электрона возбуждать слабое свечение в минералах. В зависимости от химического состава, структуры или ее дефектов, примесей различные

Рис. 3. Морфологические типы глендонитов свиты Каролинефьеллет.

(а, г) – отпечатки растворенных/выщелоченных глендонитовых конкреций; (б, в, д, ж, и) – звездчатые сростки; (е, з) – единичные удлиненные кристаллы.



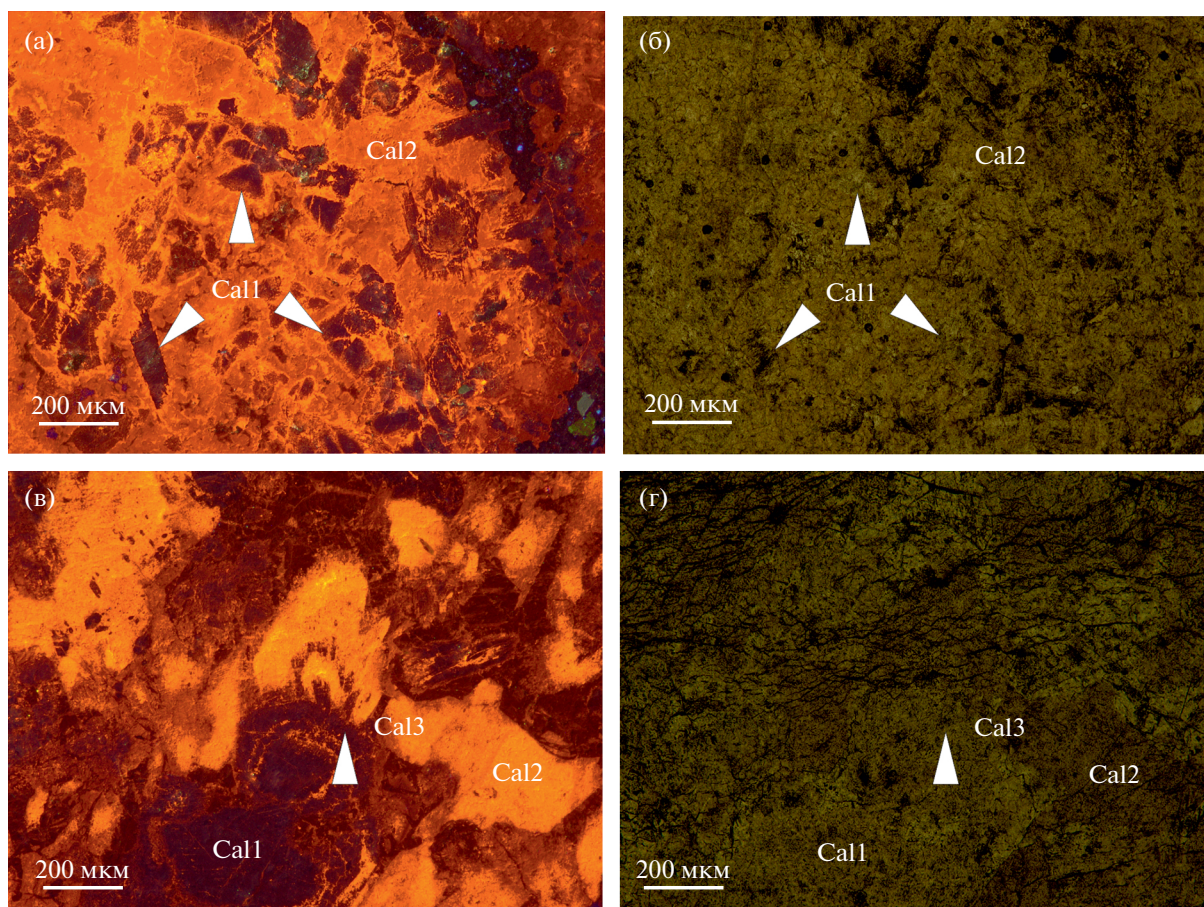


Рис. 4. Фотографии шлифов глендонитов с указанием преобладающих генераций (обр. AR-2) при катодолюминесцентном свечении (а, в) и в проходящем свете (б, г). Cal1 – первая генерация кальцита, Cal2 – вторая генерация кальцита, Cal3 – третья генерация кальцита.

генерации карбонатных минералов обладают разным катодолюминесцентным (далее КЛ) свечением (Boggs, Krinsley, 2006). В основе стадийного анализа глендонитов лежит идея о том, что наиболее ранняя генерация кальцита обрастает более поздними генерациями, хотя частично ранний кальцит может быть корродирован более поздними генерациями. Замещение исходного икаита кальцитом разных генераций может происходить так, что форма и размер исходных кристаллов сохраняются, и в проходящем свете различия между генерациями не видно.

Нами выделено три генерации кальцита, различающихся катодолюминесцентным свечением. По пространственным взаимоотношениям границ кристаллов трех различных генераций кальцита нами была установлена последовательность их образования (рис. 4).

Первая генерация кальцита (Cal1), характеризующаяся темно-бурым, почти черным КЛ-свечением, занимает около 30% объема глендонитов и представлена кристаллами размерностью до 0.2 мм.

