

Научная статья

УДК 551.46

DOI: 10.37102/0869-7698_2023_232_06_2

EDN: VWMTDE

О важнейших результатах и перспективах научных исследований Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН

Г.И. Долгих

Григорий Иванович Долгих

академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, директор

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,

Владивосток, Россия

dolgikh@poi.dvo.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2806-3834>

Аннотация. В статье приведены основные направления научных исследований Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН: комплексные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические исследования, разработка новых методов и технических средств исследования океана и атмосферы, применение дистанционных методов, создание и анализ баз океанологических данных. Кратко изложены важнейшие результаты и перспективы исследований.

Ключевые слова: ТОИ ДВО РАН, акустика, океанология, геология, геофизика и геохимия океана, гидрохимия, гидробиология, технические средства исследования океана, океанологические базы данных

Для цитирования: Долгих Г.И. О важнейших результатах и перспективах научных исследований Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 6. С. 25–37. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_232_06_2.

On the most important results and research prospects of V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS

G.I. Dolgikh

Grigory I. Dolgikh

Academician of RAS, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor, Director
V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
dolgikh@poi.dvo.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2806-3834>

Abstract. The paper is devoted to the main branches of scientific research of the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the FEB RAS: complex hydrophysical, hydrochemical and hydrobiological researches, development of new methods and technical means for ocean and atmospheric research, application of remote methods, creation and analysis of oceanological database. The most important results and prospects of research are briefly shown.

Keywords: POI FEB RAS, hydroacoustics, oceanography, geology, geophysics and geochemistry, hydrochemistry, hydrobiology, ocean research facilities, oceanological database

For citation: Dolgikh G.I. On the most important results and research prospects of V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(6):25-37. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_232_06_2.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук был создан Постановлением Президиума АН СССР от 28 декабря 1972 г. № 1128 на базе Тихоокеанского отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР, существовавшего во Владивостоке с начала 60-х годов прошлого столетия. За время своего существования институт стал одним из крупнейших в Дальневосточном отделении РАН и уникальным научно-исследовательским центром изучения Мирового океана, дальневосточных и арктических морей, завоевал заслуженный авторитет в стране и за рубежом.

Основные направления научных исследований ТОИ ДВО РАН: комплексные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические исследования водных масс океанов и морей, их физических полей и отдельных характеристик, энергомассообмена и взаимодействия океана и атмосферы, состояния морских экосистем; изучение геологии, геофизики и геохимии океана, его морей и его минеральных ресурсов; разработка новых методов и создание технических средств исследования океана и атмосферы; развитие и применение дистанционных методов, создание и анализ баз океанологических данных.

Структура научных подразделений института включает 8 отделов, 32 лаборатории и 2 сектора. На 1 января 2023 г. численность сотрудников составила

517 человек, из них 228 научных сотрудников, в том числе 1 академик РАН, 2 члена-корреспондента РАН, 38 докторов наук, 126 кандидатов наук. В ТОИ ДВО РАН создана учебно-научная кафедра для осуществления образовательной деятельности по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по 19 научным специальностям, работают два диссертационных совета по защитах диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям «океанология» и «акустика».

В рамках реализации национального проекта «Наука и университеты» с 2019 по 2022 г. в созданы три новые лаборатории: перспективных методов морских исследований, комплексных исследований окружающей среды и минеральных ресурсов, экспериментальной климатологии.

В институте продолжают научные исследования в рамках созданных совместно международных лабораторий и центров: Вьетнамо-российская лаборатория по морским геонаукам, основанная Институтом морской геологии и геофизики Вьетнамской академии наук и технологий (ИМГГ ВАНТ) и ТОИ ДВО РАН; Российско-корейский центр морских и информационных технологий, организованный в сотрудничестве с Институтом наук и технологий (г. Кванджу, Республика Корея); Российско-японская лаборатория по изучению окружающей среды (ТОИ ДВО РАН – Аспирантура естественных и технических наук Университета Канадзавы, Япония); Российско-китайский научно-исследовательский Центр ТОИ ДВО РАН – ПИО ГУИО КНР по изучению океана и климата; Российско-китайский инновационный центр экологического мониторинга океанических и полярных зон в рамках Соглашения с Институтом океанографического приборостроения Шаньдунской академии наук КНР.

Результаты научных исследований института максимально полно освещены в публикациях. За 50 лет издано более 225 монографий, 218 тематических сборников и сборников трудов, 10 атласов и карт, опубликовано более 5100 статей в российских и зарубежных журналах, сделано множество докладов на конференциях как в России, так и за рубежом. Более 130 грантов РФФИ, более 20 грантов Российского научного фонда и 2 мегагранта получены сотрудниками для поддержки своих научных исследований.

