

1.12

МГУ имени М.В. Ломоносова

Кафедра океанологии

№ госрегистрации
121031900090-6

УДК

551.465 Структура морских вод. Гидродинамика и циркуляция морских вод



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Комплексные исследования современного состояния вод Мирового океана
(ГЗ)
(промежуточный)

Зам. директора/декана
по научной работе

Руководитель темы
Добролюбов С.А.

A large, stylized handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Dean or Vice Dean.

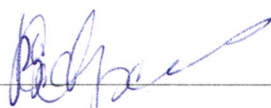
A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the Topic Leader.
«26» декабря 2023 г.
«20» декабря 2023 г.

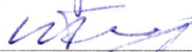
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

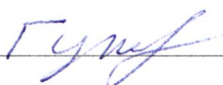
Руководитель темы:
заведующий кафедрой, доктор
географических наук, член-
корреспондент, профессор по
кафедре, академик

 (Добролюбов С.А.)

Исполнители темы:
доцент, кандидат географиче-
ских наук, доцент по кафедре
инженер 1 категории
научный сотрудник, кандидат
географических наук
профессор, доктор физико-
математических наук, член-
корреспондент, профессор по
специальности
старший научный сотрудник,
кандидат географических на-
ук, доцент/с.н.с. по специаль-
ности
главный научный со-
трудник, доктор физико-
математических наук
старший научный сотрудник,
кандидат географических на-
ук, доцент/с.н.с. по специаль-
ности
старший преподаватель
старший научный сотруд-
ник, кандидат физико-
математических наук
доцент, кандидат географиче-
ских наук
доцент, кандидат географиче-
ских наук

 (Архипкин В.С.)

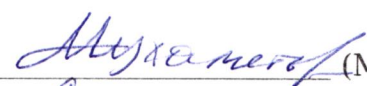
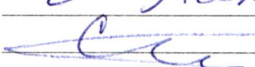
 (Гангнус И.А.)
 (Гиппиус Ф.Н.)

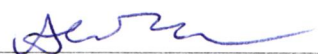
 (Гулев С.К.)

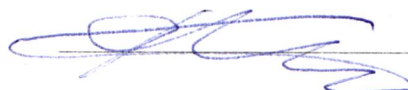
 (Демидов А.Н.)

 (Иванов В.В.)

 (Кондрин А.Т.)

 (Мухаметов С.С.)
 (Мысленков С.А.)

 (Пантюлин А.Н.)

 (Самборский Т.В.)

РЕФЕРАТ

Ключевые слова:

межгодовая изменчивость, моря россии, циркуляция вод, структура вод, мировой океан, климат океана, водные массы, скорость течения

Ключевые слова по-английски:

seas of russia, water mass, world ocean

Объектом исследования является Мировой океан, свойства его водных масс, процессы и явления, наблюдаемые в Мировом океане, климатические изменения характеристики вод Мирового океана. Цель исследований состоит в комплексных исследованиях водных масс мирового океана, процессов и явлений, климатических изменений характеристик вод мирового океана. Исследование включает в себя развитие теоретических и методологических аспектов в развитии науки об океане. Исследования базируются на анализе данных натурных наблюдений, спутниковой информации и результатов математического моделирования. Наиболее важные методологические разработки внедряются в образовательный процесс. При выполнении исследования использовались методы кластерного анализа, классического и объемного ТС анализа, баротропные модели уровня и течений, спектральные модели ветрового волнения, гармонический анализ колебаний уровня, спектральный анализ, а также методы математического анализа, статистики и программирования. При проведении НИР использованы данные судовых наблюдений в различных рейсах, данные гидрометеорологических станций, база данных WODB, океанские реанализы GLORYS – Mercator, SODA, спутниковые данные о температуре воды, данные спутниковой альтиметрии, гидродинамические модели ADCIRC, SWAN, WAVEWATCHIII. Основные результаты работы включают анализ экспедиционных исследований структуры вод на океанологическом разрезе через котловину Сьерра-Леоне, полученные в 63-м рейсе ПС «Академик Иоффе». На разрезе выделены основные водные массы, определены их гидролого-гидрохимические характеристики, локализованы границы водных масс и компонентов Северо-атлантических глубинных вод (САГВ) и Антарктических донных вод (ААДВ) в Гвианской котловине, а также проанализированы современные изменения характеристик водных масс. Проанализированы пути распространения Северо-атлантической глубинной воды и Антарктической донной воды в экваториальной части Северной Атлантики по реанализу Glorys12V1 и данным прямых гидрологических измерений. Исследование временной изменчивости термохалинных характеристик в районе распространения фрамовской ветви атлантической воды (АВ) на континентальном склоне в северной части Баренцева моря показало, что наиболее значимое влияние оказывают 3 цикла – 2.5-летний, годовой и полугодовой. Цикл с периодом 2.5 года вероятно связан с крупномасштабными процессами взаимодействия океана и атмосферы в Атлантическом океане, происходящими в субтропических широтах. Годовой цикл вызван с сезонным ходом, контролируемым адвекцией из пролива Фрама. Полугодовой цикл, вероятно, обусловлен смешиванием АВ с уплотненными шельфовыми водами, поступающими в исследуемый район с востока из желоба Квитойя. Исследование временной изменчивости термохалинных характеристик в ядре пограничного течения в Арктическом бассейне к северу от архипелага Северная Земля позволило

