

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ПРОГРАММАМ ПРЕЗИДИУМА РАН, ОНЗ РАН

## Программы Президиума

### Программа Президиума РАН № 23 «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология»

#### Направление «ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛОБМЕН В ОКЕАНЕ»

#### Проект: Океанические факторы междекадной изменчивости современного климата

Руководитель – д.ф.-м.н. Бышев В.И.

Обнаружена и исследована междекадная осцилляция теплосодержания верхнего деятельного слоя Мирового океана (МОСТОК), для которой характерно чередование периодов (25–35 лет) теплонакопления и тепловой разгрузки. Сформулирована и обоснована концептуальная гипотеза: с МОСТОК связано происхождение основной моды внутривековой изменчивости современного климата. Показано, что тепловая разгрузка океана сопровождается интенсификацией таких региональных климатических колебаний, как Северо-Атлантическое, Северо-Тихоокеанское, Южное и др. На протяжении предшествующего столетия сменилось три последовательных сценария климата, относящихся к периодам 1905–1935 гг. (теплая фаза), 1940–1970 гг. (холодная фаза) и 1980–2000 гг. (теплая фаза). В первой декаде нынешнего столетия начался переход состояния Северо-Атлантической региональной климатической системы к «холодному» сценарию, который будет продолжаться до 2030 гг.

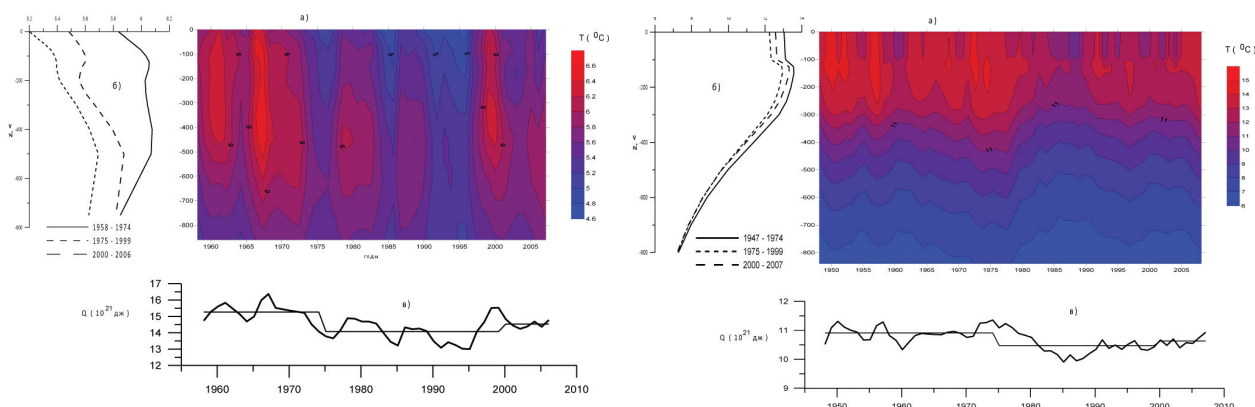


Рис. Эволюция термической структуры деятельного слоя в холодную половину года (а) в период 1958–2006 гг. Вертикальное распределение температуры (б) в три фазы климата. Изменение теплосодержания (в) верхнего слоя в течение периода 1958–2006 гг. Слева: в Северной Атлантике, Справа: в Северной Пацифике.

## Проект: Гидрологическая структура и циркуляция вод Южного океана

Руководитель — д.ф.-м.н. Кошляков М.Н.

Выявлена тенденция совпадения географических положений абиссальных вихрей с положениями одноименных по знаку завихренности меандров струй Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) в термоклине. На основании STD-измерений и измерений скорости течений и данных спутниковой альтиметрии были выделены двенадцать струй в зоне АЦТ. Предприняты усилия по созданию новой карты распределения антарктических айсбергов, выполнен пересчет их общего числа и объема. На полученной карте сплоченности айсбергов, кроме закономерного уменьшения их числа с удалением от берега, видно согласованность распределения айсбергов с преобладающими воздушными потоками, и строгое следование северной границы распространения айсбергов вдоль океанического Полярного фронта, что может объясняться как динамическими, так и термическими причинами. По вновь собранным данным наблюдений над сплоченностью айсбергов, а также над их формой и размерами, была получена новая оценка их общего числа (142000 айсбергов), суммарной площади (16650 км<sup>2</sup>) и объема (4600 км<sup>3</sup>).

