

УДК 551.463.5/.8

© А. С. Лохов*, М. Д. Кравчишина, А. А. Клювиткин, 2022

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский пр., д. 36, г. Москва, Россия

*E-mail: a.s.lohov@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В ЖЕЛОБЕ ФРАНЦ-ВИКТОРИЯ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

Статья поступила в редакцию 15.02.2022, после доработки 15.08.2022, принята в печать 03.09.2022

Аннотация

Представлены результаты исследований взвешенных веществ, проведенных в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе 2020 года в желобе Франц-Виктория и вблизи него, на севере Баренцева моря. Были выполнены два перпендикулярных разреза на которых проведены 7 тыс. измерений объемной концентрации и гранулометрического состава взвеси на 15-ти станциях при помощи малоуглового лазерного дифрактометра LISST-Deep, работающего в красном диапазоне с длиной волны 670 нм. Погодные условия во время экспедиции позволили продлить продольный разрез по желобу вплоть до южной части котловины Нансена. Объемная концентрация взвеси изменялась до 7,58 мкл/л в продуктивном слое и от 0,2 до 0,5 мкл/л в придонном. Проанализирован гранулометрический состав взвеси по трем её фракциям — пелитовой и мелкоалевритовой, крупноалевритовой, песчаной в зависимости от глубины горизонта и суммарной объемной концентрации. Показаны возможности рассматриваемого метода для построения вертикальных профилей гранулометрического состава взвеси. Также проведено сравнение одного из разрезов с результатами измерений батометрических проб кондуктометрическим методом на счетчике Коултера.

Ключевые слова: Баренцево море, желоб Франц-Виктория, взвесь, гранулометрический состав, объемная концентрация, лазерный анализатор частиц, LISST-Deep

© A. S. Lokhov*, M. D. Kravchishina, A. A. Klyuvitkin, 2022

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 117997, Nahimovskiy Pr., 36, Moscow, Russia

*E-mail: a.s.lohov@yandex.ru

SUSPENDED PARTICULATE MATTER INVESTIGATIONS BY THE OPTICAL METHOD IN THE FRANZ-VICTORIA TROUGH, THE BARENTS SEA

Received 15.02.2022; Revised 15.08.2022; Accepted 03.09.2022

Abstract

The article describes results of the suspended particulate matter during 80th cruise of the RV Akademik Mstislav Keldysh in the Franz-Victoria Trough, northern Barents Sea. Two perpendicular transections were carried out by means of small-angle laser diffractometer LISST-Deep operating in the red range with a wavelength of 670 nm. Observed data consist 7 thousand volume concentration and particle size distributions (PSD) measurements. Weather conditions during expedition allowed to extend the transection to southern part of Nansen basin. The volume concentration of suspended matter varied up to 7.58 $\mu\text{l/l}$ in the euphotic zone and layer and from 0.2 to 0.5 $\mu\text{l/l}$ in the nepheloid layer. Paper demonstrates construction possibilities of the particle size distributions profiles by depth. Transection comparison with measurement results by the conductometric method on a Coulter Counter of the bathometric samples were carried out.

Keywords: Barents Sea, Franz Victoria Trough, suspended particulate matter, particle size distribution, volume concentration, particle laser analyzer, LISST-Deep

1. Введение

В северной части Баренцева моря, между архипелагами Шпицберген и Земля Франца Иосифа, находится желоб Франц-Виктория (рис. 1), глубины которого составляют 300–400 м. С севера через него

Ссылка для цитирования: Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А. Исследование взвешенных веществ оптическим методом в желобе Франц-Виктория в Баренцевом море // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2022. Т. 15, № 3. С. 65–72. doi:10.48612/fpg/76zt-4z7d-na73

For citation: Lokhov A.S., Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A. Suspended Particulate Matter Investigations by the Optical Method in the Franz-Victoria Trough, the Barents Sea. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2022, 15, 3, 65–72. doi:10.48612/fpg/76zt-4z7d-na73

