

Козина Н.В.<sup>1</sup>, Рейхард Л.Е.<sup>1</sup>, Ключиткин А.А.<sup>1</sup>

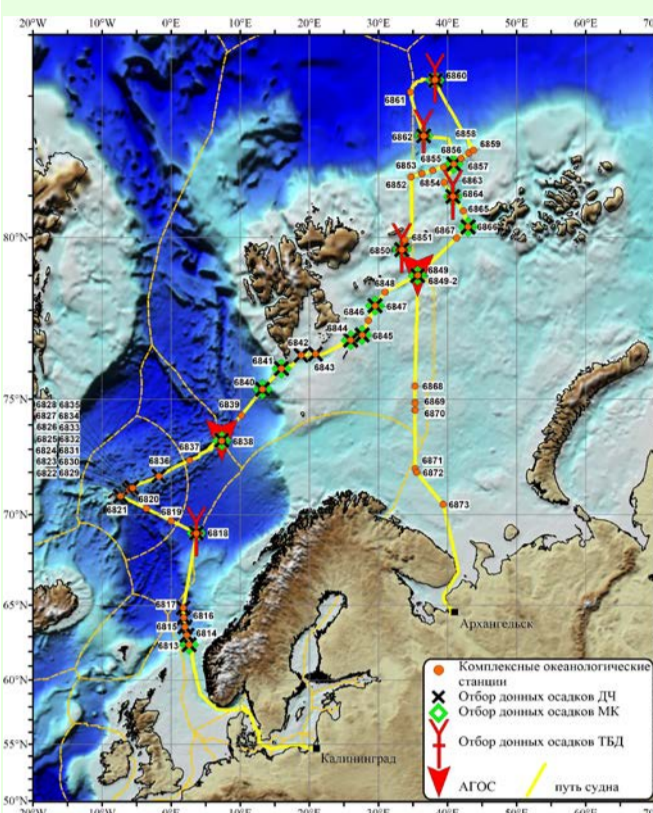
<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва  
Email: kozina\_nina@bk.ru

## Введение

Проявления метановых газово-флюидных высачиваний наблюдаются на шельфах и континентальных склонах внутренних и окраинных морей по всему миру, в том числе и арктических морях [1–5]. Зоны разгрузки метановых газово-флюидных высачиваний обычно сопровождаются специфической геохимической обстановкой придонных и поровых вод осадков, благоприятствующей процессам аутигенного минералообразования [4]. С большинством из известных проявлений метановых сипов связано формирование в толще осадков карбонатной минерализации. Во многих случаях карбонатная минерализация ассоциирует с газогидратами метана [4]. Значительно реже встречаются холодные газово-флюидные потоки, несущие наряду с метаном также другие химические компоненты [4]. Находки аутигенных карбонатных образований являются важными для восстановления условий седиментации и осадконакопления в арктических морях. Как известно, аутигенные минералы являются основными индикаторами среды, в которой происходило формирование отложений, а также процессов преобразования осадков [1–3, 6].

В настоящей работе представлены результаты литолого-минералогических и геохимических исследований коркоподобных образований, представленных аутигенными карбонатами, и вмещающих их донных осадков из зоны выходов метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (холодные метановые сипы) в желобе Стурфьорд (Баренцево море).

## Материалы и методы



Материалом для исследования послужили донные осадки, отобранные на западной окраине Баренцева моря в районе желоба Стурфьорда (80-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», 2018 г.) [7]. Отбор донных осадков был выполнен мультикорером на станции 6841 в местах выходов метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (холодные метановые сипы) в желобе Стурфьорд. Длина колонки составила 26 см, отбор проб донных осадков для аналитических исследований производился через каждый 1 см.

## Результаты и обсуждение

Осадки представлены алеврито-пелитовыми илами с примазками и микропрослоями гидротроилита. В отложениях наблюдается значительное количество погонифоров. В толще осадка присутствует сильный запах сероводорода.