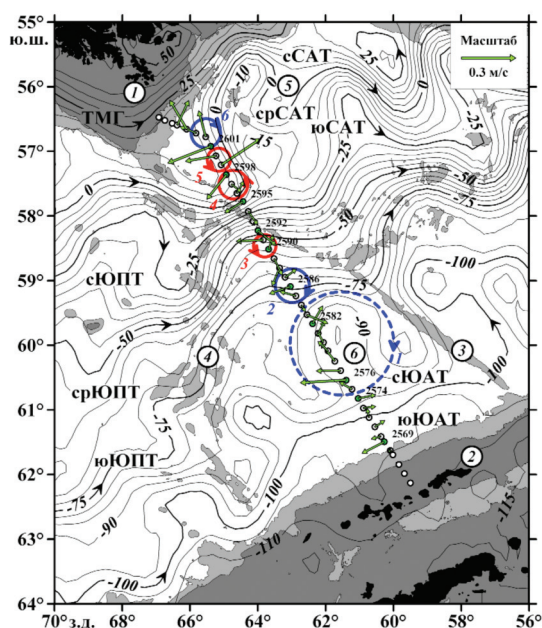


Рис. Векторы скорости течения на глубине 3000 м по данным измерений погружаемым акустическим доплеровским профилографом течения (LADCP) на разрезе 28.10–04.11.2011г.

## Проект: Выявление нелинейных эффектов в динамике Эль Ниньо – Южного колебания

Руководитель – д.ф.-м.н. Сонечкин Д.М.

Обнаружен факт нехаотичности и принципиальной предсказуемости Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК), что важно для сверхдолгосрочных предсказаний долгопериодных

погодных вариаций. Процессы ЭНЮК формируются целым комплексом атмосферных и океанических процессов, происходящих всюду на Земле, а не только в/над акваторией Тихого океана. Предложена схема того, как полюсные приливы приводят к возникновению теплого поверхностного течения Эль-Ниньо, которое хорошо известно как своеобразный триггер, запускающий цепочку событий ЭНЮК. Скорость распространения полюсных приливов определяет временную ритмичность событий Эль-Ниньо, т.к. главные пики в спектре ЭНЮК приходятся на субгармоники Чандлеровского колебания.

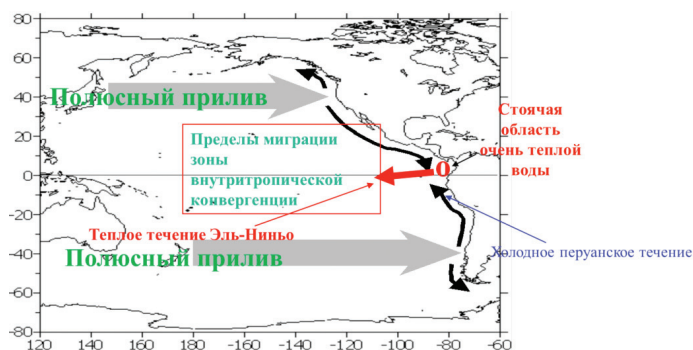


Рис. Схема, иллюстрирующая возбуждение теплого течения Эль-Ниньо у берегов Центральной Америки полюсным приливом, который, в свою очередь, возбуждается Чандлеровским колебанием полюсов Земли.

## Проект: Динамика синоптических и мезомасштабных движений в океане

Руководитель – д.ф.-м.н. Резник Г.М.

Изучены линейные волны и нелинейное геострофическое приспособление в моделях однородного по плотности и устойчиво-нейтрально стратифицированного (УНС) океана. Общий сценарий геострофического приспособления стандартен: произвольное возмущение единственным образом расщепляется на медленное квазигеострофическое (КГ) движение и волновую компоненту. В баротропном океане волновая компонента состоит из квазиинерционных колебаний; в УНС модели к этим колебаниям добавляются внутренние волны, которые слабо взаимодействуют с КГ компонентой и затухают из-за дисперсии. В итоге в области первоначального возмущения остается медленное КГ течение и сцепленные с ним инерционные колебания в однородном слое. Горизонтальная компонента угловой скорости вращения Земли может вносить важный вклад в диссипацию синоптической энергии. Обнаружены и исследованы нестационарные пограничные слои – узкие области вблизи границ и поверхности раздела между слоями в УНС океане, которые характеризуются резкими градиентами горизонтальных скоростей. Это может приводить к сильному перемешиванию и неустойчивости.

