



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

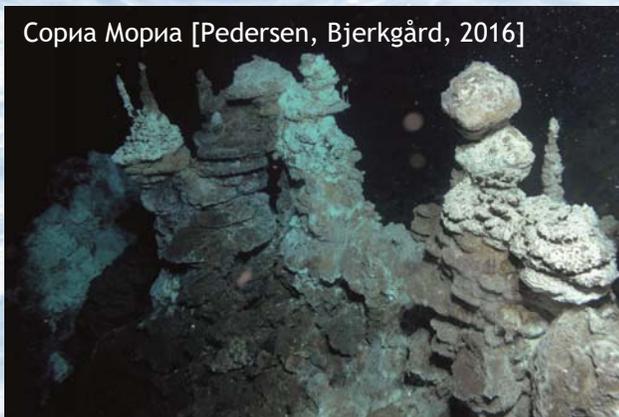
А.А. Ключиткин*, М.Д. Кравчишина, А.Г. Боев

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

* klyuvitkin@ocean.ru

Москва-2022

Сориа Мориа [Pedersen, Bjerkgård, 2016]



А Троллвегген [Pedersen et al., 2010]

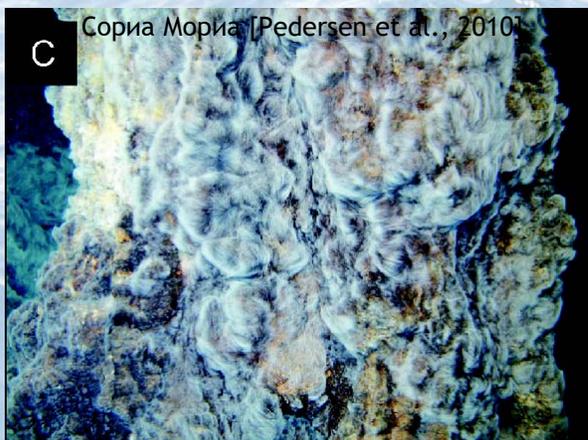


Наиболее эффективные проявления гидротермальной активности в океане - это высокотемпературные источники растворов и газов. Так называемые черные и белые курильщики создают насыщенные частицами плюмы, поднимающиеся на сотни метров над морским дном [Лисицын, 2014]. Изучение гидротермальных плюмов в настоящее 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 Мориа [Pedersen et al., 2010]

