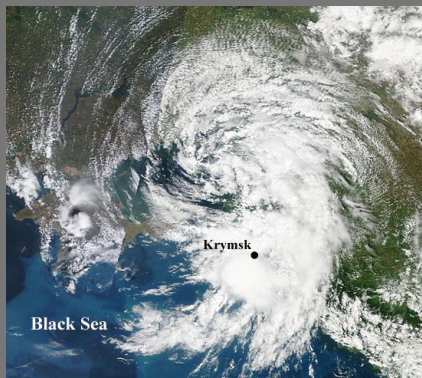


# КОНЦЕПЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН





*Сегодня Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН обладает уникальным научным потенциалом и ясной перспективой развития, соответствует всем современным вызовам, стоящим перед российской морской наукой.*





# КОНЦЕПЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

## Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Настоящая Концепция научной деятельности разработана в соответствии со **Стратегией развития ИО РАН** и определяет основные краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные задачи и направления развития научных исследований Института. В Стратегии были определены основные стратегические цели деятельности Института, включающие развитие отечественной морской науки для реализации и защиты национальных интересов Российской Федерации в области морской деятельности, обеспечение морской экспедиционной деятельности на научных судах России для мониторинга и получения новых знаний о состоянии Мирового океана, внутренних и окраинных морей Российской Федерации и сохранение и развитие научной инфраструктуры и кадрового потенциала для исследования морской среды и ресурсов Мирового океана.

Эти стратегические цели, основанные на приоритетах государства в области изучения и освоения Мирового океана, предполагают широкий комплекс научных исследований. Настоящая Концепция научной деятельности определяет задачи этих исследований и характеризует основные блоки работ, в этом смысле дополняя Стратегию.

Концепция научной деятельности Института тесно связана с тематикой Госзадания, определенной в Стратегии и детализированной в планах работ Института. В то же время, Концепция не является лишь более детальным описанием тематики Госзадания. Она определяет направления исследований, исходя из общей логики развития морской науки об океане, и в этом смысле является независимым документом от Стратегии, находясь с ней, тем не менее, во взаимосвязи и взаимообусловленности. Помимо этого, данная Концепция должна быть в дальнейшем увязана со стратегией развития научно-исследовательского флота ИО РАН и долгосрочной программой экспедиционных работ, разрабатываемых в настоящее время.

# СОДЕРЖАНИЕ

1. ЗАЧЕМ ИЗУЧАТЬ ОКЕАН	5
2. ВАЖНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА ДЛЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ И ЕЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ	8
3. ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ СЕГОДНЯ – МИРОВОЙ ЛИДЕР ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА	10
4. ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ – КОНЦЕПЦИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА	16
<b>5. НАУЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ</b>	<b>18</b>
5.1. Общая циркуляция океана и климат	18
5.2. Катастрофы, риски и опасные явления в Мировом океане	21
5.3. Экосистемы океана и биоресурсы	26
5.4. Шельф и прибрежные зоны морей и океанов	28
5.5. Геология, геохимия, минеральные ресурсы и углеводороды океана	30
<b>6. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ</b>	<b>34</b>
6.1. Атлантический, Тихий и Индийский океаны	34
6.2. Арктика и Северный Ледовитый океан	37
6.3. Внутренние моря	40
6.4. Антарктика и Южный океан	42
<b>7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ</b>	<b>44</b>
7.1. Технические средства наблюдений	44
7.2. Лабораторная и камеральная база	46
7.3. Информационно-вычислительные ресурсы	47
8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА	49

## 1 ЗАЧЕМ ИЗУЧАТЬ ОКЕАН?

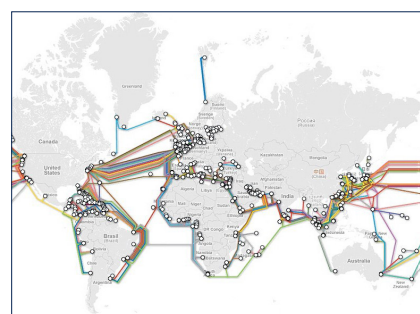
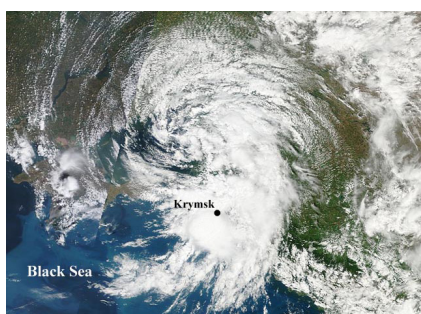
Мировой океан занимает около 72% поверхности Земли, содержит большую часть ее биологических, минеральных и энергетических ресурсов и обеспечивает необходимые компоненты и процессы для поддержания жизни. Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития составляет Цель 14 ООН в области устойчивого развития человечества. Мировой океан по объему промышленного продукта, содержащегося в нем (24 трл. долларов, при годовом валовом продукте 2.4-2.6 трл. долларов) является виртуальной 7-ой экономикой мира после Франции.

Мировой океан как наиболее инерционное звено климатической системы, в значительной степени определяет климат планеты, играя ключевую роль в его изменениях на масштабах лет и десятилетий, которые наиболее трудно прогнозируются именно из-за недостаточного знания процессов в океане и механизмов его влияния на атмосферу. Без понимания роли океана в климатических изменениях мы не можем не только уверенно прогнозировать средние климатические характеристики на континентах, но и экстремальные климатические события, такие как наводнения и засухи.

Океан является «легкими» планеты, ежегодно выделяя в атмосферу Земли 70% всего кислорода (около 145 млрд. тонн  $O_2$ ) и поглощая более 33% всего  $CO_2$ , выбрасываемого в атмосферу. Важнейший для планеты баланс газов напрямую зависит от процессов в океанских экосистемах и их изменений под воздействием климатических и антропогенных факторов. Для 4.5 млрд. людей (58% населения планеты) 15% годового потребления продуктов, содержащих животный белок, обеспечивается благодаря рыболовству и аквакультуре. Сегодня из 7.2 млрд. населения Земли около 900 млн. человек голодают, а около 1.8 млрд. недополучают физиологическую норму пищи. При росте населения Земли (до 8.6 млрд. к 2030 г. по прогнозу ООН) и невозможности соответственно наращивать производство пищевых продуктов на Земле, океан становится ключевым источником биоресурсов для человечества.

Океан – важнейший источник углеводородного и минерального сырья. 33% мировой добычи нефти и 15% добычи газа ведётся в море. Потенциальные ресурсы нефти и газа в океане (в нефтяном эквиваленте) составляют около 300-350 млрд. т. 50% мировых запасов нефти сосредоточены на морском шельфе. Океан уже сейчас дает человеку практически все необходимые виды минерального сырья. Стоимость всех веществ, растворенных в 1 км<sup>3</sup> морской воды, превосходит миллиард долларов. Наиболее привлекательными для масштабной добычи в ближайшем будущем являются железо-марганцевые конкреции (оценки запасов 2.5-3 трлн. т, основные ресурсы – железо, марганец, никель, кобальт, медь, титан, молибден), фосфориты (сотни млрд. тонн) и полиметаллические сульфидные руды (запасы меди >200 млн. т, цинка >500 млн. т.). Запасы кобальта в полиметаллических конкрециях на дне океана в 5 тыс. раз больше, чем на суше, марганца – в 4 тыс. раз, никеля – в 1.5 тыс, алюминия – в 200, меди – в 150, молибдена в 60, свинца – в 50, железа – в 4 раза. Биота океана в настоящее время становится источником сырья для создания уникальных фармацевтических средств, в том числе лекарств для борьбы с устойчивыми к антибиотикам «супербактериями».

Огромно транспортное значение океана: морской транспорт является важнейшим компонентом мировой транспортной системы – 90% мировой торговли сегодня происходит при помощи морских видов транспорта, на долю морского транспорта приходится 62% всех грузоперевозок. Следует подчеркнуть особое значение Северного морского пути, который в ближайшие годы может получить большое развитие, учитывая быстрое потепление климата в Арктике. Океанские и морские трубопроводы играют важнейшую роль в транспортировке нефти и газа, особенно учитывая опережающую добычу углеводородов на шельфе. Доля морских и океанских перевозок в общем объеме транспортировки



всех видов грузов за последнее десятилетие возросла более чем на 23%. При этом относительный рост океанской транспортировки нефти, газа, угля, руд, металлов и леса составил более 30%. Развитие и удешевление оптоволоконных технологий позволило океанским кабельным линиям связи успешно конкурировать со спутниковыми системами, опережая их по скорости и объемам передачи информации.

Особую роль в жизни человечества играют береговые зоны океана. Здесь проживает более 50% населения, производящего более 70% совокупного общественного продукта. В прибрежной 50-километровой зоне океана проживает около 30% населения планеты (~2.5 млрд. человек), а в 200 километровой прибрежной полосе – 53%. Здесь формируется более 30% биологической продукции океана. Прибрежные экосистемы – богатейшие в мире источники биологического разнообразия, они дают около 90% мирового вылова морепродуктов и 100% марикультуры. Прибрежные зоны глубоко интегрированы в экономику даже сильно удаленных от берега районов, стрессовые воздействия океана на береговые зоны влияют на экономику и условия жизни вдали от них. Океан, в первую очередь его береговые зоны, представляет собой наиболее масштабную в мире рекреационную область, экономика которой дает более 5% мирового валового внутреннего продукта, обеспечивая при этом 6-7% глобальной занятости населения.

Особое значение имеют полярные области – Арктика и Антарктика. Уменьшение площади Арктического ледяного покрова более чем на 30% за последние десятилетия создает условия для коренного изменения структуры транспортных операций, добычи углеводородов и биоресурсов в Арктике. Южный океан, взаимодействуя с ледниковым щитом Антарктиды, играет важнейшую роль как в регулировании климата, так и в регулировании все еще плохо оцененных биоресурсов приантарктических вод.

Наконец, сегодня Мировой океан является ареной напряженных геополитических взаимоотношений, основу которых составляет борьба за сферы влияния, минеральные и биологические ресурсы, лежащие вне прибрежных экономических зон государств. В этой ситуации особое значение в качестве политических аргументов приобретают результаты фундаментальных научных исследований в океане, наличие у национальной науки “знания” по конкретному району, объекту или проблеме, финансовые вложения государства в конкретные исследования. Это подтверждается решениями международных органов по управлению открытыми районами океана в части выделения квот на промышленное изъятие биоресурсов, разрешений на добычу полезных ископаемых со дна Мирового океана, делимитации Арктического шельфа, расширения исключительных экономических зон. Являясь областью геополитических и военных интересов развитых стран, Мировой океан – это объект стратегического планирования и арена постоянного присутствия и операций Военно-морского флота и других систем вооружений.

Все вышеуказанное делает Мировой океан средой человеческой деятельности, сопоставимой сегодня по интенсивности на грузок с сушей. При этом, по сравнению с сушей океанская среда агрессивна и значительно повышает риски всех видов хозяйственной деятельности и предъявляет специфические требования к стратегическому планированию. Отсутствие или недостоверность оценок повторяемости экстремальных явлений, связанных с океаном, таких как ветро-волновые условия, экстремальные подъемы уровня, катастрофические землетрясения и цунами, существенно повышают риски всех видов морских операций, препятствуют их эффективному планированию и не позволяют эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

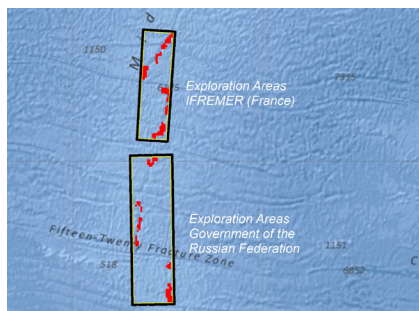
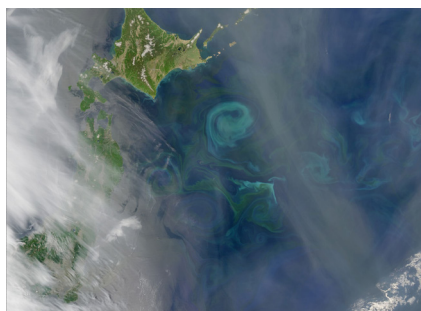
Несмотря на улучшение качества оценок вероятности и прогноза опасных явлений в Мировом океане, относительная роль неблагоприятных океанологических и метеорологических факторов в общем количестве инцидентов на море постоянно растет. По данным Регистра Ллойда (Lloyd's Register) за последние 35 лет количество инцидентов с судами и платформами в Мировом океане из-за неблагоприятных природных условий, росло, хотя общее число инцидентов на море несколько снижалось. При этом, относительная доля инцидентов, непосредственной причиной которых являлись неблагоприятные погодные условия, возросла с 23 до 47% при росте доли ущерба от 19 до 59%. Катастрофы, связанные с гибелью судов и платформ, приводят к многочисленным человеческим жертвам. При



стоимости современных грузовых или рыболовецких судов от 600 до 2200 млн. руб. и стоимости грузов и оборудования в миллионы рублей, только прямые убытки от морских аварий исчисляются миллиардами рублей. Косвенные убытки, связанные с неэффективным планированием морской деятельности, могут быть еще больше, угрожая развитию и безопасности страны. Наконец, морские аварии могут приводить к экологическим катастрофам, поражающим морскую среду в глобальном масштабе.

Уникальные растворяющие и экранирующие свойства воды, а также существование обширных акваторий, в том числе глубоководных, удаленных от населенных районов, сделали Мировой океан местом сброса сточных вод, местом захоронения отходов вредных производств, отработавших свой срок ядерных реакторов, местом свалок взрывчатых и отравляющих веществ, химического оружия. Морской, речной и трубопроводный транспорт, несмотря на техническое совершенствование материальной части, является причиной загрязнения водоемов нефтепродуктами, вытекающими из затонувших судов и аварийных подводных продуктопроводов. Массовая добыча нефти с океанического дна неизбежно влечет за собой нефтяное загрязнение океана, которое считается самым масштабным и легко распространяемым загрязнением в морской среде.

Помимо экологических катастроф, жизни населения могут грозить катастрофы техногенные, связанные с разрушением гидротехнических транспортных сооружений, мостов, плотин ГЭС и т.п. На шельфе и в внутренних водоемах ведется строительство дамб, плотин, каналов, устройств водохранилищ, которые изменяют водный режим, и соответственно – режим течений, осадконакопления и рельеф дна, что в свою очередь может пагубно повлиять на сложившуюся геолого-экологическую структуру водоема.



## 2 ВАЖНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА ДЛЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ И ЕЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

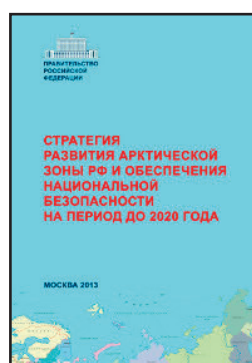
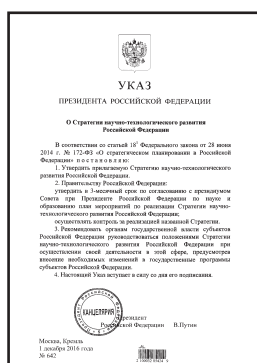
Для России изучение Мирового океана имеет особое значение. Длина морской границы России составляет 38 000 км (более 60% всей границы). Россия имеет самую протяженную береговую линию в Арктике; более того, Арктика, ее ресурсы и транспортные возможности, играют важнейшую роль в экономике России, несопоставимую с важностью Арктики для других развитых экономик.

Моря Арктики, Черное, Каспийское, Азовское и Балтийское моря, а также моря Дальнего Востока давно стали районами активной экономической деятельности России в части разведки и добычи углеводородов, биоресурсов, прибрежного строительства, транспорта, туризма. Эта деятельность сопряжена с усилением экологической нагрузки на акватории морей и рисками экологических катастроф, способных уничтожить уникальные экосистемы и сделать береговые области непригодными для жизни.

Военно-морской флот России решает задачи повсеместно в Мировом океане. Климат и погода на территории России, занимающей большую часть среднеширотной Евразии, существенно зависят от климатических сигналов в Атлантике, Тихом океане и Северном Ледовитом океане и не могут успешно прогнозироваться без учета этих сигналов.

Важнейшее значение Мирового океана, Арктики и Антарктики для России отражено в недавнем Указе Президента Российской Федерации В.В. Путина **«О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»** от 1 декабря 2016 года, где среди перечисленных больших вызовов, стоящих перед страной, указано *«...укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения... Мирового океана, Арктики и Антарктики»*. Это созвучно основным положениям **Морской доктрины Российской Федерации**, относящей к национальным интересам Российской Федерации в Мировом океане *«обеспечение морских научных исследований, защиты и сохранения морской среды, а также прав на изучение и освоение минеральных ресурсов Международного района морского дна»*. **Климатическая доктрина Российской Федерации** постулирует глобальный характер интересов страны в отношении изменений климата и их последствий и требует проведения систематических наблюдений за климатом и фундаментальных и прикладных исследований в области климата и смежных областях науки, включая исследования океана. Разработанные и утвержденные президентом Российской Федерации В.В. Путиным **«Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации»** и **«Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности»** предполагают усиление экспедиционных научных исследований в ключевых районах Мирового океана, необходимых для воспроизводства ресурсной базы, предупреждения и уменьшения опасных последствий стихийных бедствий, постоянного мониторинга природных, антропогенных и техногенных явлений глобального и регионального масштабов, а также обеспечения прогноза и оценки последствий глобальных климатических изменений, происходящих в Арктической зоне Российской Федерации под влиянием естественных и антропогенных факторов в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

В этой связи следует особо подчеркнуть важную государственную задачу, связанную с подготовкой и продвижением частично пересмотренного представления (заявки) Российской Федерации в Комиссию ООН по границам континентального шельфа в отношении континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. Это представление было официально сделано в феврале 2016 г. в Нью-Йорке на 40-й сессии Комиссии ООН по границам континентального шельфа и подразумевает юридическое признание расширения арктического шельфа России за пределы ее 200-мильной экономической зоны с приращением площади шельфа на 1.2 млн. кв. километров с дополнительными прогнозными ресурсами углеводородов 4.9 млрд. тонн условного топлива. Сотрудник ИО РАН член-корр.

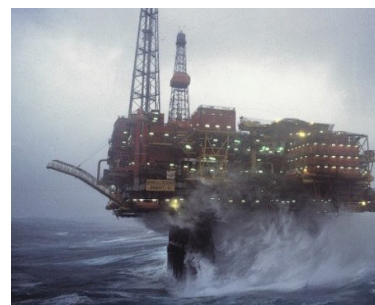
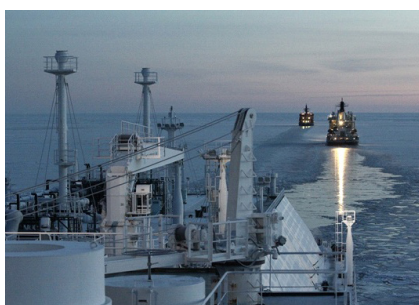




РАН Л.И. Лобковский является постоянным членом делегации РФ по предоставлению заявки в Комиссию ООН.

Одним из важных факторов, определяющих состояние экологии морей Российской Федерации, являются подводные потенциально опасные объекты (ППО), к которым относятся боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море РФ в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций. По данным Реестра ППО в Балтийском море затоплены отдельные суда с НТХО и 30 тыс. тонн боеприпасов, включая такие загрязняющие вещества, как иприт, адамсит, хлорацетофенон, табун, фосген. В Черном и Азовском морях существуют пять районов захоронения взрывчатых веществ, затопленных после Второй Мировой войны, кроме того на шельфе Черного моря остались суда с боезапасом, затонувшие в ходе военных действий, включая 428 контейнеров с химическими боеприпасами. В Карском море затоплено 6508 контейнеров с ТРО, а также захоронено 13 реакторов с атомных подводных лодок и 3 реактора с атомного ледокола *Ленин*. Общая активность излучения затопленных низко- и среднеактивных отходов в Карском море составляет более 15.5 кКи (574 ТБк). Длительное нахождение этих объектов в морской среде приведет к разрушению металлических контейнеров и нарушению их герметичности. Все затопленные объекты являются потенциально опасными и представляют собой очаги радиоактивного загрязнения, откуда возможно распространение техногенных радионуклидов в соседние моря под воздействием течений.

Все это является основой текущей научной деятельности Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, определяет и обосновывает стратегию его развития.



### 3 ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ – РОССИЙСКИЙ ЛИДЕР ИЗУЧЕНИЯ ОКЕАНА

Институт океанологии был создан в 1946 г. как первая в стране научная организация, проводящая комплексные исследования физических, химических, биологических и геологических процессов и явлений в Мировом океане и морях России. Сегодня Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – один из мировых лидеров комплексных исследований океана с 70-летней историей. ИО РАН – единственный в России институт, не только проводящий исследования во всех областях морских наук, но и самостоятельно разрабатывающий морскую технику для исследований. ИО РАН – единственный центр, ведущий исследования во всех океанах, включая Арктику и приантарктические воды Южного океана, а также в большинстве окраинных и внутренних морей. Институт управляет научно-исследовательским флотом, состоящим из 13 хорошо оснащенных судов, объединенных в созданный при ИО РАН Центр Коллективного Пользования «Морской Центр» – важнейшую инфраструктурную единицу Федерального Агенства Научных Организаций. Неотъемлемой частью научного флота Института являются глубоководные обитаемые аппараты *Мир* – уникальные автономные подводные исследовательские лаборатории с характеристиками, не превзойденными ни в одной стране в мире.

В Стратегии развития ИО РАН детально представлена информация о сегодняшней структуре Института, его кадровом составе, приборной и вычислительной базе и научно-исследовательском флоте. Институт по уровню современных исследований и кадровому потенциалу способен отвечать на современные вызовы, стоящие перед Россией в области получения новых фундаментальных и прикладных знаний об океане, освоения и использования его пространств и ресурсов, геополитики, оборонных задач, международного сотрудничества. Численность научных сотрудников с филиалами составляет 509 человек. В составе Института 42 лаборатории. В научном коллективе ИО РАН 4 академика и 7 член-корреспондентов РАН, 103 доктора, 239 кандидатов наук. Многие из сотрудников Института являются мировыми лидерами в своих областях. Ниже приводится краткое описание основных научных достижений ИО РАН в последнее время, в значительной части определяющих концептуальную структуру и направленность научных исследований Института.

