



# Вертикальные потоки осадочного вещества на гидротермальных полях южной части хребта Мона по данным краткосрочной постановки АГОС в 2019 г.

**А.А. Ключиткин\*, М.Д. Кравчишина, А.Г. Боев**

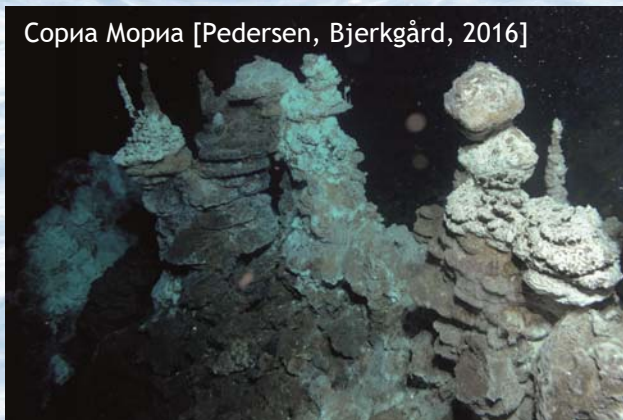
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

\* [klyuvitkin@ocean.ru](mailto:klyuvitkin@ocean.ru)

**Москва-2022**



Сориа Мория [Pedersen, Bjerkgård, 2016]



А Троллвегген [Pedersen et al., 2010]

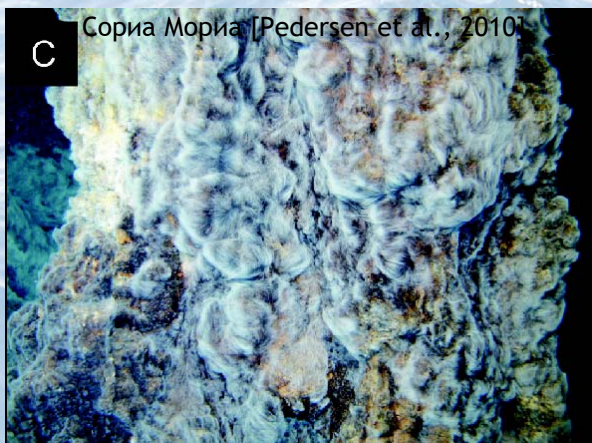


Наиболее эффективные проявления гидротермальной активности в океане - это высокотемпературные источники растворов и газов. Так называемые черные и белые курильщики создают насыщенные частицами плюмы, поднимающиеся на сотни метров над морским дном [Лисицын, 2014]. Изучение гидротермальных плюмов в настоящее время - это важная составляющая океанологических исследований в силу значительного влияния высокотемпературных флюидов на баланс химических элементов в океане.

Цель данной работы - оценить потоки вещества и состав оседающих частиц в гидротермальной седиментосистеме южной части хр. Мона под влиянием гидродинамических факторов, воздействующих на распространение гидротермального плюма.

Гидротермальные проявления в южной части хр. Мона были открыты в экспедиции BIODEEP-05 норвежского научно-исследовательского судна «G.O. Sars» в 2005 г. [Pedersen et al., 2005]. Исследования развивались в последующих экспедициях в разных направлениях. Но прямой сбор осаждающегося вещества гидротермальных плюмов с помощью седиментационных ловушек в этом районе выполнен нами впервые.

Сориа Мория [Pedersen et al., 2010]