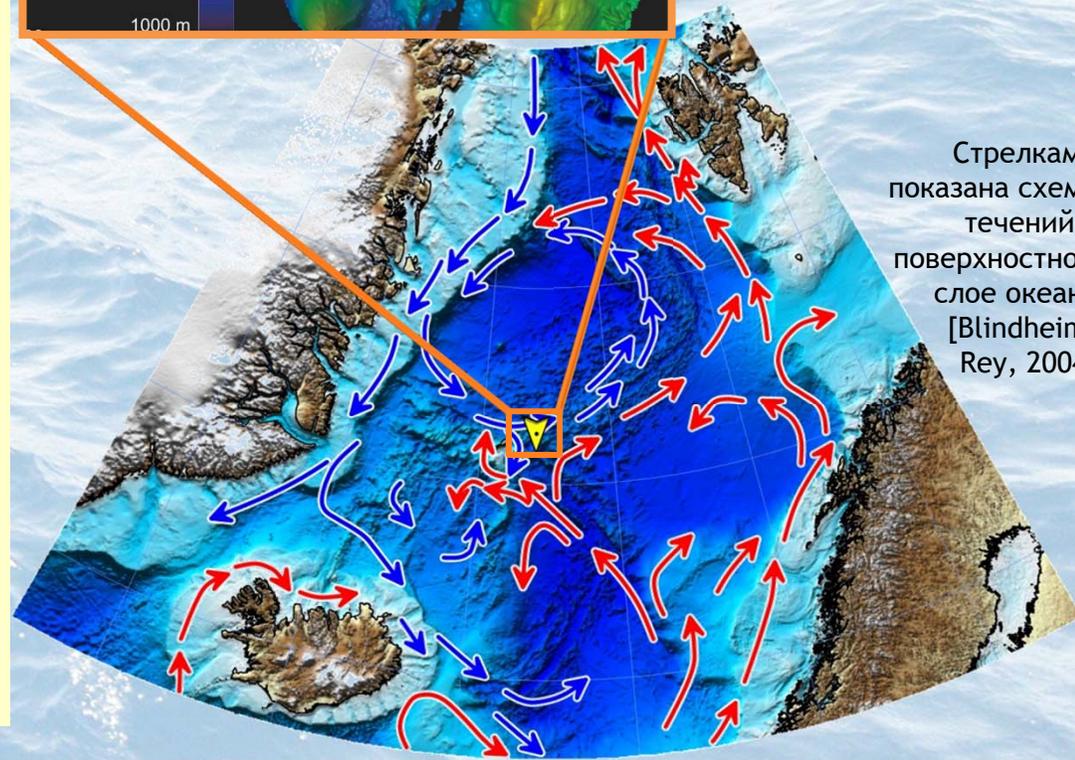
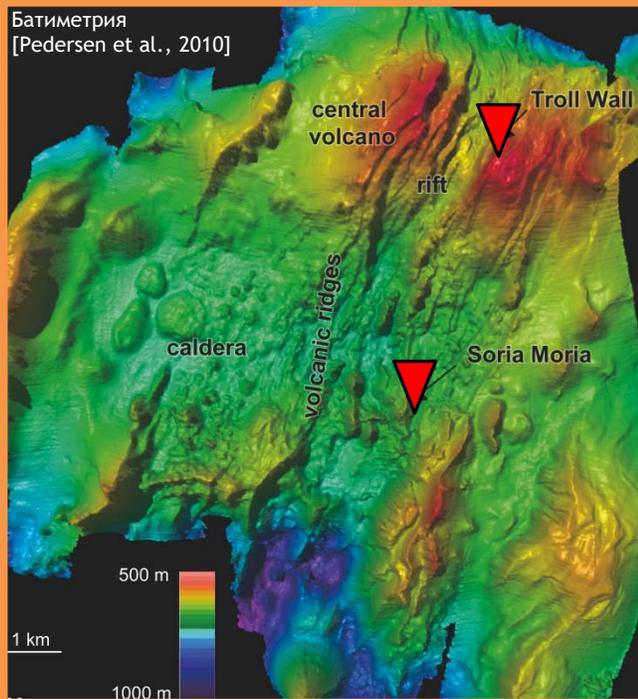


Depth: 0668.12 Heading: 003 N 071°15'686496" E -005°48'818932"



Сориа Мориа [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.