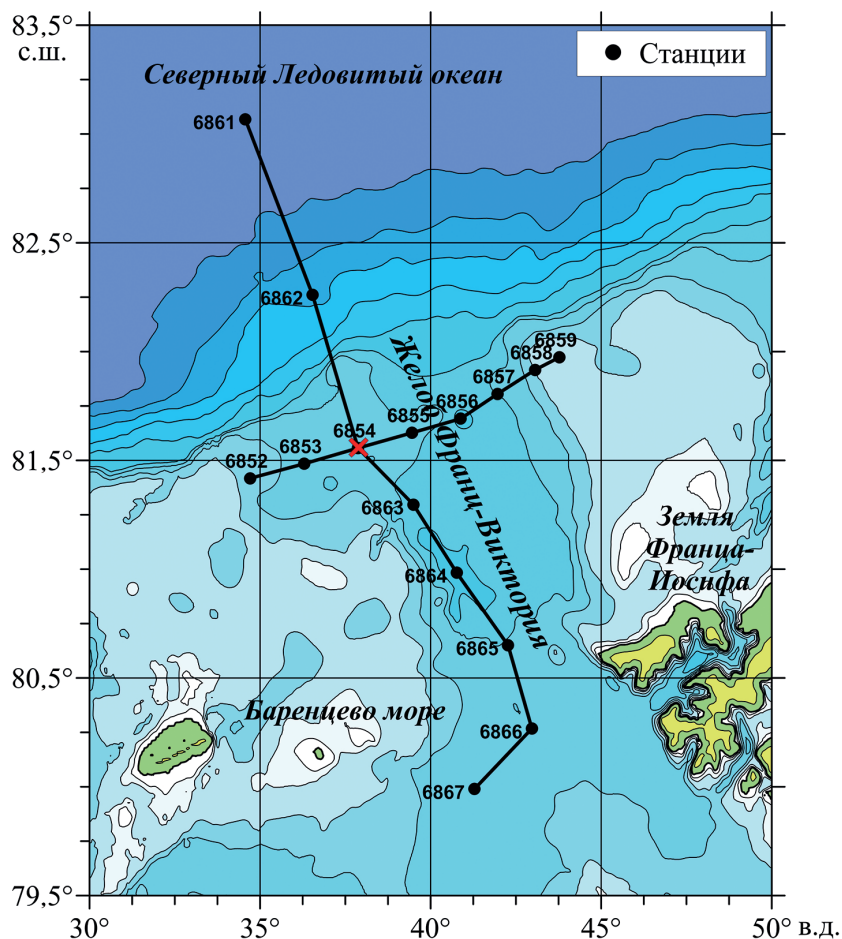


Рис. 1. Схема разрезов в желобе Франц-Виктория, Баренцево море, наложенная на батиметрию GEBCO

Fig. 1 Transections scheme in the Franz Victoria Trough, Barents Sea. GEBCO bathymetry is using as background

в Баренцево море заходит холодное Арктическое течение [1] на горизонтах до 100 м, а с юга протекает противоположное глубинное течение. Желоб также является одной из точек входа приливной волны в Баренцево море [2].

В работе рассматриваются результаты исследования взвешенных веществ в морской воде в желобе Франц-Виктория в Баренцевом море. В августе 2020 года в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» [3] были выполнены 2 разреза — пересекающий желоб с запада на восток от ст. 6852 до ст. 6859 и вдоль желоба с севера на юг по его наиболее глубокой части от ст. 6861 до ст. 6867 с продолжением на север по склону континентального шельфа и на юго-запад. Во время проведения экспедиции наблюдалась достаточно уникальная ситуация, когда кромка льда отступила до широты $83^{\circ} 15.6'$, что позволило продлить разрез по желобу Франц-Виктория вплоть до южной периферии котловины Нансена.

2. Методы исследования

Измеритель LISST-Deep (Laser In-Situ Scattering and Transmissometry) компании Sequoia Scientific, Inc. (США), представляет из себя погружаемый лазерный дифрактометр, работающий на красном диодном лазере с длиной волны 670 нм. Принцип работы прибора основан на теории лазерной дифракции Фраунгофера и рассеяния света по Ми [4, 5]. Он позволяет получать данные об объемной концентрации и гранулометрическом составе взвеси in-situ на глубине до 3000 м, с частотой 1 Гц. Каждую секунду выполняется 10 считываний с последующим осреднением, показателей рассеивания света с фоточувствительной матрицы, состоящей из 32-х колец. Анализируемый размерный диапазон частиц составляет от 1,25 до 250 мкм,

гранулометрический состав представляется массивом из 32-х значений, распределенных по размерному диапазону логарифмически. Помимо этих характеристик зонд измеряет и некоторые вспомогательные: давление, температуру, рассчитывает показатель ослабления света по собственной коммерческой методике. Объемные концентрации взвеси в данной работе представлены в размерности мкл/л, что эквивалентно мм³/л или ppm (миллионных долей), и имеет физический смысл отношения объема частиц взвеси к объему воды. LISST-Deer был установлен на зондирующий комплекс Rosette/CTD SBE921, для возможности сравнения с другими характеристиками.