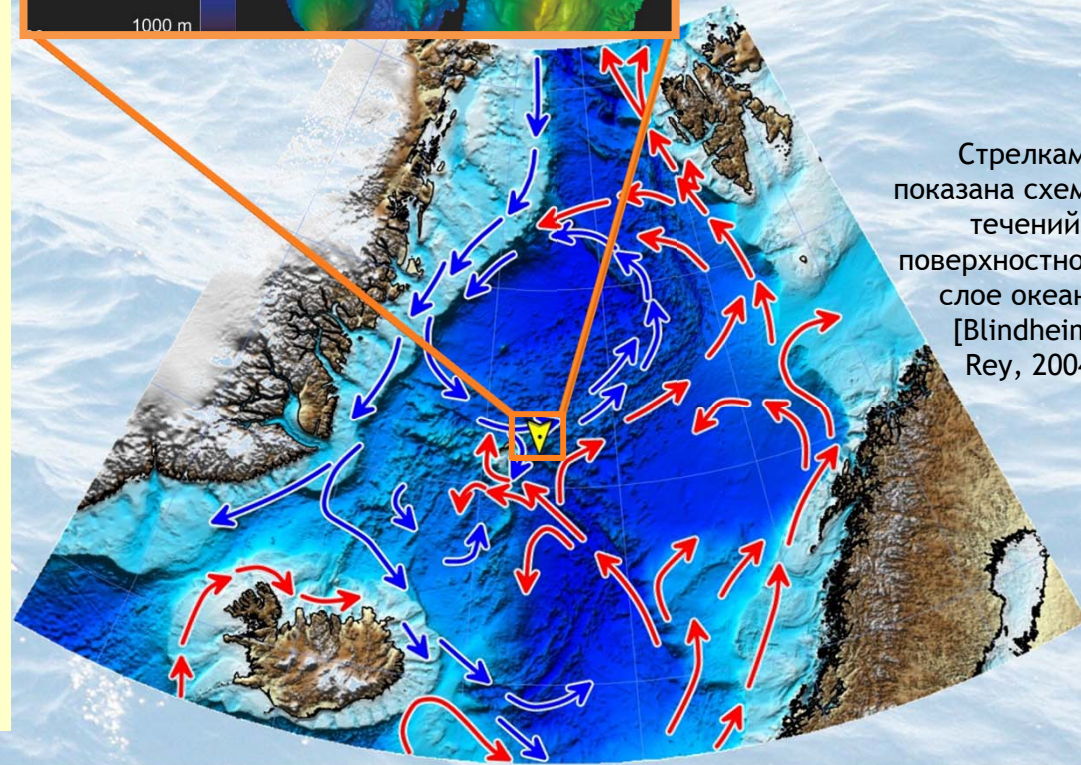
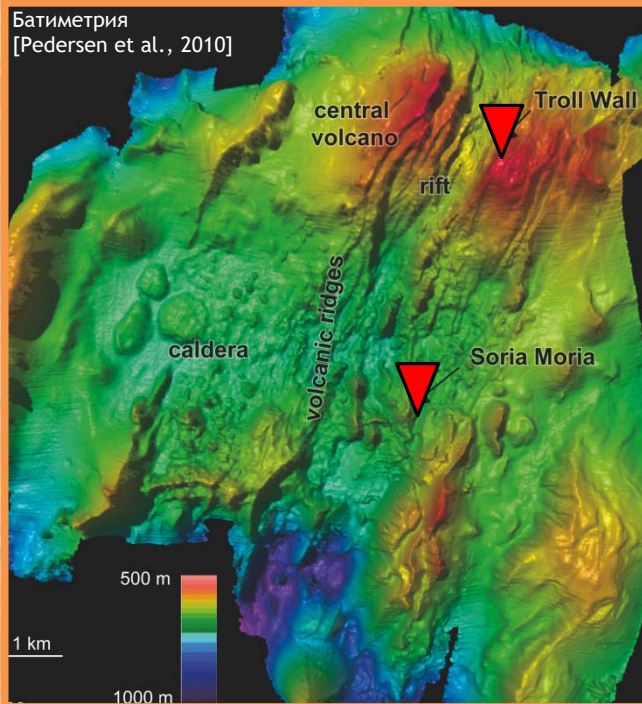
Depth: 0668.12 Heading: 003 N 071°15'686496' E -005°48'818932'



Сориа Мория [Pedersen et al., 2010]



# Район работ



Краткосрочная постановка автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий проводилась в экспедиции «Западная Арктика - 2019» в ходе 75-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в начале лета с 4 по 8 июня 2019 г. на гидротермальных полях Троллвегген и Сория Мориа при глубине моря 550 м и 670 м, соответственно [Клювиткин и др., 2020]. Экспозиция АГОС-1 (Троллвегген) составила 101.7 часа, а АГОС-2 (Сория Мориа) - 95.5 часов.

Использованы малые цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ-110 [Лукашин и др., 2011]. Пробосборники заполнялись фильтратом морской воды с горизонта постановки. Для регистрации параметров среды на придонном горизонте АГОС-1 были установлены акустический измеритель течения Nortek Aquadopp и CTD-профилограф SBE37, а на двух нижних горизонтах АГОС-2 - термографы RBRduet. Перед постановкой и после подъема АГОС выполнены CTD-зондирования судовым комплексом SBE911plus.