заклучить, что сезонный температурный сигнал в АВ, распространяющейся вдоль континентального склона Евразии от пролива Фрама до архипелага Северная Земля генерируется в районе, где эта водная масса непосредственно контактирует с атмосферой и переносится пограничным течением вниз по потоку. Проведены расчеты параметров ветрового волнения для моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Получены данные о волновом климате исследуемых морей за период с 1979 по 2021 год. Построены карты распределения среднемноголетних значений высоты, длины и периода волн. В море Лаптевых средняя высота волн составляет 0.1–0.3 м, в Восточно-Сибирском море – 0.1–0.2 м, Чукотском море – от 0.2 до 0.7 м. Выполнен анализ повторяемости штормового волнения с 1979 по 2021 год. Случаи с высотой волн более 2 м в море Лаптевых наблюдаются в среднем около 20 раз в год, более 3 м – около 8 раз. Наблюдается положительный тренд для моря Лаптевых. Проанализированы результаты модельных экспериментов по расчёту параметров ветрового волнения на акватории Чёрного моря с применением спектральной модели SWAN, метеорологического реанализа NCEP/CFSR и оригинальной неструктурной расчётной сетки. Для прибрежных акваторий Чёрного моря выявлены тренды многолетней изменчивости средних и максимальных высот значительных волн с разбивкой по месяцам. Дана оценка значимости этих трендов. Разработана методика оценки объёмных характеристик и времени обновления Тихоокеанских вод (ТВ). В качестве основного признака их присутствия на рассматриваемой акватории выбрана концентрация растворенных силикатов. Источником данных послужили океанографические экспедиции Международного полярного года 2007-2008 гг. (617 станций). Установлены характерные изопикнические поверхности, соответствующие их верхней и нижней границе, рассчитана толщина между изопикнами и эквивалентная толщина, границы распространения по исчезновению максимума силикатов в выбранном интервале плотностей. Был оценен общий объём «чистых» (нетрансформированных) тихоокеанских вод на акватории Северного Ледовитого океана. Во время зимней экспедиции кафедры океанологии в г. Геленджик проведены гидрометеорологические наблюдения с 25.01-6.02.2023г. Изучены особенности микроклимата территории ЮО ИО им. П.П. Ширшова РАН, изменения гидрологической структуры вод в районе Голубой бухты при различных синоптических ситуациях. Произведено две гидрологических съёмки Голубой бухты 27 января и 2 февраля, сделано 18 станций, проведены срочные наблюдения на пр.№77 через три часа за весь срок экспедиции. На основании данных наблюдений, охватывающих период 2004-2022 гг., рассмотрены неприливные колебания уровня Белого моря в синоптическом диапазоне временных масштабов, включая сгонно-нагонные колебания. Описаны характеристики сгонов и нагонов и сценарии их распространения Белом море при различных синоптических ситуациях. При исследовании сейшевых колебаний уровня моря в Азовском море были получены следующие периоды собственных колебаний бассейна: 23.5, 13.9, 11.2, 9.6, 8.7, 7.5, 6.6, 5.8 ч. Несколько периодов практически совпадают с периодами, выделенными с помощью спектрального анализа. Экспедиционные исследования гидрологического режима прибрежных акваторий в Геленджикском районе Краснодарского края в январе-феврале 2023 года подтвердили влияние глобального потепления на температуру морской воды в шельфовой зоне Чёрного моря. Степень внедрения результатов – стадия НИР. Результаты НИР мо-

гут быть рекомендованы к внедрению в производственные процессы отраслевых предприятий и организаций, связанных с гидрометеорологической деятельностью. Области применения результатов НИР — анализ и прогноз опасных гидрометеорологических явлений, рыбный промысел, ресурсы Мирового океана, рекреация, изыскания при строительстве на шельфе, водный транспорт, навигация и гидрография, охрана природы и экологическое состояние морей и океанов. Наибольшая экономическая эффективность достигается при внедрении результатов в производственный процесс организаций связанных с гидрометеорологической деятельностью. Мировой океан, его свойства и процессы, происходящие в нем подвержены различным изменениям как природного, так и антропогенного генезиса. Мониторинг и изучение Мирового океана необходимо выполнять в дальнейшем для предупреждения различных чрезвычайных ситуаций и государственного планирования в связи с климатическими изменениями.