Согласно работе [6], серия лазерных дифрактометров Sequoia Scientific Inc. демонстрирует высокую точность и хорошую воспроизводимость результатов: погрешность определения размера частиц составляет ~10 %, возрастающая по мере увеличения их крупности. Корреляционный и регрессионный анализ данных LISST-Deer в сравнении с данными о взвеси, полученными другими методами, — кондуктометрическим, нефелометрическим, вакуумной фильтрации, а также характеристиками водной толщи, такими как концентрация кислорода, флуоресценция хлорофилла, концентрация фитопигментов (хл «а» и фео «а») и содержание органического углерода показал соответствие измерений LISST-Deer известным в океанологии отношениям и зависимостям [7].

Помимо результатов измерений лазерного дифрактометра, в работе используются данные, полученные на кондуктометрическом анализаторе частиц — счетчике Коултера Multisizer 3, Beckman Coulter, США. На нем были проведены анализы батометрических проб воды в условиях лаборатории для получения показателей объемной концентрации взвеси и её гранулометрического состава. Измеряемый размерный диапазон частиц в данном случае составляет 2–60 мкм, с дискретностью 300 промежутков. Авторами была проведена интеркалибровка обоих приборов по измеряемым диаметрам частиц на стандарте, представляющем суспензию полистирольных латексных частиц, погрешность при этом не превышала 5 % [7]. Разрезы в данной работе построены с использованием метода пространственной интерполяции — Кригинга, с учетом анизотропии.

Сравнение и анализ результатов измерений [7] характеристик взвешенных веществ, таких как объемная концентрация взвеси (оптический и кондуктометрический методы), массовая концентрация взвеси (метод вакуумной фильтрации) и мутности (нефелометрический метод) показали, что нефелометрический метод и вакуумная фильтрация наиболее чувствительны к минеральной составляющей взвеси и могут занижать её биогенную часть. Методы, измеряющие объемную концентрацию, более чувствительны к её биогенной составляющей, так как измеряют характеристики «влажных» частиц, в отличие от метода вакуумной фильтрации.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 2 приведены разрезы, построенные по результатам измерений объемной концентрации взвеси лазерным дифрактометром LISST-Deer (а, б) на основе более 8 тыс. точек и измерений счетчиком Коултера, полученных по результатам обработки 48 батометрических проб воды (в). Результаты, полученные этими двумя методами, хорошо коррелируют между собой, за исключением большей степени сглаживания на рис. 2, в, появившейся ввиду большой разницы в количестве используемых точек. Необходимо отметить, что глубина на станциях 6861 и 6862 превышала рабочую глубину LISST-Deer, равную 3 км. По этой причине измерения на этих станциях были выполнены до глубины 600 м.

На разрезе с севера на юг (рис. 2, б, в) прослеживается придонный нефелоидный слой с концентрациями взвеси от 0,2–0,5 мкл/л, переносящий взвешенное вещество в акваторию Северного Ледовитого океана. На поперечном разрезе по желобу, нефелоидный слой наиболее выражен в его восточной части.

На всех станциях (рис. 2), за исключением ст. 6861, наблюдался распреснённый (минимальные показатели солёности составили 31–32 PSU), более тёплый (с максимальными значениями температуры 3,7 °C) поверхностный слой мощностью 20–30 м. На станциях 6852–6865 имеется выраженный термоклин на горизонтах 50–100 м, трансформирующийся на станциях 6865–6867. Над этим термоклинном представлен слой с минимальными показателями температуры в диапазоне от –1 до –2 °C, с центром на горизонте 40–45 м. Слой с высокими концентрациями взвеси до 7,58 мкл/л на станциях 6852–6855 и в меньшей степени на станциях 6856, 6862, 6863 приурочен к этому температурному минимуму. На большинстве станций эти горизонты принадлежат к нижней части галоклина, солёность в нем изменяется в диапазоне 34–35 PSU.

На рис. 3 приведен вертикальный профиль объемной концентрации взвеси по данным LISST-Deer на станции 6853, на ней наблюдается наиболее сильный всплеск на горизонте 40 м, максимальная концентрации в котором составляет 7,58 мкл/л. Гранулометрический состав взвеси представлен также на рис. 3, средний медианный диаметр частиц в данном слое составил 104,6 мкм, преобладающие размеры представлены в двух диапазонах: 5–8 мкм и 70–200 мкм.