В ловушечном материале определено содержание Si и Al фотоколориметрическим методом (аналитик Е.О. Золотых) и органического ( $C_{орг}$ ) и карбонатного ( $C_{карб}$ ) углерода методом кулонометрического титрования на анализаторе углерода АН-7529 (аналитик Л.В. Демина). Рассчитано содержание  $CaCO_3$ , литогенного вещества (ЛВ), и биогенного кремнезема ( $SiO_{2биог}$ ). Состав частиц изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) VEGA-3sem TESCAN с системой рентгеноспектрального микроанализа Oxford INCA Energy 350.



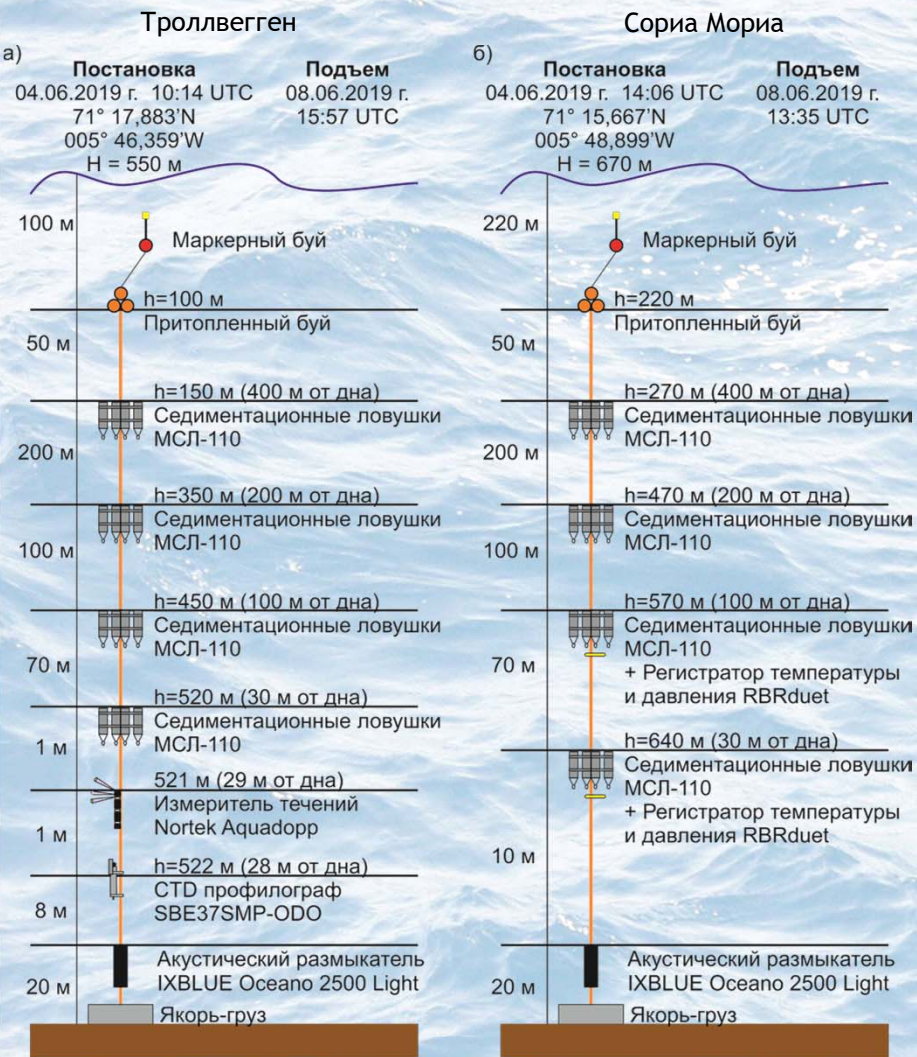
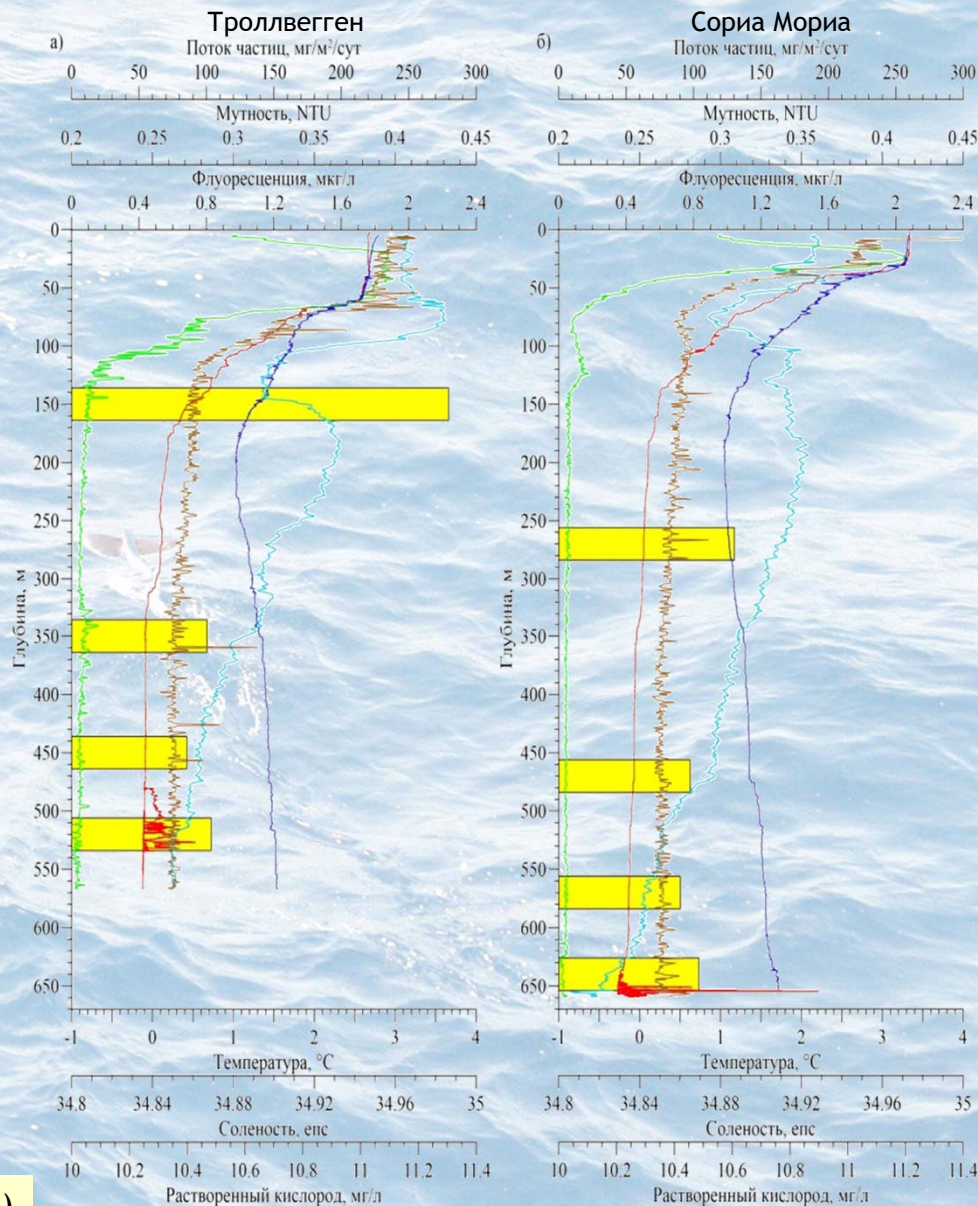