В последние годы учеными Института океанологии были открыты фундаментальные механизмы динамики океана, в частности, синоптические вихри открытого океана, теория экваториальных противотечений, теория океанской турбулентности, меж океанская циркуляция, определяющая влияние океана на климат, течения в глубоководных каналах. В последние годы получены оценки переносов вод и тепла в Южной Атлантике и на границе Атлантики и Арктики, формирующие океанский климатический сигнал. Экспедиционными исследованиями 2015-2016 гг. обнаружена рекордно глубокая конвекция в море Ирмингера и Лабрадор и опускание поверхностных вод до глубин более 1500 м, не наблюдавшиеся с середины 1990-х гг. Исследования потоков тепла на поверхности Северной Атлантики доказали ведущую роль океана в изменениях климата на масштабах десятилетий.

Сотрудниками ИО РАН созданы глобальные климатологии штормовой и циклонической активности для всего Мирового океана, включая режимные и экстремальные ветро-волновые характеристики за последние 100 лет в виде современных интерактивных атласов. Это позволило впервые оценить трендовые изменения экстремальных волн в Мировом океане. Была разработана модель, объясняющая механизмы формирования аномально высоких волн и обеспечивающая их прогноз.

Разработанная сотрудниками ИО РАН уникальная технология обработки данных дрейфующих буев Argo (около 4000 таких измерителей осуществляют автономное зондирование верхней двухкилометровой толщи океана от Антарктики до Шпицбергена с 10-дневным интервалом), позволила создать на основе этих измерений климатологический атлас и глобальный массив ежемесячных термогидродинамических характеристик океана.



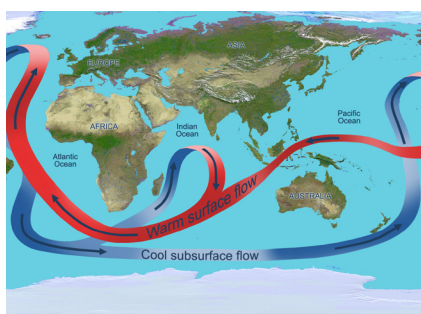
Ученые ИО РАН внесли определяющий вклад в развитие в нашей стране новой научной парадигмы эволюции Земли – концепции тектоники литосферных плит, которая возникла в конце 60-х – начале 70-х гг. минувшего столетия. В Институте разработана теория формирования фосфоритов в зонах апвеллингов, и создана концепция маргинальных фильтров, улавливающих речной сток загрязняющих веществ. Учеными ИО РАН впервые исследованы гидротермальные системы и процессы рудообразования на глубинах 3-5 км с помощью глубоководных обитаемых аппаратов *Мир*.

В Институте создана «клавишная» геодинамическая модель циклов сильнейших землетрясений, происходящих в зонах субдукции океанской литосферы, получившая в последние годы прямое подтверждение данными космической геодезии, которая может рассматриваться как реальная основа для долгосрочного и среднесрочного прогноза этих катастрофических событий; построена модель возникновения и распространения катастрофических морских волн цунами, позволяющая эффективно оценивать и предсказывать цунамиопасность различных участков побережья. В ИО РАН разработана геодинамическая модель эволюции Арктического региона, ставшая научной основой обоснования заявки Российской Федерации в Комиссию ООН по границам континентального шельфа на установление внешней границы континентального шельфа России в Северном Ледовитом океане. Предложена концепция тектоники деформируемых литосферных плит и разработана модель геодинамической эволюции океанов и континентов на протяжении всей истории развития Земли на основе теории термохимической мантийной конвекции.

Сотрудниками Института доказано существование жизни в океане вплоть до предельных глубин, что предотвратило массовое захоронение радиоактивных отходов в океанических желобах и связанное с этим глобальное заражение океана. Были установлены глобальные закономерности вертикального распределения жизни в толще воды и на океаническом дне. Были открыты продуктивные зоны и выявлены механизмы формирования областей исключительно высокой биологической продуктивности, дано научное обоснование потенциальной возможности изъятия биологических ресурсов, в первую очередь криля, что легло в основу определения международных квот на добычу биоресурсов. Экспедиционные исследования позволили обнаружить механизмы формирования сверхвысокой биологической продукции в океанических фронтальных зонах и открыть закономерности формирования структуры и биологического разнообразия уникальных гидротермальных сообществ срединно-океанических хребтов. Эти и многие другие работы определили выполнение Российской Федерацией международных экологических норм и получение лицензии на разведку и оценку запасов важнейших стратегических минеральных ресурсов – полиметаллических сульфидных руд на Срединно-Атлантическом хребте.

Комплексные исследования в Арктическом регионе позволили обнаружить влияние масштабного речного стока на биологическую продуктивность арктических морей России и оценить чувствительность их экосистем к текущим климатическим изменениям. Обнаруженное явление уникальных природных «биофильтров» в эстуариях сибирских рек заставило пересмотреть существующую концепцию переноса вещества и взаимодействия в системе континент – океан. На Сибирском Арктическом шельфе были открыты уникальные сообщества и впервые исследованы морские экосистемы, подверженные экологическим рискам в Арктике, а также вскрыты механизмы возможного распространения радиоактивного загрязнения в Арктике.

Работы Института позволили обнаружить механизмы воздействия видов-вселенцев на морские экосистемы (Арктические моря, Черноморско-Средиземноморский регион, Каспийское и Балтийское моря) и сформировать основу для прогноза их воздействия на региональные морские природные комплексы. Институтом созданы крупнейшие в мире коллекции глубоководной фауны (более 100 тыс.



единиц хранения) и морской ихтиофауны (свыше 400 тыс. экземпляров рыб), которые позволяют получить оценки биологического разнообразия океана и его современной изменчивости, а также уникальный каталог рыб России и сопредельных вод с оценкой потенциального промыслового значения видов.

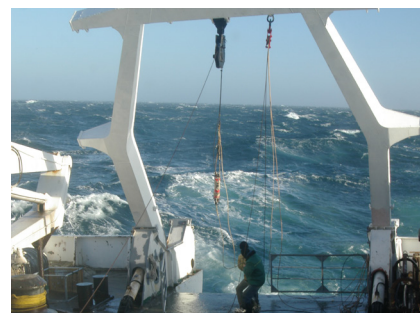
На протяжении десятилетий Институт ведет исследования экологического состояния прибрежных вод Черного, Каспийского, Балтийского, Баренцева, Белого, Карского, Аральского и других морей, а также отдельных береговых районов океана. За это время специалистами Института создан и успешно используется оригинальный высокоразрешающий измерительный комплекс, включающий приборы, позволяющие измерять параметры качества воды по ходу судна с пространственным разрешением порядка 1 м. Были разработаны модели переноса загрязнений, в том числе уникальная лагранжева модель речного плюма STRiPE, широко используемая для анализа и прогноза распространения загрязнений в морях. Институт ведет систематическое междисциплинарное изучение Черного моря, что позволило обеспечить долговременный мониторинг его гидрофизических, гидрохимических и биологических характеристик, а также экологического состояния, включая диагноз и прогноз всех видов загрязнений.

В ИО РАН за последние годы проведено семь крупных комплексных экспедиций в Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря, ежегодные экспедиционные исследования Балтийского моря и 19 комплексных экспедиций на охваченное экологическим кризисом Аральское море, благодаря чему стали известны изменения его физического и химического состояния за эти годы, ставшие для этого моря кульминацией антропогенного экологического кризиса. Других данных такого рода за этот период попросту нет. В части динамики морских берегов в ИО РАН создан комплекс методов натуральных наблюдений за динамическими процессами береговой зоны и собран уникальный массив данных наблюдений за состоянием берегов в разных физико-географических условиях, который дополнен обширным массивом данных лабораторных экспериментов.

Сегодня в Институте океанологии созданы и эксплуатируются уникальные приборные комплексы для исследования любых процессов в океане. Два глубоководных обитаемых аппарата (ГОА) *Мир-1* и *Мир-2* с рабочей глубиной погружения до 6000 м – лучшие в своем классе аппараты в мире. Вместе с НИС *Академик Мстислав Келдыш* ГОА *Мир* составляют уникальный аппаратный комплекс, с помощью которого выполнен колоссальный объем научных исследований, археологических работ, видеосъемок подводных объектов в Мировом океане, решены задачи государственной важности на затонувших АПЛ *Комсомолец* и *Курск*, а также проведены уникальные исследования на озере Байкал.

ИО РАН создает судовые аппаратные комплексы, позволяющие измерять и анализировать *in situ* на ходу судна химический состав и физические характеристики атмосферы и приповерхностной части водной толщи океана, а также ее мутность и состав поверхностных загрязнений, а также геофизические буксируемые и бортовые комплексы «Звук», «Гидра», «Мезоскан», «Микросаунд», «ЧирпСонар», «АП-5», «Спаркер», позволяющие вести панорамное гидролокационное картирование рельефа дна, поиск подводных объектов и непрерывное сейсмопрофилирование осадочной толщи. Важным направлением технических разработок ИО РАН являются заякоренные аппаратные комплексы – глубоководные буйковые станции, позволяющие непрерывно измерять гидрофизические, геохимические и акустические параметры и исследовать процессы осадкообразования в водной толще на максимальных глубинах в океане, а также донные аппаратные комплексы, позволяющие регистрировать магнитные, сейсмические и акустические сигналы, шумы и микросейсм и оценивать потоки вещества на границе вода-дно.

ИО РАН обладает уникальным парком донных сейсмических станций, способных работать как на шельфе, так и в глубоких районах океана. С помощью этих станций можно регистрировать землетрясения любой магнитуды (включая микроземлетрясения), а также выполнять уникальные работы по глубинному сейсмическому зондированию коры и верхней мантии океана (метод ГСЗ). Наконец, ИО РАН разрабатывает

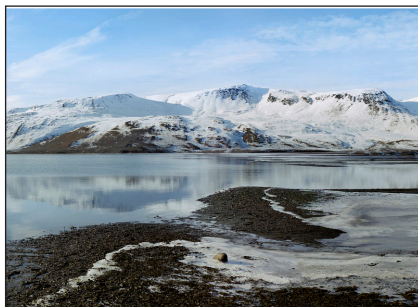
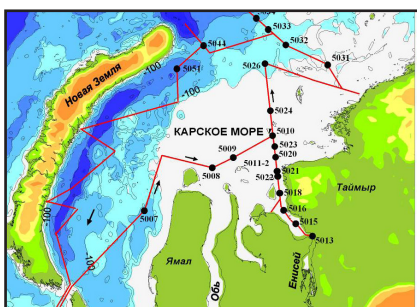


и широко использует подводные роботизированные платформы ТНПА «Гном», позволяющие вести визуальный осмотр подводных природных и техногенных объектов, целенаправленный отбор проб и измерений, а также автономные зондирующие комплексы – аппараты серии «Аквалог», предназначенные для получения непрерывных рядов измерений вертикальных профилей гидрофизических и других параметров водной толщи. Мы также создали необитаемый подводный аппарат «Видеомодуль», предназначенный для визуальных наблюдений и маршрутного картирования микрорельефа дна и популяций донной фауны на максимальных глубинах в океане.

Институт ведет широкий спектр специальных работ, в частности по обеспечению оперативной деятельности военно-морского флота. Во-первых, проводится исследование и прогнозирование гидрофизических параметров и структуры водной толщи предполагаемых театров действий военно-морских сил с точки зрения положения термоклина и оси канала дальнего распространения звуковых сигналов. Во-вторых, ИО РАН разрабатывает теоретические принципы и технологии оперативных наблюдений за гидрофизическими и биогеохимическими параметрами приповерхностного слоя и структурой поверхностного волнения для калибровки спутниковых систем зондирования, а также интерпретации и уточнения данных, получаемых спутниковыми инструментами в оптическом и радиочастотном диапазонах. В-третьих, сотрудниками ИО РАН ведется исследование и разработка телеуправляемых и автономных робототехнических средств, способных выполнять самостоятельные поисковые и разведывательные задачи, а также входить в качестве элементов в состав сетцентрических систем наблюдения, регистрации и наведения надводных и подводных сил военно-морского флота, а также силовых ведомств, обеспечивающих безопасность коммуникаций и стратегических объектов.

Важнейшим механизмом реализации научных задач Института являются экспедиционные исследования, в том числе проводимые с использованием научно-исследовательского флота Института. В последние годы в ИО РАН проводится несколько крупномасштабных долговременных экспедиционных программ в Мировом океане и морях. Это программа долговременного мониторинга процессов в субполярной Атлантике на разрезе по 60° с.ш., направленная на установление механизмов долговременной изменчивости океана, включая биогеохимические процессы. В последние 5 лет Институтом проведен **крупнейший** в современных мировых арктических инициативах комплекс морских исследований, включавший 5 экспедиционных рейсов общей продолжительностью более 180 суток и числом участвующих научных сотрудников более 250 человек. Экспедиции имели мультидисциплинарный характер и охватили ключевые районы Российской Арктики – Карское море и море Лаптевых – важнейшие с точки зрения современных климатических изменений, перспективы добычи углеводородных ресурсов на шельфе, колоссальных накопленных экологических рисков и воздействия континентального стока на морские экосистемы. Важнейшим блоком экспедиционных работ стали регулярные меридиональные рейсы НИС Института в Атлантике, позволившие установить многие закономерности океанологических процессов в глубоководных разломах, выявить особенности осадконакопления в ключевых регионах и собрать уникальный массив наблюдений характеристик взаимодействия океана и атмосферы. Наконец, важнейшей долговременной программой является исследование динамики вод в Южном океане, включая многолетний мониторинг переносов в проливе Дрейка, связывающего Тихий и Атлантический океаны. Долговременные региональные исследования в морях включали уникальные по продолжительности программы наблюдений в Черном, Аральском и Каспийском морях. В последние годы начаты экспедиционные исследования в Тихом и Индийском океанах, продолжающие активные исследования 1970-80-х гг.

Перечисленные направления исследований развиваются за счет средств базового финансирования, обеспечиваемого Федеральным агентством научных организаций в рамках госзаданий, проектного финансирования в рамках Федеральных Целевых Программ министерствами и ведомствами (в частности Минобрнаукой, Минэкономразвития и другими), средств грантового финансирования Российского Научного Фонда, Российского Фонда Фундаментальных исследований и Русского географического общества, грантов и контрактов с зарубежными агентствами. В течение последних лет

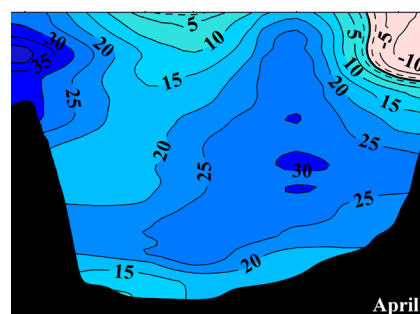
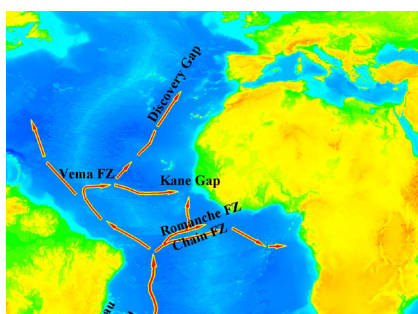
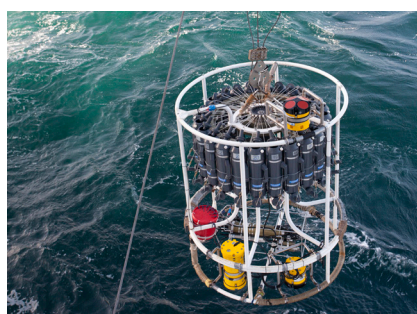


при общем уменьшении базового финансирования финансирование Института за счет внебюджетных источников существенно увеличивалось (см. Стратегию Развития). В этом смысле крайне важными для Института являлись выигранные мегагранты в 2013 и 2016 гг., руководимые крупнейшими мировыми лидерами в области наук об океане и климате, Павлом Гройсманом и Бернаром Барнье. В области Наук о Земле ИО РАН – единственный научный центр, получивший два мегагранта в течение 3 лет. Эти мегагранты позволили создать в Институте новые междисциплинарные подразделения и открыть новые направления исследований. Не менее важной стала победа ИО РАН в конкурсе на получение крупных грантов РФ для научных организаций в 2014 году, позволившая обеспечить ряд прорывных междисциплинарных исследований и обеспечить инфраструктурные инвестиции. Опять же, ИО РАН стал единственным обладателем такого крупного гранта РФ в области наук о Земле. Эти крупные проекты позволили привлечь в Институт много талантливой молодежи, не только существенно изменившей возрастной состав Института, но и создавшей условия для возникновения здесь новой культуры научной работы. Сегодня в ИО РАН на различных позициях работают 8 иностранных ученых – от аспирантов до профессоров.

Научные результаты сотрудников Института публикуются в ведущих международных научных журналах, включая *Nature*, *Nature Geoscience*, *Nature Scientific Reports*, *BAMS*, *Journal of Climate*, *JGR*, *GRL*, *Remote Sensing of Environment*, *Journal of Physical Oceanography*, *Journal of Fluid Mechanics*, *Marine Biology*, *Biogeochemical cycles*, *Quaternary International*, и других. Институт обеспечивает издание старейшего (с 1961 года) и ведущего российского журнала в области морских наук *Океанология*, издаваемого на русском и английском языках и индексируемого WOS и SCOPUS. В настоящее время Институтом начат выпуск еще одного электронного рецензируемого журнала *Океанологические исследования (Ocean Research)*, издаваемого на английском языке и планируемого к индексации в мировых библиометрических базах данных.

Институт океанологии – это институт молодежи. За последние годы доля молодых сотрудников института увеличилась на 23%. В Институте работает докторантура и аспирантура, принимающая в год в среднем 10 молодых сотрудников. Институт имеет 3 базовых кафедры в ведущих российских вузах – Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова (кафедры океанологии и метеорологии) и Московском Физико-техническом институте (кафедра термодинамики океана), где преподавательскую деятельность ведут более 20 сотрудников института. Студенты МГУ и МФТИ регулярно проходят учебные и производственные практики в лабораториях и на судах Института. Созданный в 2005 году Совместный Научно-Учебный Центр «Океан и климат» ИО РАН и МГУ обеспечивает эффективный синтез подготовки молодых специалистов и передовых научных разработок. В Институте функционирует 3 диссертационных совета с правом присуждения степеней доктора и кандидата наук по специальностям «океанология» (физико-математические, географические, геологи-минералогические и технические науки), а также «гидробиология» и «ихтиология» (биологические науки). Такого широкого спектра подготовки молодых специалистов в области морских наук сегодня нет ни в одном научном институте и ВУЗе России.

ИО РАН тесно вовлечен в ведущие международные программы по исследованиям океана и климата. В течение многих лет ведущие сотрудники Института С.С. Лаппо и С.К. Гулев являлись членами Объединенного научного комитета Всемирной Программы исследований климата (WCRP), определяющей стратегию международных климатических исследований. Сотрудники Института входят в состав управляющих комитетов отдельных проектов этой программы, в частности «Глобальные потоки энергии и влаги» (GEWEX), «Климатическая изменчивость и предсказуемость (CLIVAR), «Динамика климата», «Океанское теплосодержание и потоки тепла» (С.К. Гулев). Директор ИО РАН традиционно является членом бюро Международного консорциума по наблюдениям в океане (POGO), сотрудники Института возглавляли многие рабочие группы Научного комитета по океанским исследованиям (SCOR), а С.М. Шаповалов является вице-президентом SCOR. В течение последних лет сотрудники Института входят в оргкомитеты крупных многолетних международных программ по исследованию экосистем Мирового



океана и Арктики:

- SWERUS-C3: Swedish-Russian-US Arctic Ocean Investigation of Climate-Cryosphere-Carbon Interaction (Л.И. Лобковский),
- GEOTRACES (М.Д. Кравчишина),
- AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme (, В.П. Шевченко),
- HERMIONE: Hotspot Ecosystem Research and Man's Impact on European Seas (А.В. Гебрук),
- MIDAS: Managing Impacts of Deep-sea resource exploitation (А.В. Гебрук),
- ECOMAR: Ecosystems of the Mid-Atlantic Ridge at the Sub-Polar Front and the Charlie Gibbs Fracture Zone (А.В. Гебрук),
- SBI: Shelf – Basin Interactions in the Arctic (М.В. Флинт),
- РУСАЛКА: Российско-Американская долговременная программа по исследованию биоразнообразия Арктики (К.Н. Кособокова),
- NABOS: Nansen-Amundsen Basins Observational System (К.Н. Кособокова),
- Международный проект Европейского Союза SESAME: Southern European Seas: Assessing and Modeling of Ecosystem Changes (А.Г. Зацепин),
- PERSEUS: Politically-Oriented Marine Environmental Research in the Southern European Seas (А.Г. Зацепин).

Ведущие сотрудники Института С.К. Гулев, П.О. Завьялов и А.Г. Костяной являлись ведущими авторами 4-го и 5-го Оценочных докладов Межправительственной Группы Экспертов по изменению климата (МГЭИК) и принимали активное участие в формировании научных докладов о климатических изменениях. Работа МГЭИК была отмечена в 2008 г. Нобелевской премией мира. Ученые Института входят в редакционные советы ведущих мировых журналов в области морских и климатических наук, в частности *International Journal of Climatology of the Royal Meteorological Society*, *Advances in Meteorology*, *International Journal of Water*, *Journal of Marine Biology Research* и *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Все это свидетельствует, что Институт океанологии в значительной степени определяет стратегию морских и климатических исследований в мире, а его ученые являются признанными лидерами мировой науки об океане.

Важным направлением работы Института является популяризация научных знаний об океане. В ИО РАН действует Музей истории Института. Постоянно обновляющаяся экспозиция Музея, рассказывает об истории развития научных исследований, достижениях и открытиях, о выдающихся ученых-океанологах, о роли океана в жизни людей. Организуются временные тематические выставки. Музей активно посещается школьниками, для них проводятся экскурсии и читаются лекции. Институт регулярно проводит тематические лектории для широкого круга слушателей в Государственном Дарвиновском музее и Геологическом музее им. В.И. Вернадского РАН. В Институте работает киностудия, снимаются популярные фильмы о работах Института, которые широко демонстрируются на разных площадках, включая высшие учебные заведения и широко посещаемые музеи. Институт ведет активную популяризацию науки через программы на ЦТ и организацию выставок в центральных музеях (TV (ОРН) программы «Большая наука», «У нас одна Земля» (ведущий М.В. Флинт); тематические выставки об экспедиционных исследованиях Института в Дарвиновском музее (Москва), Музее Мирового океана (Калининград), Галерее классической фотографии).