## Проект: Сравнительная оценка глобальных межгодовых изменений климатически значащих параметров – температуры поверхности и биооптических характеристик – в океане и морях России по спутниковым данным

Руководитель – д.ф.-м.н. Копелевич О.В.

С помощью разработанных методик и программ построены долговременные ряды данных о температуре поверхности океана, концентрации хлорофилла и показателе рассеяния назад взвешенными частицами, рассчитанных по данным спутниковых наблюдений для Атлантического океана, Баренцева, Белого, Черного и Каспийского морей с 1997 по 2014 гг. Получены оценки линейных трендов среднемесячных распределений SST, Chl и b<sub>bp</sub> для Атлантического океана, Баренцева и Белого морей.

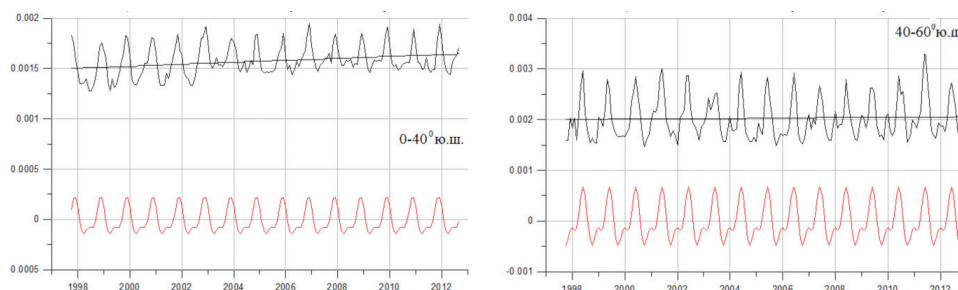


Рис. Линейные тренды средних значений показателя  $b_{bp}$ ,  $m^{-1}$  в южной половине Атлантического океана в широтных поясах  $0-40^{\circ}$  (слева) и  $40-60^{\circ}$  (справа). Черным – изменения среднемесячных значений  $b_{bp}$ , красным – периодические составляющие.

## Проект: Региональное изменение климата морей России

Руководитель – д.ф.-м.н. Костяной А.Г.

Для анализа межгодовой и сезонной изменчивости гидрометеорологического режима арктических морей России использованы ежемесячные данные по ряду ключевых океанографических и метеорологических параметров за 30–50 лет. Выявлены основные закономерности и тренды в межгодовой изменчивости этих параметров, и изменения в сезонной изменчивости гидрометеорологического режима морей. Температура воздуха над всеми морями России устойчиво растет. Наименьшая скорость роста зафиксирована в Японском море ( $+0,0083^{\circ}C/год$ ), а наибольшая – в море Лаптевых ( $+0,1702^{\circ}C/год$ ). С 1979 по 2010 гг. в дальневосточных морях и в Чукотском море осадки незначительно уменьшились ( $-3...-16\%$ ), в арктических морях они увеличились (причем, с востока на запад приращение осадков значительно растет – с  $+5\%$  в Восточно-Сибирском до  $+43\%$  в Баренцевом море); в Балтийском, Черном и Азовском морях осадки увеличились незначительно ( $+6...+7\%$ ), а в Каспийском море они практически не изменились.

## Проект: Оперативная модель прогноза гидрофизических полей в Баренцевом и Белом морях, включая районы нефтегазодобычи

Руководитель – д.т.н. Родионов А.А.

Разработана гидродинамическая модель Баренцева моря высокого пространственного разрешения, позволяющая рассчитывать скорость течений и дрейфа льда, температуру и соленость воды, толщину и сплоченность льда, толщину снежного покрова на его

поверхности. Разработана математическая формулировка объединенной модели атмосфера–океан–ветровые волны, учитывающей приток энергии, диссипацию, обмен импульсом с атмосферой и верхним слоем океана. В рамках модифицированной версии трехмерной конечно-элементной гидростатической модели выполнено моделирование поверхностных и внутренних приливов и их сезонной изменчивости в Северном Ледовитом океане (СЛО) в целом и в его окраинных морях. Установлено, что индуцируемая внутренними приливными волнами диапикническая диффузия может вносить весомый вклад в формирование климата региона. На основе выполненных широкомасштабных измерений гидрооптических и гидрологических характеристик в Баренцевом, Белом и Карском морях предложен метод и алгоритм моделирования лидарных изображений внутренних волн.