Схема автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий с седиментационными ловушками и регистраторами параметров водной толщи.

Температурный фон в придонных слоях (до 100 м от дна) составил  $-0.13$ – $-0.12$  °C для поля Троллвегген и  $-0.26$ – $-0.13$  °C для поля Сориа Мориа. CTD-зондирования выявили у дна положительные температурные аномалии амплитудой  $0.64$  °C на первом и  $2.49$  °C на втором поле соответственно.



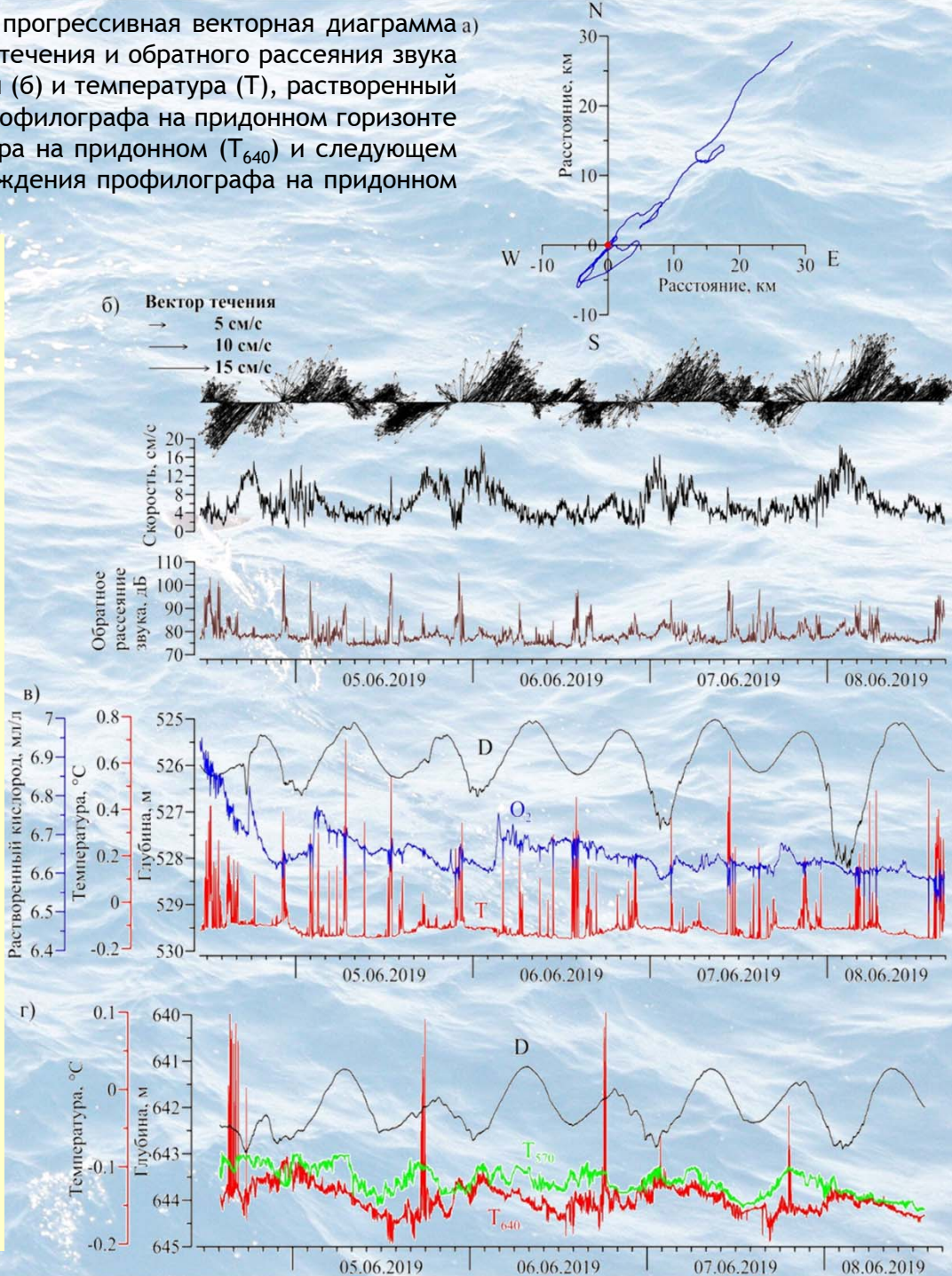
Распределение параметров среды в водной толще перед постановкой АГОС, а также вертикальные потоки осадочного вещества на гидротермальных полях Троллвегген и Сориа Мориа.



Параметры водной толщи в точках постановки АГОС: прогрессивная векторная диаграмма а) течения (а), изменчивость вектора течения, скорости течения и обратного рассеяния звука взвесью по данным акустического измерителя течений (б) и температура (Т), растворенный кислород ( $O_2$ ) и колебания глубины (D) нахождения профилографа на придонном горизонте на поле Троллвегген (АГОС-1) (в), а также температура на придонном ( $T_{640}$ ) и следующем от дна ( $T_{570}$ ) горизонте и колебания глубины (D) нахождения профилографа на придонном горизонте на поле Сориа Мориа (АГОС-2) (г).