Нами были зафиксированы удлинённые изометричные кристаллы неправильной формы. Границы кристаллов обычно интенсивно корродированы, местами кальцит первой генерации практически полностью замещен более поздним кальцитом второй генерации. Первая генерация кальцита, слагающая глендониты, была сформирована при распаде икаита (De Lurio, Frakes, 1999), поскольку, во-первых, икаит состоит из молекул воды и карбоната кальция, на которые приходится 69 и 31% от кристаллической структуры минерала соответственно. При его трансформации в кальцит он теряет 2/3 своего объема, приходящиеся на воду, оставшаяся вода “формирует” первую генерацию кальцита. Во-вторых, по результатам изучения икаита в лабораторных условиях установлено, что изменение физико-химических условий приводит к распаду минерала на кальцит и воду, иногда с примесью ватерита, который представляет собой полиморфную модификацию кальцита (Ito, 1998; Tang et al., 2009; Крылов и др., 2015). В опубликованных работах при изучении минерального со-

Таблица 1. Изотопный состав углерода и кислорода кальцита в глендонитах

Номер образца	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (SMOW)
AR-1	–28	–3.94	26.8
AR-2	–26.6	–5.4	25.3
AR-3	–27.1	–5.1	25.6
AR-4	–25.9	–5.59	25.1
AR-5	–26.6	–5	25.7

става глендонитов ватерит зафиксирован не был (Vickers et al., 2018).

Вторая генерация кальцита (Cal2) занимает около 70% объема псевдоморфоз и имеет ярко-оранжевое свечение при катодолюминесценции. Кальцит второй генерации сформировался в условиях разложения органического вещества при участии поровых вод (Vickers et al., 2018). Это соотносится с ярко-оранжевым КЛ-свечением, которое обусловлено присутствием ионов Mn^{2+} — активатора свечения, в то время как ионы Fe^{2+} находятся во взаимодействии с органическим веществом (Boggs, Krinsley, 2006).

Третья генерация кальцита (Cal3) заполняет оставшиеся пустоты и отличается бурым КЛ-свечением. Это наименее распространенная генерация кальцита, на нее приходится около 5% от внутреннего строения псевдоморфоз.

Изотопный состав кислорода и углерода в кальците глендонитов. Нами был изучен изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в валовых пробах глендонитов. Результаты определения величин $\delta^{18}\text{O}$ в глендонитах представлены в табл. 1 и на рис. 4. Значения $\delta^{18}\text{O}$ изменяются от –3.94 до –5‰ (VPDB), а $\delta^{13}\text{C}$ от –25.9 до –28‰ (PDB).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Впервые в разрезе свиты Каролинефьеллет окрестностей г. Лонгйир установлено вертикальное распределение находок аммонитов, что позволило выделить в среднем апте слои с *Tropaeum* (T.) arcticum, а также впервые для этого района доказать раннеальбский возраст верхней части пачки Иннхьегла, отнесенной к слоям с *Grantziceras*. Это дает возможность уточнить возраст встреченных глендонитов.

Характерный для слоев с *Tropaeum* (T.) arcticum комплекс *Sanmartinoceras*–*Tropaeum* (T.) arcticum известен из разрезов Северной Германии (Gaida et al., 1978; Kemper, 1982; 1995), Шпицбергена (Frebold, 1930; Ершова, Корчинская, 1980; Ершова, 1983) и Восточной Гренландии, где он расположен выше нижнеаптских *Deshayesites*

(Bogvad, Rosenkrantz, 1934; Frebold, 1935). Е.С. Ершова (Ершова, Корчинская, 1980) предлагала для Шпицбергена разделить этот комплекс на слои с *Sanmartinoceras* sp. внизу и слои с *Tropaeum arcticum* вверх, отвечающие среднему и верхнему апту соответственно. В более поздней работе (Ершова, 1983) она от этого деления отказалась, оставив в апте только слои с *Tropaeum arcticum*. Наши находки также не подтверждают возможности выделения “слоев с *Sanmartinoceras*”, поскольку эти аммониты встречаются совместно с *Tropaeum arcticum*. На основе сопоставления с разрезами Северной Германии слои с *Tropaeum arcticum* можно датировать второй половиной среднего апта, сопоставив их с зоной *Parahoplites nutfieldiensis*, к которой приурочены совместные находки *Sanmartinoceras* (*Sinzovia*) *stolleyi* и *Tropaeum* (T.) *arcticum* (Gaida et al., 1978; Kemper, 1982, 1995).

Находка аммонита *Grantziceras* выше слоев с *Tropaeum* (T.) arcticum дает возможность установить здесь присутствие нижнего альба, сопоставляемого с зоной *Freboldiceras praesingulare* Бореального зонального стандарта (Барабоскин, Гужинов, 2018). Й. Наги (Nagy, 1970) указывал этот род из “фауны *Freboldiceras*”, а Е.С. Ершова (1983) аналогичный комплекс рассматривала в составе зоны *Leymeriella tardefurcata*. Близкие комплексы с *Grantziceras affine* известны из нижнего альба Арктической Канады (Jeletzky, 1964), Южной Аляски (Jones, 1967) и других районов.