## Направление «ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, КАВИТАЦИЯ И АКУСТИКА»

### Проект: Взаимодействие рельефа дна с потоками донных вод и внутренними волнами

Руководитель – д.ф.-м.н. Морозов Е.Г.

Проведены измерения переноса Антарктической донной воды в абиссальных каналах Атлантики. В проходе Западный Дискавери обнаружен поток Антарктической донной воды, направленный на север. Перенос донной воды с температурой менее  $2.05^{\circ}\text{C}$  составляет 0.24 Св., скорости до 30 см/с. Скорости течения в проходе разлома Романш, шириной около 2 миль, и глубиной седловины 4570 м, достигают 65 см/с. Расход воды в потоке 0.23 Св. В разломе Вима существует наиболее сильный поток Антарктической воды на восток. В разломах Долдрамс и Сьерра Леоне существуют потоки донных вод в восточную Атлантику меньшие, но сопоставимые с разломом Вима. К западу от канала Вима на поднятии Рио Гранде найдены несколько более мелких каналов. Проведены измерения скоростей в этих каналах, в сумме они могут дать поток ААДВ, сопоставимый с каналом Вима.

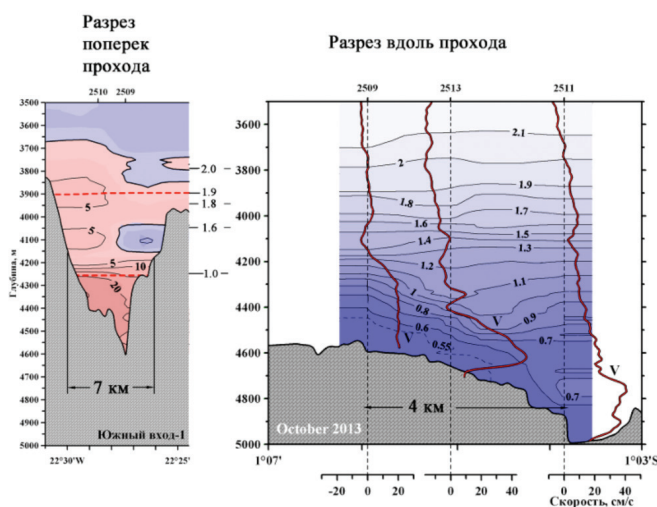


Рис. Изотермы и профили скорости на меридиональном разрезе вдоль Южного входа от его седловины до впадины в южном каньоне разлома. Видны наклон изотерм, сползание ядра потока вниз по склону и его ускорение. Станции измерений 2509–2513 показаны штрихами на верхней оси.

## **Проект: Динамика морского волнения в контексте задач дистанционного зондирования морской поверхности в прибрежной зоне**

**Руководители – к.ф.-м.н. Бадулин С.И., к.ф.-м.н. Ивонин Д.В.**

Проведена теоретическая работа по оценке возможностей интерференционных радиолокаторов с синтезированной апертурой в задаче восстановления векторно-скоростных полей поверхности океана – как при высоком разрешении (орбитальные скорости энергонесущих ветровых волн), так и при осреднении скоростного поля на мезомасштабных площадках (градиентные течения). Наиболее репрезентативным параметром для определения параметров пленок оказалась энтропия декомпозиции Клоде-Поттера. Выявлены вариации энтропии в зависимости от скорости ветра и, предположительно, толщины пленки. Предложено существенно расширить область применения альтиметрических данных для исследований морского волнения. Проведено сравнение с традиционно используемыми параметризациями периодов морского волнения. Предложен и апробирован (данные TerraSAR-X и RadarSAT-2 для Мексиканского залива, Каспийского, Северного и Желтого морей за 2009–2013 годы) усовершенствованный метод поляризационной обработки спутниковых снимков с соосными компонентами (VV/HH) для распознавания различных типов пленок на поверхности моря. Установлено, что нефтяные разливы в Мексиканском заливе и Каспийском море, снятые в различные моменты времени с хорошей кучностью укладываются в одном секторе поляризационного графика «нормированная береговая рябь/нормированные обрушения», в то время как пленки, предположительно, естественного происхождения в Мексиканском заливе, Каспийском и Желтом морях находятся в других секторах. Нефтяная эмульсия, разлитая в Северном море в ходе экспериментов Oil Spill, оказалось, также находится в поляризационном секторе для нефтяных разливов.