В придонном слое поля Троллвегген зафиксирован перенос вод в северо-восточном направлении, что практически совпадает с пространственной ориентацией рифтовой долины в зоне исследования. При этом движение воды носило возвратно-поступательный характер с полусуточным приливным циклом. Скорости течения изменялись от 0.3 до 18.7 см/с, в среднем 6.1 см/с. В придонном горизонте зафиксированы многочисленные, хаотично возникающие, кратковременные положительные аномалии температуры амплитудой до  $0.86^\circ\text{C}$ . К этим же пикам привязаны минимумы концентраций растворенного  $O_2$ , а также максимумы коэффициента обратного рассеяния звука взвесью. Очевидно, что ловушки в придонном горизонте на поле Троллвегген попадали в область влияния гидротермального плюма, что и было целью постановки.

В придонном слое на поле Сориа Мориа также зафиксированы пики температуры, но с гораздо меньшей амплитудой ( $\sim 0.25^\circ\text{C}$ ). Повышение температуры отмечалось 1 раз в сутки и было привязано к фазе прилива. На следующем горизонте от дна (570 м) подобные температурные аномалии не обнаружены, т.е. вблизи источника гидротермальный плюм распространяется в субгоризонтальном направлении в 10-30 м от дна, что также подтверждено CTD-зондированиями.





Максимум потока осадочного вещества ( $279 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$ ) выявлен на горизонте 150 м на поле Троллвегген. Глубже, с 270 м до дна, потоки варьировали в пределах  $85\text{-}130 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$ . Минимум потоков зафиксирован в промежуточном слое 450-570 м на обеих АГОС. Выявлено небольшое увеличение потоков в придонном слое.

Полученные значения потоков, в целом, несколько выше, чем в среднем для изучаемого региона. В период работы АГОС наблюдалось цветение микроводорослей, что подтверждается высокими концентрациями хлорофилла «а» в поверхностном слое (до  $5.4 \text{ мг/л}$ ) и высоким потоком хлорина на подповерхностном горизонте АГОС-1.

Потоки частиц в придонном слое исследованного полигона намного ниже, чем на гидротермальных полях Срединно-Атлантического хребта  $25\text{-}40^\circ$  с.ш. Потоки вещества значительно варьируют на разных гидротермальных полях, но все они превышают таковые величины, полученные на полях Троллвегген и Сория Мория [Khripounoff et al., 2000, 2001; Lukashin et al., 1999].

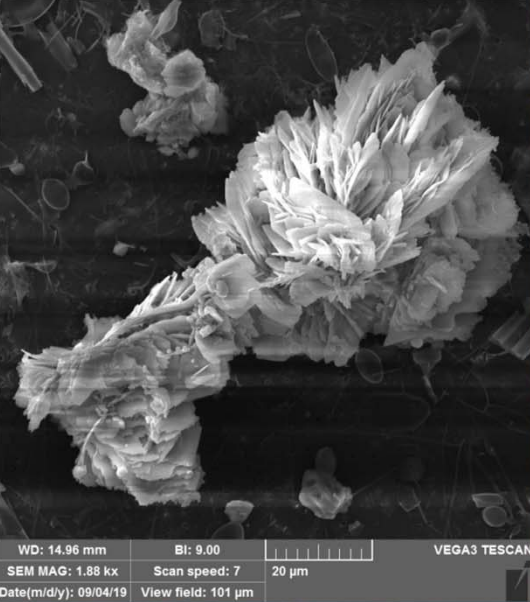
Таким образом, интенсивность гидротермальных проявлений изученных нами полей и влияние гидротермального плюма на водную среду существенно ниже, чем на других известных гидротермальных полях САХ, что отмечалось ранее [Кравчишина и др., 2019].

По значению вертикальных потоков частиц поля Троллвегген и Сория Мория наиболее близки к полю Лаки Страйк. Ранее было показано также сходство этих полей по составу донных осадков [Кравчишина и др., 2019].

В составе осаждающегося материала преобладало биогенное вещество ( $\text{CaCO}_3$ ,  $C_{\text{орг}}$ ,  $\text{SiO}_{2\text{био}}$ ), достигая в верхнем слое АГОС-1 (150 м)  $\sim 99\%$ .  $C_{\text{орг}}$  варьировал от 19% до 40% с максимумом в подповерхностных горизонтах. Отмечено практически постоянное во всей водной толще высокое содержание биогенного кремнезема ( $22.5\text{-}28.7\%$ ), при этом максимум потока  $\text{SiO}_{2\text{био}}$  приурочен к подповерхностным и достигает  $69.3 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$ . Максимум  $\text{CaCO}_3$  в потоке также выявлен в подповерхностных горизонтах. Поток ЛВ возрастает ниже эвфотического слоя и остается практически неизменным ( $13.6\text{-}19.7 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$ ) от 270 м до дна на обеих станциях, составляя  $12.8\text{-}21.8\%$  вещества в ловушках.