ВВЕДЕНИЕ

Выполняемый этап НИР базируется на наиболее современных методах гидрометеорологических исследований. Появление новых данных натурных измерений требует их визуализации, а также подробного анализа на основе современных методик. Также пополняются базы данных, созданные на основе гидродинамических моделей, пополняются новыми данными глобальные и региональные реанализы. Полученные результаты имеют современный научно-технологический уровень, отвечающий требованиям текущих РД и СП. Патентные исследования в рамках этапа НИР не выполнялись. Метрологическое обеспечение НИР включает в себя стандарты ГОСТ в области гидрометеорологии. Актуальность НИР подтверждается различными климатическими изменениями, которые наблюдаются в различных частях Мирового океана. Новизна темы заключается в использовании новых данных прямых и дистанционных наблюдений, использованием новых модельных реализаций для различных природных процессов. Цель исследований состоит в комплексных исследованиях водных масс мирового океана, процессов и явлений, климатических изменений характеристик вод мирового океана. Исследование включает в себя развитие теоретических и методологических аспектов в развитии науки об океане. Исследования базируются на анализе данных натурных наблюдений, спутниковой информации и результатов математического моделирования. Наиболее важные методологические разработки внедряются в образовательный процесс. В задачи этапа входят исследования водных масс Мирового океана и их характеристик, анализ уровня, течений и параметров ветрового волнения в различных районах Мирового океана, горизонтальных потоков тепла в океане и поток тепла океан-атмосфера, исследование приливных и сейшевых колебаний, гидрохимические исследования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Обработаны результаты экспедиционных исследований структуры вод на океанологическом разрезе A15 через котловину Сьерра-Леоне, от прохода Кейн до желоба Романш, полученные в экспедиции географического факультета МГУ в ноябре 2022 г. в 63-м рейсе ПС «Академик Иоффе». На разрезе выделены основные водные массы, определены их гидролого-гидрохимические характеристики, локализованы границы водных масс и компонентов Северо-атлантических глубинных вод (САГВ) и Антарктических донных вод (ААДВ) в котловине, а также проанализированы современные изменения характеристик водных масс. Проанализированы пути распространения Североатлантической глубинной воды и Антарктической донной воды в экваториальной части Северной Атлантики по реанализам Glorys12V1 и данным прямых гидрологических измерений. Установлено, что наилучшим образом структура слоя Северо-атлантических вод к югу от 4° с.ш. приближается четырьмя слоями – верхний слой с максимумом солености, нижний – с максимумом содержания кислорода, средний состоит из двух слоев с максимумом и минимумом кислорода. По результатам экспедиции выделены пределы изменений гидрологических и гидрохимических характеристик водных масс. Потепление и осолонение в целом фиксируется в слое Северо-атлантических глубинных вод. В нижних САГВ и Антарктических донных водах отмечается похолодание и распреснение. Границей ААДВ в разломе Романш по распределению растворенного кислорода и вертикальным градиентам термохалинных характеристик правильней считать изотерму $\theta=1.5^{\circ}\text{C}$, а не 2°C . Для исследований сейшевых колебаний уровня моря в Азовском море были применены спектральный анализ многолетних рядов ежечасных наблюдений за уровнем на 14 прибрежных станций в Азовском море и численное моделирование, основанное на решении задачи на собственные значения. На основе результатов проведенного спектрального анализа были выделены следующие периоды, наблюдаемые практически на всех прибрежных станциях: 22.5, 14.1, 6.7, 3.2 ч. Помимо этого, была установлена связность колебаний Азовского и Черного морей на частотах более 1.3 циклов в сутки. Результаты численного моделирования, основанного на решении задачи на собственные значения, дали следующие периоды собственных колебаний бассейна: 23.5, 13.9, 11.2, 9.6, 8.7, 7.5, 6.6, 5.8. Несколько периодов практически совпадают с периодами, выделенными с помощью спектрального анализа. Пространственная структура практически всех мод характеризуется наибольшими и наименьшими величинами уровня в вершинах заливов и лиманов, таких как, Таганрогский, Утлюкский и Ахтарский. Чем выше мода колебаний, тем большее значение имеют небольшие заливы, лиманы и косы. Так, на пространственную структуру седьмой и восьмой моды начинает влиять Обиточная коса. Для исследования влияния ветровых волн и прибрежных течений на перенос взвешенных наносов в районе Анапской пересыпи использовалась модель SEDTRANS05. Входные данные для нее (скорости течений в толще воды, значительная высота волн, их период и направление) рассчитывались по численной модели ADCIRC+SWAN. Было проведено несколько численных экспериментов для штормов с разными направлениями ветров (ноябрь 2007 г. – юго-западный ветер до 25 м/с, ноябрь 2008 г. – южный ветер до 25 м/с, февраль 2012 – северо-восточный ветер до 25 м/с). В результате моделирования были полу-