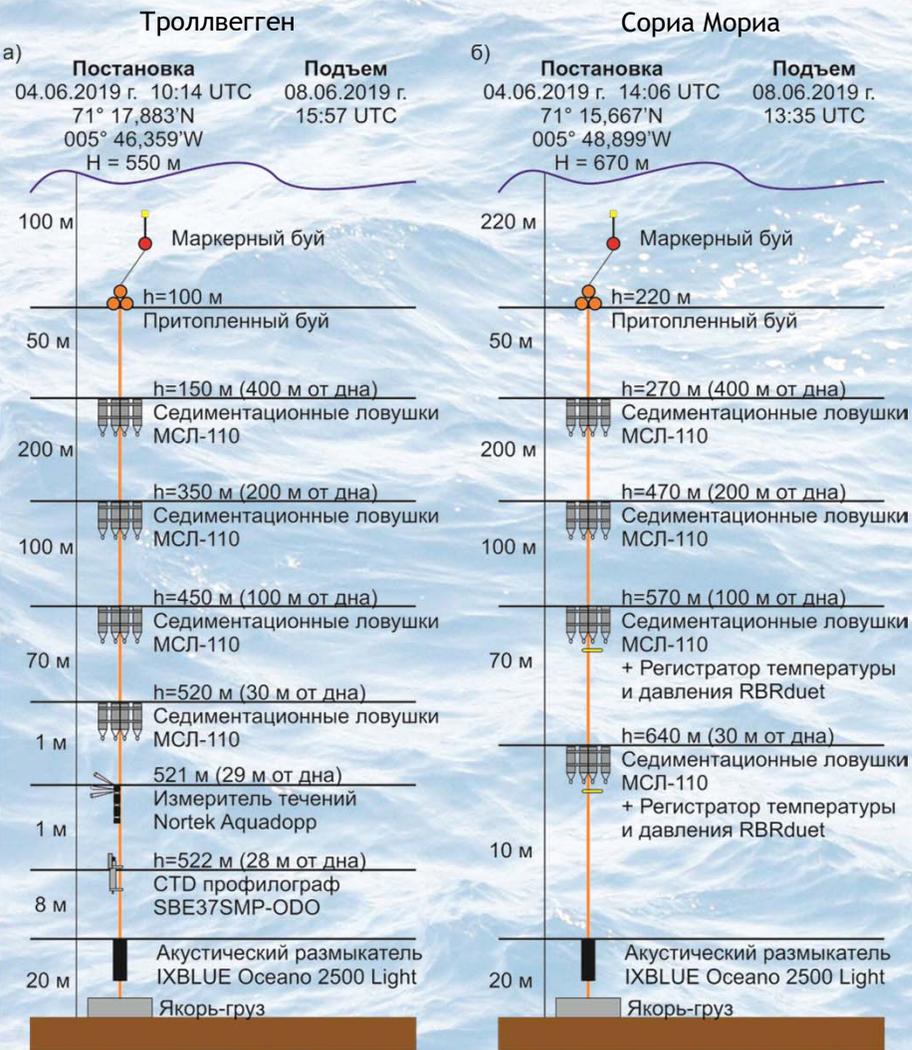