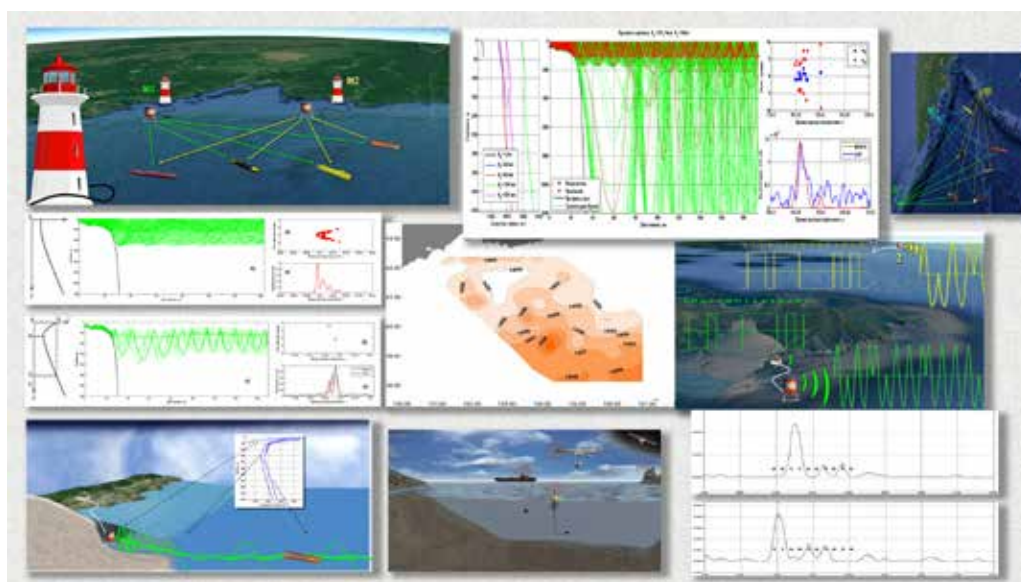
За время существования ТОИ ДВО РАН организовано и проведено более 600 научных экспедиций, в том числе около 250 рейсов в различные районы Мирового океана, где проводились комплексные гидрологические, гидрохимические, экологические, геолого-геофизические и акустические исследования. В институте созданы базы и архивы данных наблюдений, уникальные коллекции образцов донных осадков и горных пород.

Две морские экспериментальные станции (МЭС) института – на мысе Шульца и о-ве Попова – расположены в прибрежной зоне Японского моря, где выполняются экспедиционные исследования, испытания аппаратуры в натуральных условиях, проводятся учебные практики студентов вузов и аспирантов.

ТОИ ДВО РАН – институт с многолетним опытом комплексных научных исследований природных процессов, характеристик и ресурсов дальневосточных морей России, северо-западной части Тихого океана, морей восточного сектора Арктики.

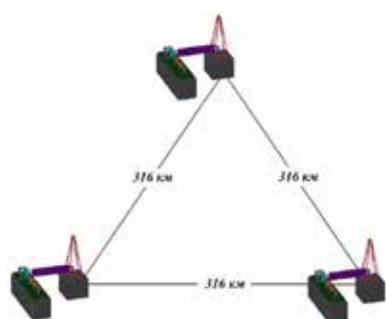
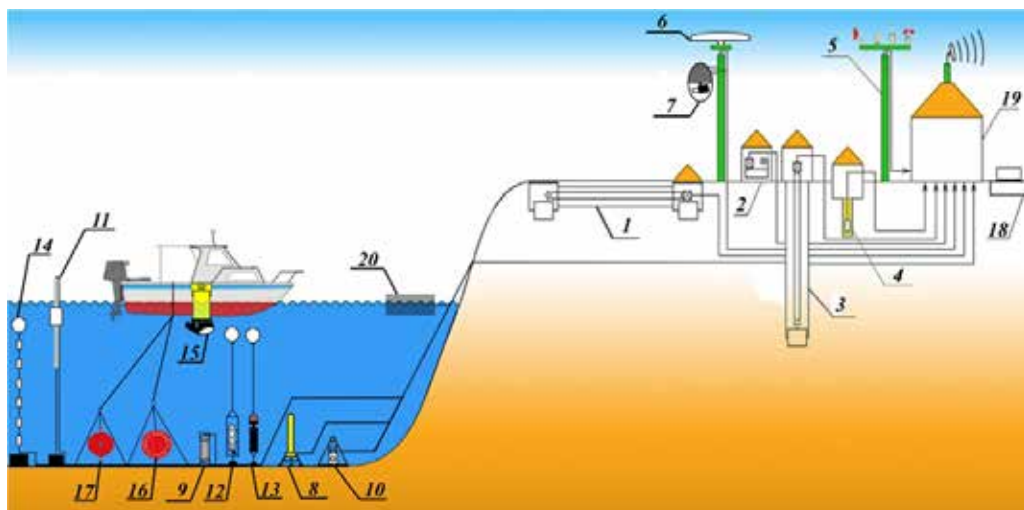
Академиком В.И. Ильичёвым были заложены основные направления исследований института, обеспечивающие решение важнейших государственных задач,

в том числе в области акустики океана. Гидроакустические исследования различных направлений развиваются на протяжении более 40 лет. Самым выдающимся достижением наших акустиков-океанологов стало открытие тонкой структуры океана. Выдающиеся ученые А.С. Монин, К.Н. Федоров, В.П. Швецов обнаружили, что глубинные течения в открытом океане имеют слоистую структуру («слоистый пирог»). Течение остается постоянным в пределах слоя толщиной от 10 см до 10 м, затем его скорость скачкообразно меняется при переходе к соседнему слою и т.д. Среди последних достижений акустиков – разработка системы высокоточной навигации и связи большой дальности в интересах обеспечения эффективного функционирования морских робототехнических комплексов различного назначения. Экспериментально определены возможности гидроакустического навигационно-командного комплекса, состоящего из системы излучения навигационных и связных сигналов и приемного аппаратно-программного модуля для размещения на подводных роботах. Полученные результаты по скорости передачи информации и точности позиционирования подводного объекта соответствуют мировому уровню, а в плане технологической реализации превышают его.