чены следующие результаты. Штормы с ветрами юго-западного и южного направления оказывают наибольшее влияние на транспорт наносов в районе пересыпи – вдольбереговой транспорт наносов при юго-западном ветре достигал значений 0,85 кг/с/м, при южном 0,52 кг/с/м. Была проведена оценка того, какое влияние на транспорт наносов оказывают некоторые региональные и локальные формы рельефа. Анапский мыс является естественным барьером, который ограничивает воздействие ветровых волн и прибрежных течений на пляж самой Анапы. В данном районе были выявлены наименьшие высоты ветровых волн и скорости прибрежных течений, и как следствие, наименьшие величины транспорта наносов. В тоже время в районе банки Марии Магдалины наблюдаются наибольшие значения транспорта наносов. С помощью модели ADCIRC были рассчитаны приливные колебания уровня и приливные течения во всех проливах Курильской гряды даже самых небольших по размерам. Для этого была построена триангуляционная сетка с разными размерами элементов, охватывающая Татарский пролив, Охотское море и прилегающие к Курильским островам районы Тихого океана. На открытых границах расчетной области задавались гармонические постоянные из глобальной базы приливов FES2014. Всего было использовано 8 гармоник: M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1. Проведено сравнение результатов модели с натурными данными. Оно показало хорошее соответствие между ними. По результатам численных расчетов были выявлены следующие особенности приливных колебаний уровня и приливных течений в проливах Курильских островов: 1) северо-восточные проливы Курильской гряды, в среднем, имеют смешанный тип приливов, но с преобладанием суточного хода. При движении на юго-запад в проливах начинает расти роль полусуточного хода; 2) максимальна величина прилива наблюдается у Камчатки ~ 2,5-3 метра; 3) наибольшие скорости течений (до 4,5 м/с) отмечены в проливах Крузенштерна, Фриза, Среднего. Чаще всего наибольшие скорости течения наблюдаются около восточных и северо-восточных берегов проливов, что связано с особенностями распределения глубин у Курильских островов; 4) максимальные расходы приливных течений отмечены в проливе Буссоль и достигают величин ~40 Св. Проведено исследование временной изменчивости термохалинных характеристик в районе распространения фрамовской ветви атлантической воды (АВ) на континентальном склоне в северной части Баренцева моря по данным долгосрочных наблюдений на притопленных автономных буйковых станций на временном интервале 2004-2013 гг. Установлено, что наиболее значимое влияние на изменчивость параметров АВ оказывают 2 цикла – 2,5-летний и однолетний. Цикл с периодом 2,5 года, хорошо прослеживающийся в межгодовой изменчивости АВ, вероятно связан с крупномасштабными процессами взаимодействия океана и атмосферы в Атлантическом океане, происходящими в субтропических широтах. Однолетний цикл связан с сезонным ходом, контролируемым адвекцией из пролива Фрама, что отмечалось в опубликованных ранее статьях. На изменчивость солености также оказывают влияние более высокочастотные процессы (с периодом полгода и 1-2 мес.), не имеющие постоянной цикличности. Полугодовой цикл, вероятно, связан со смешиванием АВ с уплотненными шельфовыми водами, поступающими в исследуемый район с востока из желоба Франц-Виктории. 1,5-месячная изменчивость солености, вероятнее всего, связана с халинной конвекцией, приводящей к последовательному чередованию распрес-

нения и осолонения на глубине, которой достигает конвекция. Значимую роль в формировании амплитуды и фазы изменчивости термохалинных параметров АВ в зимний сезон играет ледяной покров. В случае длительного сохранения полыньи к северу от Шпицбергена и ее расширению на северо-восток в зимние месяцы вертикальная конвекция достигает «ядра» АВ, что обеспечивает более сильное охлаждение и распреснение вод в верхней части АВ в «холодную» фазу годового цикла. Выполнено исследование временной изменчивости термохалинных характеристик в ядре пограничного течения в Арктическом бассейне к северу от архипелага Северная Земля по данным долгосрочных наблюдений на притопленных автономных буйковых станций результатам моделирования и продуктам океанского реанализа на временном интервале 2015-2018 гг. Установлено что сезонный температурный сигнал в атлантической водной массе (АВ), распространяющейся вдоль континентального склона Евразии на участке от пролива Фрама до архипелага Северная Земля генерируется в районе, где эта водная масса непосредственно контактирует с атмосферой и переносится пограничным течением вниз по потоку. Фаза сезонного сигнала в пределах слоя АВ вдоль разреза к северу от архипелага Северная Земля по вертикали и по горизонтали является одинаковой и отличается от астрономической (т.е. не связана с прямым атмосферным воздействием). Адекватное соответствие результатов моделирования (NEMO) и продуктов океанского реанализа (GLORYS12V1) данным инструментальных наблюдений, позволяет использовать результаты модельных реконструкции, как надежный источник информации, для описания структуры и изменчивости гидрофизических полей в исследуемом районе СЛО. Изучены характерные особенности квазипериодичности межгодовых изменений распространения и площади льда на пике сезонного минимума в российских арктических морях. Установлено, что наименьшая ледовитость для всех рассматриваемых морей всегда достигалась в сентябре. Выявлено, что наибольший вклад в распространение и площадь ледяного покрова вносит Восточно-Сибирское море (31%), которое является самым ледовитым из всех морей в рассматриваемом секторе. Баренцево море вносит минимальный вклад в суммарную площадь ледяного покрова СЛО. Это связано с его малой ледовитостью. Карское море имеет схожую динамику вклада изменений площади ледяного покрова, что и Баренцево море. Коэффициент корреляции составляет 0,86, что указывает на наличие сильной прямой связи. Чукотское море и море Лаптевых в среднем вносят равный вклад в изменение площади ледяного покрова (по 23%), но при этом они имеют незначительную взаимосвязь (коэффициент кросс-корреляции равен 0,4). Показано, что Карское море имеет схожую динамику вклада изменений площади ледяного покрова с Баренцевым морем. Коэффициент корреляции между ними составляет 0,86, что указывает на наличие сильной прямой связи. Этот факт подтверждает выделение этих морей в Западный сектор российской Арктики. Выявлена сильная оппозиция между изменениями ледовитости морей западного и восточного секторов. Между Карским и Восточно-Сибирским морями коэффициент корреляции составляет -0,93, а между Баренцевым и Восточно-Сибирским морями -0,92. Наименьший средний коэффициент корреляции имеет море Лаптевых, что говорит о том, что это море обособлено от общих тенденций изменения ледовых параметров, наблюдавшихся за рассматриваемый период времени. Исследована межгодовая изменчивости тепломассопереносов и бюджетов тепла и