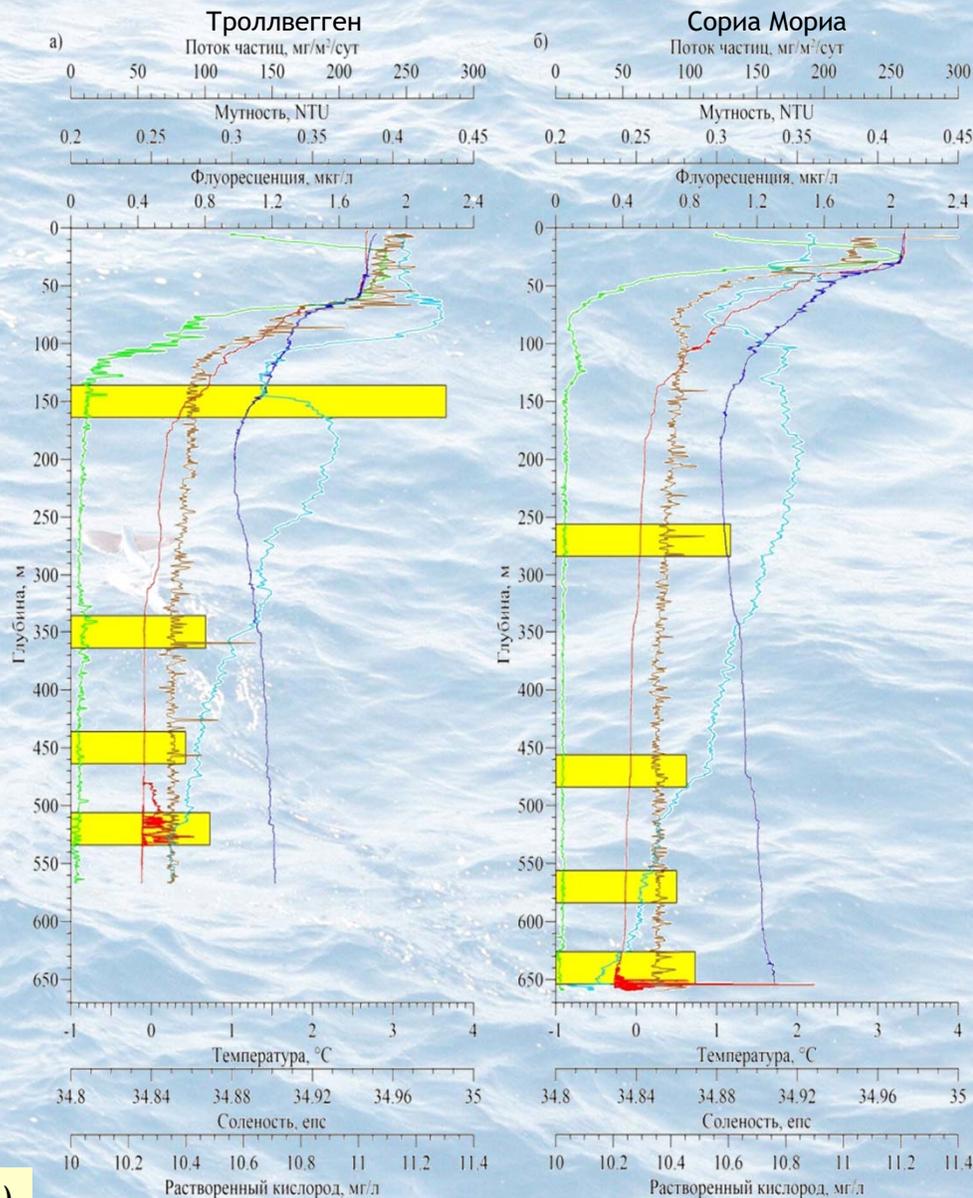