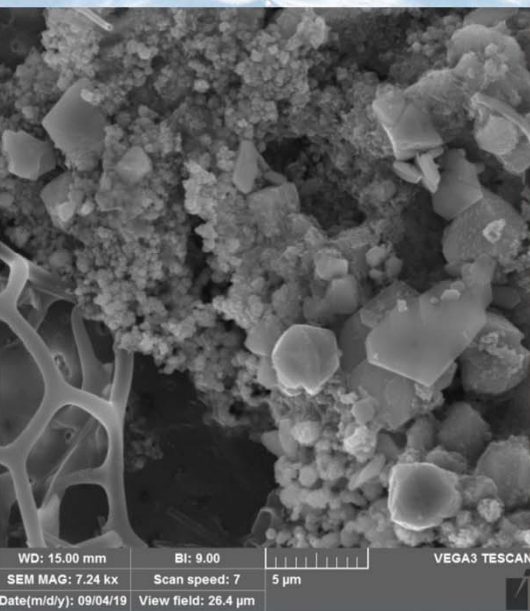
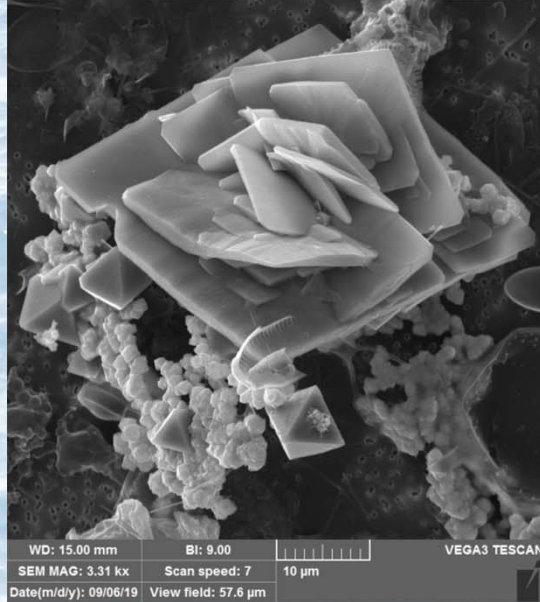
Придонные горизонты, подверженные влиянию поставки вещества из высокотемпературных гидротермальных флюидов, по соотношению основных макрокомпонент потока явно не выделяются. Обращает на себя внимание только незначительное уменьшение содержания в потоке основного маркера ЛВ Al на  $13\text{-}22\%$  от вышележащего горизонта, при том, что суммарный поток не уменьшается, а даже возрастает на  $15\text{-}20\%$ . Очевидно, увеличение потока происходит все-таки за счет поставки гидротермального материала, имеющего состав, отличный от среднего для верхнего слоя земной коры, на основании которого обычно рассчитывается содержание ЛВ во взвеси.



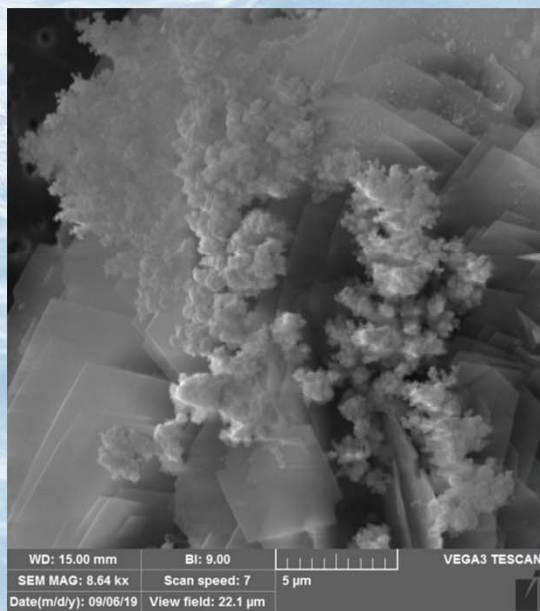


По данным СЭМ во всей толще воды, кроме придонных горизонтов обоих полей, преобладало биогенное вещество и частицы породообразующих минералов пелитовой и мелкоалевритовой размерности.