Экспериментально обоснована возможность позиционирования автономных подводных аппаратов на глубинах, существенно превышающих глубину оси подводного звукового канала (до 500 м), и на дистанциях до 200 км

На морской экспериментальной станции института на мысе Шульца развернут аппаратно-программный лазерно-интерференционный комплекс, оснащенный лазерными деформографами, лазерным нанобарографом, гидрофонами, метеостанцией, сейсмографом и акустическими приборами. Разработаны новые принципы детектирования и изучения разномасштабных процессов в море, на суше и в атмосфере и их взаимосвязей, в том числе в области инфразвукового и звукового диапазонов. Создана лазерно-интерференционная система детектирования гравитационных волн и предложены новые принципы их регистрации на основе применения разнесенных на большие расстояния лазерных деформографов маятникового типа.

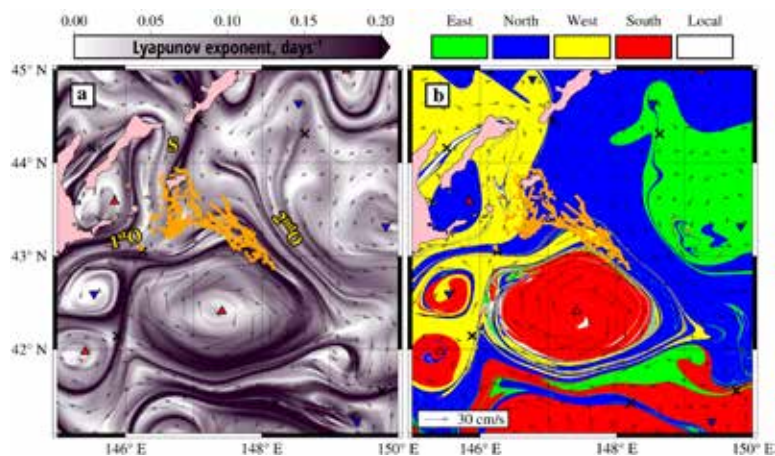


Лазерно-интерференционный комплекс на МЭС на мысе Шульца и схема размещения лазерных деформографов маятникового типа для регистрации гравитационных волн. По частотному диапазону и по чувствительности предложенная система превосходит систему регистрации гравитационных волн международного проекта Mega Science LIGO



В отделе физики океана и атмосферы занимаются теоретическими и экспериментальными исследованиями различных процессов в океане и атмосфере, включая изучение фронтов, вихрей и течений в дальневосточных морях России и в разных океанах, распространением звука в океане, моделированием хаотических динамических процессов, изучением пузырьков в приповерхностном слое. Развивается новое направление в океанологии – лагранжева океанография. Полученные результаты находят практическое применение в поиске мест, благоприятных для нагула и уловов различных промысловых рыб и кальмара, моделировании распространения радионуклидов после ядерных аварий, разработке методов эффективного реагирования на разливы нефти, акустической подводной навигации и поиске газовых факелов.

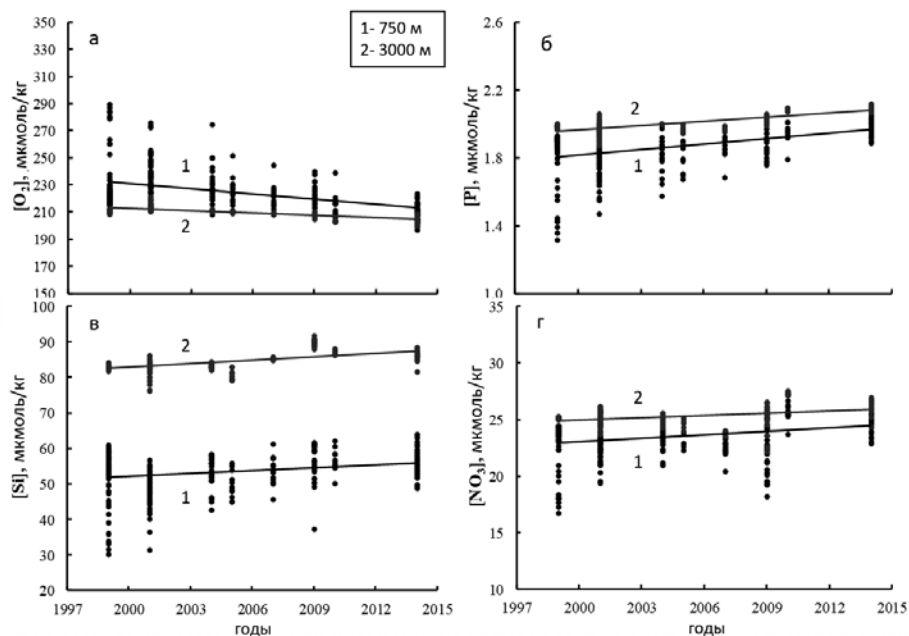
С 1999 по 2019 г. организованы международные программы по исследованию Японского моря (CREAMS-II, CREAMS-PICES, NEAR-GOOS CMS). По результатам экспедиционных исследований показана быстрая реакция моря на климатические и антропогенные воздействия, рост температуры всей толщи вод моря, от поверхности до придонных слоев глубоководных котловин, снижение содержания кислорода (деоксигенация), рост биогенных веществ (эвтрофикация) и кислотности вод (ацидификация), исследованы процессы вентиляции глубинных и донных слоев моря, зарегистрировано глубокое проникновение склоновой конвекции (более 2000 м) в районе зал. Петра Великого в зимний период, впервые изучена