Схема автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий с седиментационными ловушками и регистраторами параметров водной толщи.

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 Сория Мориа. CTD-зондирования выявили у дна положительные температурные аномалии амплитудой 0.64 °C на первом и 2.49 °C на втором поле соответственно.

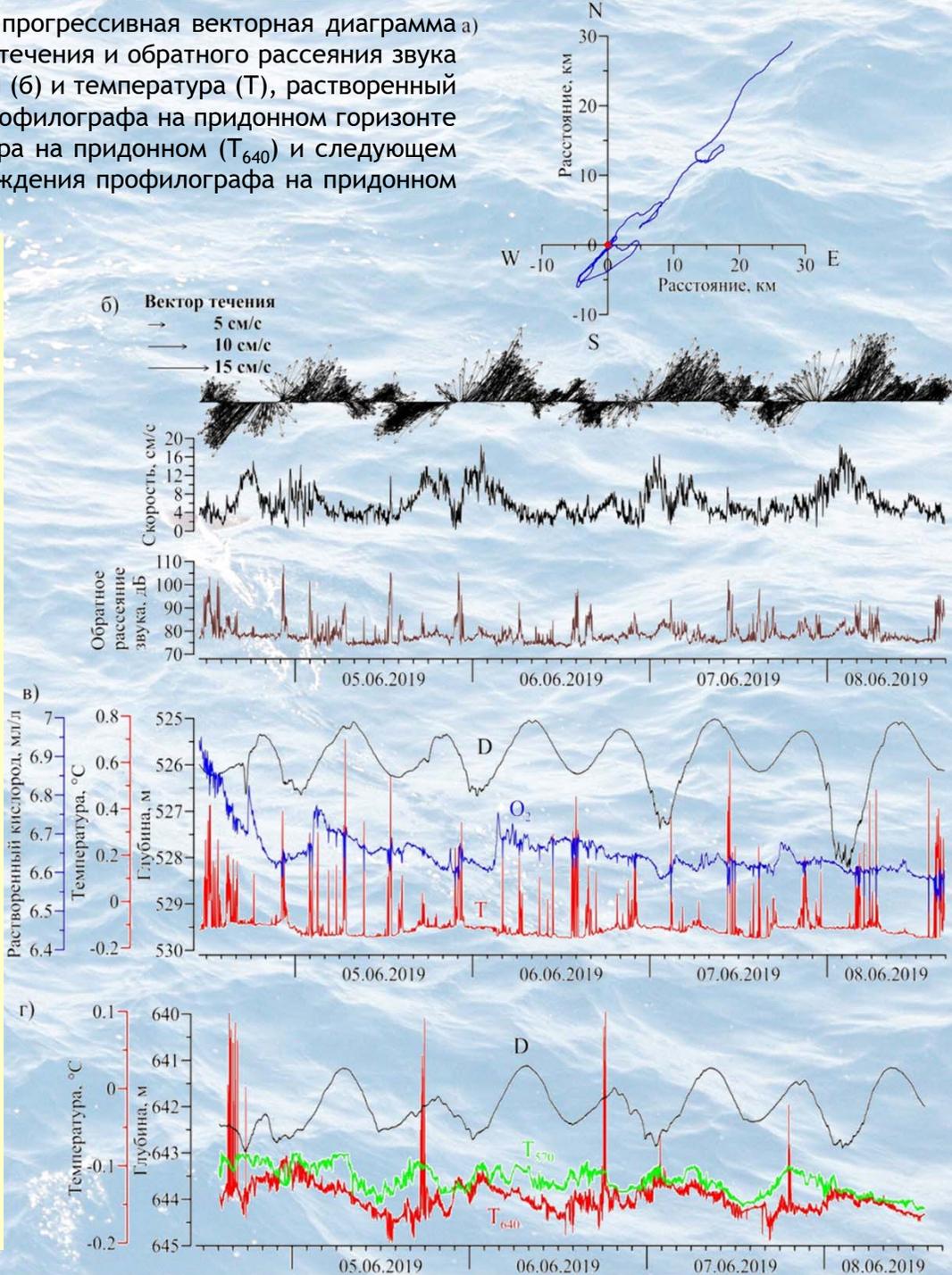


Распределение параметров среды в водной толще перед постановкой АГОС, а также вертикальные потоки осадочного вещества на гидротермальных полях Троллвегген и Сория Мориа.

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°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 мг/л) и высоким потоком хлорина на подповерхностном горизонте АГОС-1.

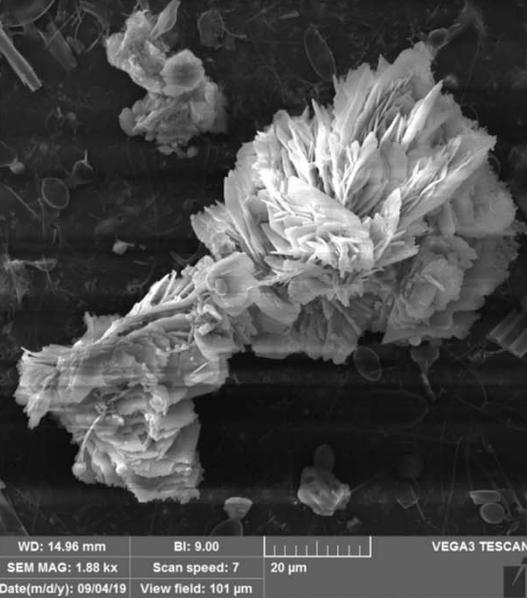
Потоки частиц в придонном слое исследованного полигона намного ниже, чем на гидротермальных полях Срединно-Атлантического хребта $25\text{-}40^\circ$ с.ш. Потоки вещества значительно варьируют на разных гидротермальных полях, но все они превышают таковые величины, полученные на полях Троллвегген и Сория Мориа [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 Мориа 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 (CaCO_3 , $\text{C}_{\text{орг}}$, $\text{SiO}_{2\text{био}}$), достигая в верхнем слое АГОС-1 (150 м) ~99%. $\text{C}_{\text{орг}}$ варьировал от 19% до 40% с максимумом в подповерхностных горизонтах. Отмечено практически постоянное во всей водной толще высокое содержание биогенного кремнезема (22.5-28.7%), при этом максимум потока $\text{SiO}_{2\text{био}}$ приурочен к подповерхностным и достигает $69.3 \text{ мг/м}^2/\text{сут}$. Максимум 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 12.8-21.8% 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 13-22% от вышележащего горизонта, при том, что суммарный поток не уменьшается, а даже возрастает на 15-20%. 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.