Глендониты апта–альба в настоящее время известны на архипелаге Шпицберген (Maher et al., 2004; Vickers et al., 2016, 2018, 2019), на островах Маккензи-Кинг и Аксель-Хейберг Канадского Арктического архипелага (Grasby et al., 2017), в бассейне Эроманга Австралии (De Lurio, Frakes, 1999), Гренландии (Novikoski et al., 2018), а также на Северо-Востоке России, в Олойском прогибе и на севере Камчатки (Ефимова и др., 1970; Alabuschev, 1995). Предполагается, что глендониты являются индикаторами холодноводных придонных обстановок, а в случае их нахождения в мелководных отложениях могут служить также индикаторами относительно холодного климата или, по крайней мере, сезонных низких температур

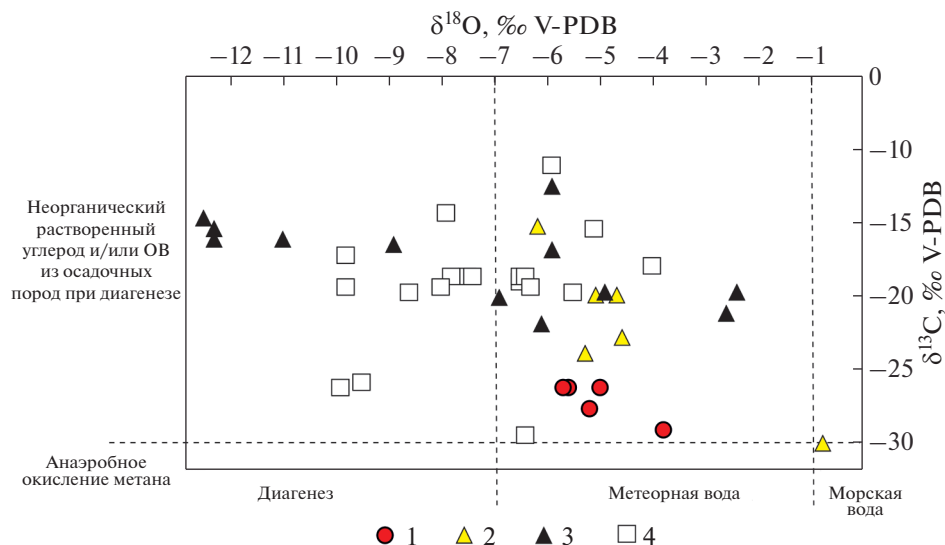


Рис. 5. Изотопный состав кислорода и углерода в аптских (нижний мел) глендонитах Арктического региона. 1 — обнажение Дорога на аэропорт, настоящая работа; 2 — обнажение Дорога на аэропорт (по Vickers et al., 2018); 3 — разрез Фестнингген (по Vickers et al., 2018); 4 — разрезы бассейна Свердруп, Канадский Арктический архипелаг (по Grasby et al., 2017). Границы (пунктирные линии) полей со значениями $\delta^{13}\text{C}$ окисленного метана и диагенетически преобразованного органического вещества, а также полей со значениями $\delta^{18}\text{O}$ в морских водах, метеорных водах и в позднедиагенетических растворах приведены по (Campbell, 2006; Vickers et al., 2018), с уточнениями.

(Tollefsen et al., 2018). Для мелового климата, считающегося преимущественно теплым (“greenhouse”), рядом авторов были показаны этапы похолоданий: поздний берриас (Rogov et al., 2017), валанжин (Kemper, Shmitz, 1975; Price, Nunn, 2010), готерив (Frakes, Francis, 1988), поздний апт-альб (Frakes, Francis, 1988), конец валанжина—первая половина готерива, середина апта—ранний альб (Барабошкин, 2007). Присутствие в среднем апте—раннем альбе интервалов с холодноводными обстановками, благоприятными для образования икаита, подтверждается следующими данными:

- нахождением друпстоунов и глендонитов на одних и тех же стратиграфических уровнях (Dal-land, 1976; Frakes et al., 1995; Rodríguez-López et al., 2016);

- низкими среднегодовыми температурами, рассчитанными по изотопному составу кислорода в раковинах двустоворок из шельфовых отложений верхнего апта—альба свиты Каролинефьеллет Шпицбергена (8.3°C; Harland, Kelly, 1997), в рострах альбских белемнитов Австралии (среднегодовая температура 5°C; De Lurio, Frakes, 1999) и позднеаптских белемнитов Воконтского бассейна (температура 4°C; Bodin et al., 2015);

- существенными сезонными колебаниями температуры в высоких широтах (Zakharov et al., 2011);

- широким распространением хвойных деревьев в Канадской Арктике в апте—альбе, свиде-

тельствующим о том, что в арктическом регионе среднегодовая температура составляла 3–10°C (Harland et al., 2007);

- минимальным содержанием пыльцы Classopollis в апт-альбском интервале (Вахрамеев, 1980; Vakhrameyev, 1982; Барабошкин, 2007);

- понижением температуры поверхностных вод примерно на 5°C, установленным методом TEX_{86} (McAnena et al., 2013);

- снижением разнообразия известкового наннопланктона (Herrle, Mutterlose, 2003) и флоры полярных регионов (Francis, Poole, 2002; Harland et al., 2007);

- результатами палеобиогеографического анализа, дополненного математическим моделированием (Барабошкин, 2007).

Таким образом, полученные нами новые данные о широком распространении глендонитов в среднем апте—нижнем альбе о-ва Западный Шпицберген (свита Каролинефьеллет) хорошо согласуются с данными о похолодании климата в среднеаптское—раннеальбское время, полученными ранее. Изотопный состав углерода и кислорода кальцита в исследованных нами глендонитах близок к установленному ранее в глендонитах этой же серии разрезов, а также других разрезов свиты Каролинефьеллет архипелага Шпицберген (рис. 5). Значения $\delta^{18}\text{O}$ в исследованных нами образцах варьируют от –3.94 до –5‰ PDB и вполне сопоставимы со значениями, опубликованным

ранее для глендонитов свиты Каролинефьеллет ($\delta^{18}\text{O}$ от -12.3 до -1.0‰ PDB, среднее -7.0‰ PDB; Vickers et al., 2018).