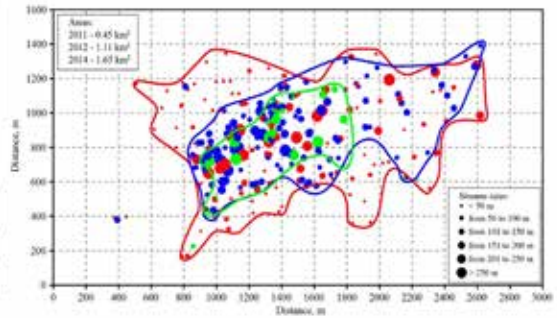
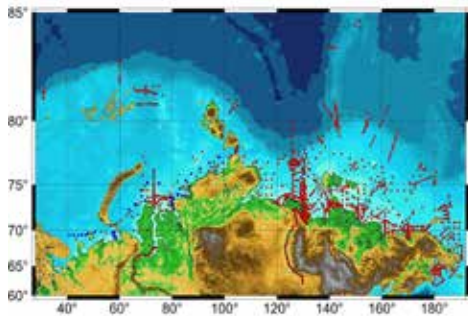
Карта Ляпунова (а) и карта происхождения вод (b) в районе Южных Курил с местами улова сайры. Показаны распределения мест улова вдоль вычисленных лагранжевых фронтов, связанных с течением Соя, 1-й и 2-й ветвями Ойясио

структура синоптических вихрей в северной части моря, особенности сезонного апвеллинга у южного побережья Приморского края.

На основании 50 всесезонных экспедиций лаборатории арктических исследований с 1990-х годов, в которых выполнено более 4000 комплексных океанологических станций, более 50 000 миль геофизического профилирования, а также 17 глубинных бурений, показано, что обширный шельф морей Восточной Арктики играет важнейшую роль в поступлении метана и других парниковых газов в атмосферу, тем самым увеличивая темпы глобального потепления. Выявлен значительный рост эмиссии метана из морей Восточной Арктики, увеличившийся за период исследований (1999–2022 гг.) почти в 10 раз. Открытие массивных выбросов метана из морей Восточной Арктики в атмосферу (публикации

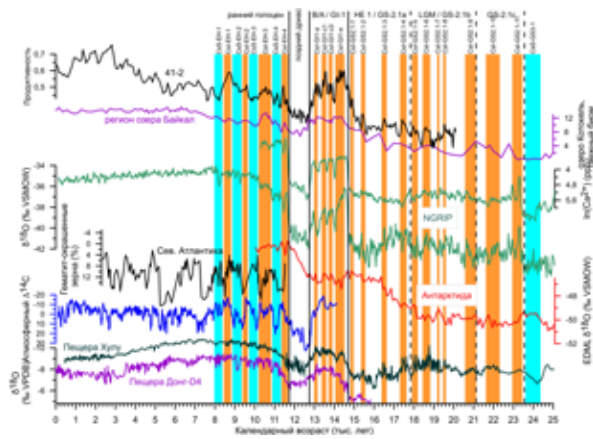


Межгодовые изменения гидрохимических параметров в Японском море на глубине 750 м (1) и 3000 м (2). а – содержание растворенного кислорода, б – фосфора, в – кремния, г – нитратов



Районы исследований шельфа морей Восточной Арктики и схема станций (слева). Увеличение площади крупных метановых сипов за 3 года (справа)