## **Проект: Трансформация нелинейных волн в береговой зоне моря**

**Руководитель – д.ф.-м.н. Кузнецов С.Ю.**

Выявлены нелинейно-дисперсионные механизмы трансформации нерегулярных волн в береговой зоне моря и параметризованы закономерности изменения амплитудно-частотно-фазового состава волн при их распространении над наклонным дном. Исследованы закономерности трансформации групповой структуры волн, параметров индивидуальных волн, спектров волн и инфрагравитационных волн. Подтверждена автомодельность групповой структуры волн на глубокой воде, на входе в береговую зону моря. Подтверждена независимость фактора групповитости волн от периода и высоты волн, ранее установленная по данным буй. Получено объяснение пространственных флуктуаций (до 70%) высот волн, ранее относимых к ошибкам работы приборов, описание механизма формирования изменчивости параметров индивидуальных волн внутри волновых режимов, классификация сценариев

нелинейной трансформации волн в береговой зоне и параметризация максимальных значений амплитуды второй гармоники волн.

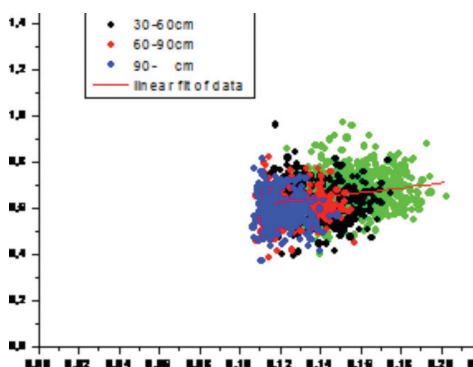


Рис. Независимость фактора групповитости волн от средней частоты спектра и высоты волн на Каспийском море.

## Направление «ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЧЕРНОЕ МОРЕ КАК ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОКЕАНА»

**Проект: Проведение регулярных автоматических измерений профилей гидрофизических характеристик в шельфово-склоновой зоне Черного моря с помощью автономных заякоренных и буксируемых систем с оперативной передачей данных**

Руководитель – д.ф.-м.н. Зацепин А.Г

В целях развития прибрежной черноморской наблюдательной системы на шельфе Черного моря в районе г. Геленджик развернут подспутниковый полигон, предназначенный для перманентного автоматического мониторинга и состояния водной среды и биоты. Проанализированы данные об изменчивости вертикального распределения гидрофизических характеристик в деятельном слое Черного моря над континентальным склоном. Установлено наличие интенсивных колебаний положения перманентного пикно-халоклина и верхней границы сероводородной зоны с характерным периодом 8–15 суток, обусловленных меандрированием Основного черноморского течения. Эти колебания вызывают короткопериодные изменения толщины кислородосодержащего слоя на 20–40 м, что составляет до одной трети его общей толщины. Вдольбереговая составляющая скорости течения почти на порядок превышает по амплитуде нормальную береговую составляющую. Существует ярко выраженная колебательная мода изменчивости вдольбереговой составляющей скорости, выражающаяся в частых изменениях направления течения, а максимальные амплитуды разнонаправленных скоростей наблюдаются на интервалах времени от нескольких часов до нескольких суток.

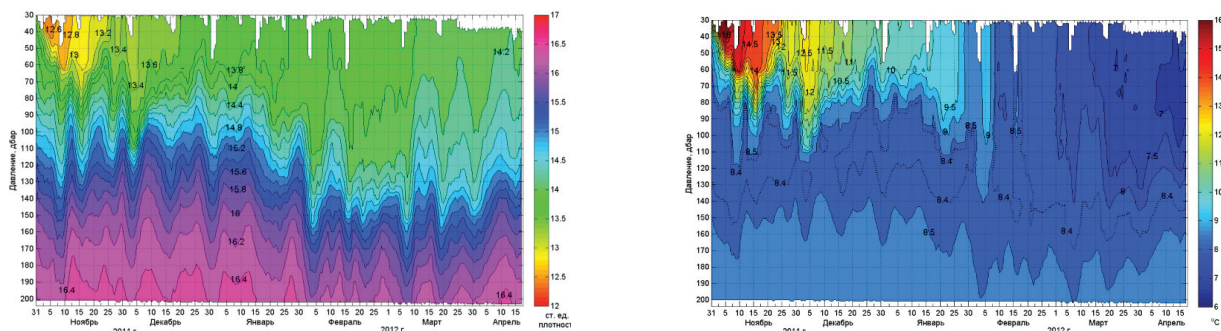


Рис. Временная эволюция вертикального распределения температуры (слева) и условной плотности (справа) в Черном море.