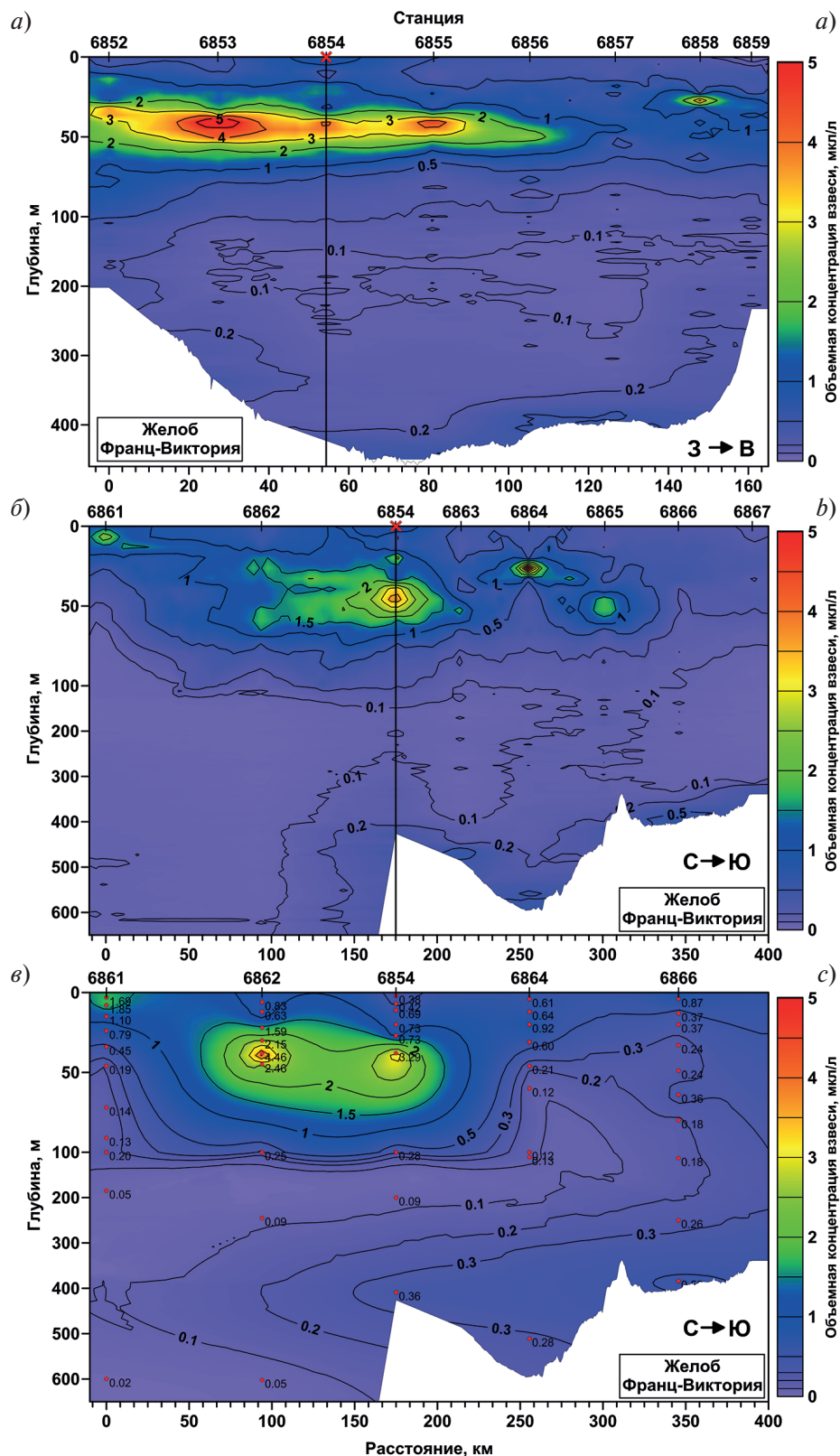


Рис. 2. Распределение объемной концентрации взвеси по данным лазерного дифрактометра LISST-Deep (а, б), счетчика Куултера (в) на разрезах в желобе Франц-Виктория. Крестом и линией отмечена точка пересечение разрезов

Fig. 2. Suspended particles volume concentration according to LISST-Deep laser diffractometer (a, b) and Coulter Counter (c) in the Franz Victoria Trough. Cross and line determine intersection point of transections