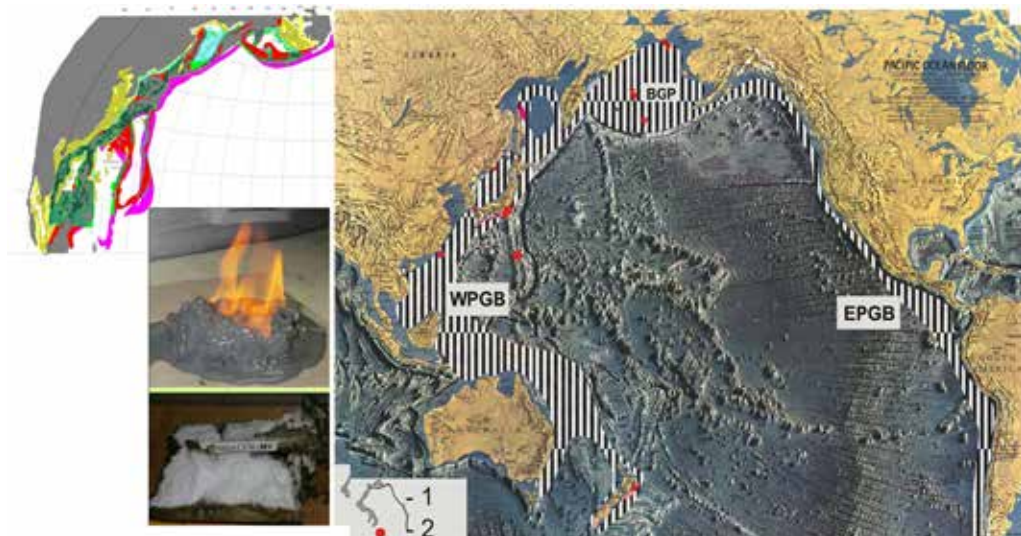
в журналах *Science*, *Nature Geoscience*, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, *Nature Communications*, *Atmospheric Environment*, *Journal of Atmospheric Sciences*) привело к полному пересмотру концепции изучения роли подводной мерзлоты, которая ранее считалась стабильной и непроницаемой для газов. Впервые оценена роль подводной мерзлоты как ранее неучтенного компонента цикла углерода в Арктическом регионе. Начат пересмотр современного баланса атмосферного метана, не учитывающего вклад морей Восточной Арктики, откуда выбросы в ~4 раза превышают эмиссию метана (CH₄) из акватории всего Мирового океана.



Корреляция столетних событий повышенной/пониженной продуктивности, вызванных потеплениями/похолоданиями климата северо-западной Пацифики с изменениями климата Сибири, Гренландии, Антарктиды, а также с изменениями ледового разноса Северной Атлантики, вариациями солнечной радиации и интенсивности летнего восточно-азиатского муссона



В результате высокоразрешающих исследований осадков посредством комплекса традиционных литологических, микропалеонтологических методов и современных изотопно-геохимических и физических методов восстановлена эволюция изменений условий поверхностных вод, их продуктивности, распространения морских льдов и вентиляции промежуточных и глубинных слоев окраинных морей Азии и северо-западной части Тихого океана за последние 190 тыс. лет. Впервые изучена столетняя изменчивость продуктивности и климата. Показано, что ее основным регулятором является интенсивность и положение Сибирского антициклона. Установленная последовательность столетних изменений климата может служить основой для прогнозирования будущих изменений климата Земли. С 2010 г. работы выполняются в рамках Российско-китайского центра по изучению океана и климата (ТОИ ДВО РАН – ПИО ГУИО КНР).

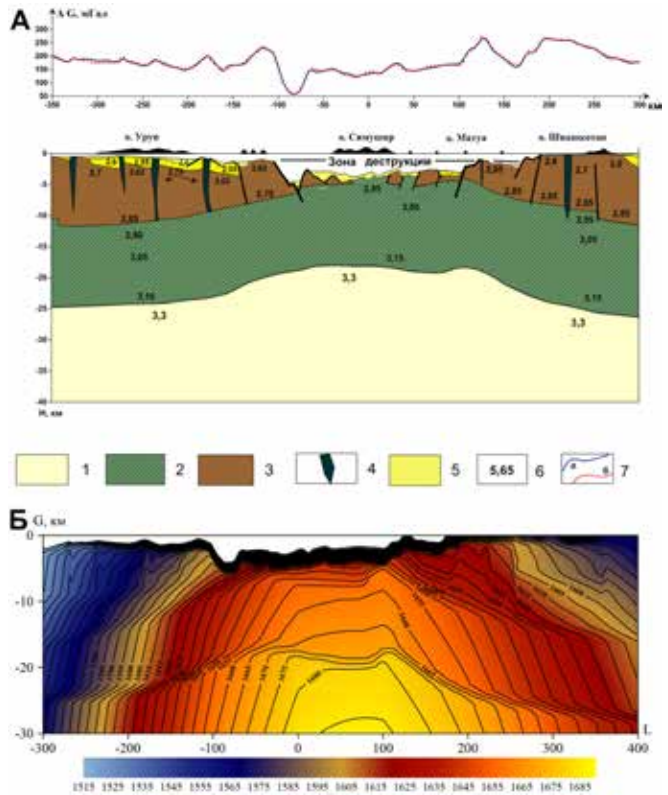


Тихоокеанский газогидратоносный пояс. Показаны места некоторых последних находок газогидратов. WPGB (ЗТПП) – Западно-Тихоокеанский пояс; EPGB (ВТПП) – Восточно-Тихоокеанский пояс; BGP (БГП) – Берингоморская газогидратная провинция. 1 – газогидратоносный пояс, 2 – примеры проявления газогидратов

Институт провел более 40 экспедиций с газогеохимическими исследованиями в различных районах Мирового океана. Обобщение полученной информации позволило открыть глобальные закономерности формирования этого альтернативного вида горючего полезного ископаемого с ресурсами не менее $1678 \times 10^{12} \text{ м}^3$. Запасы газогидратов (скопления метана в виде замерзшего вещества, похожего на лед) в тихоокеанском газогидратном кольце во много раз превышают запасы природного газа на суше.