С глубины 2 см в отложениях обнаружены карбонатные корки различных оттенков серого цвета (от светло-серого до темно-серого), плотные, крепко сцементированные, размером от 0.5 до 4.5 см. В корках отмечаются пустоты в виде каверн. В составе карбонатных корок отмечается обломочный материал, представленный кварцем и полевыми шпатами.

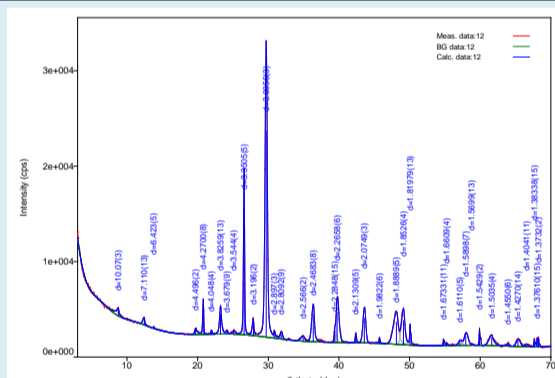
Интервал, см	Минеральный состав (данные РД) карбонатных корок (ст. 6841)											
	Qz	K-fsp	Plag	Mg-Cal	Dol	Sd	Arg	Py	Chl	Kln	Sme	Ill
15-16 см	21	следы	5	68	1	0	0	1	1	следы	1	2
19-20 см	9	0	2	67	1	4	6	6	2	следы	1	2
21-22 см	40	1	10	0	2	14	0	2	10	1	11	9
24-25 см	10	0	2	78	1	3	0	0	1	1	0	4

Примечание: Qz-кварц, K-fsp-калиевые полевые шпаты, Plag-плагиоклазы, Mg-Cal-магнезиальный кальцит, Dol-доломит, Sd-сидерит, Arg-арагонит, Py-пирит, Chl-хлорит, Kln-каолинит, Sme-сметит, Ill-иллит.

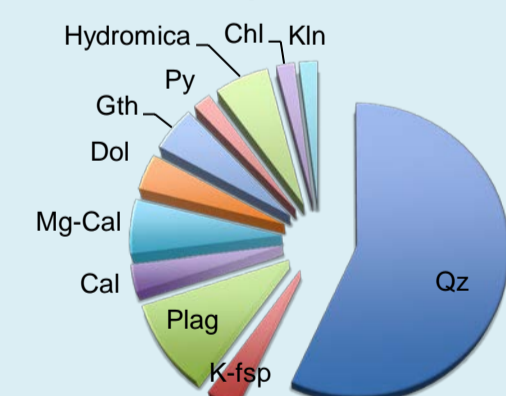
Минеральный состав карбонатных корок по данным РД представлен преимущественно Mg-кальцитом (до 78%). Содержание арагонита достигает 5%, сидерита – до 4%, доломита – до 1%. Содержание сульфидов, представленных пиритом, достигает 6%.

Методом СЭМ подтверждено, что состав цемента карбонатных корок представлен главным образом Mg-кальцитом, как в виде кристаллов, так и в виде сплошной волокнистой массы. В поровом пространстве корок развиваются призматические кристаллы арагонита. В качестве включений в цементе присутствуют фрамбониды и скопления кристаллитов пирита.

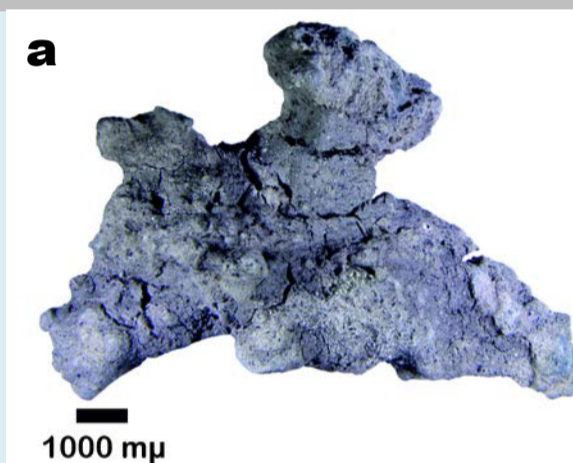
Геохимические исследования показали, что содержание MgO в карбонатных образованиях варьирует в пределах 3.7-4.0%, CaO – 25.0–34.3%.