Арктический бассейн, в котором происходило накопление исследованных толщ, в начале мела был частично изолированным (Smith et al., 1994; Price, Nunn, 2010; Stein, 2019). Его воды характеризовались, по-видимому, облегченным изотопным составом кислорода по сравнению с морскими водами открытых бассейнов. Кроме того, колебания солености могли также оказывать влияние на изотопный состав морской воды. Г. Прайс и Е. Нанн (Price, Nunn, 2010) высказали предположение, что изотопный состав морской воды мог быть ниже принятого $\delta^{18}\text{O} = -1\text{‰}$ SMOW (Zhou et al., 2008) для открытых морских бассейнов, но ниже -5.1‰ SMOW не опускался (Price, Nunn, 2010). В то же время недавно были получены данные, свидетельствующие о том, что изотопный состав морской воды в раннем мелу Арктики был близок к среднеокеаническому и достигал 1.5‰ SMOW (Price et al., 2020). Ряд исследователей показали, что при трансформации икаита в кальцит изотопный состав кислорода меняется слабо (в пределах 1‰ ; Greinert, Derkachev, 2004; Крылов и др., 2015), на основании чего можно восстанавливать температуры образования икаита по значениям $\delta^{18}\text{O}$ глендонита и исходного состава морской воды, в которой образовался икаит. Палеотемпературы Арктического бассейна, рассчитанные для исследованных образцов по уравнению $t(^{\circ}\text{C}) = 15.7 - 4.36(\delta^{18}\text{O}_{\text{Cal}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{вода}}) + 0.12(\delta^{18}\text{O}_{\text{Cal}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{вода}})^2$ (De Lurio, Frakes, 1999), оказываются довольно высокими для кристаллизации икаита. При $\delta^{18}\text{O} = -1\text{‰}$ SMOW температуры кристаллизации исходного икаита составляют от 29° до 38°C ; если $\delta^{18}\text{O} = -1.5$, то температуры варьируются от 27° до 32°C ; если $\delta^{18}\text{O} = -2$, то температуры колеблются от 24° до 32°C . Высокие рассчитанные температуры являются, видимо, следствием открытия изотопных систем при переходе икаит–кальцит и смещения исходных геохимических меток при взаимодействии икаита (или кальцита, его заместившего) с диагенетическими растворами с более легким изотопным составом кислорода. Это предположение хорошо соотносится с минералогическими особенностями изученных глендонитов: кальцит, образованный при распаде икаита (Vickers et al., 2018), занимает лишь около 30% псевдоморфозы, в то время как большую часть (около 70%) составляет более поздний диагенетический кальцит. Анализ первой генерации кальцита, возможно сохранившей изотопный состав первоначального икаита, чрезвычайно затруднен из-за невозможности получить достаточное количество чистого вещества этой генерации для изотопного анализа. Опубликованные данные показывают, что более поздние генерации каль-

цита обладают облегченным кислородным изотопным составом, по сравнению с более ранними генерациями кальцита, заместившими икаит (ниже -10‰ PDB; Frank et al., 2008; Vasileva et al., 2019). Кроме того, сходный изотопный состав кислорода ($\delta^{18}\text{O}$ от -3.1 до -16.6‰ PDB) получен для карбонатных конкреций “cannon-balls”, имеющих диагенетическое происхождение (Krajewski, Luks, 2003).

Изотопный состав углерода позволяет оценить, насколько различные компоненты влияют на изотопный состав аутигенных карбонатных минералов (Campbell, 2006): метан, подвергающийся анаэробному окислению ($\delta^{13}\text{C}$ ниже -40‰ PDB), разлагающееся органическое вещество ($\delta^{13}\text{C}$ от -40 до -15‰ PDB), неорганический углерод, растворенный в морской воде ($\delta^{13}\text{C}$ от -2 до $+2\text{‰}$ PDB) или углерод, остаточный от метаногенеза ($\delta^{13}\text{C}$ от $+5$ до $+24\text{‰}$ PDB). Данные, полученные нами для аптских глендонитов о. Западный Шпицберген, попадают в диапазон значений от -25.9 до -28‰ PDB, то есть при формировании исходного икаита и преобразовании икаита в глендонит углерод извлекался из смешанного источника — разлагающегося органического вещества и окисляющегося метана.

ВЫВОДЫ

1. Впервые для окрестностей г. Лонгйир установлено вертикальное распределение аммонитов в свите Каролинефьеллет (пачки Далхьегла и Инхьегла). Обосновано выделение среднеаптских слоев с *Tropaneum arcticum* и раннеальбских слоев с *Grantziceras*.

2. Находки глендонитов во всем изученном интервале позволяют утверждать, что климат среднего апта–раннего альба Шпицбергена был достаточно холодным.

3. Изотопный состав кислорода в кальците глендонитов свидетельствует о том, что исходные изотопно-геохимические характеристики (предположительно, икаита) не сохранились вследствие последующих диагенетических преобразований. Углерод при образовании икаита и его псевдоморфозы извлекался из разлагающегося органического вещества и окисляющегося метана.

Благодарности. Мы признательны Е.В. Щепетовой, Е.А. Языковой и Н.Б. Кузнецову за ценные комментарии и замечания, которые помогли существенно улучшить данную статью. Авторы также выражают глубокую благодарность М. Викерс (M. Vickers), предоставившей полевые данные об объекте исследования.