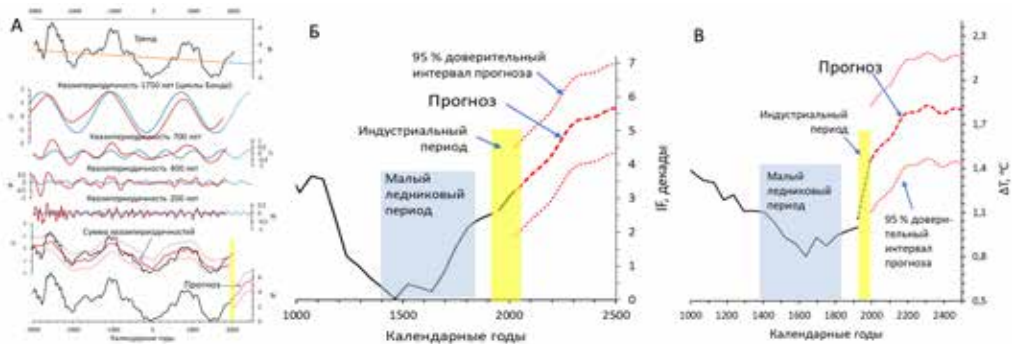
Геофизические исследования являются основным методом получения информации при решении фундаментальных и прикладных проблем строения земной коры переходной зоны океан–континент, включающей в себя дальневосточные моря, их континентальное и островное обрамление, а также северо-западную часть Тихого океана. Результаты исследований используются в качестве источника информации о глубинной структуре, физических характеристиках, геодинамическом состоянии и их корреляции с опасными природными процессами

Результаты моделирования строения земной коры центральной части тихоокеанского шельфа Курильских островов по данным натурных геофизических наблюдений: *A* – структурно-плотностная модель земной коры зоны разрушения подводного хр. Витязь и ее геологическая интерпретация (1 – мантия, 2 – нижняя кора («базальтовый слой»), 3 – верхняя кора («гранитный слой»), 4 – предполагаемые базитовые интрузии, 5 – осадочный слой, 6 – значения плотности ($\text{г}/\text{см}^3$); 7 – аномальное гравитационное поле в свободном воздухе: *a* – наблюдаемое, *б* – расчетное); *B* – расчет удельной энергии деформации, основанный на результатах сейсмоплотностного моделирования



(сейсмичность, цунами и др.) и размещением глубокозалегающих месторождений минеральных и углеводородных полезных ископаемых в слабо изученных районах указанных акваторий. Эти результаты вносят большой вклад в создание условий для ускоренного развития Дальневосточного региона в ближайшие годы.

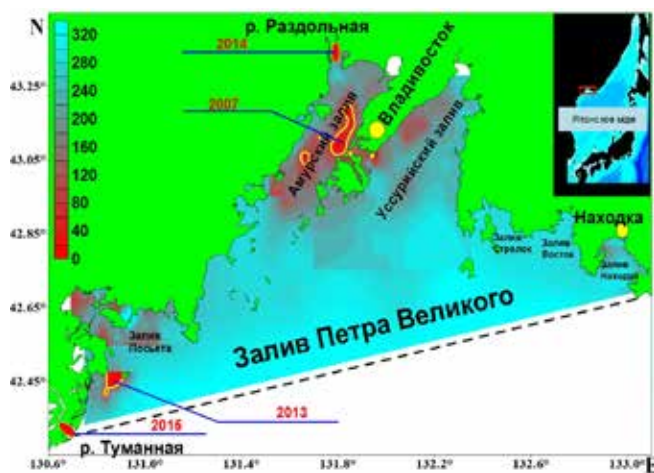
На основании изучения геохимии и условий образования позднеголоценовых отложений восточно-арктических морей России оценена степень их загрязнения антропогенными поллютантами, выполнены палеоклиматические реконструкции и прогноз ледовых условий на трассе Северного морского пути. Установлено



Спектральный анализ реконструированной среднесеколетней продолжительности безледного периода (IF) (*A*, *B*) и среднегодовой температуры воздуха (ΔT) (*B*) для последних 5000 лет и прогноз на ближайшие 500 лет для шельфа Восточно-Сибирского моря

локальное загрязнение акваторий и накопление в донных осадках поллютантов – атмосферных мигрантов (Hg, тяжелые металлы, искусственные изотопы), начавшееся в разных точках после 1880–1960 гг., установлено поступление в Чукотское море продуктов аварии с АЭС Фукусима-1. В ходе палеоклиматических исследований адаптированы для арктических условий методики палеореконструкций на основе трансферных функций, реконструированы изменения ледовых условий и температуры воздуха для последних 4–7 тыс. лет в Чукотском, Восточно-Сибирском морях и море Лаптевых. На основе реконструкций появилась возможность долговременного регионального прогноза природных вариаций ледовых условий и климата.