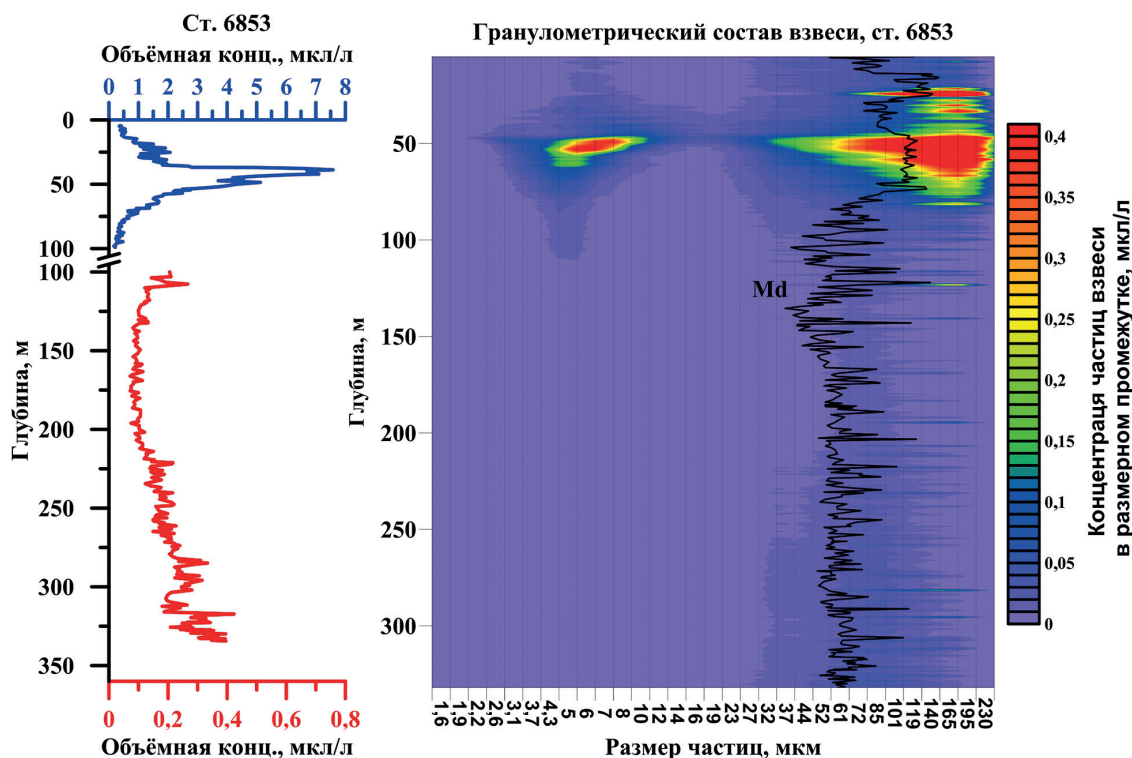


Рис. 3. Вертикальный профиль объемной концентрации взвеси (слева) и гранулометрический состав (справа) на станции 6853. Md — медианный диаметр частиц

Fig. 3. Volume concentration profile (at left) and particle size distribution (at right) at 6853 st. Md — particles median diameter

На рис. 4 представлен гранулометрический состав взвеси по фракциям в желобе Франц-Виктория с классификацией по глубине (а) и по объемной концентрации (б). Пунктирной линией на рисунке выделены точки, соответствующие рассмотренному слою с высокими концентрациями взвеси, средние показатели гранулометрического состава в нем равны: содержание пелитовой и мелкоалевритовой фракций Пл+МА (1,25–47,7 мкм) от 20 до 50 %; крупноалевритовой КА (47,7–92,6 мкм) от 10 до 25 %; песчаной Пс (92,6–250) от 30 до 60 %. Это говорит о схожем распределении гранулометрического состава и на остальных станциях разреза в сравнении со станцией 6853 (рис. 3), за исключением станции 6861. В связи с отсутствием высоких показателей концентраций взвеси в нефелоидных слоях, удастся достаточно кучно дифференцировать гранулометрический состав взвеси по её объемным концентрациям. В особенности для точек с концентрацией взвеси, превышающей 1,5 мкл/л (рис. 4, б).

Выделить области на графике гранулометрического состава по данным счетчика Коултера не представляется возможным ввиду невысокого количества точек и анализируемого диаметра частиц, равного 2–60 мкм, тогда как по данным LISST-Deer один из преобладающих размерных диапазонов составляет 70–200 мкм и не попадает в анализируемый диапазон счетчика Коултера.