Сегодня Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН обладает уникальным научным потенциалом и ясной перспективой развития, соответствует всем современным вызовам, стоящим перед Российской морской наукой. Это определяется наличием высококвалифицированных научных кадров, признанных научных школ в разных областях наук об океане, высоким уровнем проводимых фундаментальных и прикладных исследований, наличием результатов мирового уровня, ростом числа публикаций, большим процентом молодых исследователей в составе научного коллектива, наличием научных заделов по приоритетным направлениям науки и технологий, развитой экспедиционной деятельностью.

## 4 ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Главной **целью** научной деятельности Института в рамках данной Концепции является повышение эффективности фундаментальных и прикладных исследований океана, удержание и закрепление лидирующих позиций по основным направлениям исследований и развитие научного потенциала российской морской науки. Это позволит поддерживать существующие и развивать новые направления исследований, соответствующие главным государственным задачам в области использования ресурсов океана, предотвращения негативного влияния процессов, связанных с океаном, на жизнь и хозяйственную деятельность людей, рационального и безущербного взаимодействия человека и морских систем, сохранение уникальных экологических систем океана.

Конкретными задачами реализации Концепции являются:

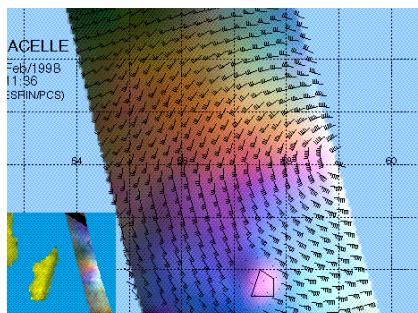
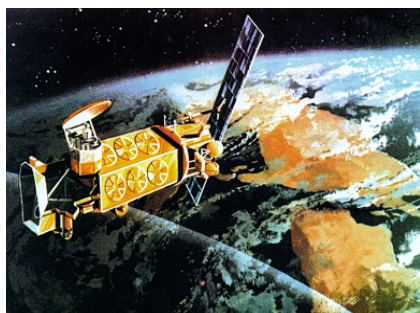
- Получение новых знаний о природе Мирового океана, обеспечивающих мировой уровень отечественной науки и решение государственных геополитических задач, основанных на научных достижениях.
- Научное и научно-техническое обеспечение государственных задач в области использования и освоения Мирового океана.
- Научное обеспечение прогноза и минимизации природных, прежде всего климатических, и антропогенных рисков, связанных с Мировым океаном.
- Обеспечение поддержания ведущих позиций отечественной науки в исследованиях Мирового океана.
- Обеспечение геополитически значимого присутствия российской науки в ключевых районах Мирового океана.
- Формирование сбалансированного по возрасту и уровню квалификации кадрового состава исследователей, подготовка специалистов высокой квалификации в области исследований океана.

Институт океанологии вступает в восьмое десятилетие своей деятельности, обладая кадровым потенциалом высочайшей квалификации и уникальным научным оборудованием, фундаментальным заделом во всех областях наук об океане, и, главное, с четким видением перспектив развития на последующие десятилетия. Наша стратегия строится на триаде **ЗНАНИЯ ОБ ОКЕАНЕ – РЕСУРСЫ ОКЕАНА – СОХРАНЕНИЕ ОКЕАНСКИХ ЭКОСИСТЕМ**, определяющей перспективы нашего развития (рис. 1). Для решения задач, связанных с пониманием процессов в океане, освоением океана и его эффективным использованием мы выделяем 5 главных **научных приоритетов**:

- Общая циркуляция океана и климат
- Экосистемы океана и биоресурсы
- Катастрофы и опасные явления в океане
- Шельф и прибрежные зоны морей и океанов
- Геология и минеральные ресурсы океана.

Эти **научные приоритеты** тесно реализуются в рамках **региональных приоритетов**:

- Моря России
- Арктика и Северный Ледовитый океан
- Атлантика, Тихий и Индийский океаны
- Антарктика и Южный океан.





Поставленные задачи не могут быть решены без высокоточных наблюдательных систем, научно исследовательского флота и информационных технологий. Поэтому для успешного решения поставленных задач Институт должен сконцентрироваться на таких **технологических приоритетах**, как:

- Научно-исследовательский флот
- Технические средства наблюдений
- Информационно-вычислительные ресурсы.

Указанные три группы приоритетов согласуются с их более синтезированным видением, представленным в Стратегии развития Института, где эти приоритеты увязываются с тематикой Государственного задания. На рис. 1 показана структурная связь данных приоритетов с долговременными задачами развития морской науки и ее использования для эффективного развития страны.



Рис. 1. Взаимосвязь научных, региональных и технологических приоритетов между собой и с долговременными задачами развития морской науки и ее использования для эффективного развития страны.

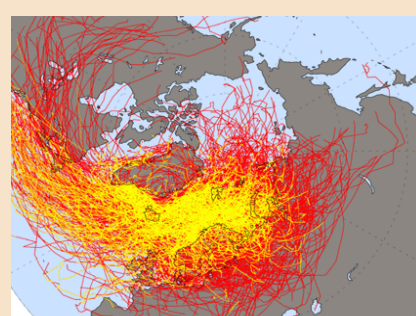
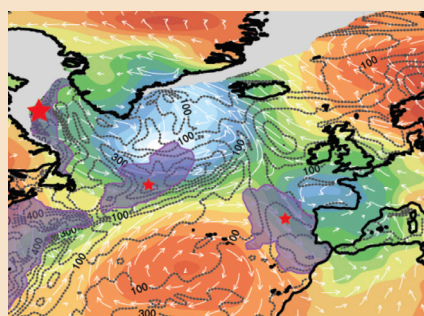
Для реализации стратегии нами выделены ключевые направления (крупномасштабные задачи) в каждой области. Каждая из таких крупномасштабных задач, рассчитанных на долговременную (~15 лет) перспективу, включает **первоочередные (1-3 года), среднесрочные (3-6 лет) и долгосрочные (10-15 лет) задачи**.

## 5 НАУЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ

### 5.1. Общая циркуляция океана и климат

Изучение физических закономерностей океанской циркуляции началось с плавания Э.Х. Ленца и О.Е. Коцебу на шлюпе «Предприятие» в 20-х годах XIX-го столетия и продолжилось работами адмирала С.О. Макарова во второй половине XIX-го века, включая его плавания на корвете *Витязь* и построение первой базы данных о температуре и плотности вод океана «Свод данных об океане», а также великой экспедицией английского корвета *Челленджер* под руководством Ч. Томсона. Ученик С.О. Макарова адмирал А.В. Колчак в начале XX-го века провел первые уникальные исследования Арктики, суммированные в его труде «Лед Карского и Восточно-Сибирского морей», которые наравне с работами великих океанографов Ф. Нансена, Б.Геннланд-Ганзена, В. Экмана, Н.Н. Зубова положили начало современной физической океанографии. Этот этап изучения океана, как физического объекта продолжился экспедициями *Метеора* в Атлантике в 30-х годах XX-го столетия и работами выдающихся немецких океанологов, в частности О. Крюммеля и П. Шотта, и завершился изданием в 1945 году книги «Oceanus» Х. Свердруп, М. Джонсона и Р. Флеминга. К этому времени было построено первое «глобальное описание» океана и начался более чем 30-летний этап изучения процессов и механизмов, управляющих динамикой океана. Этот период был сопряжен с развитием теоретических основ неоптической гидродинамики, в первую очередь турбулентности, новых средств наблюдений за процессами в океане и первых, пока еще очень грубых численных моделей океанских процессов, существенно ограниченных возможностями вычислительной техники. Наряду с выдающимися зарубежными физическими океанологами, среди которых были У. Манк, Х. Стоммел, Дж. Педлоски, М. Лонге-Хиггинс и многие другие, огромный вклад в это изучение внесли отечественные ученые, в частности К.Н. Федоров, Р. В. Озмидов, В.М. Каменкович, А.С. Монин, В.Б. Штокман, Б.Н. Тареев, А.С. Саркисян, которые все являлись сотрудниками ИО РАН. В результате в конце 1970-х – начале 1980-х годов мы поняли, что океан гораздо сложнее «глобального описания» конца 1940-х годов, что синоптические, мезомасштабные и мелкомасштабные процессы в нем играют принципиальную роль и в значительной степени определяют его крупномасштабную динамику и влияние на климат. Поэтому, вполне естественно, в середине 1980-х годов начался современный этап изучения океана, нацеленный на построение нового «глобального описания» Мирового океана, но с учетом всех процессов в нем от микро- до синоптических масштабов. Мы живем в эпоху, когда этот этап продолжается.

Современная физическая океанология – это синтез гидромеханики, физики сплошных сред, физики тепло-массообмена, позволяющий детально описывать даже самые мелкомасштабные процессы в океане и на этой основе строить физические модели крупномасштабной динамики океана и оценивать его роль в динамике климата. Поэтому современная физика океана опирается на триаду «теория – численное моделирование – наблюдения», в которой каждый из элементов одинаково важен и которые дополняют друг друга. Результатом такого синтеза становится понимание физических механизмов изменений океанских процессов на масштабах от нескольких часов до столетий во времени и от нескольких метров до тысяч километров в пространстве. Важным элементом такого понимания является то, что без знания процессов малых масштабов невозможно адекватно описать глобальную динамику океана. И наоборот, что не задумываясь роли тех или иных процессов в глобальной динамике океана и его роли в изменениях климата, описание отдельных механизмов и процессов существенно обедняется, как концептуально, так и физически. Это в полной мере относится и к дилемме глобальности и региональности в изучении физических процессов в океане. С учетом нашего сегодняшнего понимания связанности процессов разных масштабов, изучение глобальных закономерностей невозможно без глубокого анализа региональных процессов. И наоборот, невозможно изучать региональные структуры в океане без понимания их роли в формировании глобальной циркуляции. Хорошим примером в этом смысле являются океанские пограничные течения, являющиеся региональными циркуляционными элементами, но определяемые глобальными процессами и играющими ключевую роль в формировании глобальной циркуляции океана. То же самое относится и к динамике вод морей – ее изменчивость в



значительной степени определяет крупномасштабную океанскую динамику и в значительной степени модулирует влияние океана на климат суши. Показательными примерами в этом смысле являются средиземноморские воды, формирующие класс промежуточных вод в Атлантике, по свойствам очень близкий к промежуточным субполярным водам – главному «движителю» межконтинентального конвейера, или процессы каскалинга в Охотском море, в результате которого формируется большая часть промежуточных вод Тихого океана.

Осознавая глобальность современной физической океанографии, мы, тем не менее, не можем строить стратегию исследования физических процессов в океане и его влияния на климат по схеме «*fit-for-all*», ибо это будет мировая стратегия, осуществление которой требует усилий всех океанологических центров мира. В то же время, мы осознаем необходимость полного соответствия стратегических задач Института в области физической океанографии этой мировой стратегии. Стратегия ИО РАН в этом смысле концентрируется на задачах, наиболее важных для вызовов, стоящих перед Российской Федерацией с учетом традиционных и наиболее развитых направлений исследований в ИО РАН.

Учитывая это, главной целью исследования общей циркуляции и климата океана на период до 2030 года является **достоверное количественное описание наблюдаемых изменений климата океана на временных масштабах от сезона до столетия, выявление механизмов наблюдаемой климатической изменчивости в Северной Атлантике и ее влияния на предсказуемость климата континентов Северного полушария**. Эта одна из ключевых проблем, поскольку океанский климатический сигнал формирует предсказуемость климата на временных масштабах от нескольких лет до нескольких десятилетий, при этом учет этого сигнала является до сих пор нерешенной задачей. Рис. 2 показывает, что диапазон от нескольких лет до нескольких десятилетий характеризуется наиболее низкой предсказуемостью климата. Именно в этом диапазоне роль океана (естественных мод изменчивости) становится сравнимой с величиной антропогенного сигнала, что делает климатический прогноз на это время трудной задачей. Эта проблема особенно важна для Северной Атлантики, где ярко выражены климатические колебания, связанные с Атлантическим мультideкадным колебанием – сильнейшей модой собственной климатической изменчивости в Северном полушарии, на которую накладывается сильная межгодовая изменчивость, обусловленная, прежде всего, Североатлантическим колебанием (САК). Северная Атлантика также оказывает наиболее сильное влияние на климат Европы и Северной Америки (Enfield et al. 2001, Trenberth and Shea 2006, Semenov et al. 2010, Woollings et al. 2012, Chylek et al. 2014). Этот регион характеризуется интенсивной изменчивостью потоков энергии на границе океан-атмосфера (Yu 2011, Gulev et al. 2013) и сильнейшими изменениями характеристик водных масс на межгодовом и междесятилетнем временных масштабах (Sarafanov et al. 2010, Balmaseda et al. 2013, Rhein et al. 2013).

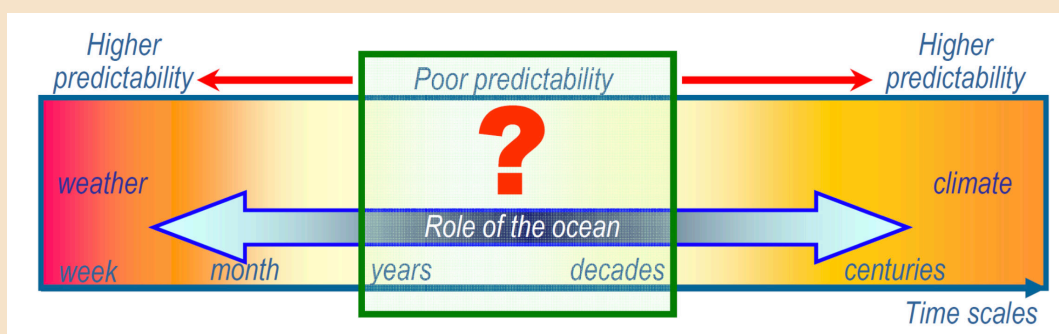


Рис. 2. Схематическое представление уровня предсказуемости климатической системы на различных временных масштабах. Цветовая гамма от светло-желтого до красного отражает уровень предсказуемости. Сине-голубая стрелка показывает масштабы, на которых наиболее важна роль океана: она уменьшается в области коротких и сверхдлинных масштабов.

Основными **стратегическими задачами** в этой области являются следующие:

(1) Анализ изменений ключевых климатически значимых характеристик циркуляции Атлантического океана и водообмена между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами под воздействием климатических изменений, в том числе процессов взаимодействия океана и атмосферы. В этом направлении предполагается синтез крупных долговременных наблюдательных экспериментов, включая долговременные наблюдательные программы ИО РАН на 60° с.ш. и в Южной Атлантике, высокоразрешающего численного моделирования общей циркуляции океана, и построения высокоточных долговременных полей характеристик энергообмена на поверхности океана.

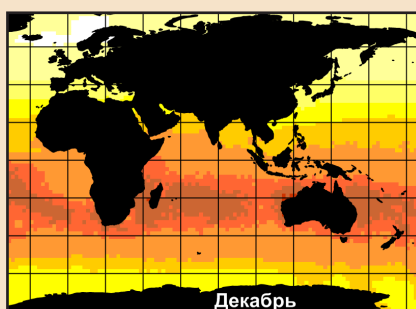
(2) Исследование механизмов формирования ключевых региональных особенностей океанической циркуляции, включая западные и восточные пограничные течения, апвеллинги, стационарные круговороты и их роль в функционировании глобальной циркуляции океана и морей и формировании региональных климатических сигналов. Здесь предполагается проведение специализированных экспедиционных исследований, высокоразрешающего усиленного моделирования на региональном уровне, а также построение долговременных наблюдательных систем для постоянного мониторинга ключевых районов океанов и морей в долговременной перспективе.

(3) Исследование роли синоптических и мезомасштабных процессов в крупномасштабной долгопериодной динамике океана и его климатической изменчивости на основе экспериментального и модельного анализа вихревых, волновых и мелкомасштабных процессов в океане, включая их взаимодействие друг с другом и с крупномасштабной динамикой. Мы предполагаем количественно оценить долю крупномасштабной низкочастотной изменчивости в средних широтах, генерируемую за счет собственной (то есть управляемой внутренними модами) изменчивости, а также охарактеризовать роль мезомасштабных вихрей в формировании этой изменчивости. Решение этой задачи будет основано на рассмотрении структурных изменений западных пограничных течений, а также связанных с ними рециркуляций в первую очередь в Атлантическом океане, Северном Ледовитом океане и морях России. Это позволит, используя теоретические исследования, экспериментальную диагностику и высокоразрешающее моделирование, построить достоверное описание роли синоптической и мезомасштабной изменчивости в крупномасштабной океанской динамике и изменениях климата, связанных с океаном.

(4) Исследование атмосферных откликов на климатические сигналы океана и его влияния на изменения климата на разных временных масштабах. В рамках этой задачи будет исследоваться связь динамики циклонической активности в атмосфере с диабатическими сигналами океана и ее роль в переносе энергии и влаги над океанами и с океанов на континенты. Учитывая важность этих процессов для изменений климата (включая экстремальные климатические события) на территории России, основной акцент будет сделан на процессы в Северной Атлантике, Арктике и внутренних морях России, являющихся сильными модуляторами крупномасштабных климатических сигналов. В рамках этой задачи предполагается использование развитых методов диагноза атмосферных процессов по данным существующих реанализов и наблюдений, а также анализ экспериментов с климатическими моделями для современного климата и различных сценариев его изменений.

**Первоочередными задачами** являются следующие:

- Постоянный мониторинг и анализ изменчивости интенсивности Атлантической меридиональной циркуляции (АМОС) в субполярной Северной Атлантике по данным наблюдений на разрезах, альтиметрическим измерениям и данным буев Argo за период с 1990-х годов по настоящее время, включая количественные оценки меридионального переноса вод и тепла (МПТ), расходов основных течений и трансформации водных масс.
- Создание и постоянное обновление верифицированного глобального массива характеристик энергообмена океана и атмосферы, основанного на всех видах данных и построение на его основе долговременного ансамбля полей граничных условий для океанского моделирования с различным разрешением.
- Создание параметризаций основных мелкомасштабных, мезомасштабных и синоптических океанических процессов, их региональная адаптация и тестирование в моделях циркуляции различного разрешения.
- Выполнение высокоразрешающих численных экспериментов с вихреразрешающими моделями океана в глобальных (для всего Мирового океана) и региональных (для отдельных районов,



включая моря России) для установления механизмов формирования долгопериодной изменчивости океана морей под воздействием процессов взаимодействия океан-атмосфера, а также синоптической и мезомасштабной динамики.

- Анализ отклика динамики атмосферы и переносов энергии с океана на континенты на изменчивость потоков тепла из океана в атмосферу в современном климате и установление основных механизмов влияния океана на атмосферную циркуляцию и климатические изменения на континентах.

**Среднесрочные задачи** включают:

- Получение достоверных оценок и физическое описание механизмов долговременной динамики меж океанской циркуляции на основе экспедиционных и палеоклиматических наблюдений в Северной Атлантике и Южном океане и долгопериодных (100 и более лет) численных экспериментов с моделями общей циркуляции для глобального океана с использованием граничных условий, основанных на долговременных реконструкциях потоков энергии на поверхности океана.
- Оценка вариаций переноса вод и тепла в Западно-арктические моря и в Северный Ледовитый океан в подповерхностном и промежуточном слое водной толщи в связи с вариациями интенсивности термохалинной циркуляции Атлантики на различных масштабах по данным моделирования и палеонаблюдений.
- Построение концептуальных моделей влияния мелко-, мезо- и микромасштабных процессов на формирование долгопериодных изменений океанской циркуляции, исследование роли региональных циркуляционных систем и придонной циркуляции, включая динамику донных антарктических вод в глобальной динамике океана.
- Обоснование механизмов формирования океанских климатических сигналов на масштабах времени от лет до столетия и их анализ с помощью океанских и климатических циркуляционных моделей, построение прототипов региональных наблюдательных систем, включающих все виды наблюдений за состоянием океана.
- Анализ междекадной и межгодовой изменчивости в характеристиках циклонической активности и переносов тепла и влаги в атмосфере, обоснование взаимосвязи характеристик атмосферной динамики и континентального климата на основе климатического моделирования.

Решение краткосрочных и среднесрочных задач позволяет ставить следующие **долгосрочные задачи**:

- Количественные оценки предсказуемости климатических изменений за счет учета роли океана в климатических изменениях на различных временных масштабах, включая оценки относительной роли собственной изменчивости океана в климатической изменчивости Северного полушария в течение 21-го и 22-го столетий.
- Концептуальная модель механизмов формирования региональных климатических сигналов в океане и морях и их роли в регулировании экстремальных климатических изменений на континентах.
- Построение системы долговременного мониторинга климатических изменений в субполярной Атлантике и обмена водами и теплом и между Атлантикой и Арктикой на основе синтеза различных наблюдательных систем в Мировом океане.
- Построение оперативных систем мониторинга и прогнозирования ключевых региональных процессов в океане и морях на основе высококорреляционного численного моделирования и систем усвоения данных наблюдений.