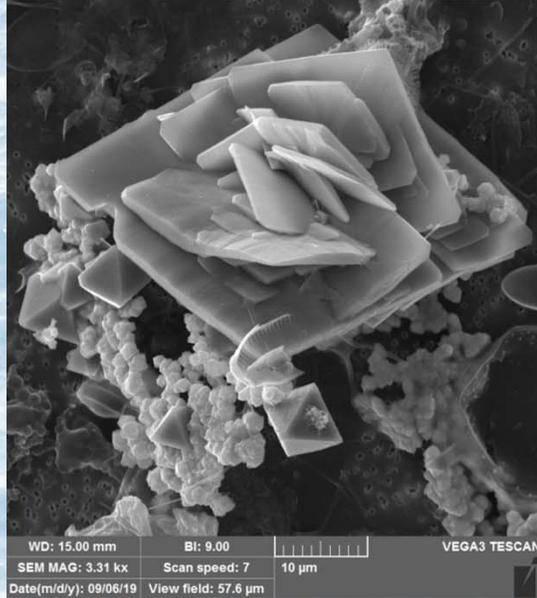


WD: 14.96 mm BI: 9.00
SEM MAG: 1.88 kx Scan speed: 7
Date(m/d/y): 09/04/19 View field: 101 µm
VEGA3 TESCAN

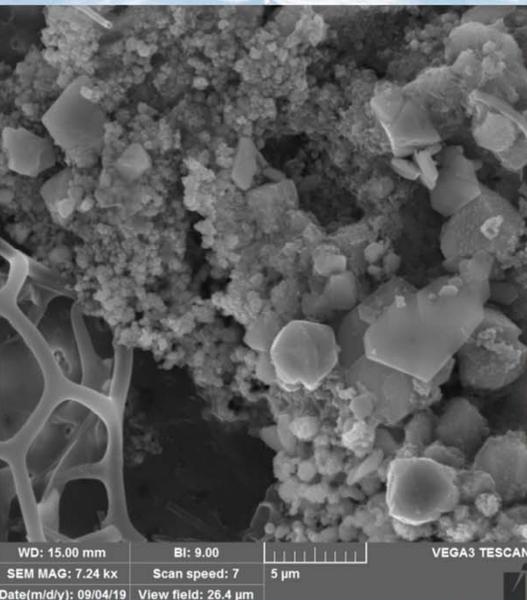
По данным СЭМ во всей толще воды, кроме придонных горизонтов обоих полей, преобладало биогенное вещество и частицы породообразующих минералов пелитовой и мелкоалевритовой размерности.

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.

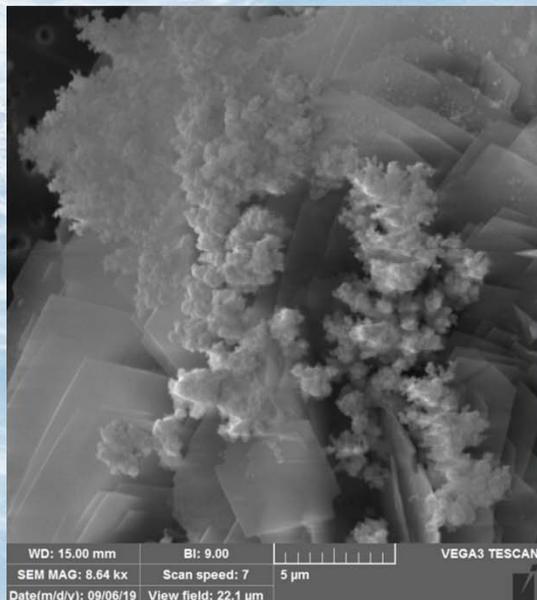
Минеральное вещество придонного горизонта поля Сория Мория представлено частицами глинистых минералов, единичными частицами породообразующих минералов, стекловидными нитями, сростками кристаллов барита и сульфидами Fe, Cu, Zn. Сульфидные минералы представлены хорошо окристаллизованными октаэдрами пирита 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 Мория кристаллитов гипса и более низкое содержание агрегатов аморфного кремнезема.



WD: 15.00 mm BI: 9.00
SEM MAG: 3.31 kx Scan speed: 7
Date(m/d/y): 09/06/19 View field: 57.6 µm
VEGA3 TESCAN



WD: 15.00 mm BI: 9.00
SEM MAG: 7.24 kx Scan speed: 7
Date(m/d/y): 09/04/19 View field: 26.4 µm
VEGA3 TESCAN



WD: 15.00 mm BI: 9.00
SEM MAG: 8.64 kx Scan speed: 7
Date(m/d/y): 09/06/19 View field: 22.1 µm
VEGA3 TESCAN

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.