По данным исследований в сентябре 2016 г. на широтном разрезе Шпицберген — Земля Франца-Иосифа (80°30' с.ш.), располагающимся, в соответствии с новыми данными, между станциями 6865 и 6866, максимальные значения объемной концентрации взвеси во всей водной толще составило 0,99 мкл/л, а в поверхностном слое 0,69 мкл/л [8]. Показатели объемной и массовой концентрации взвеси нельзя сравнивать в их абсолютных значениях, но тем не менее сравнение относительной картины с учетом особенностей методов имеет место быть.

Согласно более ранним исследованиям [9], проведенным в октябре 1998 года на разрезе от земли Александры до острова Виктория, концентрация взвеси (измеренная методом вакуумной фильтрации) в нефелоидных слоях составляла 0,4–1,8 мг/л. На некоторых станциях на горизонтах 40–50 м наблюдался скачок концентрации взвеси до 0,5–0,9 мг/л, соответствующий полученным в 2020 г. данным, но не настолько ярко выраженный. В этот же период был исследован фитопланктон на этом разрезе [10, 11]. Авторами было выделено два слоя локальных максимумов по сырой биомассе — 15–25 и 50–60 м, в которых доминировали

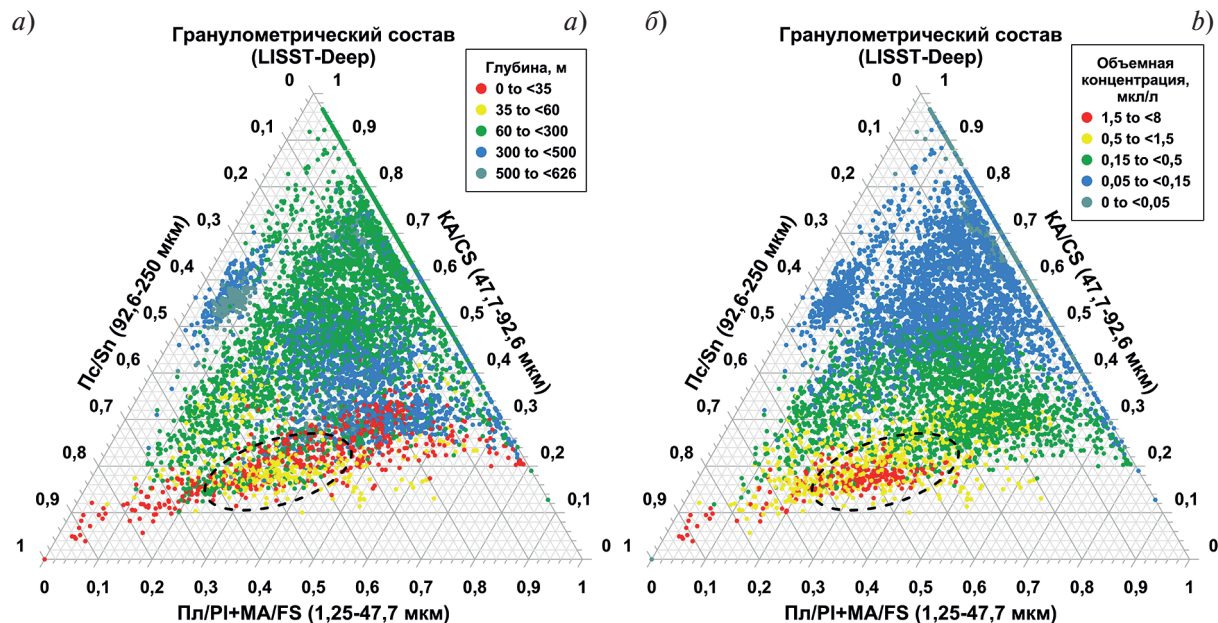


Рис. 4. Трехкомпонентный состав взвеси по данным LISST-Deer, классифицированный по глубине (а) и объемной концентрации взвеси (б). Обозначения фракций: Пл — пелитовая, МА — мелкоалевритовая, КА — крупноалевритовая, Пс — песчаная.