Источники финансирования. Исследование было проведено при поддержке гранта РФФИ 20-35-70012 и в рамках проекта “Changes at the Top of

the World through Volcanism and Plate Tectonics: A Norwegian–Russian–North American Collaboration in Arctic Research and Education (NOR-R-AM2)” (project number 309477). Изучение аммонитов было выполнено по теме госзадания ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабошкин Е.Ю.* Нижнемеловой аммонитовый зональный стандарт Бореального пояса // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2004. Т. 79. Вып. 5. С. 44–68.
- Барабошкин Е.Ю.* Раннемеловые проливы Северного полушария // Пролиты Северного полушария в мелу и палеогене. М.: МГУ, 2007. С. 11–59.
- Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю.* Бореальный нижний мел России: ревизия юрских границ на основе не палеонтологических данных // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Материалы IX Всероссийского совещания, 17–23 сентября 2018 г., Белгород. Белгород: Политерра, 2018. С. 47–53.
- Вахрамеев В.А.* Пыльца *Classopollis* как индикатор климата юры и мела // Советская геология. 1980. № 8. С. 48–56.
- Ершова Е.С.* Объяснительная записка к биостратиграфической схеме юрских и нижнемеловых отложений архипелага Шпицберген. Л.: ПГО “Севморгеология”, 1983. 88 с.
- Ершова Е.С., Корчинская М.В.* Зональная схема мезозоя Свальбарда (Шпицберген) // Палеонтология. Стратиграфия. Доклады советских геологов. Международный геологический конгресс, XXVI сессия. М.: Наука, 1980. С. 180–187.
- Ефимова А.Ф., Паракецов К.В., Попов Г.Г.* Колымо-Омолонский массив // Геология СССР. Т. XXX. Северо-Восток СССР. Геологическое описание. Книга 1. М.: Недра, 1970. С. 434–444.
- Зайцев А.В., Покровский Б.Г.* Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатных отложениях нижнего и среднего ордовика на северо-западе Русской плиты // Литология и полезн. ископаемые. 2014. № 3. С. 283–291.
- Каплан М.Е.* Кальцитовые псевдоморфозы (псевдогейлюссит, яровит, тинолит, глендонит, геннойши, беломорские рогульки) в осадочных породах. Происхождение псевдоморфоз // Литология и полезн. ископаемые. 1979. № 5. С. 125–141.
- Крылов А.А., Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Прасолов Э.М., Сапега В.Ф., Демидова А.Л., Радченко М.С.* Икаит ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в донных отложениях моря Лаптевых и роль анаэробного окисления метана в процессе его формирования // Записки Русского минералогического общества. 2015. № 4. С. 61–75.
- Пчелина Т.М.* Мезозойские отложения района Ван-Кайлен-Фьорда (Западный Шпицберген) // Материалы по геологии Шпицбергена. Л.: НИИГА, 1965а. С. 149–173.
- Пчелина Т.М.* Стратиграфия и особенности вещественного состава мезозойских отложений центральной части Западного Шпицбергена // Материалы по геологии Шпицбергена. Л.: НИИГА, 1965б. С. 127–148.
- Пчелина Т.М.* Стратиграфия и некоторые особенности вещественного состава мезозойских отложений южного и восточного районов Западного Шпицбергена // Материалы по стратиграфии Шпицбергена. Л.: НИИГА, 1967. С. 121–158.
- Пчелина Т.М.* Новые материалы по стратиграфии мезозоя архипелага Шпицберген // Геология Шпицбергена: сборник научных трудов. Л.: ПГО “Севморгеология”, 1983. С. 121–141.
- Alabushev A.* Ammonite faunas and biostratigraphy of the Albion to Middle Cenomanian (Cretaceous) in western Korjak-Kamchatka, NE Russia // Neues Jahrb. Geol. Paläont. Abhandl. 1995. Bd. 196. P. 109–139.
- Birkenmajer K.* Lower Cretaceous tidal deposits of central Vestspitsbergen // Norsk Polarinstitut Årbok. 1966. P. 73–85.
- Bischoff J.L., Stine S., Rosenbauer R.J., Fitzpatrick J.A., Stafford T.W.J.* Ikaite precipitation by mixing of shoreline springs and lake water, Mono Lake, California USA // Geochim. Cosmochim. Acta. 1993. V. 57. P. 3855–3865. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90339-x](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90339-x)
- Bodin S., Meissner P., Janssen N.M., Steuber T., Mutterlose J.* Large igneous provinces and organic carbon burial: controls on global temperature and continental weathering during the Early Cretaceous // Global Planet Change. 2015. V. 133. P. 238–253. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.09.001>
- Boggs S., Krinsley D.* Application of Cathodoluminescence Imaging to the Study of Sedimentary Rocks. Cambridge University Press, 2006. 165 p.
- Bøgvad R., Rosenkrantz A.* Beiträge zur Kenntnis der unteren Kreide Ost Grönlands // Meddelelser om Grønland. 1934. Bd. 93. Nr. 1. S. 1–28.
- Campbell K.A.* Hydrocarbon seep and hydrothermal vent paleoenvironments and paleontology: past developments and future research directions // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2006. V. 232. P. 362–407. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.06.018>
- Dalland A.* Erratic clasts in the Lower Tertiary deposits of Svalbard: evidence of transport by winter ice // Norsk Polarinstitut Årbok, 1976. P. 151–165.
- Dallmann W.K.* Geoscience Atlas of Svalbard // Norsk Polarinstitut Rapport. 2015. № 148. 292 p.
- De Lurio J.L., Frakes L.A.* Glendonites as a paleoenvironmental tool: implications for early Cretaceous high latitude climates in Australia // Geochim. Cosmochim. Acta. 1999. V. 63. P. 1039–1048. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00019-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00019-8)
- Frakes L.A., Francis J.E.* A guide to Phanerozoic cold polar climates from high latitude ice-rafting in the Cretaceous // Nature. 1988. V. 333. P. 547–549. <https://doi.org/10.1038/333547a0>
- Frakes L.A., Alley N.F., Deynoux M.* Early Cretaceous ice rafting and climate zonation in Australia // Int. Geol. Rev.