соли Северо-Европейского бассейна (СЕБ) Северного Ледовитого океана по данным океанского реанализа на временном интервале 1993-2020 гг. Установлено, что общее изменение среднегодовых гидрофизических характеристик в проливах и каналах СЕБ определяется динамическими процессами, проходящими в данном районе. Это объясняется тем, что в западной части исследуемых разрезов проходит поток распресненных вод из Арктического бассейна (АБ), а в восточной части поступление теплых и соленых атлантических вод в АБ. Значимое усиление потока тепла со временем происходит через южную границу СЕБ как в северном, так и южном направлении. Наиболее значительное поступление воды в СЕБ происходит из Северной Атлантики через Фареро-Исландский пролив (4,84 Св). Среднегодовое поступление тепла в южной части СЕБ составило 220,55 ТВт. Общее поступление воды из АБ в СЕБ через пролив Фрама составляет -2,37 Св. Поток тепла приносимый Западно-Шпицбергенским течением составил 61,08 ТВт, для Гренландского течения он составил -60,31 ТВт. Поток тепла, проходящий через жидкую границу Баренцева моря, составил 94,03 ТВт. За 28 лет он увеличился - на 18,9 ТВт. За 28 лет средний многолетний поток воды в СЕБ через северные, южные и восточные жидкие границы составил 19,32 Св. Среднегодовой поток тепла из СЕБ в АБ, АО и Карское море, составил 315,99 ТВт. Основное поступление пресной воды из АБ в СЕБ осуществляется через пролив Фрама. При помощи спектральной волновой модели WAVEWATCH III проведены расчеты параметров ветрового волнения для моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Моделирование проводилось с использованием неструктурной вычислительной сетки с высоким разрешением (до 800 м) в прибрежной зоне. В качестве форсинга использован реанализ NCEP/CFSR/CFSv2. На основе спутниковых данных получены оценка качества моделирования. Получены данные о волновом климате исследуемых морей за период с 1979 по 2021 год. Построены карты распределения среднегодовых значений высоты, длины и периода волн. Для характерных точек в центральной части каждого моря вычислены среднегодовые значения высоты волн и проанализирована их межгодовая изменчивость. В море Лаптевых средняя высота волн составляет 0.1-0.3 м, в Восточно-Сибирском море - 0.1-0.2 м, Чукотском море - от 0.2 до 0.7 м. Максимальная высота значительных волн за весь период составляет в море Лаптевых 5-6 м, в Восточно-Сибирском море - 6-7 м, Чукотском море - 7-7,5 м. В исследуемых морях наблюдается положительный тренд для высоты волн. Для Восточно-Сибирского моря увеличение составляет от 0.4 до 1.4 м в безледный период. Анализ повторяемости штормового волнения для морей Восточно-Сибирского, Чукотского морей и Лаптевых проводился на основе массива данных моделирования с 1979 по 2021 год. В результате для каждого узла вычислительной сетки получены характеристики ветрового волнения с шагом 3 часа с 1979 по 2021 гг. Исследование штормовой активности было выполнено по методике ROT. Методика заключается в подсчете количества переходов исследуемой величины через критерий (от 2 до 5 м). Случаи с высотой волн более 2 м в море Лаптевых наблюдаются в среднем около 20 раз в год, более 3 м - около 8 раз. Наблюдается положительный тренд для моря Лаптевых. В Восточно-Сибирском море случаи с высотой волн > 2 м наблюдаются в среднем около 23 раз в год, более 3 м - около 9 раз. В 1990 году наблюдался локальный максимум количества штормов с высотой > 3 м в количестве 28 случаев. Для высоты волн более