## Направление «ПРОЦЕССЫ НА ШЕЛЬФЕ»

### Проект: Развитие аппаратно-программного комплекса для геоэлектromагнитных исследований окраинных и внутренних морей России

Руководитель – к.г.-м.н. Пальшин Н.А.

Разработаны новые методы и алгоритмы для обработки и интерпретации морских геофизических данных многоканальных буксируемых систем. Разработан спектральный способ оценки глубины до источника аномалий, основанный на свойстве линейного затухания логарифмов спектров таких аномалий по частоте. Способ слабо чувствителен к высокочастотным шумам и позволяет оценивать параметры залегания совокупностей источников при сложноустроенном геологическом разрезе (см. рис.). Предложено теоретическое объяснение флуктуаций электрического поля на дне пресноводных бассейнов, обобщены и дополнены представления о различных типах возбуждения и механизмах генерации электрического поля в толще воды и в придонном слое.

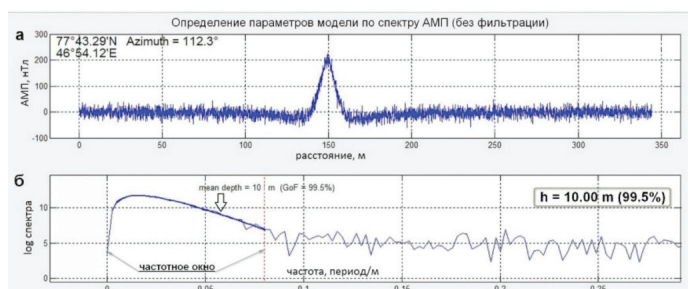


Рис. Определение глубины до источника магнитной аномалии. а) аномальное магнитное поле над диполем на глубине 10 м зашумленное стационарным белым шумом с дисперсией 15 нТл, б) оценка глубины до диполя спектральным способом.

### Проект: Геориски восточного склона острова Сахалин

Руководитель – к.г.-м.н. Баранов Б.В.

На восточном склоне о. Сахалин выделено несколько геологических процессов, которые могут представлять потенциальную опасность: сейсмичность, возникновение разломов в осадочном чехле, высачивание газов, разрушение склона и образование оползней. Для каждого процесса составлены схемы их распространения в пределах восточного склона. На склоне



было выделено два сегмента (центральный и курильский) в пределах которых наблюдаются все выделенные типы георисков и уровень геологической опасности является максимальным. Составлена карта и схема районирования рисков возникновения вертикальных смещений морского дна восточного склона о. Сахалин.

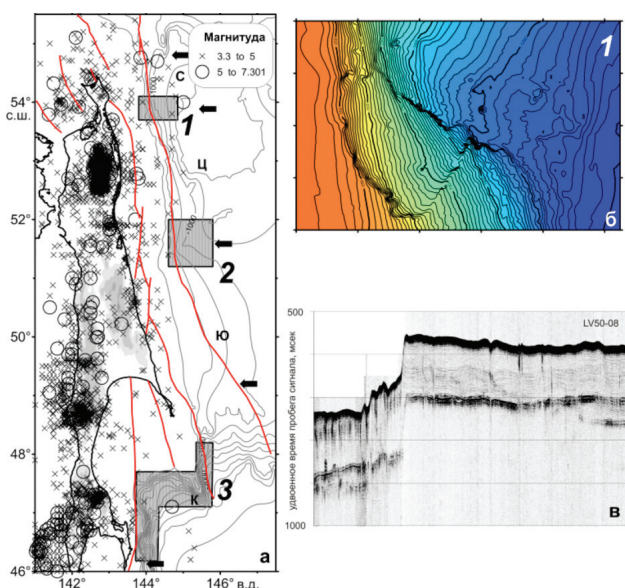


Рис. (а) Эпицентры мелкофокусных землетрясений, произошедших на о. Сахалин с 1905 г. по 2012 г. с магнитудами  $M_w \geq 3.3$ . Красными линиями на склоне показаны региональные глубинные разломы. Цифры 1–3 обозначают области склона с активными разломами, проявляющимися в рельефе (б) и строении осадочного чехла (в). Сейсмичность о. Сахалин и схема распределения активных разломов (г): 1 – с вертикальными смещениями амплитудой несколько метров, 2 – с отсутствием вертикальных смещений.