По результатам прибрежных исследований ТОИ ДВО РАН впервые обнаружена масштабная сезонная гипоксия придонных вод Амурского залива и других акваторий зал. Петра Великого (Японское море), появление которой связано с резким увеличением потока биогенных веществ в летний период, поступающих с речным стоком, а также увеличением мутности вод залива в результате роста хозяйственной деятельности с середины 2000-х годов. Результаты исследований показали ежегодное проявление гипоксии в придонном слое залива, приводящее в отдельных случаях к формированию «мертвых зон» вследствие сероводородного заражения. Разработаны предложения по улучшению экологической обстановки.



Распределение содержания кислорода в придонных водах зал. Петра Великого (Японское море) в летний сезон



С учетом современных достижений человеческой деятельности в морскую среду постоянно поступают новые химические материалы и вещества, токсическое действие которых не изучено. В последнее время внимание сотрудников лаборатории морской экотоксикологии, изучающих проблемы биохимической адаптации гидробионтов к токсикантам различной природы, сосредоточено на изучении поступления и влиянии пластика и микропластика на организм морских обитателей и возможном токсическом воздействии этого загрязнителя на метаболизм живого организма. На настоящий момент получены данные: о влиянии пластика на биохимические процессы адаптации – систему антиоксидантной защиты, на окисление важнейших биомолекул – липидов и белков; о генотоксическом эффекте – повреждении ДНК; о действии пластика как переносчика

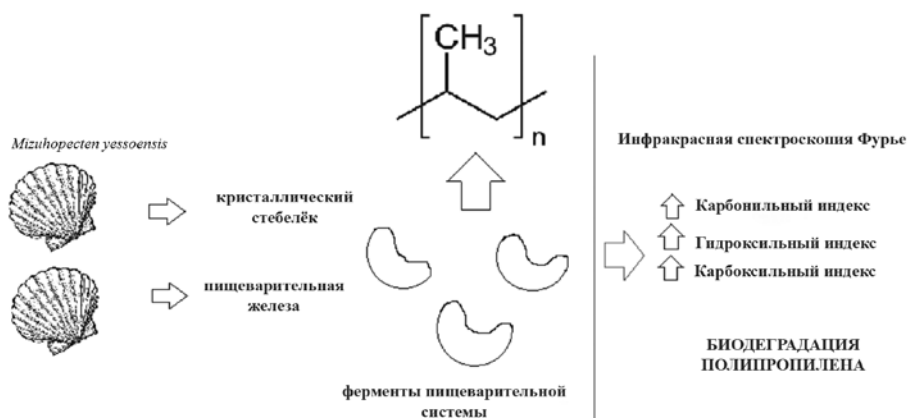
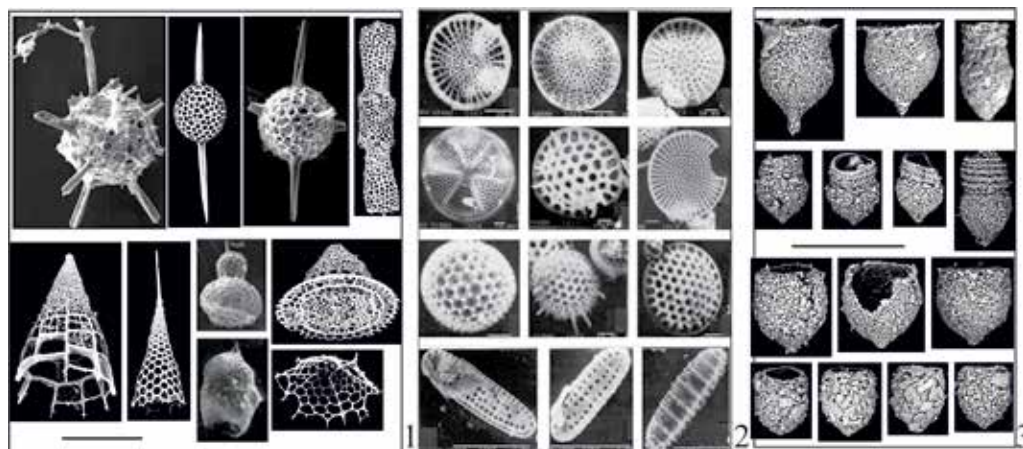


Схема воздействия ферментов пищеварительной системы гидробионтов на способность пластика к биодеградации на примере полипропилена с последующей регистрацией процесса на ИК спектрофотометре Фурье

разнообразных ксенобиотиков в организм морских беспозвоночных, а кроме того, данные о способности пластика к биодеградации или фрагментации под действием пищеварительных ферментов морских беспозвоночных.