1995. V. 37. P. 567–583.

<https://doi.org/10.1080/00206819509465419>

Francis J.E., Poole I. Cretaceous and early Tertiary climates of Antarctica: evidence from fossil wood // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2002. V. 182. P. 47–64.
[https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(01\)00452-7](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(01)00452-7)

Frank T.D., Thomas S.G., Fielding C.R. On using carbon and oxygen isotope data from glendonites as paleoenvironmental proxies: a case study from the Permian system of Eastern Australia // *J. Sediment. Res.* 2008. V. 78. P. 713–723.
<https://doi.org/10.2110/jsr.2008.081>

Frebold H. Verbreitung und Ausbildung des Mesozoikums in Spitzbergen nebst einer Revision der Statigraphie des Jura und der Unterkreide von Nowaja Semlja und einem Entwurf des mesozoischen Entwicklungsgeschichte des Barents-seeschelfes. Norges Svalbard og Ishavs-Undersøkeiser // *Skrifter om Svalbard og Ishavet.* 1930. Nr. 31. S. 1–126.

Frebold H. Marines Aptien von der Koldewey Insel (nördliches Ostgrönland) // *Meddelelser om Grønland.* 1935. Bd. 95. Nr. 4. 112 S.

Gaida K.-H., Kemper E., Zimmerle W. Das Oberapt von Sarstedt und seine Tuffe // *Geologisches Jahrbuch. Reihe A.* 1978. Hft. 45. S. 43–123.

Grasby S.E., McCune G.E., Beauchamp B., Galloway J.M. Lower Cretaceous cold snaps led to widespread glendonite occurrences in the Sverdrup Basin, Canadian High Arctic // *Bull. Geol. Soc. Am.* 2017. V. 129. P. 771–787.
<https://doi.org/10.1130/b31600.1>

Greinert J., Derkachev A. Glendonites and methane-derived Mg-calcites in the Sea of Okhotsk, Eastern Siberia: implications of a venting-related ikaite/glendonite formation // *Marine Geology.* 2004. V. 204. № 1–2. P. 129–144.
[https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(03\)00354-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(03)00354-2)

Harland W.B., Kelly S.R.A. Jurassic-Cretaceous history // *The geology of Svalbard.* Ed. Harland W.B. Geol. Soc. London Mem. 1997. V. 17. P. 363–387.

Harland M., Francis J.E., Brentnall S.J., Beerling D.J. Cretaceous (Albian–Aptian) conifer wood from Northern Hemisphere high latitudes: forest composition and palaeoclimate // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2007. V. 143. P. 167–196.
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.07.005>

Herrle J.O., Mutterlose J. Calcareous nannofossils from the Aptian–Lower Albian of southeast France: palaeoecological and biostratigraphic implications // *Cretaceous Res.* 2003. V. 24. P. 1–22.
[https://doi.org/10.1016/s0195-6671\(03\)00023-5](https://doi.org/10.1016/s0195-6671(03)00023-5)

Hoel A., Orvin A.K. Das Festungsprofil auf Spitzbergen. Karbon-Kreide. 1. Vermessungsergebnisse // *Skrifter om Svalbard og Ishavet.* 1937. Nr. 18. 59 p.

Hovikoski J., Pedersen G.K., Alsen P., Lauridsen B.W., Svennevig K., Nøhr-Hansen H., Sheldon E., Dybkjær K., Bojesen-Koefoed J., Piasecki S., Bjerager M., Ineson J. The Jurassic–Cretaceous lithostratigraphy of Kilen, Kronprins Christian Land, eastern North Greenland // *Bull. Geol. Soc. Denmark.* 2018. V. 66. P. 61–112.

Hu Y., Wolf-Gladrow D.A., Dieckmann G.S., Voljer C., Nehrkke G. A laboratory study of ikaite ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) precipi-

tation as a function of pH, salinity, temperature and phosphate concentration // *Mar. Chem.* 2014. V. 162. P. 10–18.
<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.02.003>

Ito T. Factors controlling the transformation of natural ikaite from Shiowakka, Japan // *Geochem. J.* 1998. V. 32. P. 267–273.
<https://doi.org/10.2343/geochemj.32.267>

Jeletzky J.A. Illustrations of Canadian fossils. Lower Cretaceous marine index fossils of the sedimentary basins of western and arctic Canada // *Geol. Surv. Canada Pap.* 1964. № 64-11. P. 1–100.
<https://doi.org/10.4095/101022>

Jones D.L. Cretaceous ammonites from the lower part of the Matanuska Formation, Southern Alaska. With a stratigraphic summary by Arthur Grantz // *US. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1967. № 547. 49 p.
<https://doi.org/10.3133/pp547>

Kemper E. Die Ammoniten des späten Apt und frühen Alb Nordwestdeutschlands // *Geologisches Jahrbuch. Reihe A.* 1982. Hft. 65. S. 553–577.