## Проект: Материковый сток в прибрежной зоне моря: механизмы переноса и влияние на химические и биологические процессы и распространение загрязнений

Руководитель – д.г.н. Завьялов П.О.

Обобщены данные многолетних натуральных и спутниковых наблюдений в шельфовых акваториях, примыкающих к устьям малых рек российского побережья Черного моря. Для каждого из этих районов приведены количественные характеристики отклика гидрофизических и гидрохимических полей на шельфе на воздействие материкового речного стока. Описана межгодовая изменчивость показателей качества вод, сезонная и короткопериодная изменчивость площади и ориентации плюма, несущего взвесь и продукты антропогенного загрязнения. Реки севернее Туапсе несут большое количество органической взвеси, а сама река Туапсе и реки южнее ее – в основном, минеральную взвесь.

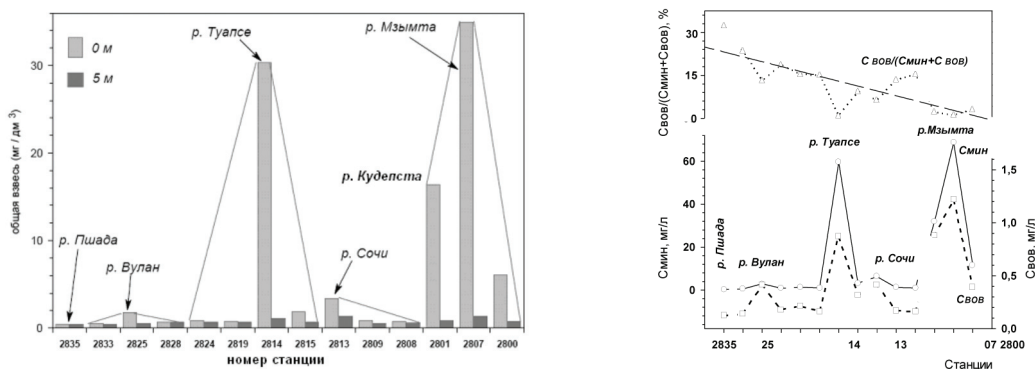
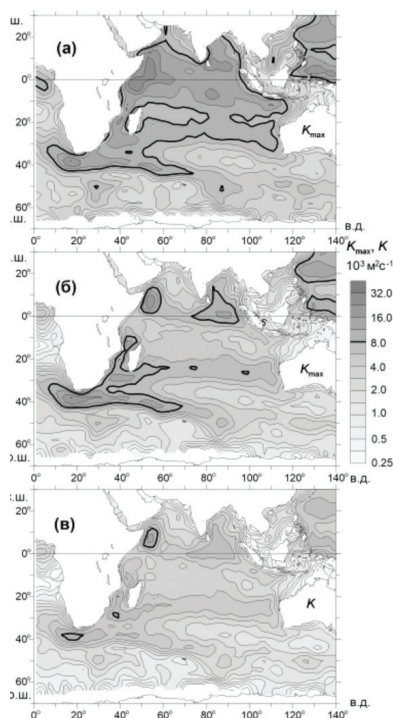


Рис. Концентрации общей взвеси на глубинах 0 м и 5 м в точках ближайших к берегу станций (слева) и отношение концентраций органической и минеральной взвеси (справа).

## Проект: Исследование переноса примесей на шельфе и в открытом море по данным дрейфтеров и результатам численного моделирования

Руководитель – д.ф.-м.н. Журбас В.М.



Разработана методика получения оценок коэффициента горизонтального перемешивания в океане по данным дрейфтеров и ее применение в условиях Индийского океана. В основе метода лежит расчет по данным дрейфтеров тензора диффузии Девиса с последующим преобразованием к диагональному виду и выбором меньшего из главных компонентов тензора в качестве коэффициента горизонтального перемешивания. Получены оценки коэффициента бокового перемешивания в квадратах  $2^\circ \times 2^\circ$  в верхнем перемешанном слое Индийского океана

Рис. Карты  $K_{\max}$  в Индийском океане, рассчитанные (а) без учета и (б) с учетом сезонного хода средних течений; (в) – то же, что и (б), но для асимптотического коэффициента бокового перемешивания  $K$ . Для удобства сравнения область  $K_{\max}$ ,  $K > 8 \cdot 10^3 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$  оконтурена.