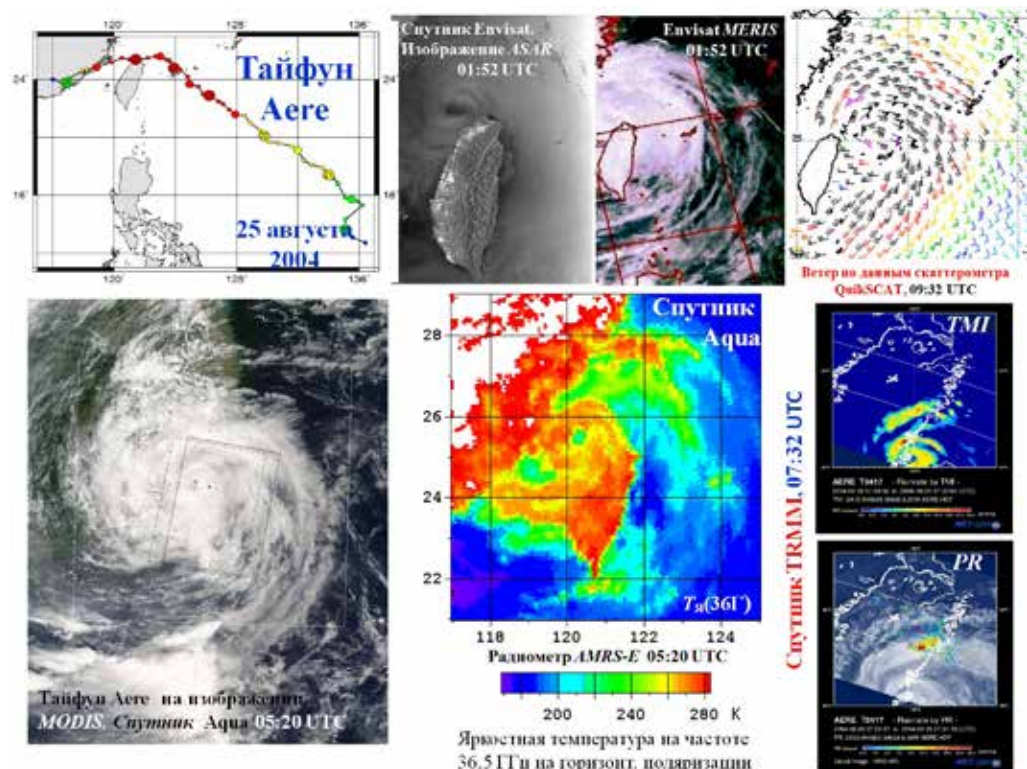
Морские микропалеонтологические исследования для биостратиграфических и палеоокеанографических целей проводятся в ТОИ ДВО РАН с начала его образования. Кремневые микроскопаемые (радиолярии, диатомеи, силикофлагеллаты) и недавно обнаруженные в донных осадках арктических морей инфузории с агглютинированными раковинами хорошо сохраняются и являются надежным инструментом для определения возраста осадочных отложений и реконструкции условий их образования. На основе изучения этих микроскопаемых установлен возраст и условия формирования отложений кайнозойского осадочного чехла Японского и Охотского морей, а также островного склона Курило-Камчатского желоба. Кроме этого установлены детальные изменения палеосреды в плейстоцен-голоценовое время в морях Северной Пацифики и Восточной Арктики



Радиолярии миоцена островного склона Курило-Камчатского желоба (1), диатомеи миоцена континентального склона Японского моря (2) и инфузории голоцена арктических морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (3). Масштабная линейка: 1, 3 – 100 мкм, 2 – 10 мкм

России. Интеграция микропалеонтологических и геохимических исследований, использование высокотехнологичного оборудования позволит эффективно решать фундаментальные и прикладные задачи в области палеоокеанологии, геологии, палеобиологии.

В отделе спутниковой океанологии развита технология мультисенсорного спутникового зондирования явлений в системе океан–атмосфера, основанная на совместном анализе данных пассивных и активных спектральных измерений в микроволновом, инфракрасном и видимом диапазонах длин волн. Необходимыми составляющими технологии являются усовершенствованная модель переноса микроволнового излучения в различных природных средах, массивы расчетных спектров излучения для различных физико-географических регионов Земли, алгоритмы восстановления геофизических параметров применительно к характеристикам работающих и перспективных микроволновых радиометров, их внешняя калибровка с учетом полигонных измерений. Технология применена при исследовании течений, фронтов, вихревых образований, внутренних волн, морского льда и нефтяного загрязнения океана. Она используется при определении скорости приводного ветра, содержания в атмосфере водяного пара и мелкокапельной воды в облаках, при обнаружении осадков, фронтов, зон глубокой конвекции в полярных, внетропических и тропических циклонах, в атмосферных реках, при холодных и теплых вторжениях, при внезапных потеплениях стратосферы как над океаном, так и над материками. Для анализа данных зондирования в оптическом диапазоне разработан комплекс средств подспутниковых гидрооптических



Применение мультисенсорной технологии при исследовании тайфунов. Траектория и изображения тайфуна Аере, полученные в микроволновом и оптическом диапазонах 25 августа 2004 г.

измерений и созданы спутниковые региональные биооптические алгоритмы для оценки концентрации хлорофилла-а в дальневосточных морях России. В условиях изменения климата важными объектами приложения технологии мультисенсорного спутникового зондирования стали аномалии погоды и значительных по площади акваторий, отличающиеся большой интенсивностью и/или продолжительностью.

Фундаментальные и прикладные разработки ТОИ ДВО РАН соответствуют современному мировому уровню науки. Исследования института служат экономическому развитию Дальнего Востока, укреплению позиций Российской Федерации в Азиатско-Тихоокеанском регионе, обеспечению безопасности Российской Федерации на Дальнем Востоке.