## 5.2. Катастрофы, риски и опасные явления в Мировом океане

Наводнения и волны цунами относятся к наиболее грозным стихийным бедствиям. Например, наводнение 1970 года в Восточном Пакистане (сейчас Бангладеш), в дельте Ганга, считается одной из величайших катастроф. Точное число жертв установить не удалось — по-видимому около 500 тыс. человек. Это событие, без сомнения, можно считать наиболее значительной катастрофой XX столетия. Цунами 26 декабря 2004 г., вызванное землетрясением с магнитудой  $M_w = 9.3$ , происшедшим у северо-западного побережья о. Суматра, привело к катастрофическим разрушениям вдоль всего побережья Индийского океана и к гибели около 230 тыс. человек в 14 странах мира, включая Южно-Африканскую республику, расположенную в 7 тыс. километрах от очага. Исследование этих процессов должно включать все основные компоненты: измерения, анализ, моделирование и прогноз. Катастрофические цунами, охватывающие

огромные пространства Мирового океана, вызываются сильнейшими подводными землетрясениями, происходящими в островных дугах и активных континентальных окраинах (зонах субдукции), в пределах которых океаническая литосфера пододвигается под континентальную и далее погружается в мантию Земли. Поэтому прогноз цунами сводится к прогнозу цунамигенных землетрясений. Задача краткосрочного прогноза землетрясений (т.е. определение момента главного толчка с точностью до нескольких часов или хотя бы суток) в настоящее время далека от своего решения, хотя человечество занимается этой проблемой с самых древних времен. Что касается проблемы долгосрочного и среднесрочного (порядка нескольких лет) прогноза сильнейших землетрясений в зонах субдукции, то разработанная в ИО РАН в 80-х годах прошлого столетия клавишная геодинамическая модель циклов этих землетрясений дает теоретическую основу для таких прогнозов. В последнее десятилетие в связи с быстрым прогрессом космической геодезии, впервые появилась возможность прямых наблюдений за разными стадиями сейсмического цикла (предсейсмическая, косейсмическая и постсейсмическая стадии) для каждого сейсмогенного блока конкретной островной дуги или активной континентальной окраины. Сравнение рассчитанных по клавишной модели деформаций сейсмогенных блоков для разных стадий сейсмического цикла с наблюдаемыми деформациями по данным космической геодезии показали их поразительное совпадение для ряда сильнейших землетрясений, в частности, для Симуширских землетрясений 2006 г. и 2007 г. в центральной части Курильской островной дуги. Это подтверждает справедливость основных положений и выводов клавишной модели и показывает ее хорошие прогностические возможности.

Сегодня, в связи с появлением новых технологий измерения уровня Мирового океана, таких как спутниковая альтиметрия, глубоководные регистраторы цунами DART и др., существенно расширились возможности изучения цунами не только в отдельных пунктах наблюдений, но и в масштабе всего океана. Современные вычислительные средства и технологии позволяют эффективно моделировать возникновение и распространение волн цунами с высоким разрешением, а также прогнозировать их воздействие на прибрежные районы суши. Такие модели разработаны в Институте, их дальнейшее развитие должно быть связано с описанием волн цунами, вызываемых подводными оползнями и адекватным воспроизведением очага, при моделировании цунами сейсмического происхождения.

Разрабатываемые модели разделяются на два основных типа – ретроспективные и диагностические. В первом случае в модели воспроизводятся конкретные исторические события, например, цунами 2011 г. вблизи о. Хонсю (Япония) Пример расчета характеристик распространения волн цунами такой моделью приведен на рис. 3. Диагностические модели используются для выявления физических механизмов формирования экстремальных событий. Например, с помощью серии численных экспериментов удалось показать вклад отдельных компонент ветра и давления при формировании штормовых нагонов в Финском заливе (Балтийское море). В настоящее время разрабатываются модели колебаний уровня Черного и Каспийского морей с учетом воздействия ветра, атмосферного давления и приливообразующих сил.

Разрабатываемый вероятностный подход к количественной оценке цунамиопасности базируется на сценарном численном моделировании цунами, при котором создается синтетический каталог возможных очагов цунамигенных землетрясений в соответствии с сейсмическим потенциалом и особенностями сейсотектоники региона, и на тщательном учете неопределенностей в исходных данных с помощью метода Монте-Карло. Аналогичный подход в последнее время успешно применяется для целей сейсморайонирования. На основе предварительных оценок и расчетов учеными Института океанологии РАН была указана зона в центральной части Курильских островов как наиболее вероятная область зарождения (подготовки) сильнейшего подводного землетрясения и цунами. В период 2005-2006 гг. был организован геолого-геофизический мониторинг «сейсмической брешы» в районе Центральных Курил. Были организованы две морские геолого-геофизические экспедиции на НИС *Академик Лаврентьев*. 15 ноября 2006 г. в районе Центральных Курильских островов произошло сильнейшее цунамигенное землетрясение с магнитудой  $M_w = 8.3$ . Сейсмический толчок вызвал волны цунами, проявившиеся по всему Тихому океану, включая побережье Японии, Гавайских островов, Аляски, Канады, Перу, Чили, Новой Зеландии и западное побережье США. Это цунами явилось наиболее мощным событием такого рода, наблюдавшимся в Тихом океане за последние 42 года. Анализ данных о проявлении цунами показал, что выполненные ранее прогностические оценки близки к наблюдениям. Разработанные в Институте методы оценки цунамиопасности оказались весьма эффективными. Российским ученым, сотрудникам ИО РАН, впервые в мире удалось заранее исследовать район подготовки сильнейшего подводного землетрясения во время специализированных геофизических экспедиций 2005 г. и 2006 г., что в итоге дало возможность осуществить успешный прогноз природной катастрофы.

Прикладное значение получаемых результатов исследований состоит в том, что на основе статистического анализа и модельных экспериментов совершенствуется методика оценки цунамиопасности (опасности штормовых нагонов), используемая при страховании рисков и строительстве в прибрежной зоне. Кроме «долгосрочного прогноза», указывающего на потенциальный риск экстремальных событий (цунами,

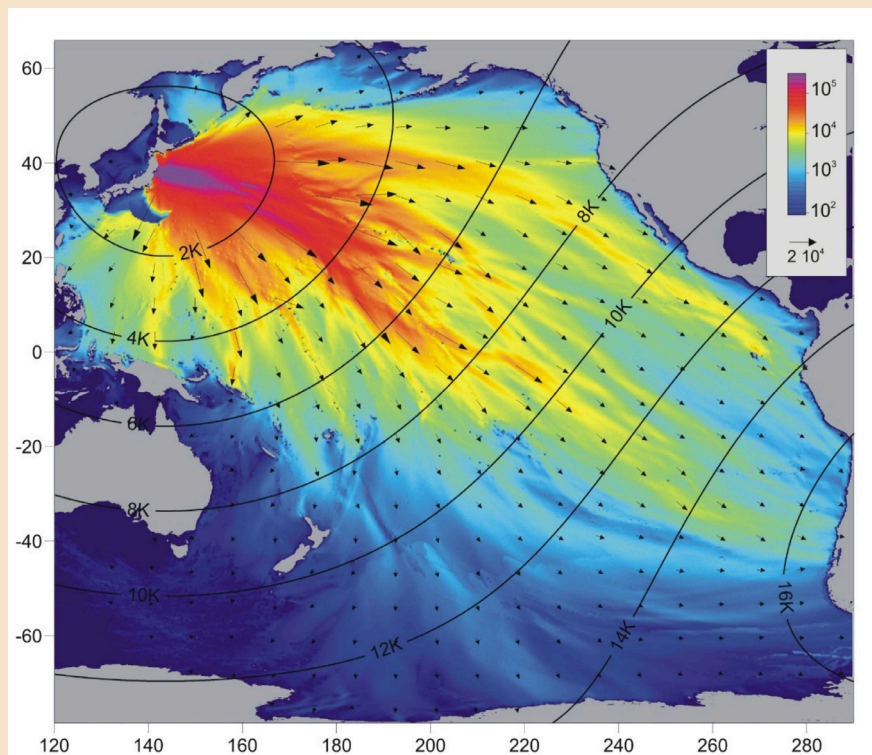


Рис. 3. Результаты численного моделирования японского цунами 2011 г.: удельный поток энергии цунами ( $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}$ ), осредненный за 1 ч с момента вступления фронта. Оценка начальной энергии цунами составила около  $10^8$  МДж, что примерно соответствует энергии взрыва атомной бомбы в Хиросиме.

штормовые нагоны), результаты анализа данных и усовершенствование моделей позволяют улучшить и методику «оперативного прогноза» цунами. Одним из важных результатов является доказательство возможности регистрации волны цунами из космоса.

Помимо землетрясений и цунами, агрессивность океанской среды характеризуется штормовой активностью Мирового океана, существенно осложняющей все виды хозяйственной деятельности в океане, и экстремальными подъемами уровня за счет сгонно-нагонных явлений, формирующих угрозы для деятельности в береговой зоне. Современный уровень исследований в этой области в России и за рубежом определяется достижениями в области экспериментального анализа экстремальных явлений, связанных с океаном, и моделирования. Важно отметить, что последние глобальные обоснованные оценки статистических характеристик экстремальных погодных явлений на поверхности океана были выполнены более 20 лет назад (*Global Wave Statistics*, Hogben et al. 1986). Аналогично, для окраинных и внутренних морей России последние оценки повторяемости экстремальных явлений были выполнены в рамках серии монографий «Моря СССР» и «Шельф», выпущенных Росгидрометом в 1980-х – начале 1990-х годов. Будучи крайне информативными, они, тем не менее, преимущественно базируются на материалах наблюдений до 1980-го года. Учитывая изменения глобального климата, влияющие на параметры распределения основных гидрометеорологических показателей, сами оценки и методы их расчета должны быть существенно пересмотрены. Российские исследования экстремальных природных явлений, связанных с океаном, находятся на передовом мировом уровне. Учеными ИО РАН создана самая полная на сегодня глобальная климатология характеристик ветрового волнения в Мировом океане, покрывающая более чем столетний период, и получены оценки климатических изменений статистических характеристик штормов. Кроме того, в ИО РАН построена уникальная климатология циклонов над океаном и обнаружены типы циклонических образований, ответственные за возникновение особо опасных штормов в океане. В последние годы были развиты новые методы оценки статистических параметров ветровых волн (ЛГУ, ГОИН Росгидромета и ИО РАН), а также идентификации циклонов и определения параметров их жизненного цикла (ИО РАН, ИГКЭ Росгидромета и РАН). Эти методы, созданные российскими учеными, успешно применяются в ряде зарубежных научных центров. Российские исследования по моделированию ветрового волнения учитывают все последние достижения в этой области и позволяют получать результаты, не уступающие лучшим мировым разработкам.

В этой области на сегодня мы имеем конфликт между растущим технологическим уровнем гидрометеорологического обеспечения и прогнозирования с одной стороны, и его эффективностью с точки зрения оценки вероятности особо опасных природных явлений в Мировом океане и минимизации ущерба с другой. Разрешение такого конфликта требует создания новых подходов к мониторингу,

прогнозированию и оценке вероятности опасных и катастрофических явлений, учитывающих современные изменения климата. Последние проявляются не только и не столько в изменениях средних климатических параметров, сколько в изменениях интенсивности и повторяемости экстремальных погодных и климатических явлений.

Важнейшим направлением исследований, связанных с рисками и катастрофами, является исследование разномасштабной динамики уровня Мирового океана. В долговременной перспективе рост уровня Мирового океана при глобальном потеплении примерно на 3 мм в год является наиболее достоверным климатическим сигналом (IPCC, 2013). Однако глобальное повышение уровня океана существенно дифференцировано в пространстве с наиболее сильными изменениями в Северной полярной области и тропиках восточной части Тихого океана. Мониторинг и физический анализ механизмов глобального повышения уровня тесно связан с направлением **Общая циркуляция океана и климат**. Однако на фоне глобального роста уровня океана происходит существенная интенсификация частоты и магнитуд экстремальных подъемов уровня, связанных в первую очередь с атмосферным воздействием и определяемых штормовыми нагонами. Такие кратковременные экстремальные подъемы уровня существенно влияют на прибрежную инфраструктуру и условия жизни и хозяйствования в береговых зонах океана, динамика которых исследуется в рамках этого направления.

По мере развития цивилизации человечество производит все больше отходов, требующих переработки или захоронения, что создает риски экологических катастроф в Мировом океане. В связи с общей напряженностью экологической обстановки к актуальным задачам исследований следует отнести поиск, локализацию и обследование подводных объектов (ПО), в том числе потенциально опасных (ППОО), картирование и количественную оценку антропогенных загрязнений шельфа и внутренних водоемов, а также обнаружение и контроль состояния потенциальных источников загрязнения водоемов, угрожающих жизни населения.

Важно также отметить, что природные риски имеют региональные особенности. Например, в Арктике имеет место деградация подводных многолетнемерзлых пород (ПММП) совместно с разрушением многолетнемерзлых пород на суше и усилением термоабразионных процессов на побережье. Эти явления представляют риски планетарного масштаба.

Основными **стратегическими задачами** в этой области являются следующие:

- (1) Исследования механизма и циклов сильнейших землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах на основе клавишной модели с привлечением данных космической геодезии и источников генерации разрушительных цунами в различных районах Мирового океана.
- (2) Разработка методов оперативного и долгосрочного прогноза цунами и оценка цунамиопасности побережья РФ.
- (3) Теория, методология и практика изучения процессов формирования экстремальных изменений уровня океана.
- (4) Описание ветро-волновых характеристик Мирового океана и морей России на основе всех видов наблюдений и высокоразрешающее численное моделирование в целях прогнозирования ветро-волновых условий, внетропических циклонов, экстремальных подъемов уровня и оценки их влияния на морскую деятельность в настоящее время и последующие десятилетия.
- (5) Геолого-геоморфологическое картирование и изучение природных процессов, приводящих к быстрому изменению рельефа и структуры морского дна, с целью минимизации рисков и предупреждения техногенных катастроф.
- (6) Картирование и количественная оценка антропогенных загрязнений шельфа и внутренних водоемов, а также обнаружение и контроль состояния потенциальных источников загрязнений водоемов, угрожающих жизни населения.
- (7) Анализ возникновения и развитие катастрофических явлений биологической природы, их влияние на естественные свойства морских экосистем.



**Первоочередными задачами** являются следующие:

- Получение количественных и качественных данных о развитии катастрофических и потенциально опасных процессов (землетрясения, цунами и др.) в зонах субдукции, окраинных, внутренних морях, прибрежной зоне, а также анализ их вероятных геоэкологических последствий.
- Развитие теории, глобального и регионального численного и статистического моделирования ветрового волнения, динамики уровня океана и штормовых нагонов для получения устойчивых оценок экстремальных величин.
- Построение баз данных и электронных атласов экстремальных ветро-волновых характеристик на акватории Мирового океана и морей России, обеспечивающих интерактивный расчет экстремальных статистик волнения для различных направлений волн и региональных многомерных статистик.
- Создание и внедрение наукоемких технологий, высокоразрешающих сейсмоакустических методов, с целью картирования рельефа дна и тонкой структуры осадочной толщи, фиксации и проведения мониторинга быстрых изменений природных обстановок.
- Получение данных об опасных явлениях биологической природы в Арктике и внутренних морях, из локализации и динамике их развития.
- Разработка методов поиска и картирования мест расположения ПО и контроля состояния объектов, представляющих потенциальную экологическую угрозу.

**Среднесрочные задачи** включают:

- Анализ геодинамических и геологических рисков в системе окраинных морей – островных дуг, активных континентальных окраин; исследование предсейсмических и постсейсмических деформаций сейсмогенных блоков перед и после сильнейших землетрясений в Курило-Камчатской, Японской и Чилийской зонах субдукции.
- Разработка методики оценки сейсмо- и цунамиопасности. Оценка цунамиопасности для побережья внутренних морей РФ.
- Анализ опасных процессов и явлений природного и антропогенного характера. Проведение сравнительного анализа опасных геологических процессов в Арктике и на Дальнем Востоке.
- Выявление причин возникновения опасных явлений геологической и биологической природы в Арктике и внутренних морях России, оценка их влияния на экосистемы и их свойства, важные для человека.
- Регионализации характеристик опасных явлений в морях России на основе совместного использования крупномасштабного моделирования, реанализов и высокоразрешающего моделирования региональных условий с помощью негидростатических атмосферных и волновых моделей, а также с учетом взаимодействия волновых процессов с ледовым покровом в Арктике.
- Разработка технических приложений результатов мониторинга ПО, в частности методов обнаружения подмыва и провиса труб подводных продуктопроводов, фактов исчезновения ранее зарегистрированных ППОО (боеприпасов, изотопных источников энергии, отходов вредных производств и т.п.), отклонения от проектных форм и размеров подводных частей гидротехнических сооружений.

Решение краткосрочных и среднесрочных задач позволяет ставить следующие **долгосрочные задачи**:

- Построение системы среднесрочного прогноза сильнейших землетрясений в зонах субдукции океанской литосферы, прежде всего для Курило-Камчатской, Японской и Чилийской зон субдукции, на основе клавишной модели с привлечением данных космической геодезии.
- Прогноз генерации и сценарии распространения волн цунами для различных районов Мирового океана, прежде всего для побережий Российской Федерации.
- Анализ и прогноз опасных процессов на шельфе, связанных с быстрыми изменениями рельефа дна и строения осадочной толщи под действием сеймотектоники и флюидогазодинамики.
- Прогноз возникновения опасных биологических явлений, сценарии их развития и воздействия на важные для человека свойства морских экосистем, прогноз восстановления естественных свойств экосистем.
- Построение информационно-аналитической системы для анализа и прогноза экстремального волнения, подъемов уровня и штормовых нагонов в Мировом океане и морях России в настоящее время и в ближайшие десятилетия, включающей оценки повторяемости критических уровней, их функции распределения и длительность.

### 5.3. Экосистемы океана и биоресурсы

До середины 50-х годов прошлого столетия биологические исследования Института океанологии были в основном сосредоточены на окраинных и внутренних российских морях, на проблемах эксплуатации недостаточно разведанных биологических ресурсов этих морей и оценках их запасов. Это были исследования кормовых (для промысловых рыб) объектов планктона и бентоса, локализации потенциальных полей откорма промысловой ихтиофауны, механизмов воспроизводства промысловых видов. В Институте разрабатывались методы оценки запасов промысловых рыб и их локализации, были получены оценки биомассы планктона и бентоса в промыслово значимых районах, оценки вертикального распределения планктона и ихтиопланктона и выделены виды, доминирующие в разных районах. С работ в Курило-Камчатской впадине начались исследования фауны максимальных глубин океана, которые привели к одному из крупнейших открытий XX века в области морской биологии – обнаружению ультраабиссальной фауны на глубинах более 8000 м. Эти исследования глубоководной фауны были не только пионерскими, но и положили начало целому направлению мировой науки о населении глубин океана, которое в течение более чем полувека продолжает привлекать внимание исследователей.

С конца 50-х – начала 60-х годов прошлого столетия морская биологическая наука стала активно выходить за пределы окраинных морей. Это было время формирования биоокеанологии и экологии морских биосистем – областей морской науки, в основе которых лежит понимание взаимоотношений морских организмов со средой обитания, механизмов формирования биологической продукции и потоков вещества в морских экосистемах, поиск новых ресурсов для морского промысла, безущербная, рациональная эксплуатация объектов, уже вовлеченных в сферу промысла. Основные усилия в этой области были направлены на выяснение деталей биологической структуры и крупномасштабных закономерностей распределения жизни в океане, закономерностей функционирования экосистем крупных океанских регионов и механизмов формирования в них биологической продукции, экологическое районирование океана.

Еще один круг проблем биоокеанологии связан с оценкой влияния населения океана на планетарные процессы – круговорот углерода, кислорода, биогенных элементов, аккумуляцию и продуцирование углекислого газа, биоседimentацию и захоронение вещества в осадках. Возникла необходимость оценки антропогенного воздействия на океанические и морские экосистемы. В ИО РАН разработано представление о пространственно-временной динамике развития пелагических экосистем, что позволило начать моделирование сложных экосистемных процессов в океане; также получены представления о биотическом балансе в океанских экосистемах разного типа – взаимоотношении величин первичной продукции и гетеротрофной деструкции органического вещества. Были проведены исследования биопродукционного потенциала многих океанических регионов, включая Южный океан, выявлены закономерности распределения многих видов ихтиофауны, в том числе и в высокопродуктивных районах океанических поднятий, а также крупномасштабное биогеографическое районирование шельфа, склона, абиссали и ультраабиссали Мирового океана.

Экосистемный подход позволил получить представления о биологии антарктического криля, дать оценки его продукции и прогноз возможного развития промысла. Для крупных районов океана показан дисбаланс первичной продукции и гетеротрофной деструкции органического вещества, что не находило объяснения в рамках господствующего подхода в исследованиях морских экосистем. В рамках этих работ исследована роль прибрежных апвеллингов в формировании биологической продукции не только прибрежных районов, но и прилежащих акваторий открытого океана, а также установлена роль разномасштабных океанических фронтов в формировании биологической продуктивности и вскрыты механизмы, приводящие к существенному биологическому обогащению фронтальных зон в открытом океане, в области континентального склона и на шельфе. Были выявлены механизмы формирования высокой биологической продуктивности в областях поднятий океанического дна и получены оценки состава и количественные оценки богатства популяций мезопелагических рыб в ряде районов океана, установлена их трофическая роль в океанических экосистемах. Были проведены исследования воздействия видов-вселенцев на экосистемы внутренних и эпиконтинентальных морей, вскрыты механизмы этого воздействия и показана способность морских экосистем к восстановлению после разрушительного воздействия инвазий.

Накопленные знания о биоте океанов и морей, современное состояние планетарной экосистемы, современные экономические, геополитические и экологические задачи выдвигают на первый план новые проблемы в исследовании биоты океана, ставят перед биоокеанологией новые задачи и усиливают важность ряда традиционных направлений. Сегодня очевидно, что экосистемы океанов и морей существенно изменяются под влиянием климатических и антропогенных факторов, которые часто действуют совместно. Появился термин «современная эволюция экосистем», который подразумевает их

быстрые и необратимые изменения. При этом меняются важнейшие для человека «пользовательские» свойства морских экосистем, прежде всего в прибрежной зоне, наиболее интенсивно используемой человеком. Определение причин, характеристик, направления и скорости современных изменений морских экосистем является важнейшей задачей биоокеанологии. Современный морской промысел традиционных объектов при 120 млн. т. в год практически достиг своего предела. При росте населения планеты и общей нехватке пищевых ресурсов это ставит проблему вовлечения в промысел новых объектов. Одним из таких перспективных ресурсов являются мезопелагические рыбы, мировые запасы которых по последним данным превосходят 1 млрд. т. При коротких жизненных циклах этих представителей океанической ихтиофауны их ежегодное промысловое изъятие может достигать 250 млн. т. Однако нет ответа на вопрос, как этот промысел может повлиять на традиционные промысловые объекты и океанические экосистемы в целом и какова роль экосистем мезопелагиали в общей трофической структуре океана. Вовлечение в промысел любых нетрадиционных объектов, особенно стоящих на низких трофических уровнях, требует ответов на те же вопросы. Очевидной становится необходимость изучения и оценки влияния мезомасштабных гидрофизических процессов на продуктивность океана. Для ряда морских регионов показано, что именно эти процессы определяют высокую, в том числе промысловую продуктивность, и их оценка является основой правильного определения возможного изъятия биологической продукции в ходе промысла. Исследование роли мезомасштабных процессов в океанических экосистемах с высокой вероятностью позволит выяснить причину дисбаланса первичной продукции и гетеротрофной деструкции, которая существует в оценках, сделанных на макроуровне.