Kemper E. Die Entfaltung der Ammoniten und die Meeres – verbindungen im borealen Unter- und Mittel – Apt // *Geologisches Jahrbuch. Reihe A.* 1995. Hft. 141. S. 171–200.

Kemper E., Schmitz H.H. Stellate nodules from the Upper Deer Bay Formation (Valanginian) of Arctic Canada // *Geol. Surv. Canada Pap.* 1975. № 75-1C. P. 109–119.
<https://doi.org/10.4095/103040>

Kemper E., Schmitz H.H. Glendonite – Indikatoren des polarmarinen Ablagerungsmilieus // *Geologische Rundschau.* 1981. Bd. 70. Nr. 2. S. 759–773.
<https://doi.org/10.1007/BF01822149>

Kennedy W.J., Klinger H.C. Cretaceous faunas from Zululand and Natal, South Africa. The ammonite superfamily Haplocerataceae Zittel, 1884 // *Ann. S. Afr. Mus.* 1979. V. 77. № 6. P. 85–121.

Koenen A. Von. Die Ammonitiden des norddeutschen Neocom (Valanginien, Hauterivien, Barrêmien und Aptien) // *Abhandlungen der Königlichen Preussischen Geologischen landesanstalt und Bergakademie zu Berlin, Neue Folge.* 1902. Bd. 24. S. 1–449.

Krajewski K.P., Luks B. Origin of “cannon-ball” concretions in the Carolinefjellet Formation (Lower Cretaceous), Spitsbergen // *Pol. Polar Res.* 2003. V. 24. № 3–4. P. 217–242.

Lindström G. Trias och Juraförsteningar från Spetsbergen // *Kongl. Svenska Vetenskap-Akademiens Handlingar.* 1865. Bd. 6. № 6. 20 p.

Lundgren B. Bemerkungen über die von der schwedische Expedition nach Spitzbergen 1882 gesammelten Jura- und Trias-fossilien // *Bihang till Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar.* 1883. Bd. 8. 21 p.

Maher Jr., H.D., Hays T., Shuster R., Muttrux J. Petrography of Lower Cretaceous sandstones on Spitsbergen // *Polar Research.* 2004. V. 23. № 2. P. 147–165.
<https://doi.org/10.3402/polar.v23i2.6276>

Major H., Nagy J. Geology of the Adventdalen map area: with a geological map, Svalbard C9G 1:100000 // *Norsk Polarinstitutt Skrifter.* 1972. Nr. 138. 58 p.