Fig. 4. Ternary plot of the suspended particles distributions classified by depth (a) and volume concentration (b). Fractions: PI — Pelitic, FS — fine silty, CS — Coarse silty, Sn — Sandy

водоросли диаметром менее 5 мкм. Также был выделен слой диатомовых водорослей, с максимумом на горизонте 40 м., преобладающий в западной части желоба и убывающий в направлении Земли Франца-Иосифа. Объемные концентрации взвеси, полученные в 2020 г., имеют схожее распределение, за исключением частиц небольших размеров (5–8 мкм), локальный максимум которых наблюдался на горизонтах 40–50 м. Необходимо отметить, что в 1998 г. разрез был выполнен на 40 дней позднее, чем в 2020 г.

По результатам исследований в желобе Франц-Виктории зимой 2019 г. [11] были более явно выражены придонные нефелоидные слои, концентрации взвешенного вещества в которых составляли до 4 мг/л (полученные методом вакуумной фильтрации), что существенно больше, чем в работе [8] и по данным, полученным в 2020 г. S. Buettner с соавторами предполагают [12], что это может быть связано с высокой интенсивностью штормов в зимний период. В пользу этой точки зрения служит тот факт, что по данным [9], полученным в октябре, концентрации взвеси в нефелоидных слоях повышаются, но ещё не достигают показателей, полученных в зимний период. В свою очередь, в фотическом слое наблюдались низкие концентрации, ввиду наличия ледяного покрова.

4. Заключение

Лазерный дифрактометр LISST-Deer позволяет получать обширные данные *in-situ* о концентрациях взвешенных веществ и их гранулометрическом составе. Но так как он не является самым точным методом, его использование вместе с кондуктометрическим и методом вакуумной фильтрации позволяет нивелировать существующие недостатки. По результатам исследований в августе 2020 г. в желобе Франц-Виктория объемная концентрация взвеси составляла до 7,58 мкл/л, в нефелоидных слоях она изменялась от 0,2 до 0,5 мкл/л. На продольном разрезе по желобу ясно различима интрузия выноса взвешенного вещества из придонных слоев в Северный Ледовитый океан на глубинах 200–600 м с концентрациями 0,1–0,3 мкл/л (рис. 2, в). Это подтверждает наличие известных маршрутов переноса взвешенных веществ из Баренцево моря в Северный Ледовитый океан, и по подповерхностному течению в обратном направлении. А также не противоречит данным Русакова В.Ю. [9], где течение с севера на юг наблюдалось вдоль западного склона желоба, а с юга на север — восточного. По результатам измерений, распределения гранулометрических составов взвеси изменялись в широком диапазоне, от преобладания пелитовой и мелкоалевритовой фракций до крупноалевритовой и песчаной, и были стратифицированы по глубине.

Благодарности

Авторы благодарят капитана НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбача, экипаж судна и участников экспедиций за помощь в проведении исследований.

Финансирование

Экспедиционные исследования научной группы поддержаны Российским научным фондом (проект № 20-17-00157). Обработка данных выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50090). Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № FMWE-2021-0006).

Funding

Expedition research of the scientific group was supported by the Russian Science Foundation (project No. 20-17-00157). Data processing was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 19-05-50090). The work was carried out within the framework of the state task (theme No. FMWE-2021-0006).

Литература

1. Oziel L. et al. Role for Atlantic inflows and sea ice loss on shifting phytoplankton blooms in the Barents Sea // *Journal of Geophysical Research. Oceans*. 2017. Vol. 122. P. 5121–5139. doi:10.1002/2016JC012582
2. Писарев С.В. Обзор гидрологических условий Баренцева моря // Система Баренцева моря / под ред. академика А.П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с. doi:10.29006/978-5-6045110-0-8/(13)
3. Ключевиткин А.А. и др. Исследования Европейской Арктики В 80-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» // *Океанология*. 2021. Т. 61, № 1. С. 156–158. doi:10.31857/S0030157421010093
4. Agrawal Y.C., Pottsmith H.C. Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport // *Marine Geology*. 2000. Vol. 168. P. 89–114. doi:10.1016/S0025-3227(00)00044-X
5. Agrawal Y.C., Traykovski P. Particles in the bottom boundary layer: Concentration and size dynamics through events // *Journal of Geophysical Research*. 2001. N 106(C5). P. 9533–9542. doi:10.1029/2000jc900160
6. Gartner J.W. et al. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations // *Marine Geology*. 2001. Vol. 175, N 1–4. P. 99–219. doi:10.1016/S0025-3227(01)00137-2
7. Лохов А.С. и др. Измерение характеристик взвешенных частиц Баренцева моря in situ с помощью лазерного дифрактометра LISST-Депер // *Океанология*. 2020. Т. 60, № 5. С. 747–761. doi:10.31857/S0030157420050159
8. Политова Н.В. и др. Рассеянное осадочное вещество Баренцева моря // *Океанология*. 2019. Т. 59, № 5. С. 777–790. doi:10.31857/S0030-1574595777-790
9. Русаков В.Ю. и др. Распределение и состав минеральной взвеси в желобе Франц-Виктория (северная часть Баренцева моря) // *Океанология*. 2004. Т. 44, № 2. С. 267–277.
10. Матишов Г.Г. и др. Фитопланктон северной части Баренцева моря (желоб Франц-Виктория) в начале зимнего периода // *Доклады академии наук*. 1999. Т. 367, № 4. С. 560–562.
11. Матишов Г.Г., Мишина Н.Н. Результаты гидрохимических исследований северной части Баренцева моря (желоб Франц-Виктория) в летний период // *Доклады академии наук*. 2010. Т. 430, № 5. С. 712–714.
12. Бюттнер Ш., Иванов В.В., Кассенс Х., Куссе-Тюз Н.А. Распределение взвешенных частиц в Баренцевом море в конце зимы 2019 г. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2020. Т. 66, № 3. С. 267–278. doi:10.30758/0555-2648-2020-66-3-267-278