4 м наблюдалось в среднем 2-3 случая в год, однако, в 2017 году зарегистрировано 14 случаев. Линейные тренды для Восточно-Сибирского моря положительны. Случаи с высотой волн > 2 м в Чукотском море наблюдаются в среднем около 39 раз в год, более 3 м - около 24 раз, с высотой > 5 м около 3 раз в год. Тренды для Чукотского моря положительные но очень слабые. Проанализированы и интерпретированы материалы, полученные в 60 и 63 рейсах НИС «Академик Иоффе» в 2022 году. Работы в 60 рейсе НИС «Академик Иоффе» выполнялись в январе 2022 года в районе трансформного разлома Вима и на разрезе через Гвианскую котловину. В ходе 63 рейса НИС «Академик Иоффе» в сентябре-декабре 2022 г. выполнены работы в районах глубоководного прохода Кейн, трансформных разломов Романш и Чейн, а также в точках базового океанологического разреза А15 в тропической Атлантике. На каждой станции выполнялось зондирование водной толщи от поверхности до дна с применением многопараметрического зонда SBE19plus V2 (измеряемые параметры - температура, электропроводность, мутность воды, содержание растворённого кислорода). В 63 рейсе дополнительно измерялись параметры течений с помощью акустического измерителя течений Nortek Aquadopp 6000. Помимо этого, отбирались пробы воды с 12 горизонтов для лабораторного определения содержания растворённого кислорода и концентрации биогенных элементов. Первостепенное внимание уделено данным измерений течений на горизонтах, соответствующих антарктическим донным и северо-атлантическим глубинным водным массам (ААДВ и САГВ, соответственно). В Гвианской котловине присутствие САГВ зафиксировано в районе конуса выноса Амазонки и в западной части котловины; ААДВ зафиксирована у западного склона САХ. По сравнению с результатами предыдущих исследований, выявлено потепление САГВ, а также похолодание и распреснение ААДВ в Гвианской котловине. В котловине Сьерра-Леоне (на разрезе А15) выявлено потепление и осолонение вод в слое 1500–3500 м и похолодание и осолонение в слое 3500–4500 м. Ранее сформированная база данных о ветровом волнении применена для оценки многолетней изменчивости высот значительных волн в прибрежных акваториях Чёрного моря. Из исходных результатов моделирования были выделены последовательности данных для каждого месяца. Для этих последовательностей были рассчитаны средние и максимальные высоты значительных волн ежемесячно. Затем были созданы многолетние ряды этих показателей для каждого месяца. Для каждой из этих последовательностей линейный тренд и его значимость были определены с использованием метода наименьших квадратов и теста Манна-Кендалла соответственно на уровнях значимости 0.1, 0.05 и 0.01. Таким образом, для средних и максимальных высот значительных волн было выявлено 144 параметра тренда и их значимости. В случае максимальных высот значительных волн в 59% случаев отмечается положительный тренд, в 41% - отрицательный. При этом в 4.9% случаев тренды оказываются значимыми на уровне 0.01, в 6.3% - на уровне 0.05 и в 4.9% - на уровне 0.1. Самый выраженный значимый отрицательный тренд зафиксирован в Варне (западное побережье Чёрного моря) в ноябре; его величина составляет -0.03 м/год. Напротив, самый сильный положительный тренд зафиксирован в Зонгулдаке (южное побережье) в марте; его величина составляет 0.03 м/год. В случае со средними высотами значительных волн доля положительных и отрицательных трендов также составляет 59% и 41% соответственно. Значимые тренды на уровне 0.01 отмечены в 6.9%

случаев, на уровне 0.05 – в 11.1% случаев, на уровне 0.1 – в 10.4% случаев. Наиболее выраженный значимый убывающий тренд замечен в Кацивели (южное побережье Крымского полуострова) в декабре; его величина составляет 0.008 м/год. С другой стороны, наиболее сильный значимый положительный тренд зафиксирован в Зонгулдаке в марте, совпадая с максимальными высотами значительных волн; этот тренд составляет 0.007 м/год. На основании данных океанографических экспедиций Международного полярного года 2007–2008 гг. (617 станций) были рассчитаны объемные характеристики и время обновления тихоокеанских вод (ТВ) на акватории Северного Ледовитого океана. Поскольку эти воды не имеют выраженных наибольших или наименьших значений температуры и солености, в качестве основного признака их присутствия на рассматриваемой акватории выбрана концентрация растворенных силикатов. Подобный подход будет использован в последующем и для рассмотрения комплекса Северо-атлантических и Циркумполярных глубинных, а также Антарктических промежуточных вод в Тропической Атлантике. Установлены характерные изопикнические поверхности, соответствующие верхней и нижней границе ТВ (соответственно 25,5 и 27,5 кг/м³), рассчитана толщина между изопикнами и эквивалентная толщина (т. е. условная толщина нетрансформированной «чистой» водной массы), границы распространения по исчезновению максимума силикатов в выбранном интервале плотностей. Воды тихоокеанского происхождения распространяются на север вплоть до приполюсного района (толщина до 40–50 м), на западе прослеживаются вплоть до северной части моря Лаптевых (толщины 20–30 м), на востоке сохраняются в малотрансформированном виде (толщина более 100 м) вплоть до Канадского Арктического архипелага, для них характерны глубины 50–150 м. Наибольшая толщина ТВ (более 150 м) характерна для круговорота Бофорта. Был оценен общий объем «чистых» (нетрансформированных) тихоокеанских вод на акватории Северного Ледовитого океана, он составил $(197 \pm 19) \times 10^3$ км³ или около 1,1% от всего объема Северного Ледовитого океана. Объем тихоокеанских вод с учетом их перемешивания с окружающими водами между выбранными изопиктическими поверхностями составил $(313 \pm 16) \times 10^3$ км³, что составляет около 1,7% объема Северного Ледовитого океана. С учетом характерного потока ТВ через Берингов пролив их время обновления в Арктическом бассейне оценено в 5–6 лет. Во время зимней экспедиции кафедры океанологии в г. Геленджик проведены гидрометеорологические наблюдения с 25.01–6.02.2023г. Изучены особенности микроклимата территории ЮО ИО им.П.П.Ширшова РАН, изменения гидрологической структуры вод в районе Голубой бухты при различных синоптических ситуациях. Произведено две гидрологических съемки Голубой бухты 27 января и 2 февраля, сделано 18 станций, проведены срочные наблюдения на пр.№77 через три часа за весь срок экспедиции. Летом в срок с 02.06 до 14.07, проводились срочные измерения гидрологических показателей в Голубой бухте г. Геленджика: температуры, электропроводности и прозрачности. Измерения проводились с причала №77. На нем были выбраны три точки. Первая была самой ближней к берегу, с глубиной 4,8 м. Вторая в середине пирса, с глубиной 6,5 м. И третья на самом конце причала, с глубиной 6,9м. Срочные измерения на данных точках проводились 4 раза в сутки: в 9:00, в 12:00, в 15:00 и в 18:00. Диапазон температур во время измерений составил 10°C, от 17,5 до 27,5 градусов. Температура воды в первых числах июня составляла около