- McAnena A., Hofmann S.F.P., Herrie J.O., Griesand A., Pross J., Talbot H.M., Rethemeyer J., Wallmann K., Wagner T. Atlantic cooling associated with a marine biotic crisis during the mid-Cretaceous period // *Nat. Geosci.* 2013. V. 6. P. 558–561. <https://doi.org/10.1038/ngeo1850>
- Nagy J. Ammonite faunas and stratigraphy of Lower Cretaceous (Albian) rocks in southern Spitsbergen // *Norsk Polarinstitutt Skrifter*. 1970. Nr. 152. 58 p.
- Price G.D., Nunn E.V. Valangian isotope variation in glendonites and belemnites from Arctic Svalbard: transient glacial temperatures during the Cretaceous greenhouse // *Geology*. 2010. V. 3. P. 251–254. <https://doi.org/10.1130/g30593.1>
- Price G.D., Bajnai D., Fiebig J. Carbonate clumped isotope evidence for latitudinal seawater temperature gradients and the oxygen isotope composition of Early Cretaceous seas // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109777>
- Purgstaller B., Dietzel M., Baldermann A., Mavromatis V. Control of temperature and aqueous Mg^{2+}/Ca^{2+} ratio on the (trans-)formation of ikaite // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2017. V. 217. P. 128–143. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.08.016>
- Rodríguez-López J.P., Liesa C.L., Pardo G., Meléndez N., Soria A.R., Skilling I. Glacial dropstones in the western Tethys during the late Aptian–early Albian cold snap: Palaeoclimate and palaeogeographic implications for the mid-Cretaceous // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2016. V. 452. P. 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.04.004>
- Rogov M.A., Ershova V.B., Shchepetova E.V., Zakharov V.A., Pokrovsky B.G., Khudoley A.K. Earliest Cretaceous (late Berriasian) glendonites from Northeast Siberia revise the timing of initiation of transient Early Cretaceous cooling in the high latitudes // *Cretaceous Res.* 2017. V. 71. P. 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2016.11.011>
- Smith A.G., Smith D.G., Funnell B.M. Atlas of Mesozoic and Cenozoic coastlines. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. P. 99.
- Sokolov D.N., Bodylevsky W. Jura- und Kreidefaunen von Spitzbergen // *Skrifter om Svalbard og Ishavet*. 1931. № 35. S. 1–151.
- Spath L.F. On Ammonites from Spitsbergen // *Geol. Mag.* 1921. V. 58. P. 347–356.
- Stein R. The Late Mesozoic–Cenozoic Arctic Ocean climate and sea ice history: a challenge for past and future scientific ocean drilling // *Paleoceanogr. Paleoclim.* 2019. V. 34. P. 1851–1894. <https://doi.org/10.1029/2018pa003433>
- Stolley E. Über die Kreideformation und ihre Fossilien auf Spitzbergen // *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*. 1912. Bd. 47. № 11. 29 S.
- Suess E., Balzer W., Hesse K.F., Müller P.J., Ungerer C.A., Wefer G. Calcium carbonate hexahydrate from organic-rich sediments of the Antarctic shelf: precursors of glendonites // *Science*. 1982. V. 216. № 4550. P. 1128–1131. <https://doi.org/10.1126/science.216.4550.1128>
- Tang C., Thompson S., Parker J., Lennie A., Azough F., Kato K. The ikaite-to-vaterite transformation: new evidence from diffraction and imaging // *J. Appl. Crystallogr.* 2009. V. 42. P. 225–233. <https://doi.org/10.1107/S0021889809005810>
- Tollefsen E., Stockmann G., Skelton A., Morth C., Dupraz C., Sturkell E. Chemical controls on ikaite formation // *Mineral. Mag.* 2018. V. 82(5). P. 1119–1129. <https://doi.org/10.1180/mgm.2018.110>
- Vakhrameyev V.A. *Classopollis* pollen as an indicator of Jurassic and Cretaceous climate // *Int. Geol. Rev.* 1982. V. 24. № 10. P. 1190–1196. <https://doi.org/10.1080/00206818209451058>
- Vasileva K.Y., Rogov M.A., Ershova V.B., Pokrovsky B.G. New results of stable isotope and petrographic studies of Jurassic glendonites from Siberia // *GFF*. 2019. V. 141. P. 225–232. <https://doi.org/10.1080/11035897.2019.1641549>
- Vickers M.L. Stratigraphic and Geochemical Expression of Early Cretaceous Environmental Change in Arctic Svalbard. Doctoral dissertation, University of Plymouth, 2017. 375 p.
- Vickers M.L., Price G.D., Jerrett R.M., Watkinson M. Stratigraphic and geochemical expression of Barremian–Aptian global climate change in Arctic Svalbard // *Geosphere*. 2016. V. 12. P. 1594–1605. <https://doi.org/10.1130/ges01344.1>
- Vickers M., Watkinson M., Price G.D., Jerret R. An improved model for the ikaite–glendonite transformation: evidence from the Lower Cretaceous of Spitsbergen, Svalbard // *Norw. J. Geol.* 2018. V. 98. P. 1–15. <https://doi.org/10.17850/njg98-1-01>
- Vickers M., Watkinson M., Price G.D., Jerret R., Sutton P., Watkinson P., FitzPatrick M. The duration and magnitude of Cretaceous cool events: evidence from the northern high latitudes // *Bull. Geol. Soc. Am.* 2019. V. 131. P. 1979–1994. <https://doi.org/10.1130/b35074.1>
- Whiticar M.J., Suess E. The cold carbonate connection between Mono Lake, California and the Bransfield Strait, Antarctica // *Aquat. Geochem.* 1998. V. 4. P. 429–454. <https://doi.org/10.1023/A:1009696617671>
- Zakharov Y.D., Shigeta Y., Popov A.M., Velivetskaya T.A., Afanasyeva T.B. Cretaceous climatic oscillations in the Bering area (Alaska and Koryak Upland): isotopic and palaeontological evidence // *Sediment. Geol.* 2011. V. 235. № 1. P. 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.03.012>
- Zhou J., Poulsen C.J., Pollard D., White T.S. Simulation of modern and middle Cretaceous marine $\delta^{18}O$ with an ocean–atmosphere general circulation model // *Paleoceanography*. 2008. V. 23. PA3223. <https://doi.org/10.1029/2008PA001596>

Рецензенты Н.Б. Кузнецов,
Е.В. Щенетова, Е.А. Яхт-Языкова

New Data on Stratigraphy and Glendonites Distributions from Carlinefjellet Formation (Middle Aptian–Lower Albian, Cretaceous), Western Spitsbergen

K. Yu. Mikhailova^{a, #}, M. A. Rogov^b, V. B. Ershova^{a, b}, K. Yu. Vasileva^a,
B. G. Pokrovsky^b, and E. Yu. Baraboshkin^c

^a*Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

^b*Geological Institute of RAS, Moscow, Russia*

^c*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: mikhailova.ky@gmail.com*

The Aptian stage of the Spitsbergen Island sediments is poorly studied, and there was no published data on fossil distribution in the Aptian and Albian sediments in the vicinity of Longyearbyen. The article provides new data on biostratigraphy of the Carlinefjellet Formation showing presence of layers with *Tropaeum arcticum* (Middle Aptian) and layers with *Grantziceras* (Lower Albian). The age of the formation was determined and presence of Lower Albian strata was justified. Glendonites from the Carlinefjellet Formation are composed of 3 calcite generations: ikaite-derived calcite and two successive cement types. Isotopic composition of glendonites was determined for 5 bulk samples. $\delta^{18}\text{O}$ values are characteristic for mixture of seawater and diagenetic fluids; $\delta^{13}\text{C}$ values are characteristic for sedimentary organic matter and methanotrophy. Ammonite findings allowed to clarify intervals of glendonite occurrence and associated cold-climate episodes and to prove Lower Albian age of glendonites from the top of the Carlinefjellet Formation.

Keywords: ammonite, glendonite, Spitsbergen, stratigraphy, stable isotopes, Lower Cretaceous