Экономическая деятельность человечества все более захватывает океан. Это связано и с лавинно возрастающей добычей минеральных ресурсов на морских акваториях, возрастанием транспортной нагрузки, загрязнением океана, ведению марикультуры. Разработка основ экологически рационального, бережного и безущербного использования ресурсов океана становится одной из ключевых задач биоокеанологии. Все большее внимание человечество обращает на состояние и охрану экосистем малоизученных, наиболее чувствительных к современным процессам районов океана, экосистем уникальных морских биотопов. Это относится к экосистемам полярных регионов (для России это прежде всего Арктика), коралловых рифов, глубоководных районов океана, районов гидротермальных источников, акваторий, где уже ведется или планируется добыча ресурсов (полиметаллических руд, железо-марганцевых конкреций). Все более острой в современных условиях становится проблема видов-вселенцев и их воздействия на морские природные комплексы, которую можно решить только исследованиями на экосистемном уровне. В центре внимания биоокеанологической науки находится и проблема биоразнообразия океана, исследования которого позволяют восстановить историю происхождения морского населения разных регионов и наиболее чутко отслеживать изменения морских экосистем.

Основными **стратегическими задачами** в этой области являются следующие:

- (1) Изучение механизмов формирования биологической продукции и структурных характеристик океанских и морских экосистем, выделение потенциально продуктивных районов, возможных объектов будущего промысла; оценка возможной реакции экосистем на нетрадиционное промысловое воздействие.
- (2) Исследования механизмов изменчивости океанских и морских экосистем под воздействием климата, антропогенной нагрузки, инвазийных видов животных и растений.
- (3) Исследования биологического разнообразия океана (в том числе и современными генетическими методами) для формирования переписи морских организмов, реконструкции эволюции и распространения жизни в океане и истории океана в целом.
- (4) Исследования гидрофизического и гидрохимического режима океанских и морских акваторий, механизмов его естественной и антропогенной изменчивости и влияния на биологические процессы в экосистемах.
- (5) Экологическое обеспечение реализации крупных ресурсных проектов в открытом океане и в области континентального шельфа (добыча полиметаллических сульфидных руд в районе Срединно-Атлантического хребта, железо-марганцевых конкреций, нефти и газа на шельфе).

**Первоочередными задачами** являются следующие:

- Экспедиционные исследования, получение современных данных по ключевым абиотическим и биотическим компонентам экосистем морской Арктики, морей России и районов океана, имеющих стратегическое значение для России.

- Характеристика структуры и продуктивности арктических морей России при современных климатических условиях и снижении ледовитости.
- Оценка современного состояния и динамики экосистем европейских морей России.
- Оценка биоразнообразия, структурных характеристик и продуктивности экосистем стратегически важных для России районов Мирового океана.
- Оценка причин возникновения и динамики опасных биологических явлений (виды-вселенцы и аномальные и вредоносные «цветения» морских организмов) в морях России.
- Оценка воздействий накопленных экологических рисков на экосистемы Российской Арктики и морей России.

**Среднесрочные задачи** включают:

- Оценка изменений морских экосистем Арктики, связанных с современными климатическими трендами, выделение районов и состояний, наиболее чувствительных к климатическим антропогенным воздействиям.
- Оценка многолетней динамики структуры и продуктивности экосистем европейских морей России, роли и взаимодействия климатических и антропогенных факторов при формировании их важных для человека свойств.
- Выявление механизмов формирования и пространственно-временных масштабов изменений структуры и биологической продуктивности морских и океанских экосистем в стратегически важных для России регионах.
- Реконструкцию происхождения и эволюции фауны крупных океанических регионов Океана и уникальных биотопов; оценки биологического разнообразия океанической фауны.
- Разработку регионально адаптированных принципов экологической безопасности и мониторинга при освоении ресурсов Арктики, морей России и открытого океана, научное обоснование рационального природопользования на морских акваториях.

Решение краткосрочных и среднесрочных задач позволяет ставить следующие **долгосрочные задачи**:

- Получение новых знаний об океанических и морских экосистемах, обеспечивающих решение текущих и стратегических государственных задач и лидерство России в освоении ресурсов океана.
- Формирование прогноза и сценариев изменений морских экосистем, их важнейших для человека пользовательских свойств в Арктике, морях России и стратегически важных для России регионах Мирового океана в условиях совместного воздействия климатических и антропогенных факторов на морские природные комплексы.
- Создание экологических основ безущербной деятельности человека на Арктических морских акваториях, в морях России и акваториях Мирового океана.
- Оценка потенциальных биологических ресурсов океана и экологическое обоснование их возможного изъятия.

## 5.4. Шельф и прибрежные зоны морей и океанов

Прибрежные зоны морей и океана являются переходными зонами, где человек интенсивно взаимодействует с морской средой и экосистемами. Хозяйственное освоение шельфа и прибрежной зоны приводит к быстрому разрушению ландшафтов и береговых геосистем в результате нарушения литодинамического баланса. В XXI веке повсеместно отмечается резкое усиление и ускорение этих процессов.

В настоящее время необходима разработка критериев уязвимости прибрежных акваторий, основанных на современных знаниях о физических и динамических процессах. Актуальность предлагаемых исследований определяется многоцелевыми прикладными потребностями в количественных знаниях о текущем состоянии экологически значимых гидрологических процессов в прибрежных водах.

Многоцелевая морская хозяйственная деятельность на шельфе и в прибрежной зоне быстро растет. Возрастает государственное и геополитическое значение исследований экологического состояния морей России, а также необходимость экологического контроля морской деятельности, что отражено в целом ряде законов Российской Федерации. Природная среда морей и особенно их прибрежных районов отличается повышенной лабильностью и уязвимостью по отношению к внешним естественным и антропогенным воздействиям. Они аккумулируют промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы всего водосборного бассейна. В рамках данного направления будут рассматриваться гидрологические процессы, определяющие физические основы механизмов их распределения

по акватории и самоочищения прибрежных вод, т.е. их экологическую ассимиляционную емкость. Фундаментальная наука должна сформировать базис для важнейшего направления рационального природопользования - комплексного управления прибрежными зонами океана.

В этом направлении выделяются следующие главные **стратегические задачи**:

- (1) Механизмы изменения физической морской среды и прогноз обстановки в прибрежных зонах.
- (2) Механизмы формирования гидрохимического режима прибрежных зон, включая влияние стока рек на морскую среду прибрежных зон.
- (3) Эволюция загрязнений, попавших в прибрежную зону с речным и береговым стоком и непосредственно в морскую среду прибрежных зон.
- (4) Исследования маргинальных фильтров крупных рек, где осаждается более 90% рассеянного осадочного вещества (включая загрязняющие вещества), переносимого реками.
- (5) Факторы, определяющие биологическую продукцию, биологическое разнообразие в прибрежных зонах, устойчивость и изменчивость прибрежных экосистем; механизмы реакции прибрежных экосистем на климатические и антропогенные воздействия, включая прямое загрязнение и ведение аквакультурного хозяйства.

**Первоочередными задачами** являются следующие:

- Развитие теоретических основ и средств моделирования процессов переноса растворенных и взвешенных антропогенных загрязнений в прибрежной зоне моря.
- Исследование недостаточно изученных гидродинамических аспектов распространения материкового стока в прибрежной зоне моря и его влияния на гидрофизический режим шельфовых акваторий.
- Количественная оценка трендов, отражающих отклик внутренних и окраинных морей России на глобальные изменения климата.
- Экспедиционные исследования для оценки влияния речного стока на гидрофизические, гидрохимические характеристики и планктонные сообщества прибрежной зоны морей.
- Оценка структуры, биоразнообразия и продуктивности донных сообществ прибрежной зоны морей, подверженных разному спектру и уровню антропогенного воздействия.

**Среднесрочные задачи** включают:

- Создание карт, отражающих определяющие свойства прибрежных зон России по геоморфологическим типам, океанологическим условиям, характеристикам изменений климата и антропогенного воздействия.
- Регионализация прибрежных зон морей России по характеру уязвимости к антропогенной нагрузке и проявлениям климатических изменений.
- Оценка биологической продуктивности прибрежных зон и морей России, их потенциала по отношению к рыболовству, производству морепродуктов, рекреационным, транспортным и иным пользовательским функциям.
- Оценка влияния стока рек на характеристики прибрежных экосистем, их эвтрофикацию, биологическую продуктивность, трансграничный перенос вещества, включая загрязнения, и рекреационный потенциал. Оценка устойчивости прибрежных экосистем и их способности к восстановлению в условиях современной климатической и антропогенной изменчивости морской среды.

Решение краткосрочных и среднесрочных задач позволяет ставить следующие **долгосрочные задачи**:

- Создание комплексной системы оперативного мониторинга природных и техногенных рисков в прибрежной зоне по всем океанским и морским побережьям России. Эта система должна включать в себя современные контактные и дистанционные инструменты наблюдения, а также средства высокоразрешающего оперативного численного моделирования всех ключевых прибрежных и береговых процессов.
- Разработка обоснованных и детализированных прогнозов изменений состояния внутренних и окраинных морей России и их берегов во временных масштабах от месяцев до десятилетий.
- Разработка стратегии сохранения естественных природных свойств прибрежных морских экосистем в условиях прогрессирующего антропогенного воздействия.

## 5.5. Геология, геохимия, минеральные ресурсы и углеводороды океана

Работы в области геологии морей и океанов были начаты в Институте в 1947 году. Тогда их вела группа из 5 сотрудников во главе с профессорами П.Л. Безруковыми и В.П. Зенковичем. В настоящее время в геологическом секторе Института и его отделении работает около 350 специалистов, из них 42 доктора наук и 96 кандидатов наук, несколько академиков и членов-корреспондентов Академии наук. В 17 научных лабораториях Института обеспечивается высокий уровень исследований по всем направлениям геологии Мирового океана.

К достижениям ученых-геологов в ИО АН СССР и ИО РАН относятся: внедрение результатов изучения воздушной, водной и ледовой взвеси в морские геологические исследования; создание батиметрической карты Мирового океана; создание теории формирования фосфоритов в зоне апвеллингов; изучение гидротермальных систем и процессов рудообразования на глубине 3-5 км; формулирование законов трансформации органического вещества в системе «планктон-вода-донные осадки», а также накопления углеводородов и керогена в осадочном чехле океана; концепции маргинальных фильтров, улавливающих речной сток и загрязнения; разработка клавишной модели циклов сильнейших землетрясений в зонах субдукции; обнаружение «сейсмической брешии» в Курильской гряде и потенциальных источников цунами в Охотском море; выявление месторождения газовых гидратов на дне оз. Байкал; создание геодинамической модели эволюции Арктики, являющейся частью обоснования заявки России в Комиссию ООН о внешней границе арктического шельфа. В эти достижения внесли свой большой вклад чл.-корр. АН СССР П.Л. Безруков, чл.-корр. АН СССР А.А. Геодекян, чл.-корр. РАН Г.Б. Удинцев, чл.-корр. РАН Л.П. Зоненшайн, профессора Н.А. Айбулатов, А.А. Аксенов, Ю.А. Богданов, Л.Л. Ваньян, С.В. Бруевич, И.И. Волков, А.В. Живаго, А.П. Жузе, В.П. Зенкович, В.Г. Казьмин, М.В. Кленова, Ю.П. Непрочнов, О.Г. Сорохтин, Э.А. Остроумов, О.В. Шишкина и многие другие.

Изучение геологии, геохимии и минеральных ресурсов и углеводородов океана в контексте рассмотрения его геологической истории являются одним из приоритетных направлений исследований Института. В ИО РАН проводятся исследования по геологии, тектонике, геоморфологии, литологии, минералогии и геохимии. Изучается водная, воздушная и ледовая взвесь. Огромное внимание уделяется геофизике, микропалеонтологии, стратиграфии и палеоокеанологии, а также исследованию твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых на дне морей и океанов.

В XXI веке человечество столкнется с истощением целого ряда стратегических полезных ископаемых на континентах и особенно в прибрежной (шельфовой) зоне. Это касается не только углеводородного сырья, но и рудного вещества, некоторые виды которого уже сегодня являются дефицитными в нашей стране - кобальт, марганец, медь, никель, редкие и редкоземельные металлы. В этой связи, изучение закономерностей локализации промышленно значимых концентраций рудных полезных ископаемых на океанском дне и разработка технологий их извлечения становится приоритетным научным исследованием, в первую очередь для геологов и химиков-минералогов.

Для понимания процесса осадконакопления, изменения климата, в том числе механизмов переноса и накопления загрязняющих веществ, необходимо развитие современной наблюдательной системы для Мирового океана. Эта система должна быть непрерывной во времени, охватывать всю толщу вод океана, а также взаимосвязанные с водами океана геосферы (атмо-, крио-, био-, лито-, антропо-сферы). Система должна включать пространственно-временные цифровые характеристики важнейших параметров. Новая измерительная система включает несколько компонентов. Во-первых, спутниковые и подспутниковые наблюдения. Во-вторых, глубоководные зондирования, сопряженные с дискретным отбором проб для изучения химического состава, включая микроэлементы, живого и биокосного (органический детрит) вещества с целью количественной оценки роли биологических процессов в седиментогенезе. Третьим компонентом является постановка автоматических глубоководных седиментологических обсерваторий (АГОС) на сроки до года для изучения потоков вещества и энергии на разных горизонтах водной толщи (мг/м<sup>2</sup>/год). Каждая обсерватория включает седиментационные ловушки, измерители течений ADCP, океанологические зонды и др. Важным элементом являются прецизионные исследования верхнего слоя донных осадков с шагом по колонке 3-5 мм.

Донный осадок рассматривается как природный самописец всех геосфер, взаимодействующих с океаном. Система определяет не только скорости накопления осадков (в мм/год), их состав и свойства, но и потоки накапливающегося вещества, в том числе и разнообразных загрязнений (в мг/м<sup>2</sup>/год). Для изучения более древних этапов истории морей и океанов необходимо использовать колонки донных осадков, полученных с помощью гравитационных трубок большого диаметра и кернов бурения.

Одним из направлений геологических исследований является изучение геоморфологического строения дна морей и океанов. Данные о внешнем облике древнего и современного рельефа дна, его

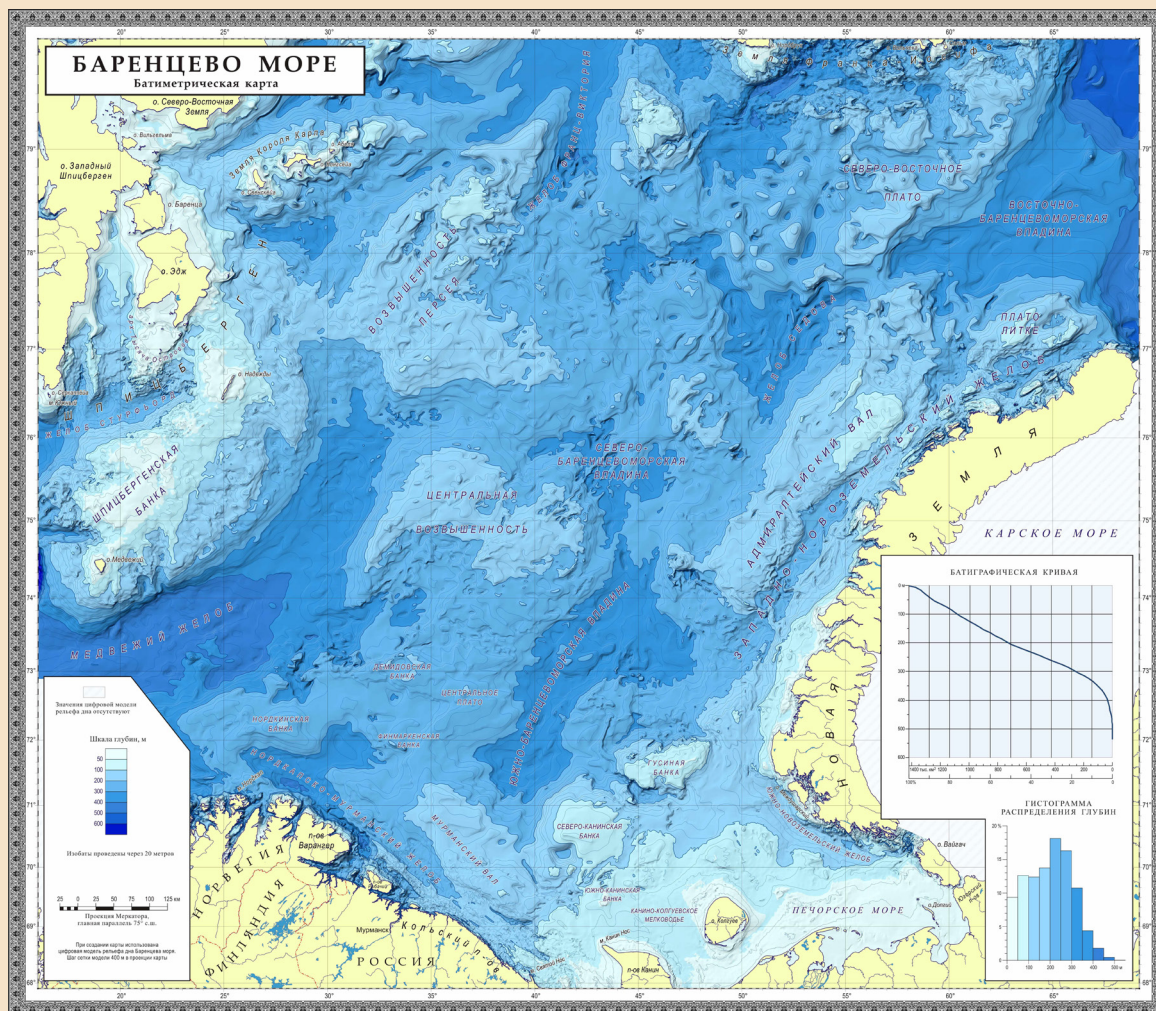


Рис. 4 Цифровая модель рельефа дна Баренцева моря.

происхождении, возрасте и особенностях развития дают возможность определить наиболее вероятные сценарии развития его будущих изменений. Для комплексного решения этих исследований разработаны оригинальные методики и созданы геомодели рельефа дна и осадочной толщи, как важнейших компонентов глобальной многослойной оболочки геоинформационной системы и составной части базы данных по свойствам морского дна. Моделирование рельефа дна крупных акваторий всегда проводится в условиях дефицита данных гидрографического промера. При создании геомodelей необходимо использовать всю имеющуюся геолого-геоморфологическую информацию.

Основными практически значимыми типами полезных ископаемых Мирового океана являются железомарганцевые образования - конкреции и корки, не имеющие аналогов на континентах, и глубоководные полиметаллические сульфидные руды. Железомарганцевые конкреции локализованы в абиссальных котловинах на поверхности различных типов донных осадков. Основными экономически ценными и стратегически важными металлами в них являются марганец, никель, медь, кобальт, молибден, цинк и свинец. Кобальтоносные железомарганцевые корки распространены практически на всех подводных возвышенностях, покрывая выходы разных типов коренных пород. Кроме рудных месторождений большое значение имеют платиноиды, редкоземельные и редкие металлы, что повышает экономическую ценность кобальтовых марганцевых корок. Основные рудные месторождения конкреций и корок располагаются в Тихом океане, суммарные запасы которых оцениваются в сотни миллиардов тонн с содержанием по основным металлам в сотни миллионов тонн. За Российской Федерацией в Тихом океане закреплены два участка: в центральной части поля Кларин-Клиппертон площадью 75 тыс. км<sup>2</sup> и гайоты в пределах северозападного участка Магеллановых гор. К настоящему времени найдены многочисленные активные и реликтовые гидротермальные постройки сульфидных залежей, приуроченные к спрединговым зонам. Массы гидротермальных сульфидных залежей, достигающие десятков миллионов тонн, обогащены Cu, Zn, Pb, Ag, Au, а также рядом других редких элементов. Запасы этих руд по предварительным данным составляют около 100 млн. тонн. Важным перспективным объектом изучения являются также железомарганцевые конкреции, обнаруженные на дне морей Российской Арктики.

Не менее важным направлением исследований является изучение закономерностей формирования магматогенных, гидротермальных и осадочных месторождений полезных ископаемых в различных геодинамических обстановках Мирового океана. Изучение вещественного состава осадочного чехла континентального шельфа России, условий геодинамической эволюции литосферы, генетических особенностей и пространственно-временных закономерностей формирования и механизмов накопления месторождений нефти и газа позволяет прогнозировать наиболее перспективные области обнаружения экономически значимых скоплений углеводородов и минимизировать экономические затраты на их обнаружение.

**Стратегия исследований** данного направления включает следующие пункты:

- (1) Детализация летописи геологических изменений морской среды на основе технологий XXI века.
- (2) Изучение тектоники деформируемых литосферных плит и геодинамической эволюции океанской литосферы с целью определения трендов глобального развития океанов.
- (3) Изучение и анализ геолого-геоморфологического строения морского дна, геофизических и биогеохимических характеристик литосферы океанов и морей для кратко- и среднесрочных прогнозных построений развития морских акваторий.
- (4) Оценка ресурсов полезных ископаемых разного генезиса на континентальных окраинах и внутриокеанических областях, окраинных и внутренних морях.

**Первоочередными задачами** являются следующие:

- Анализ границ литосферных плит и внутриплитных деформаций в контексте тектоники деформируемых литосферных плит.
- Разработка математических моделей флюидогазодинамики в осадочных толщах океанов и морей, в том числе в гидратсодержащих и слабо проницаемых породах. Создание карт распределения метана в воде и осадках акваторий.
- Исследование редких и благородных элементов в процессах образования железомарганцевых корок и конкреций.
- Разработка методик геомоделирования рельефа дна, обоснование причин и механизмов формирования различных экзогенных форм рельефа (гравититы, контуриты, турбидиты) на основе новых геологогеоморфологических данных.
- Проведение разносторонних системных исследований воды, взвеси и донных осадков различных районов Мирового океана (сочетание химических и физико-химических методов анализа). Исследование седиментосистем морей Европейской части России, Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Оценка роли различных природных и антропогенных процессов в седиментогенезе и рудогенезе.
- Анализ современного распределения микроорганизмов в Мировом океане и морях Евразии (в том числе, в областях гидротермальной деятельности) для создания актуалистической базы палеореконструкций; биостратиграфия и определение возраста морских отложений мезозоя-кайнозоя; эволюция морских экосистем и палеоокеанология по данным микропалеонтологии, палеоэкология. Изучение процессов седиментации и палеообстановок в Атлантическом и Тихом океанах, Беринговом и Черном морях.
- Исследование процессов в устьевых зонах (маргинальных фильтрах) рек (полевые работы, интерпретация полученных данных с применением математических моделей динамики вод и переноса вещества).