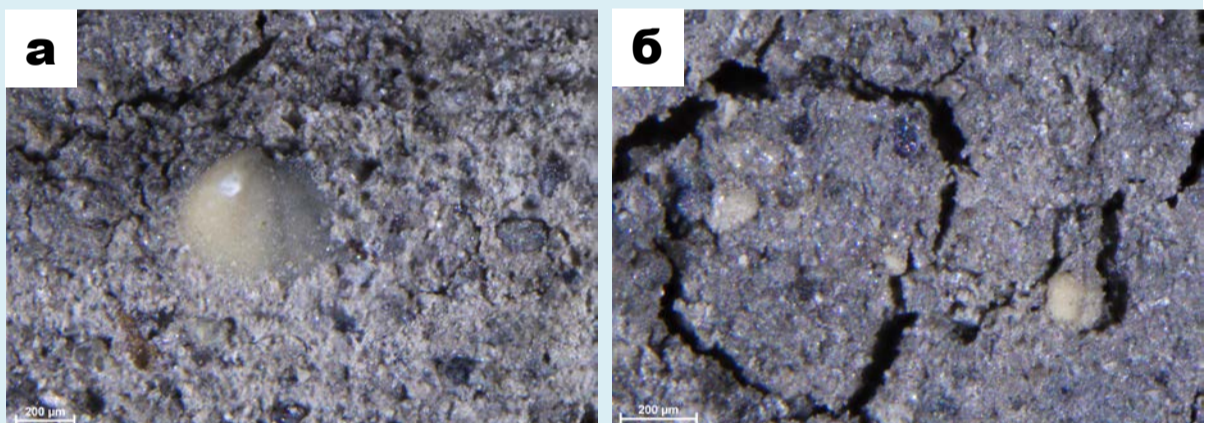
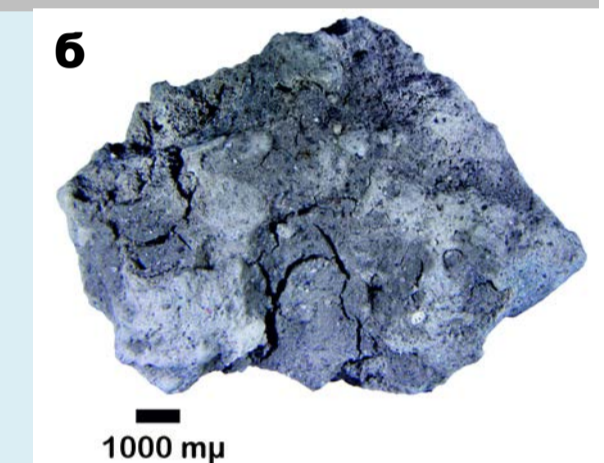
Данные РД, карбонатная корка, ст. 6841, интервал 24-25 см.



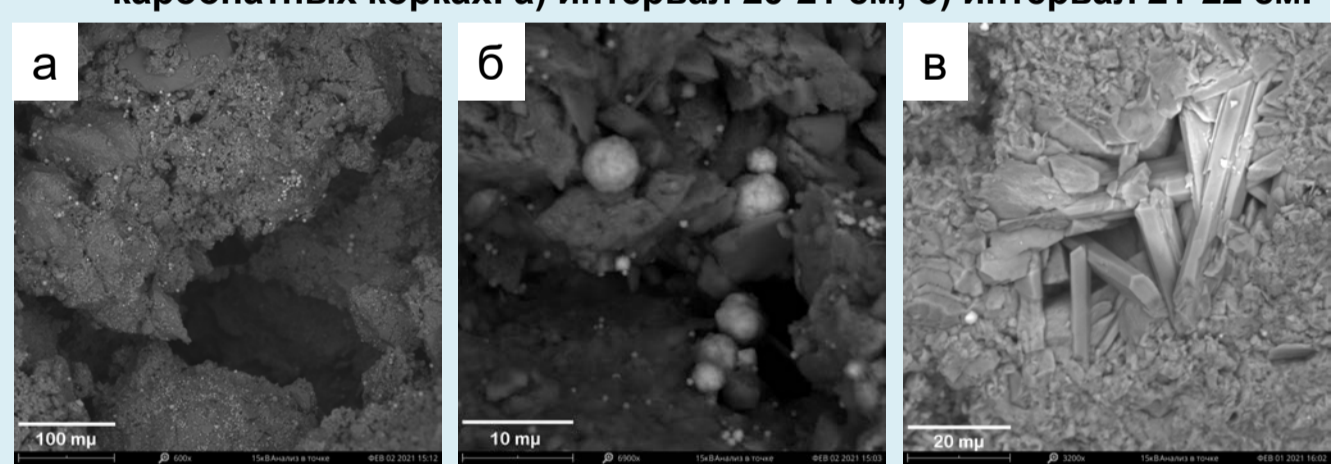
Минеральный состав (данные РД) осадка, интервал 24-25 см.