20 градусов, являясь идентичной 2022 году. Понижение температуры 05.06 – 06.06 до 19,5°C заметно на всех точках и может быть связано с поднятием в поверхностные слои придонных соленых вод, иначе – апвеллингом, образовавшимся под действием северо-восточных ветров. Данное явление прослеживается на всех точках наблюдения. Далее, с 07.06, начался постепенный прогрев вод, 15.06 температура в поверхностном слое достигла 22,5°C в точках №1 и №2 и 23°C в точке №3. Стоит отметить, что в период с 12.06 по 17.06 снова можно наблюдать апвеллинг, наиболее ярко выраженный в точке №1. Температура в придонном слое достигла минимальных за весь период наблюдений значений, составив 17,5°C, 17,5°C и 18°C в точках №1, №2 и №3 соответственно. Соленость за период срочных измерений варьировалась от 14,1‰ до 18,3‰. Из-за устойчивой теплой погоды и малого количества осадков данный параметр на протяжении подавляющей части наблюдений превышает 17,5‰. Наиболее устойчивый минимум солености зафиксирован 23.06-26.06. В данный период наблюдалось повышение температуры за счет адвекции вод. Вероятно, сказывается перемешивание прогретых речных и опресненных прибрежных морских вод под действием ветров южных направлений. Значение солености понижается до 16,9‰ в точках №1 и №2. В точке №3 минимум менее выражен за счет смены вод. Точка №3 отличается локальными понижениями солености, более выраженными, чем на двух других точках. Также именно на этой точке зафиксирован абсолютный минимум солености – 14,1‰. Вероятнее всего, это связано с влиянием реки, приносящей пресные воды. При выпадении осадков сток р. Ашамба увеличивается, пропорционально ему, соответственно, понижается соленость. Для измерения температуры воды в Голубой бухте была установлена термометрическая коса, которая состоит из цифровых преобразователей температуры. Было использовано 6 датчиков Starmon mini, которые прикреплялись к тросу через каждый метр. Самый верхний датчик был установлен на глубине 1 м. Значения температуры записывались 1 раз в 1 минуту. За время прохождения практики на базе Южного отделения института океанологии в Голубой бухте несколько раз была проведена гидрологические и гидрохимические съемки бухты. Для измерения температуры и солености использовался CTD-зонд YSI CastAway, для измерения прозрачности использовался диск Секки. Несколько съемок физических параметров воды в Голубой бухте показывают: наличие зоны смешения морских и речных вод и опресняющее воздействие реки Ашамба, наименьшие значения солености и температуры на поверхности во время всех съемок именно в этой зоне; наибольший прогрев поверхностного слоя в мелководных частях бухты, особенно на востоке; наибольшую соленость в открытой и глубинной части моря, что связано с водообменом с открытым морем; постепенный нагрев воды в бухте за полтора месяца наблюдений: 20.8 градусов на поверхности 5 июня, 23.7 градуса 15 июня и 26.4 градуса по завершающей съемке 4 июля. Главной целью гидрохимических съемок стали отборы проб на кислород, биогенные элементы (в частности, фосфаты, нитриты, кремний), водородный показатель (он же – показатель кислотности, pH) для последующего изучения и составления карт этих характеристик. Изменение химических характеристик морской воды в акватории Голубой бухты могло быть обусловлено межгодовой изменчивостью физических и химических характеристик морской воды, а также особенностями биологической активности водных организмов. Для создания батиметрической картосхемы Голубой бухты было сделано бо-