References

1. Oziel L. et al. Role for Atlantic inflows and sea ice loss on shifting phytoplankton blooms in the Barents Sea. *Journal of Geophysical Research. Oceans*. 2017, 122, 5121–5139. doi:10.1002/2016JC012582
2. Pisarev S.V. Barents Sea hydrological conditions review. *Barents Sea system* / ed. Academician A.P. Lisitsyn. M., GEOS, 2021, 153–156 (in Russian). doi:10.29006/978-5-6045110-0-8/(13)
3. Klyuvitkin A.A. et al. Studies of the European Arctic on cruise 80 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh. *Oceanology*. 2021, 61, 1, 139–141. doi:10.1134/S0001437021010094
4. Agrawal Y.C., Pottsmith H.C. Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport. *Marine Geology*. 2000, 168, 89–114. doi:10.1016/S0025-3227(00)00044-X
5. Agrawal Y.C., Traykovski P. Particles in the bottom boundary layer: Concentration and size dynamics through events. *Journal of Geophysical Research*. 2001, 106(C5), 9533–9542. doi:10.1029/2000jc900160

6. Gartner J.W. et al. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations. *Marine Geology*. 2001, 175, 1–4, 199–219. doi:10.1016/S0025–3227(01)00137–2
7. Lokhov A.S. et al. In situ measurements of the characteristics of suspended particles in the Barents Sea by the LISST-Deep laser diffractometer. *Oceanology*. 2020, 60, 5, 650–663. doi:10.1134/S0001437020050148
8. Politova N.V. et al. Dispersed sedimentary matter of the Barents Sea. *Oceanology*. 2019, 59, 5, 697–714. doi:10.1134/S0001437019050151
9. Rusakov V. Yu. et al. Distribution and mineral composition of particulate matter in the Franz Victoria trough (Northern Barents Sea). *Oceanology*. 2004, 44, 2, 247–256.
10. Matishov G.G. et al. Phytoplankton of the northern Barents Sea (Franz Victoria Trough) at the winter beginning. *Doklady Earth Sciences*. 1999, 367, 4, 560–562 (in Russian).
11. Matishov G.G., Mishina N.N. The results of hydrochemical investigations in the northern Barents Sea (Franz-Victoria trough) during the summer period. *Doklady Biological Sciences*. 2010, 430, 1, 51–53. doi:10.1134/S0012496610010175
12. Buettner S., Ivanov V.V., Kassens H., Kusse-Tiuz N.A. Distribution of suspended particulate matter in the Barents Sea in late winter 2019. *Arctic and Antarctic Research*. 2020, 66, 3, 267–278. doi:10.30758/0555-2648-2020-66-3-267-278

Об авторах

ЛОХОВ Алексей Сергеевич	Кандидат географических наук, младший научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), ROR 00n1e1p60	ORCID ID: 0000-0001-5022-9071, e-mail: a.s.lohov@yandex.ru
КРАВЧИШИНА Марина Даниловна	Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), ROR 00n1e1p60	ORCID ID: 0000-0001-9967-2891, e-mail: kravchishina@ocean.ru
КЛЮВИТКИН Алексей Андреевич	Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36), ROR 00n1e1p60	ORCID ID: 0000-0002-8739-6321, e-mail: klyuvitkin@ocean.ru