**Среднесрочные задачи** включают:

- Анализ геодинамической эволюция Арктики и зоны перехода от Тихого океана к Евразии.
- Изучение геоморфологических особенностей рельефа дна Арктического бассейна; проведение геолого-геофизических и биогеохимических исследований осадочной толщи и литосферы Арктического шельфа, переходной зоны от Тихого океана к Евразии, отдельных районов Атлантики и Индийского океана, морей России.
- Оценка и генезис полезных ископаемых континентальных окраин и внутриокеанических областей, окраинных и внутренних морей.
- Изучение рассеянного осадочного вещества и донных осадков морей России,
- Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов - литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек.



Решение краткосрочных и среднесрочных задач позволяет сформулировать следующие **долгосрочные задачи:**

- Тектоника деформируемых литосферных плит и геодинамическая эволюция океанской литосферы: геодинамическая эволюция Арктики и зоны перехода от Тихого океана к Евразии; оценка и генезис полезных ископаемых континентальных окраин и внутриокеанических областей, окраинных и внутренних морей.
- Геоморфология морского дна, геофизические и биогеохимические характеристики литосферы океанов и морей: геоморфологические особенности рельефа дна Арктического бассейна; геологогеофизические и биогеохимические исследования осадочной толщи и литосферы Арктического шельфа, переходной зоны от Тихого океана к Евразии, отдельных районов Атлантики и Индийского океана, морей России.
- Донные осадки и взвесь Мирового океана - геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов - литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек.

## 6 РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ

### 6.1. Атлантический, Тихий и Индийский океаны

Это региональное направление объединяет работы всех тематических направлений, включая исследования общей циркуляции Мирового океана и ее влияния на климат, биоресурсов океана и его биологического разнообразия, минеральных ресурсов и геологической истории океана. Основой объединения исследований в разных областях должны стать целостное понимание Мирового океана как системы, в которой физические, биогеохимические и геологические механизмы работают во взаимосвязи и взаимообусловленности. Глобальная меж океанская циркуляция связывает динамику Атлантического, Тихого и Индийского океанов в глобальный конвейер, в значительной степени формирующий долговременные изменения климата. Атлантика играет ключевую роль в функционировании этого сверхдогоперидного механизма, поскольку именно здесь формируются процессы, управляющие меж океанской циркуляцией, в частности конвекция в субполярных районах и водообмен с Арктикой. Для анализа этих процессов необходимы как долговременные гидрологические наблюдения, так и глобальное численное моделирование. Более того, для выявления долговременных климатических изменений на масштабах тысячелетий и межледниковых эпох необходим анализ четвертичных отложений Мирового океана с помощью микропалеонтологических, литологических, геохимических и изотопно-геохимических методов. Наконец, фундаментальной проблемой является изучение гидротермальных экосистем Срединно-океанических хребтов. Гидротермальные экосистемы представляют собой уникальное явление в Мировом океане: первичная продукция в них создается путем хемосинтеза на основе локальных источников энергии (восстановленных химических соединений в гидротермальном флюиде), а не за счет энергии солнца. Гидротермальные экосистемы играют важнейшую роль для понимания устройства и эволюции глобальной экосистемы Мирового океана и для понимания условий возникновения жизни на Земле.

Основными блоками работ в рамках данного регионального направления будут являться следующие.

#### 6.1.1. Долговременный экспедиционный мониторинг климатообразующих процессов в Атлантическом океане, включая водо- и теплообмен Атлантики с Арктикой

Экспериментальная часть этого блока будет включать исследования на транс океанских разрезах, а также выполнение работ на специализированных полигонах в районах, имеющих ключевое значение для понимания физических и биогеохимических процессов. Такие полигонные исследования будут в частности нацелены на исследование транспорта вод в глубоководных разломах и районах латеральной седиментации под действием придонных течений в западной и юго-западной Атлантике, с целью реконструкции вариаций интенсивности придонной циркуляции (контуритовые системы осадочного заполнения желобов трансформных разломов Срединно-Атлантического хребта (САХ), возвышенности Сеара, СЗ и ЮЗ Аргентинской котловины).

Ключевым направлением работ будет мониторинг процессов водо- и теплообмена в субполярной Атлантике на 60° с.ш., проводящийся ИО РАН с 1997 года, что позволило сформировать рекордно длинные на сегодня ряды наблюдений за гидрологической структурой и динамикой водных масс. Кроме того, работы в этом районе позволяют оценить роль различных процессов во взаимодействии внешних и внутренних геосфер и обрисовать перспективы добычи минеральных ресурсов океана. Эти работы будут включать исследования рассеянного осадочного вещества в различных геосферах (атмо-, гидро-, био-, седименто- и антропофера) на основе анализа проб аэрозолей, взвеси, фитопланктона, осадочного вещества из седиментационных ловушек, а также экспериментальные и теоретические исследования по изучению вещественного состава железомарганцевых образований, рудных минералов, форм элементов, что имеет важное поисковое и производственное значение. Важным элементом работ станет трансформация долговременных экспедиционных работ на разрезах по 60° с.ш. в распределенную наблюдательную систему, которая разрабатывается научным коллективом Института и предварительная схема которой представлена на рис. 5.

Создаваемая наблюдательная система будет состоять из глубоководного океанского и поверхностного гидрометеорологического модулей. Глубоководный модуль будет включать стационарные притопленные буйковые станции (рис. 5) с непрерывной регистрацией температуры, солёности и скорости течений на глубинах в океане. Такая система стационарных буйков будет предоставлять непрерывную информацию о состоянии водной толщи в субарктическом регионе Атлантики. Данные буйков необходимы для восстановления годового хода температуры и солёности водных масс, расходов течений, а также для более точной оценки межгодовой изменчивости гидрологических параметров. Поверхностный модуль включает метеорологические буйковые станции (рис. 5), непрерывно наблюдающие и передающие

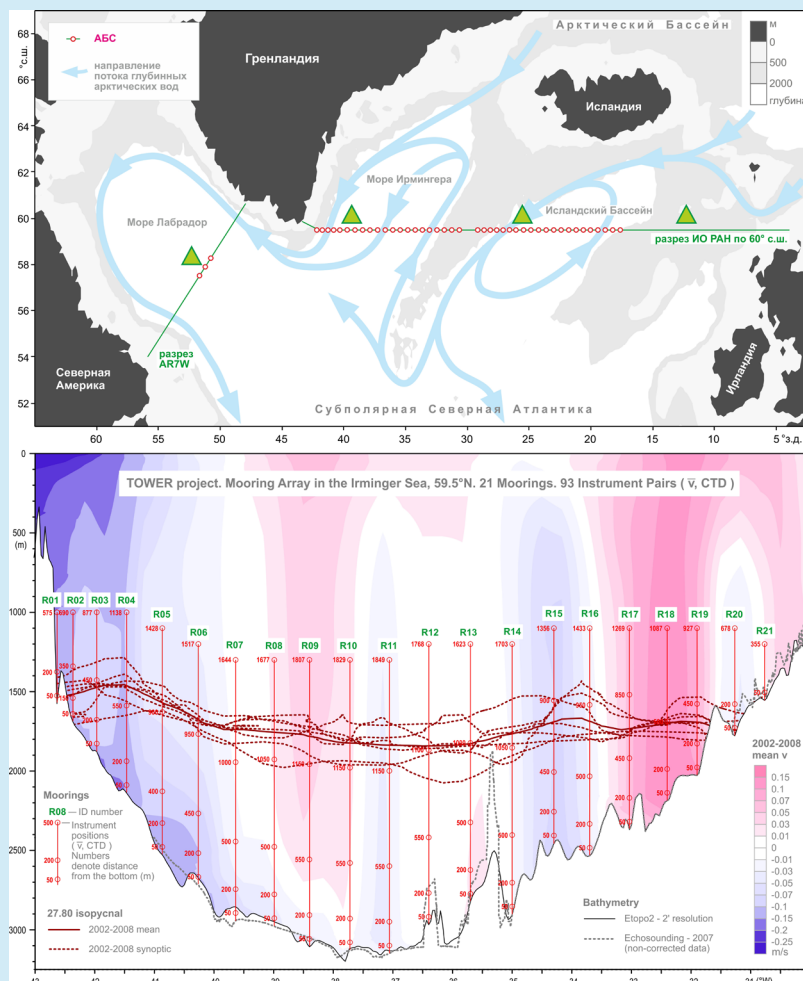


Рис. 5. Общая архитектура Атлантического блока наблюдательной системы. На верхней панели кружками показано положение автономных буйковых станций, зелеными треугольниками – положения метеорологических буев. Циркуляция глубинных арктических вод на севере Атлантического океана показана голубыми стрелками. На нижнем рисунке – схема установки автономных заякоренных буйковых станций в море Ирмингера. Положение станций показано на фоне распределения средних (за период 2002-2008 гг.) скоростей течений в толще вод на 60° с.ш.

информацию о состоянии приводной атмосферы, потоках энергии и океанских процессах в верхнем 700-метровом слое океана. Установку таких буев целесообразно проводить в районах наиболее активного взаимодействия океана и атмосферы, а именно в очагах зимней океанской конвекции.

Важным блоком работ будет использование глобальных данных профилирования дрейфующих буев Argo и спутниковой альтиметрии. Разработанная в ИО РАН Арго-Модель Исследования Глобального Океана (АМИГО) позволяет получать полный набор океанографических характеристик на регулярной сетке. Данные спутниковой альтиметрии используются для контроля поведения решения и настройки параметров модели. Выполненные к настоящему времени расчеты охватывают период, начиная с 2005 г., и представлены ежемесячными, сезонными, годовыми и среднеклиматическими полями с разрешением 1 градус по долготе и широте и 1 месяц по времени. Результаты проводимых расчетов будут служить основой для мониторинга, изучения и анализа текущего состояния климата океанов, исследования межокеанского водообмена и выделения внутриклиматических трендов.

### 6.1.2. Высокоразрешающее численное моделирование климатообразующих и биогеохимических процессов

Моделирование океанских процессов открывает возможность определения механизмов, управляющих океанской динамикой на различных пространственно-временных масштабах. Моделирование позволит достичь нового уровня понимания роли синоптических и мезомасштабных вихрей в формировании океанской циркуляции в глобальном и региональных масштабах, а также их влияния на изменчивость климата. Средством реализации этой цели послужат лучшие из существующих на сегодня вихреразрешающие численные модели циркуляции океана в их глобальных и региональных конфигурациях. Основным инструментом исследования будет семейство моделей глобальной циркуляции

океана NEMO, развиваемых в течение последних 10 лет рядом европейских институтов, включая ИО РАН, в рамках консорциума DRAKKAR (<https://www.drakkar-ocean.eu/>).

Масштабная иерархия конфигураций Drakkar (таблица 1) включает в себя конфигурации глобальной модели ORCA на трехполюсной сетке грубого (не вихреразрешающего) разрешения  $2^\circ$  (ORCA2) и  $1^\circ$  (ORCA1), промежуточных разрешений  $1/2^\circ$  (ORCA05) и  $1/4^\circ$  (ORCA025) и высокого (вихреразрешающего) разрешения  $1/12^\circ$  (ORCA12) (см. DRAKKAR group, 2007, 2014). Модель с разрешением  $1/4^\circ$  ORCA025 (Barnier et al., 2006) стала широко цитируемой и используется в качестве компонента во многих европейских системах моделирования климата, а также для построения среднесрочных прогнозов. Важным компонентом конфигурации будет глобальная модель ORCA12 с разрешением  $1/12^\circ$ . Ее функционирование требует распределенных вычислительных ресурсов нового уровня, развитие которых также является частью данной концепции. Масштабная иерархия так же включает конфигурации для Северной Атлантики с различным разрешением (см. таблицу 1). В этой иерархии NATL60 служит для изучения суб-мезомасштабных процессов, используя сверхвысокое разрешение ( $1/60^\circ$  и 300 вертикальных уровней).

### 6.1.3. Исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы и процессов на поверхности океана, включая опасные явления

Этот блок будет включать исследования процессов на границе океана и атмосферы, в том числе обмена энергией и состояния поверхности, а также оптических характеристик, крайне принципиальных с точки зрения оценки продукции фитопланктона. В области взаимодействия океана и атмосферы ключевыми

Configuration Name	Resolution	Number of grid points	Time Step (s)	Comments
<b>Global Ocean</b>				
ORCA2	$2^\circ \times 2^\circ$ 46 vertical levels	182×140×46	5760	Non eddy-permitting
ORCA1	$1^\circ \times 1^\circ$ 46 vertical levels	364×280×46	4400	Non eddy-permitting
ORCA05	$1/2^\circ \times 1/2^\circ$ 46 vertical levels	722×511×46	2160	Non eddy-permitting
ORCA025	$1/4^\circ \times 1/4^\circ$ 75 or 300 vertical levels	1442×1021×75	1080	Eddy-permitting, also used for ensemble simulations
ORCA12	$1/12^\circ \times 1/12^\circ$ 46 or 75 vertical levels	4326×3061×75	360	Eddy-resolving
<b>North Atlantic with open boundaries and driven by global outputs</b>				
NATL025	$1/4^\circ \times 1/4^\circ$ 46 vertical levels	486×529×46	2400	Eddy-permitting.
NATL12	$1/12^\circ \times 1/12^\circ$ 66 vertical levels	1608×1551×66	720	Eddy-resolving
NATL60	$1/60^\circ \times 1/60^\circ$ 300 vertical levels			Eddy-resolving
<b>Arctic-North Atlantic with open boundaries and driven by global outputs</b>				
CREG12	$1/12^\circ \times 1/12^\circ$ 75 vertical levels	1580×1817×75	360	Eddy-permitting

Табл. 1. Масштабная иерархия конфигураций моделей доступных в настоящий момент для решения задач моделирования общей циркуляции океана.

являются проблемы долгопериодной изменчивости процессов обмена энергией, в первую очередь тепловой. Для этого предполагается постоянное обновление существующих и создание новых глобальных климатологий радиационных и турбулентных потоков тепла океан-атмосфера. Принципиально важным будет исследование изменчивости потоков на различных масштабах времени, поскольку роль океанских процессов в формировании энергообмена океана и атмосферы проявляется на междекадных масштабах, тогда как на коротких межгодовых и синоптических масштабах активная роль принадлежит атмосфере. Для точного оценивания потоков энергии океан-атмосфера принципиальное значение имеет развитие физических параметризаций, используемых для расчетов. Постоянное улучшение существующих и создание новых расчетных методов потребует проведения специализированных экспедиционных исследований в различных районах при разных режимах процессов.

Вторым важным элементом исследований в рамках этого блока будет использование дистанционных, в первую очередь спутниковых наблюдений для исследования характеристик поверхности океана, в том числе и потоков энергии. В этом смысле важным направлением станет создание консолидированных баз данных спутниковых наблюдений и развитие методов их обработки для получения максимально большого количества физических параметров с максимально возможной точностью. Важнейшим элементом этого блока будет также исследование динамики глобальных полей ветра и ветрового волнения и их экстремальных характеристик. Для этого предполагается использование спутниковых и судовых данных наблюдений, а также высокоразрешающего глобального моделирования ветрового волнения. Последнее потребует развития не только волновых моделей, но и высокоразрешающих атмосферных моделей.

## **6.2. Арктика и Северный Ледовитый океан**

Арктика, прежде всего арктический континентальный шельф является стратегическим источником полезных ископаемых и биологических ресурсов. По современным оценкам запасы углеводородов составляют около 83 млрд. баррелей нефти и 50 трлн. кубометров природного газа, что составляет примерно в 12-14% мировых запасов. Запасы в арктических районах, находящихся под юрисдикцией России составляют более 250 млрд. баррелей нефти, газа и газоконденсата в нефтяном эквиваленте и являются самыми крупными в регионе. Морской рыбный промысел в арктических регионах России (Баренцево море и северная часть Берингова моря) составляет 2.7-2.9 млн. т. Возможности промыслового изъятия биологической продукции в арктическом регионе существенно зависят от климатической ситуации и могут варьировать год от года в пределах 25-30%. Согласно прогнозам изменения климата могут привести к расширению зоны промысла и ресурсной базы в эпиконтинентальных арктических морях и Центральном Арктическом бассейне. В условиях происходящих климатических изменений может появиться экономическая целесообразность активных транспортных операций на Северном Морском Пути. Арктика и, прежде всего, арктические моря России являются областью сосредоточения стратегических интересов Российской Федерации.

Особенностями Арктики, оказывающими влияние на формирование государственной политики и стратегии научных исследований, являются: экстремальные природно-климатические условия, включая постоянный или существующий большую часть года ледовый покров, дрейфующие льды в арктических морях, низкая температура морской среды и воздуха, низкая устойчивость экологических систем к даже незначительным климатическим изменениям и антропогенным воздействиям, трудность проведения постоянных научных исследований.

На арктическом шельфе обнаружено новое явление массивного выброса метана. В результате будут изменяться физические свойства осадков, что может привести к непредсказуемым последствиям, особенно в областях техногенного освоения, а также по трассе Северного Морского пути. Подобные изменения природных обстановок необходимо учитывать при планировании освоения шельфа с целью минимизации рисков, связанных с распространением опасных геологических явлений. Для анализа подобных природных рисков и обоснования наиболее вероятных сценариев их развития необходима разработка общей концепции формирования морского дна, где заложена информация о его геологогеоморфологическом строении и истории развития.

Все это предполагает необходимость проведения комплексных исследований в Арктическом регионе, включая прогноз климатических изменений, оценку запасов и локализацию минеральных и биологических ресурсов, прогноз опасных погодно-климатических явлений. Поэтому в качестве основных блоков работ в рамках Арктического регионального направления предлагаются следующие:

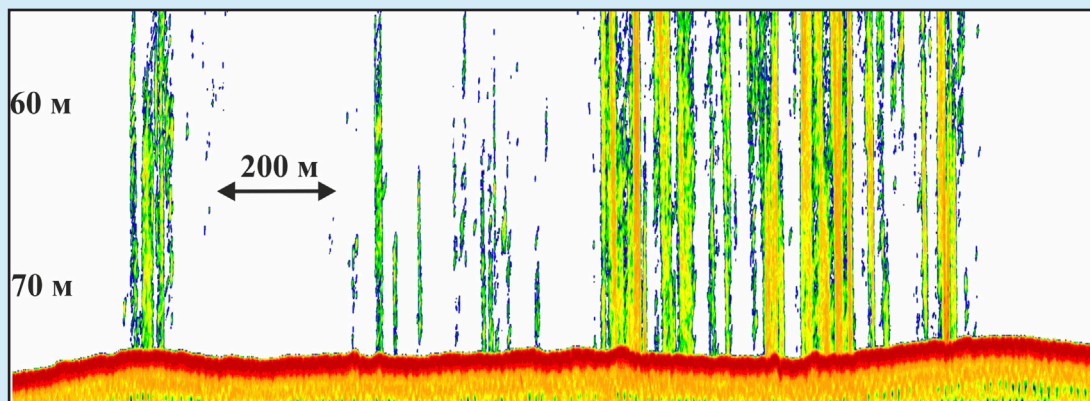


Рис. 6. Пример газовых факелов в северной части моря Лаптевых по данным эхолот-профилографа SES-2000 standard, НИС «Академик М.А.Лаврентьев», 2016 г.

### 6.2.1. Оценка и прогноз последствий глобальных изменений, происходящих в Арктике под влиянием естественных климатических и антропогенных факторов, в среднесрочной и долгосрочной перспективе

Этот блок будет включать экспедиционные исследования, направленные на установление механизмов ключевых локальных климатических процессов, в частности обмена энергией на границе океан-атмосфера, изменений площади и объемов морских льдов и изменений гидрологической структуры Арктических вод и их динамики. Кроме того, этот блок будет включать моделирование динамики Арктического бассейна с учетом динамики морского льда и влияния берегового стока, а также диагностические исследования климатообразующих процессов в Арктике на основе данных наблюдений, включая спутниковые, и современных реанализов. Эти работы позволят выявить механизмы воздействия климата на арктическую среду. Важным результатом этого блока станет комплексная эффективная и экономичная система мониторинга климатического состояния Арктики, основанная на судовых и спутниковых наблюдениях и измерениях автономных систем, а также высокоразрешающем климатическом моделировании.

### 6.2.2. Исследование структурных и функциональных особенностей арктических экосистем, определяющих их уникальность, высокую чувствительность к климатическим и антропогенным воздействиям и низкую способность к восстановлению

Это направление будет включать исследования современного состояния ключевых абиотических и биотических компонентов пелагической и донной экосистем эпиконтинентальных морей Сибирской Арктики; выявление механизмов влияния текущих климатических изменений в Арктическом регионе на структурные и функциональные свойства экосистем и биологическую продуктивность; изучение воздействия масштабного континентального стока на физические, гидрохимические, биологические и геохимические процессы на Арктическом шельфе и в области континентального склона; изучение процессов трансформации стока сибирских рек при поступлении в морские экосистемы и механизмов распространения континентального сигнала в системе «река – шельф – континентальный склон – глубоководный бассейн», включая перенос загрязнений; исследование зональной специфики физических, гидрохимических, биологических и геохимических явлений и процессов в пелагической и донной экосистемах морей Сибирской Арктики; получение новых данных о биологическом разнообразии морской Арктики и его изменениях в связи с современными климатическими трендами; исследование морских экосистем в местах крупных захоронений радиоактивных отходов для выявления механизмов возможного распространения загрязнений в случае естественной или антропогенной расконсервации могильников. Направление также включает исследования истории происхождения современной арктической морской фауны.