лее 1200 измерений. Было сделано шесть выходов на двухмильный разрез, начинающийся от северо-западного мыса Голубой бухты (со стороны Новороссийска) и заканчивающийся на расстоянии около двух миль по нормали от берега. Разрез включал в себя 7-9 точек, расстояние между которыми составляло порядка 500 м. На этих точках проводились измерения температуры и солености при помощи CTD-зонда CastAway. Параллельно проводились измерения относительной прозрачности с помощью диска Секки. Гидрологические и гидрохимические съемки Геленджикской бухты и морского карбонового полигона «Геленджик» проводились несколько раз, были построены распределения температуры, солености, биогенных элементов и прозрачности воды. По данным натурных наблюдений 2023 г. в устьях рек Альма, Кача и Бельбек изучена пространственно-временная изменчивость распределения растворенных форм минерального, органического фосфора и кремния в зоне смешения речных и морских вод юго-западного побережья Крымского полуострова и выявлены главные факторы, определяющие поведение этих элементов на геохимическом барьере река– море в зимний и летний периоды. Реки Альма, Кача и Бельбек берут начало на северо-западном склоне Крымских гор и впадают в Черное море к северу от г. Севастополь. Главными особенностями водосборных территорий в нижнем течении этих рек служат, во-первых, сочетание интенсивной сельскохозяйственной деятельности с промышленным и рекреационным использованием прибрежной зоны и, во-вторых, значительный вклад подземного стока, сравнимый по величине с его поверхностной составляющей. В связи с этим представляет повышенный интерес изучение закономерностей трансформации стока растворенных веществ в устьевых областях исследуемых рек и, в первую очередь, миграции растворенных форм биогенных элементов, контролирующих продуцирование органического вещества. На основании данных наблюдений, охватывающих период 2004-2022 гг., рассмотрены непривлинные колебания уровня Белого моря в синоптическом диапазоне временных масштабов, включая сгонно-нагонные колебания. Исследованы такие статистические характеристики колебаний остаточного уровня, как дисперсия, функции распределения и обеспеченности, а также их распределение по месяцам года и межгодовая изменчивость. Сгоны и нагоны исследованы на основании анализа колебаний остаточного уровня моря (ОУМ), который определяется путем удаления из данных наблюдений приливной составляющей. Описаны характеристики сгонов и нагонов и сценарии их распространения Белом море при различных синоптических ситуациях. Описаны типичные индуцированные (И-нагоны), и индуцированные с существенной ветровой составляющей (ИВ-нагоны), для которых характерно наступление максимума ОУМ сначала в Сосновце, затем в Северодвинске и позднее в Соловках. Выделены также нагоны, которые были сформированы непосредственно в акватории БЛМ в результате преобладающего локального воздействия атмосферных факторов (БЛ-нагоны). Значительные сгоны происходят реже, чем нагоны и по своей абсолютной величине, как правило, уступают последним. Под влиянием глобальных климатических изменений продолжается увеличение температуры поверхностного слоя Черного и Азовского морей, что подтверждается как данными контактных измерений, так и спутниковыми наблюдениями. Экспедиционные исследования гидрологического режима прибрежных акваторий в Геленджикском районе Краснодарского края в январе-феврале 2023 года подтвердили влияние глобального потепления

на температуру морской воды в шельфовой зоне. Крупномасштабные океанологические съемки в Геленджикской и Голубой бухтах, проведенные в конце января - начале февраля зафиксировали температуру поверхностного слоя в диапазоне 10,5 - 10,9°C что является аномально высоким значением для этого времени года. За направленными изменениями термохалинной структуры следуют изменения в видовом составе и численности фито- и зоопланктона, отмеченные в прибрежной зоне по сравнению с многолетними данными. Летние исследования в июне-июле по изучению гидролого-гидрохимических характеристик морской среды и отбор проб планктона в Геленджикской и Голубой бухтах, проходили на фоне экстремальной рекреационной нагрузки и слабого водообмена с открытым морем в период отсутствия штормовой активности. Отсутствие современной ливневой канализации приводит к масштабному смыву загрязняющих веществ с городской территории в прибрежные акватории. В районах массовой рекреации выявлено значительное повышение количества нитритов и фосфатов в сравнении с фоновыми значениями. Выявлены источники и точки сброса загрязняющих веществ в море, показана сезонная динамика качества воды в прибрежной зоне. В рамках научно-исследовательской работы «Изучение гидрологического режима окраинных морей России в 2023 году» проведены статистический анализ трендов океанологических характеристик морской среды по доступным данным за весь период наблюдений (температура воздуха, скорость ветра, температура поверхности моря, солёность морской воды, высота волнения, уровень моря).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ранее запланированные работы выполнены в полном объеме. В рамках выполнения НИР получены важные результаты о структуре вод на через котловину Сьерра-Леоне, выделены основные водные массы, определены их гидролого-гидрохимические характеристики, локализованы границы водных масс. Исследование временной изменчивости термохалинных характеристик в районе распространения фрамовской ветви атлантической воды на континентальном склоне в северной части Баренцева моря показало, что наиболее значимое влияние оказывают 3 цикла – 2.5-летний, годовой и полугодовой. Проведены расчеты параметров ветрового волнения для моря Черного моря, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Получены данные о волновом климате исследуемых морей за период с 1979 по 2021 год. Во время зимней экспедиции кафедры океанологии в г. Геленджик проведены гидрометеорологические наблюдения. Рассмотрены неприливные колебания уровня Белого моря в синоптическом диапазоне временных масштабов, включая сгонно-нагонные колебания. Получены данные о периодах сейшевых колебаний уровня моря в Азовском море. Экспедиционные исследования гидрологического режима прибрежных акваторий в Геленджикском районе Краснодарского края в январе-феврале 2023 года подтвердили влияние глобального потепления на температуру морской воды в шельфовой зоне Черного моря. Проведенные исследования выполнены на уровне ведущих российских зарубежных научных школ в области гидрометеорологии. Научно-технический уровень выполненной НИР позволяет использовать полученные результаты в различных научно-прикладных исследованиях.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Объем финансирования темы в 2023 году
Таблица А.1

Источник финанси- рования	Объем (руб.)	
	Получено	Освоено собственными силами
Денежные сред- ства в виде субси- дии на выполнение фундаментальных научных исследо- ваний в соответ- ствии с госзадани- ем МГУ, часть 2 (р. 01 10)	5 543 274	5 543 274