Карбонатные корки а) интервал 20-21 см, б) интервал 21-22 см.



Обломочный материал и раковины фораминифер в карбонатных корках: а) интервал 20-21 см, б) интервал 21-22 см.



Микрофотографии карбонатных корок: а) фрамбональный пирит в Mg-кальцитовом цементе, б) кристаллы Mg-кальцита и фрамбональный пирит, в) кристаллы арагонита.

## Выводы

В результате проведенных исследований карбонатных образований и вмещающих осадков, отобранных в месте выходов холодных метановых сипов, установлено, что карбонатные образования сложены главным образом аутигенными карбонатами (Mg-кальцитом, арагонитом, сидеритом, доломитом). Выявленные в корках включения аутигенного фрамбонального пирита, по всей видимости, образовывались в парагенезе с Mg-кальцитом.

Дальнейшие исследования позволят установить механизмы и условия образования аутигенных карбонатных корок.

## Список литературы

1. Кравчишина М. Д., Леин А. Ю., Саввичев А. С. и др. Аутигенный Mg-кальцит на метановом полигоне в море Лаптевых // Океанология. 2017. Т. 57. №1. С. 194–213.
2. Kravchishina M.D, Lein A.Yu, Flint M.V. et al. Methane-Derived Authigenic Carbonates on the Seafloor of the Laptev Sea Shelf. Front. Mar. Sci. 8:690304. doi: 10.3389/fmars. 2021. 690304.
3. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. – М.: Наука, 2009. 576 с.
4. Деркачев А.Н., Николаева Н.А., Баранов Б.В. и др. Проявление карбонатно-баритовой минерализации в районе метановых сипов в Охотском море на западном склоне Курильской котловины. Океанология. 2015. Т. 55. № 3. С. 432–443.
5. Hong W.-L., Torres M. E., Carroll J. L. et al. Seepage from an arctic shallow marine gas hydrate reservoir is insensitive to momentary ocean warming. Nat. Commun. 2017. 8:15745. doi: 10.1038/ncomms15745.
6. Kozina N.V., Reykhard L.Ye., Dara O.M., Gordeev V.V. Characteristic property of the formation of authigenic minerals in bottom sediments of the South Caspian Basin under hydrogen sulfide contamination conditions // Oceanology, 2021, Vol. 61, No. 6, pp. 1006–1015.
7. Ключиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В. и др. Исследования Европейской Арктики в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Океанология. 2021. Т. 61. № 1. С. 156–158.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность организатору экспедиционных работ Кравчишиной М.Д., капитану и экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», Новичковой Е.А., Матулю А.Г., Малафееву Г.В., Исаченко С.М. и всему научному составу за помощь в проведении экспедиции, Косорукову В.Л. и Карандашеву В.К. за участие в выполнении аналитических исследований.

Минералогические исследования выполнены в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0006); экспедиционные исследования, отбор и обработка проб, первичные аналитические исследования проведены за счет гранта РФФИ № 20-17-00157; часть экспедиционных исследований и геохимические исследования проведены за счет гранта РФФИ № 19-77-00015.