### 6.2.3. Оценка последствий накопленных экологических рисков в Арктике, связанных, в том числе с крупнейшими захоронениями радиоактивных отходов в районе Новой Земли и аккумуляцией радиоактивных загрязнений в эстуарных районах сибирских рек

Особое внимание здесь будет уделено механизмам воздействия огромного по объему речного стока, дренирующего почти 60% площади России, и выносимых стоком аллохтонных (чужеродных) материалов, включая широкий спектр загрязнений, на арктические природные комплексы. Одним из важных факторов, определяющих состояние экологии морей Арктики в частности и морей Российской Федерации, являются подводные потенциально опасные объекты, к которым относятся боеприпасы, элементы оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море РФ в

результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций. В Карском море затоплено 6508 контейнеров с твердыми радиоактивными отходами, а также захоронено 13 реакторов с атомных подводных лодок и три реактора с атомного ледокола Ленин. Общая активность излучения затопленных низко- и средне-активных отходов в Карском море на момент захоронения составляла более 15.5 кКи (574 ТБк). Длительное нахождение этих объектов в морской среде приведет к разрушению металлических контейнеров и нарушению их герметичности. Все затопленные объекты являются потенциально опасными и представляют собой очаги радиоактивного загрязнения, откуда возможно распространение техногенных радионуклидов в соседние моря не только под воздействием течений, но и на основе биологических механизмов аккумуляции и передачи по трофическим цепям. Так подводная лодка К-27 с реакторами высокого обогащения, содержащими 180 кг урана-235, затопленная в заливе Степового восточного побережья Новой Земли характеризуется остаточной радиоактивностью в реакторном отсеке примерно 270 ТБк, при этом возникновение спонтанной цепной реакции возможно при попадании в активную зону всего 5 л воды.

#### **6.2.4. Построение системы оценки и прогноза экстремальных климатических и геологических событий в Арктике, оценка связанных с ними рисков для хозяйственной деятельности**

В рамках этого блока предполагается проведение долговременных экспериментов с численными моделями ветрового волнения для установления характеристик штормовой активности, повторяемости экстремальных ветро-волновых условий и механизмов их формирования за счет синоптических и мезомасштабных процессов в Арктическом бассейне. Для этого будут использоваться наиболее современные модели динамики атмосферы и ветрового волнения, в частности модель WAVEWATCH последнего поколения и модель WRF-ARW в высоком разрешении. Важным и перспективным направлением работ здесь является анализ динамики ветро-волновой активности в условиях климатических изменений, происходящих в Арктике наиболее быстро, в частности таяния морского льда. Исследование отклика циклонической активности и ветровых волн на изменение площади и толщины ледяного покрова является до сих пор не решенной задачей.

#### **6.2.5. Разработка методов и технологий геомоделирования и картирования, включая границу многолетнемерзлых подводных пород (ПММПП) и выявление возможных путей выбросов газов за счет деградации ПММПП с целью минимизации рисков при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе окраинных арктических морей Российской Федерации**

Этот блок будет включать получение и анализ натурных данных с целью проведения мониторинга и определения границ и размеров простирающихся ПММПП, включая разработку нового комплекса геофизических, геологических, и биогеохимических методов, а также определение механизмов деградации гидратсодержащих ПММПП, миграции метана в осадочной толще и его эмиссии. Это позволит определить перечень первичных параметров для создания многослойных цифровых моделей и баз данных, а также разработать методы картирования и моделирования границы ПММПП на платформе GIS технологий. Результатом станет разработка платформы для создания автоматизированной информационно-справочной системы, состоящей из баз геолого-геоморфологических и геофизических данных, что позволит выработать практические рекомендации для минимизации рисков, связанных с опасными геологическими процессами, при освоении нефтегазовых месторождений, в районе развития ПММПП и для предотвращения негативных экологических последствий на шельфе и прибрежной зоне морей российской Арктики.

#### **6.2.6. Геологическая история Арктики для оценки генезиса ее отдельных регионов и реконструкции климатических процессов недавнего прошлого**

Эти работы будут включать разработку геодинамической модели эволюции литосферы Арктики в мезозойско-кайнозойский период и выяснение природы подводных хребтов и поднятий Ломоносова и Альфа-Менделеева, котловин Макарова и Подводников, Канадского бассейна и других тектонических элементов с целью научного обоснования представленной заявки Российской Федерации в Комиссию ООН на установление внешней границы континентального шельфа России в Северном Ледовитом океане.

Важным элементом работ в рамках этого блока станет постановка автоматических глубоководных седиментологических обсерваторий (АГОС) на 0.5-1 год для инситу изучения потоков вещества и энергии в разных горизонтах водной толщи ( $\text{мг/м}^2/\text{год}$ ). Каждая обсерватория включает седиментационные ловушки (дифференциальные и интегральные), трехмерные измерители течений АЭСР, океанологические зонды и др. Все приборы располагаются на вертикально натянутом тросе, что обеспечивается притопленным поплавком. Процессы изучают во времени с шагом от суток и часов до

месяцев, сезонов, лет. Работа разных приборов обсерватории синхронизирована. Обсерватории работают в автономном режиме 1-2 года. Накопленный опыт показал, что это исключительно эффективная система изучения толщи вод океана в пространстве и во времени. Необходимо изучение глубинного строения коры и литосферы Арктики, которое можно эффективно проводить с помощью донных сейсмических станций, будут использоваться для изучения сейсмичности дна Арктического шельфа и глубоководной части Северного Ледовитого океана.

Важной составляющей геолого-геофизических исследований Арктики является обоснование природы аномалий электропроводности и аномального магнитного поля и создание геолого-тектонических моделей на ключевые участки Арктического шельфа, а также создание геомodelей рельефа дна отдельных участков арктического бассейна. Существенным элементом работ станет постановка автоматических глубоководных седиментологических обсерваторий (АГОС) на 0.5–1 год для инситу изучения потоков вещества и энергии на разных горизонтах водной толщи ( $\text{мг/м}^2/\text{год}$ ). Каждая обсерватория включает седиментационные ловушки (дифференциальные и интегральные), трехмерные измерители течений ADCP, океанологические зонды и др. Процессы изучают во времени - с шагом от суток и часов до месяцев, сезонов, лет. Работа разных приборов обсерватории синхронизирована. Обсерватории работают в автономном режиме 1–2 года. Накопленный опыт показал, что это эффективная система изучения толщи вод океана в пространстве и во времени. Эти исследования касаются не только микро- и наночастиц, но и несущих их потоков холодных и теплых вод, которые взаимодействуют и определяют погоду и климат, особенности среды. Кроме того, этот блок будет включать прецизионные исследования верхнего слоя донных осадков специальными приборами (мультикореры, трубка Неймисто и др.) с максимальным разрешением.

Приоритетным направлением исследований Арктики является изучение выбросов метана на Арктическом шельфе на основе геолого-геофизического картирования дна и геохимических исследований содержания метана в воде и осадках и оценка возможного влияния данного фактора на потепления климата в Арктике. Фундаментальные исследования включают оценку потоков углерода в Арктике; анализ их автохтонной и терригенной компонент; получение новых данных по участию органических соединений в формировании железомарганцевых конкреций и фосфоритов.

### **6.3. Внутренние моря**

Внутренние моря – специфические области Мирового океана, наиболее важные для человека с точки зрения постоянного взаимодействия с морскими природными комплексами, характеризующиеся наиболее мощным и широким по спектру воздействием антропогенной нагрузки. Экосистемы внутренних морей быстро и глубоко перестраиваются под воздействием изменений регионального климата и инвазий чужеродных видов.

В силу ограниченности горизонтального обмена и тенденции «аккумулировать» воздействия по всей площади своих водосборов, внутриконтинентальные моря в целом и прибрежные акватории в частности гораздо более уязвимы перед лицом антропогенной нагрузки, чем открытые акватории океана. Как климатические изменения, так и антропогенные воздействия, в том числе связанные с загрязнением, проявляются в них особенно ярко (см., например, 5-й Оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата, 2014). Именно поэтому исследования внутриматериковых морей требуют особого подхода, сочетающего в себе методы региональной океанологии и гидрологии суши. Вместе с этим, именно внутренние моря и береговые зоны имеют критическое значение для человеческой деятельности во многих регионах. Следует отметить, что в широком смысле понятие внутреннего моря может быть распространено и на крупные внутренние водоемы суши (озера, водохранилища, эстуарии). Современные проблемы водоемов суши и внутренних морей во многом аналогичны и, с нашей точки зрения, при дальнейшем развитии Института его экспертные возможности, приборная база и численные модели должны оказаться востребованными и в этом отношении.

Важнейшей парадигмой исследования внутренних морей является комплексный анализ всех процессов, при котором распределение природных и антропогенных компонентов рассматривается на уровне потоков вещества и энергии, причем не только в водной толще, но также с учетом потоков из атмосферы, потоков со снегом, льдом, с морскими и речными водами. Именно такой подход развивается ИО РАН в рамках проекту «Система Белого моря» под руководством академика А.П. Лисицына, в рамках которого стало возможным внедрить независимые методы прямых определений потоков (седиментационные ловушки и осадкомеры, изотопные методы) и построить экосистемные модели морей. Это дало возможность перевести мониторинг среды моря на количественный динамический уровень и вести его



в автоматическом и экспедиционных режимах, коренным образом изменив подходы к определению потоков загрязнений разного состава, их распределение в пространстве моря и во времени, определение векторов потоков, зон перехода потоков в водной толще в донные осадки и др.

Основными блоками работ в рамках этого регионального направления будут следующие:

### **6.3.1. Механизмы переноса и аккумуляции загрязнений, поступающих с береговым стоком и непосредственно на акваторию бассейна; воздействие загрязнений на компоненты экосистемы, эвтрофикация прибрежных районов.**

Природная среда морей и особенно их прибрежных районов отличается повышенной лабильностью и уязвимостью по отношению к внешним естественным и антропогенным воздействиям. Такие районы фактически являются «отстойниками» для промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов всего соответствующего водосборного бассейна. В рамках данного направления будут рассматриваться гидрологические процессы, определяющие физические основы механизмов их распределения по акватории и самоочищения прибрежных вод, т.е. их экологическую ассимиляционную емкость.

В рамках этого блока будут вестись специализированные наблюдения в береговых зонах арктических морей России, Черного, Каспийского и Балтийского морей, а также ряда крупных озер и водоемов суши. Будут использоваться улучшенные численные модели переноса загрязнений в прибрежной зоне, а также усовершенствованные параметризации процессов, определяющих качество прибрежных морских вод. Будут получены количественные характеристики антропогенных загрязнений в морях России и их пространственно-временной изменчивости.

### **6.3.2. Воздействие чужеродных видов на естественные экосистемы бассейнов – их биоразнообразие, структуру и продуктивность, в том числе изымаемые человеком биологические объекты; факторы, определяющие развитие популяций чужеродных видов, прогноз их динамики.**

Широкое расселение видов морских организмов за пределы их характерных ареалов, массовое развитие в новых местах обитания и экосистемах, мощное воздействие на естественное биологическое разнообразие и биологическую продуктивность – явление, прогрессирующее в последние годы и в большой степени определяющее современную изменчивость морских и океанических экосистем. Это явление имеет как антропогенные корни (преднамеренное и непреднамеренное вселение человеком), так и климатические, связанные с изменением условий существования в связи с текущими изменениями свойств среды климатической природы. Последствия воздействий видов-вселенцев на нативные экосистемы огромно и часто достигает масштабов природных катастроф. Достаточно вспомнить вселение и массовое развитие водорослей-кокколитофорид в восточной части Берингова моря, вселение гребневика-мнемиопсиса в Черное море, интродукцию камчатского краба в Баренцево море.

В рамках этой проблемы Институт будет проводить комплексные исследования в Черном, Азовском и Балтийском морях, позволяющие проследить динамику развития популяций пелагических и бентосных видов-вселенцев, оценить и прогнозировать их воздействие на важнейшие компоненты естественной биоты и экосистемы в целом. Будет проанализирована связь межгодовой динамики популяций вселенцев с региональными климатическими изменениями среды. Будут выполнены исследования феномена проникновения чужеродного хищника краба-стригуна в моря восточной Арктики, анализ возможных механизмов развития инвазии, динамики популяции, воздействия чужеродного краба на естественное донное население.

### **6.3.3. Динамика формирования геосистем аккумулятивных морских берегов, современное изменение берегов, его прогноз и предотвращение негативной динамики и снижение рекреационного потенциала.**

Хозяйственное освоение побережий часто приводит к быстрому разрушению прибрежных ландшафтов и к постепенному видоизменению береговых геосистем в результате нарушения литодинамического баланса. Естественной чертой прибрежных геосистем является постоянная трансформация берегов – их отступление или выдвигание, смена типов и литодинамических условий. В XXI веке повсеместно отмечается резкое усиление и ускорение этих процессов (особенно на берегах аккумулятивного типа), в значительной мере обусловленное влиянием опасных природных процессов. Поэтому изучение региональных отличий, и разработка региональных прогнозов деформаций берегов под действием природных факторов является весьма актуальной проблемой как с научной точки зрения, так и в прикладном аспекте.

Будут получены характеристики современного состояния береговых геосистем России, с анализом важнейших природных процессов, определяющих их развитие и оценкой роли антропогенных факторов в изменчивости изучаемых береговых геосистем, а также система типизации морских берегов России по их устойчивости к природным и антропогенным воздействиям.

#### **6.4. Антарктика и Южный океан**

Антарктика и Южный океан являются важнейшими климатообразующими районами Мирового океана. В частности, динамика Южного океана связывает глобальную меж океанскую циркуляцию, в значительной степени регулируя ее и формируя крупные долгопериодные аномалии, связанные с собственными модами изменений Южного океана. Кроме того, приантарктические моря, в первую очередь Море Уэддела и море Скотта являются областями формирования глубинных Антарктических вод за счет глубокой конвекции. Эти воды, распространяясь на север, играют важнейшую роль в формировании циркуляционных особенностей Атлантики и Тихого океана. Важнейшим и до сих пор плохо понятым механизмом, управляющим динамикой Южного океана, является Циркумполярное Антарктическое течение (АЦТ). АЦТ – это сложная и самая мощная система течений на Земле, являющихся главным звеном циркуляции Южного океана. Эта система течений разделяет теплые субтропики и холодные полярные регионы и является глобальным регулятором, осуществляя динамическую связь между ячейками глобального океанского конвейера. Понимание механизмов переносов в АЦТ, особенно в Южной Атлантике, имеет принципиальное значение для исследования динамики Атлантической ветви глобальной меж океанской циркуляции.

С точки зрения штормовой активности, Южный океан характеризуется весьма специфическими ветро-волновыми условиями, определяемыми большими разгонами волн, важной ролью волн зыби и специфическими особенностями приантарктических циклонов.

Антарктика обладает огромным ресурсным потенциалом. Биологические ресурсы Южного океана это, прежде всего криль и промысловые виды рыб. Выполненные в последнее время исследования позволяют рассматривать антарктический криль как уникальный промысловый объект, объект будущего, как в смысле объема возможного вылова, так и в смысле пищевого качества. Количество антарктического криля оценивается в 300-500 млн. тонн, его ежегодная добыча составляет около 9 млн. тонн. и потенциально может быть многократно увеличена. Минимальные оценки региональной биомассы светящегося анчоуса превышает 12 млн. тонн, а возможный ежегодный вылов может быть рекомендован на уровне 3 млн. тонн. В целом, запасы водных биологических ресурсов в антарктических водах многократно превосходят их суммарные запасы в исключительной экономической зоне Российской Федерации. Россия в недавнем прошлом добывала всего 500 тонн криля, в настоящее время промысел прекращен. Прекращение отечественного промысла и сопутствующее резкое сокращение научных исследований в Антарктике, может привести к утрате отечественных позиций в регионе, доступа к управлению региональными промысловыми ресурсами. Эти позиции будет сложно восстановить в будущем. По совокупности биологические ресурсы Антарктики смогут обеспечить устойчивый долговременный рост добычи биологических ресурсов для отечественного экспедиционного рыболовства.

Основными блоками исследований в данном региональном направлении будут следующие.

##### **6.4.1. Долговременный мониторинг переносов Антарктического Циркумполярного течения в проливе Дрейка на основе экспедиционных исследований и численного моделирования**

Этот блок будет основываться на многократных измерениях в ходе регулярных наблюдений за течениями в проливе Дрейка в верхнем 1000-м слое, проводимых ИО РАН с 2010 г. На сегодняшний день выполнено 137 пересечений АЦТ в проливе от берега до берега с частотой до 10 пересечений пролива в месяц в летний сезон Южного полушария. Такая частота наблюдений позволяет уверенно разрешать короткопериодные (менее года) временные масштабы, а, следовательно, открывает перспективы для получения обоснованной оценки меридиональных переносов массы, тепла и импульса вихрями, рассматриваемыми как один из основных источников меридионального переноса через АЦТ. Для осуществления мониторинга будут проводится измерения поверхностной температуры и электропроводности морской воды, а также двух компонент скорости течений в верхнем слое 30-1000 м, используя современные акустические профилографы. Использование этих данных для расчетов характеристик теплосодержания и переносов вод позволит получить оценки баланса массы и тепла, а также измерения интегрального теплосодержания Атлантического океана и сопоставить получаемые оценки с расчетными величинами, основанными на расчетах потоков тепла океан-атмосфера.

Модельные эксперименты, проводимые в рамках моделирования общей циркуляции Мирового океана и расчеты, выполненные по Арго-модели АМИГО (см. выше) позволят объяснить долговременную динамику Южного океана и его роль в регулировании глобального меж океанского конвейера. Отдельная задача моделирования связана с получением статистических характеристик состояния поверхности Южного океана, включая ветро-волновые характеристики, а также потоки энергии океан-атмосфера, что особенно важно в силу слабой обеспеченности Южного океана наблюдениями.

#### **6.4.2. Экосистемы, промышленное использование и охрана живых ресурсов Антарктики**

Изменчивость и доступность промысловых ресурсов, конкретные возможности их изъятия в том или ином районе в тот или иной сезон в этом сложнейшем с точки зрения изменчивости морской среды регионе океана как Антарктика определяется особенностями функционирования региональных экосистем в целом и, в первую очередь, процессами на базовых трофических уровнях. Серьезное отставание в проведении комплексных морских научных исследований с целью определения механизмов формирования биологической продукции, их региональных особенностей, связей с климатическими факторами, рационального использования водных биологических ресурсов выводит Россию из числа стран, определяющих международную политику и раздел богатейших биологических ресурсов морского Антарктического региона.

Задачи, стоящие перед Российской Федерацией в соответствии со Стратегией национальной деятельности в Антарктиде и основными тенденциями в антарктической деятельности ведущих мировых держав включают в себя проведение океанологических исследований Антарктики. Получение новых современных данных, оценивающих состояние и изменчивость экосистем Южного океана даст основу для активного участия Российской Федерации в принятии решений Консультативного совещания по Договору об Антарктике, работе сессии Комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики, мероприятиях других органов системы Договора об Антарктике.

Очевидно, что проведение комплексных биоокеанологические исследований экосистем в Антарктике позволит сформировать базу для подготовки промысла биологических ресурсов Южного океана и поддержит высокий статус научного присутствия России в регионе.

## 7 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ

### 7.1. Технические средства наблюдений

Современное исследование океана невозможно без высокотехнологичных приборных систем, основанных на новейших достижениях электроники и телеметрии, а также методов дистанционного наблюдения. Технологии океанологических наблюдений подразделяются на три группы в соответствии со способом базирования традиционных и инструментальных средств измерений и отбора проб.

К первой группе относятся технологии, которые предусматривают непрерывное использование экспедиционного судна для проведения исследований. Эти технологии в свою очередь подразделяются на маршрутные, которые применяются на ходу судна (гидрофизическое зондирование и гидролокационная съемка с использованием БНПА, НСП, оптическое и радиолокационное сканирование водной поверхности, отбор и непрерывное измерение свойств воды из поверхностного слоя, сбор аэрозолей и др.) и точечные, использование которых требует нахождения судна в дрейфе или режиме динамического позиционирования (отбор проб воды и грунта, гидрофизическое зондирование, визуальные и прочие целенаправленные исследования с помощью подводных телеуправляемых, обитаемых и автономных необитаемых подводных аппаратов ГОА, ТНПА, БНПА, АНПА). Ко второй группе относятся технологии, основанные на использовании автономных платформ, устанавливаемых на акваториях и длительное время (месяцы-годы) не требующих обслуживания с использованием плавсредств. К ним относятся различные заякоренные буйковые постановки – moorings – и сканирующие гидрофизические зонды-профилографы, автономные донные станции – АДС, лендеры, сейсмографы, маяки-ответчики и др. К третьей группе относятся методы дистанционного зондирования или наблюдения районов Мирового океана со стационарных удаленных платформ с берега или из космоса. К ним относятся наблюдения с береговых постов в оптическом и радио диапазоне электромагнитного излучения за вариациями свойств водной поверхности и приповерхностного слоя атмосферы на больших площадях. Аналогичные наблюдения и измерения ведутся из космоса с искусственных спутников Земли. Для томографии водной толщи могут использоваться гидроакустические посты, установленные на разных берегах водоемов и внутренних морей.

Концепция развития ИО РАН предполагает комплексное развитие и использование всех трех систем наблюдений на основе как создаваемых в институте приборных наблюдательных комплексов, так и закупаемой аппаратуры. Основными направлениями развития техники, создаваемой в ИО РАН являются следующие:

#### **7.1.1. Гидролокационные технологии для поиска, исследования и картирования морфологии рельефа дна и подводных объектов, базирующиеся на использовании буксируемых (на глубинах 0-200 м) и автономных (на глубинах более 200 м) необитаемых подводных аппаратов (БНПА и АНПА)**

В Институте имеется и постоянно модернизируется (в соответствии с меняющейся элементной и программно-аппаратной базой) сквозная собственная оригинальная технология (аппаратура, программное обеспечение, методики проведения работ) исследований поверхности дна акваторий (океан, шельф, внутренние водоемы) с использованием буксируемых (БНПА) гидролокационных устройств (гидролокатор бокового обзора – ГБО, акустический профилограф – penetrator – АП и различные виды эхолотов – ЭХ). Имеющаяся технология позволяет вести гидролокационную съемку с помощью БНПА с различным разрешением на глубинах от единиц до 2000 м. Развитие имеющейся технологии, в особенности для обеспечения глубоководных исследований (глубины более 200 м), состоит в использовании в качестве носителей гидролокационной аппаратуры автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). В Институте имеется опыт подобных исследований, в частности с использованием АНПА «Пилигрим». Развитие технологии исследований на небольших глубинах рентабельно при использовании буксируемой гидролокационной аппаратуры, с применением фазовых методов формирования направленности и сложных зондирующих сигналов.