В придонном горизонте поля Троллвегген выявлено значительное количество минералов гидротермального генезиса. Преобладают крупные, до 140 мкм, кристаллиты гипса, сформированные в результате свободного роста. Микрористаллиты барита содержат значительную изоморфную примесь Sr. Барит образует минеральную ассоциацию и сростки с сульфидами Fe, Cu, Zn. Сульфидные минералы формируют пористые почковидные массы с размерами отдельных сферолитов <0.5 мкм, и только пирит образует правильные октаэдры и кубоктаэдры размером до 3 мкм. Обнаружены волокнистые агрегаты (нити и сферы) аморфного кремнезема с примесью Fe и Ca, часто закрученные в спирали.



Минеральное вещество придонного горизонта поля Сория Мориа представлено частицами глинистых минералов, единичными частицами породообразующих минералов, стекловидными нитями, сростками кристаллов барита и сульфидами Fe, Cu, Zn. Сульфидные минералы представлены хорошо окристаллизованными октаэдрами пирита и сфалерита до 6 мкм, а также фазами сложного состава в форме дендритов и сплошных масс. Главное отличие между двумя полями - полное отсутствие на поле Сория Мориа кристаллитов гипса и более низкое содержание агрегатов аморфного кремнезема.





## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят экипаж и научный состав НИС «Академик Мстислав Келдыш» за помощь в экспедиции, а также проф. А.Ю. Леин за помощь в постановке научных задач и обсуждении результатов исследования.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Сбор и анализ проб выполнены при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-17-00157. Работа АГОС обеспечена грантом РФФИ № 19-05-00787.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Немировская И.А., Баранов Б.В., Коченкова А.И., Лисицын А.П.* Исследование седиментосистем Европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 3. С. 487-487.
- Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Боев А.Г., Прокофьев В.Ю., Стародымова Д.П., Дара О.М., Новигатский А.Н., Лисицын А. П.* Гидротермальные минеральные ассоциации на 71° с. ш. Срединно-Атлантического хребта (первые результаты) // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 6. С. 1039-1057.
- Лисицын А.П.* Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // *Мировой океан*. Т. II. М.: Научный мир, 2014. С. 331-571.
- Лукашин В.Н., Клювиткин А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н.* Малая седиментационная ловушка МСЛ-110 // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 746-750.
- Blindheim J., Rey F.* Water-mass formation and distribution in the Nordic Seas during the 1990s // *ICES Journal of Marine Science*. 2004. 61. P. 846-863.
- Khripounoff A., Comtet T., Vangriesheim A., Crassous P.* Near-bottom biological and mineral particle flux in the Lucky Strike hydrothermal vent area (Mid-Atlantic Ridge) // *Journal of Marine Systems*. 2000. V. 25. № 2. P. 101-118.
- Khripounoff A., Vangriesheim A., Crassous P., Segonzac M., Colaço A., Desbruyeres D., Barthelemy R.* Particle flux in the Rainbow hydrothermal vent field (Mid-Atlantic Ridge): dynamics, mineral and biological composition // *Journal of Marine Research*. 2001. V. 59. № 4. P. 633-656.
- Lukashin V.N., Rusakov V.Y., Lisitzin A.P., Lein A.Y., Isaeva A.B., Serova V.V., Karpenko A.A.* Study of particle fluxes in the Broken Spur hydrothermal vent field (29 degrees N, Mid-Atlantic Ridge) // *Exploration and Mining Geology*. 1999. V. 8. № 3-4. С. 341-353.
- Pedersen R.B., Bjerkgård T.* Seafloor massive sulphides in Arctic waters // *Mineral Resources In The Arctic*. 2016. Vol. 1. P. 209-216.
- Pedersen R.B., Thorseth I.H., Hellevang B., Schultz A., Taylor P., Knudsen H.P., Steinsbu B.O.* Two vent fields discovered at the ultraslow spreading Arctic Ridge System // *AGU Fall Meeting Abstracts*. 2005. OS21C-01.
- Pedersen R.B., Thorseth I.H., Nygård T.E., Lilley M.D., Kelley D.S.* Hydrothermal activity at the Arctic Mid-Ocean Ridges // *Diversity of Hydrothermal Systems on Slow Spreading Ocean Ridges*. Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series, 2010. V. 188. P. 67-89.