#### **7.1.2. Видео технологии для визуальных наблюдений, исследований и картирования микрорельефа дна, подводной флоры и фауны, обследования опасных объектов на морском дне, а также выполнения подводных операций, базирующиеся на использовании буксируемых и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА и ТНПА)**

Институт обладает многолетним опытом ведения подводных наблюдений с использованием телевизионной техники и фотосъемки (с 1960 годов XX века). В настоящее время в Институте имеется и постоянно развивается технология подводных видеонаблюдений, базирующаяся на использовании глубоководного БНПА «Видеомодуль». При этом используется самая современная HD видеотехника, а

также высокоскоростная технология передачи больших потоков данных на основе подводных оптических грузонесущих кабелей. В ближайшие годы планируется развитие информационно-энергетического обеспечения БНПА, что позволит вести исследования экологии и морфологии микрорельефа на глубинах до 6000 м в глубоководных зонах интересов России. Одновременно в Институте разработана серия ТНПА Гном легкого класса, имеющих ряд существенных конкурентных преимуществ. Это единственные в России подводные роботы, выпускаемые серийно. Более 20 шт. ТНПА Гном поставлены ВМФ России, более 30 шт. – структурам МЧС России и более 100 шт. – за рубеж. Планируется разработка и наладка в сжатые сроки (1.5 года) серийного выпуска мощных ТНПА с использованием технологии Гном, которые смогут заменить на Российском рынке зарубежные ТНПА Seamor, Falcon, Tiger а в дальнейшем – модели среднего и тяжелого классов.

### **7.1.3. Обитаемые технологии для комплексных подводных наблюдений, исследований, целенаправленного отбора образцов и выполнения подводных операций, базирующиеся на использовании водолазных методов (на глубинах до 12 м) и подводных (глубоководных) обитаемых аппаратов (ПОА/ГОА)**

Институт имеет два ГОА *Мир-1* и *Мир-2* (рабочая глубина 6000 м), которые вместе с НИС *Академик Мстислав Келдыш* составляют уникальный аппаратный комплекс, не имеющий аналогов в мире. В соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 29 декабря 2012 года (№ Пр-3521) Правительством Российской Федерации разработан и реализуется комплекс мер по обеспечению работы научного флота и аппаратов *Мир*, в том числе долговременная программа экспедиционной деятельности научно-исследовательских судов (НИС) и аппаратов *Мир*. В частности введено в режим эксплуатации НИС *Академик Мстислав Келдыш* – носитель аппаратов *Мир*. В настоящее время ИО РАН готовит материалы для обоснования субсидий по вводу в эксплуатацию аппаратов *Мир*. В частности, подготовлена предварительная научная Программа изучения глубоководных океанических экосистем с использованием глубоководных обитаемых аппаратов *Мир-1* и *Мир-2*, нацеленная на исследования в районах гидротермальной деятельности, в том числе в районах формирования сульфидных месторождений и определены научные приоритеты исследований ИО РАН, которые могут быть обеспечены только с использованием флота и глубоководных аппаратов *Мир*.

К этим приоритетам относятся:

- Исследования гидротермальных полей на дне Мирового океана (фундаментальные аспекты строения и происхождения Земли, оценка геологических ресурсов, в том числе сульфидов, а также биоресурсов, существующих за счет хемосинтеза, в том числе с точки зрения фармацевтики).
- Оценка структуры и запасов полиметаллических руд в Российском районе Срединно-Атлантического хребта (детальное геолого-геоморфологическое картирование, а также оценка воздействия разведки и добычи на окружающую среду).
- Глубоководные исследования подводной разгрузки углеводородов в Арктике и на подводном склоне о. Сахалин (также прикладные исследования с целью подтверждения Российского присутствия в Арктике).
- Исследования глубоководных потенциальных опасностей – очагов землетрясений, в том числе в океанских дальневосточных желобах, а также затопленных техногенных объектов, в том числе в Арктике, таких как АПЛ «Комсомолец», АПЛ «К-159», АПЛ «К-27» и др.

Реализация этих приоритетов также потребует обеспечения работ в области водолазных технологий, а также использования уникальной тест-камеры для испытания глубоководной техники и гидрофизической аппаратуры под гидростатическим давлением до 900 атм (глубина 9000 м).

### **7.1.4. Технологии оперативных океанологических гидрофизических наблюдений и освещения подводной обстановки, базирующиеся на использовании автономных движущихся подводных аппаратов (дрифтеров, глайдеров и собственно АНПА) и трансляции собранной информации на космические аппараты (КА)**

Подобные технологии используются в Институте для гидрофизических наблюдений, поиска подводных объектов и исследований экологии акваторий в рамках различных программ и контрактов. В Черном море запускаются «дрифтеры», в том числе разрабатываемые и изготавливаемые МГИ РАН (г. Севастополь), в Атлантике – буи глайдеры ARGO, в Карском море отработана технология поиска и обследования подводных потенциально опасных объектов с помощью АНПА «Пилигрим», созданного в ИПМТ РАН. В развитии этой технологии в Институте подготовлена собственная актуальная разработка, выполнены исследования и макетирование автономной виртуальной донной станции – глайдера (АВДС). В западной терминологии АВДС – virtual mooring – предназначена для постановки в ключевых районах морских акваторий. АВДС базируется на морском дне и регистрирует параметры окружающей среды, время от времени всплывая

на поверхность, профилируя гидрофизические параметры водной толщи. Всплыв на поверхность АВДС передает информацию по каналам радиосвязи (космической связи), а затем возвращается на дно. АВДС оснащена управляющими стабилизаторами, чтобы, после дрейфа на поверхности моря, возвратиться в точку базирования, которая может быть отмечена гидроакустическим маяком-ответчиком.

### **7.1.5. Технологии оперативных океанологических гидрофизических наблюдений и освещения подводной обстановки, базирующиеся на использовании автономных заякоренных станций со спутниковыми каналами передачи информации**

Уникальные автономные донные станции лендеры ИО РАН были разработаны для исследования обменных процессов на границе вода-грунт. Основное назначение станций – оценка состояния экологии морских акваторий с геохимической стороны. Еще одной современной востребованной разработкой ИО РАН является заякоренный автономный мобильный-зонд -профилограф «Аквалог», предназначенный для долговременного измерения вертикальных распределений гидролого-гидрофизических, акустических и химических параметров водной толщи в фиксированной географической точке. Перечисленные автономные заякоренные и донные станции используют разнообразные системы передачи данных на пункты сбора информации, включающие индуктивные и гидроакустические модемы, заякоренные и автономные радио-гидроакустические буи, а также привязные радиосистемы для передачи данных в режиме «онлайн» на борт связанных космических аппаратов и береговые центры радиосвязи.

Совместное использование автономных заякоренных и донных станций с передачей данных измерений в квазиреальном времени и регулярных комплексных судовых наблюдений является эффективным современным методом оперативного мониторинга и долговременных исследований шельфово-склоновой зоны моря. Такой метод внедряется на постоянно действующем полигоне в северо-восточной части Черного моря в районе Геленджика, созданном на базе Южного отделения ИО РАН. Поддержание данного полигона и его использование для дальнейшего развития методов и средств комплексного оперативного мониторинга морской среды является одним из технологических приоритетов Института.

Важным направлением в рамках данного блока также будет обеспечение функционирования наблюдательной системы в субполярной Атлантике, состоящей из глубоководного океанского и поверхностного гидрометеорологического модулей.

### **7.2. Лабораторная и камеральная база**

Важным элементом развития Института является развитие его лабораторной и камеральной базы, составляющих основу пост-экспедиционной детальной обработки результатов наблюдений. В этом направлении планируется создание собственными средствами научного оборудования для развития новых подходов в исследованиях океана и получения принципиально новой информации об океанских системах, прежде всего стационарных систем наблюдений за параметрами среды и характеристиками биоты в ключевых для России морских регионах, буксируемых комплексных устройств, дающих видео- и фотоинформацию о морском дне и придонных слоях воды, информацию о параметрах среды в реальном времени. Планируется также широкое использование современной спутниковой информации о состоянии среды и биоты, спутникового мечения морских животных, беспилотных авиационных систем ближнего радиуса действия. На базе лабораторий Направления экологии морей и океана планируется создание центра по подготовке и первичной обработке проб для молекулярно-генетического анализа. Создание современного специального лабораторное помещения для работы с коллекциями и новыми биологическими пробами, оборудованного вытяжкой, разборно-размывочными столами, центрифугой и пр.

Важным представляется также создание в течение 3-4 лет собственного тарировочного и поверочного комплекса для проверок зондирующей и метеорологической аппаратуры научно исследовательских судов. Такой комплекс будет создан на базе Атлантического отделения ИО РАН.

Планируется также дальнейшее развитие комплекса лабораторных установок, предназначенных для моделирования физических процессов в океане. Этот комплекс имеется в распоряжении Физического сектора Института, и к нему относятся вращающиеся платформы, позволяющие изучать закономерности динамики океана с учетом эффектов вращения Земли, и ряд лабораторных бассейнов, оборудованных системами видеонаблюдений и измерительными датчиками. Лабораторное моделирование позволяет выявлять закономерности важных физических процессов в океане и, кроме того, является эффективным и наглядным подспорьем в обучении студентов и аспирантов основам геофизической гидродинамики.

Важнейшей основой для исследования биоты океана и морей, происхождения и эволюции фауны океана и его отдельных регионов, каталогизации биоразнообразия и оценки его современной изменчивости, оценок воздействия на население океана техногенной деятельности являются коллекции и каталоги морской фауны. Институтом, начиная с конца 40-х годов прошлого века, созданы крупнейшие в мире коллекции глубоководной и абиссальной донной фауны океана (более 100 тыс. единиц хранения) и морской ихтиофауны (свыше 400 тыс. экземпляров рыб), анализ которых является основой многих исследований, а также уникальный каталог рыб России и сопредельных вод с оценкой потенциального промыслового значения видов. Пополнение коллекций морской фауны современными сборами, описание океанической фауны на основе традиционных и новых молекулярно-генетических подходов, развитие каталога рыб, создание соответствующих электронных баз будут входить в число приоритетных задач, обеспечивающих многие направления биоокеанологических исследований и развитие международного научного сотрудничества.

### 7.3. Информационно-вычислительные ресурсы

Компьютерные ресурсы – ключевой инфраструктурный компонент исследований института. Океанское численное моделирование и моделирование климата сегодня стало высокотехнологичным процессом, в котором успех в значительной степени зависит от доступных вычислительных ресурсов. Для успешной деятельности института компьютерные ресурсы должны включать, помимо персональных платформ, местный вычислительный кластер и систему хранения данных большого объема в самом ИО РАН, а также удаленные суперкомпьютерные мощности, доступные профильным коллективам института по скоростному сетевому соединению. В настоящее время компьютерные ресурсы, доступные для использования в ИО РАН включают распределенный ресурс, состоящий из четырех блоков (рис. 7).

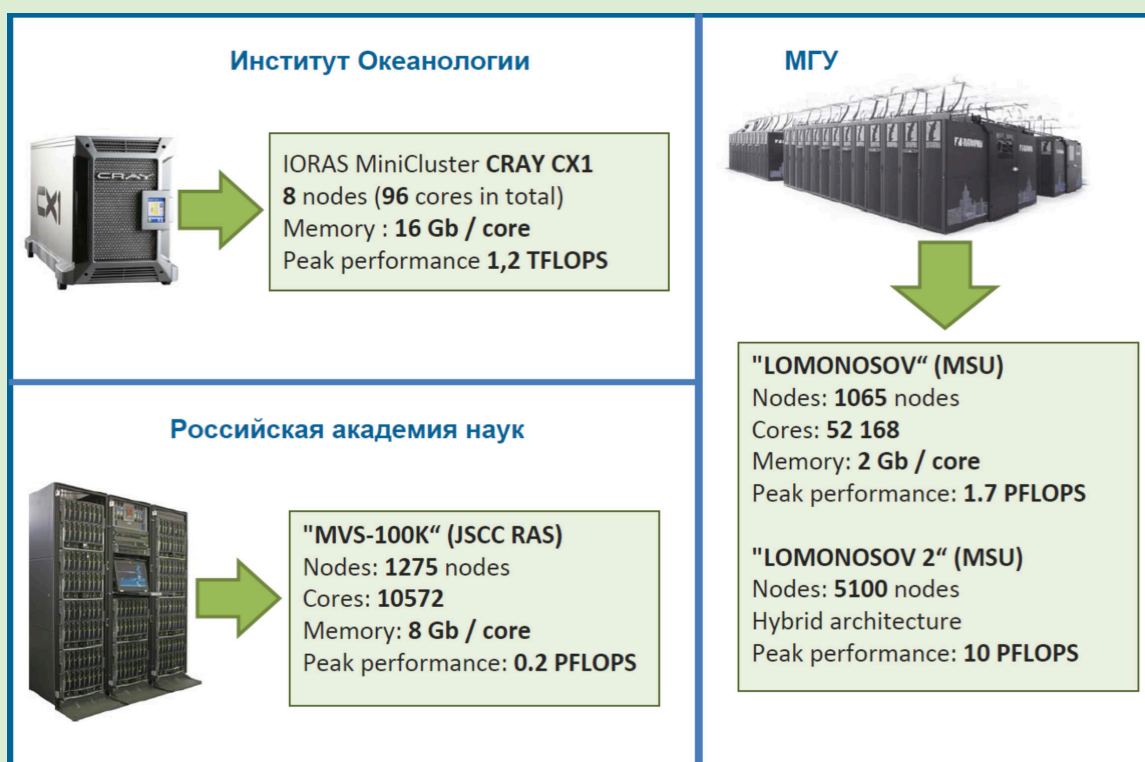


Рис. 7. Технические характеристики вычислительных ресурсов, доступных для ИО РАН (на май 2017 года).

Мини-кластер ИОРАН, основанный на платформе CRAY CX1 является явно недостаточным в качестве локального ресурса. Он должен быть существенно улучшен, чтобы достигнуть производительности, превышающей действующую в 8-10 раз. Это предполагает существенное увеличение числа узлов и ядер по крайней мере, до 64 с обязательной системой «infiniband». Рассматривая удаленные суперкомпьютерные мощности (суперкомпьютер РАН, систему Росгидромета, основанную на SGI Altix machine и суперкомпьютеры МГУ), следует отметить, что они выглядят вполне отвечающими современным требованиям. При развитии собственного кластера ИОРАН будет в состоянии проводить эксперименты с моделями ORCA1 и ORCA25 и региональными конфигурациями, а также выполнять многие диагностические расчеты на локальных ресурсах. В то же время эксперименты с моделями NATL12 и NATL60, создание высокоразрешающих полей граничных условий с использованием модели WRF, а также

эксперименты с климатическими моделями должны выполняться на удаленных суперкомпьютерных ресурсах. В этом смысле доступ к системе ЛОМОНОСОВ-2 и достаточно большое доступное время (3-5 млн. CPU при использовании от 1500 до 3000 ядер), а также достаточно большой объем дискового пространства (100 TB) будут крайне необходимы и будут реализовываться в рамках долгосрочного двустороннего сотрудничества с НИВЦ МГУ.

Сетевые требования столь же важны, как и требования к компьютерным мощностям. Замедление сетевого трафика может очень серьезно отразиться на эффективности численного моделирования, даже при наличии достаточных компьютерных ресурсов. Современная производительность внутренней и внешней сети ИО РАН (1 GB/sec и 10 GB/sec для связи с кластером) в целом неплоха и удовлетворяет современным требованиям. Тем не менее, было бы крайне желательно обновить всю внутреннюю сеть ИО РАН до пропускной способности 10 GB/sec, для чего потребуются значительные инвестиции.

Выполнение стратегических задач института будет связано с генерацией огромных объемов данных, представляющих результаты расчетов в рамках модельных экспериментов, результаты наблюдений, формирования баз данных, а также результаты диагностики. Это выдвигает специальные требования к системам хранения данных в институте. Например, 40-летний эксперимент с моделью NATL12 при стратегии архивирования «daily» предполагает 2 TB начальных данных, а объем результатов диагностики будет в несколько раз больше. Аналогичные оценки для NATL60 будут на 2 порядка больше. Даже временное хранение данных (и промежуточная диагностика) предполагает объем систем хранения и архивирования, существенно превышающий современные ресурсы ИО РАН (они оцениваются в ~100-150 TB на RAID системах). Более того, существенное дисковое пространство должно быть предусмотрено для дублирования и копирования (backup данных вычислений и диагностики). Таким образом, весьма серьезное обновление систем хранения данных будет одним из важных требований, удовлетворение которого потребует дополнительных инвестиций.

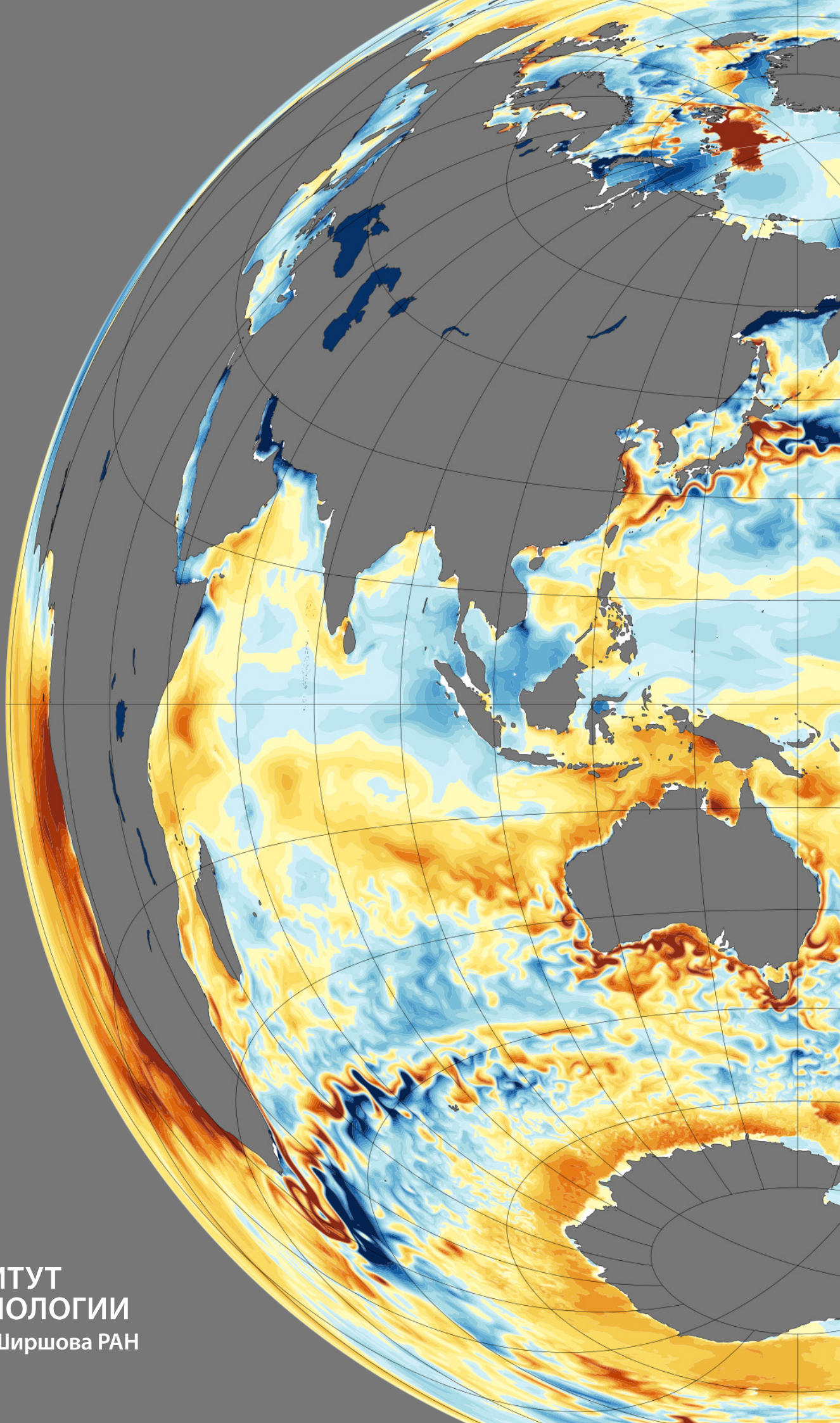
Важнейшим фактором успешной реализации Концепции научной деятельности является развитие корпоративной сетевой инфраструктуры, включая сетевой операционный центр и узел ПД (передачи данных) корпоративной сети ИО РАН. Кроме того, важную роль в обеспечении информационной структуры Института играет Центр обработки и хранения данных ИОРАН, развитие которого возможно путем обновления серверного оборудования отказоустойчивого кластера и увеличения объемов хранилища до 150 Tb, включая систему резервирования. В этом смысле крайне перспективным является создание собственного ресурса - Системы цифровой идентификации объектов - научных работ всех видов Института океанологии в соответствии с международным стандартом ISO 26324:2012, а именно онлайн БД OceanDOI.

Развитие информационных ресурсов неотделимо от поддержки существующих и развития издательских ресурсов, включая запуск новых периодических изданий Института на основе современных сетевых онлайн технологий. Это направление неразрывно связано с модернизацией библиотечного и архивного дела в соответствии с современным цифровым уровнем организации работ и созданием внедрением и сопровождением собственной системы учета наукометрической, библиографической, библиометрической и патентно-авторской информации ИО РАН.



## **8 ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА**

Представленная Концепция научной деятельности Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН определяет научный контекст развития работ Института на ближайшее десятилетие исходя из национальных и мировых приоритетов развития науки об океане. Основами для реализации Концепции являются Государственные задания на научные исследования, Стратегия развития Института, в которой предусмотрены конкретные научные и научно-организационные мероприятия по реализации Концепции, и Долгосрочный план морских экспедиционных исследований, призванный обеспечить новыми материалами исследований реализацию Концепции и выполнение Госзаданий Института.



ФГБУН  
ИНСТИТУТ  
ОКЕАНОЛОГИИ  
им. П.П. Ширшова РАН