## Направление «ЦИКЛ УГЛЕРОДА И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОКЕАНЕ»

### Проект: Взаимодействие циклов углерода и серы в морях России

Руководители – академик РАН Иванов М.В., д.г.-м.н. Леин А.Ю.

Проведен сравнительный анализ скоростей биогеохимических процессов литогенеза и метаноокисления в морях из трех различных климатических зон – полярной, гумидной и аридной. Установлено, что в Белом море скорость метаногенеза максимальна в современных осадках мелководных районов (менее 70 м), где она составляет в среднем  $2000 \text{ нМ CH}_4 \text{ сут}^{-1}$ . В верхнеголоценовых осадках Балтийского моря максимальная скорость метаногенеза характеризует осадки на глубинах более 200 м. В осадках Балтики скорость метаногенеза примерно на порядок превышает скорость метаногенеза в Белом море. Полученные результаты позволяют выделить осадки Балтийского моря, расположенные в умеренном климате, как наиболее благоприятные для восстановительных микробных процессов по сравнению с полярным Белым и гумидно-аридным Каспийским морями, в частности, для образования диагенетического метана.

## Проект: Характеристика среды Арктического бассейна по биогеохимическим индикаторам

Руководитель – д.г.-м.н. Романкевич Е.А.

Установлено, что первичная продукция в арктических морях выросла за последние 12 лет с 250·106 до 360·106 т С в год, на 4.6% в год от средней величины, а потоки органического вещества на дно увеличились для отдельных морей от 5 до 12% в год. Начиная с 2011 года рост первичной продукции замедляется с тенденцией ее стабилизации. Показана принципиальная разница процессов выноса и распространения РОУ со стоком рек Енисея и Оби, которая связана с разной структурой маргинального фильтра этих рек, распространение вод р. Оби на большие расстояния в сравнительно тонком поверхностном слое и смешение вод Енисея с морскими водами по всей глубине на более коротком расстоянии от устьевой зоны.

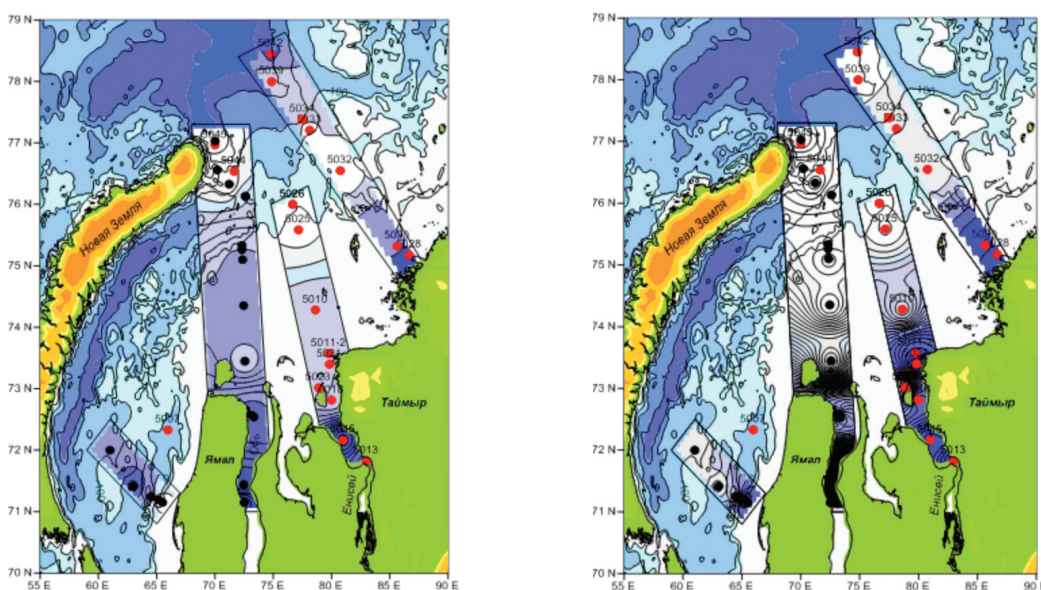


Рис. Распределение растворенного (слева) и взвешенного (справа) органического углерода на разрезах в Карском море.

## Проект: Инновационный подход к исследованию углеводородов в районах нефтегазодобычи

Руководитель – д.г.-м.н. Немировская И.А.

Представлены данные по содержанию и составу углеводородов (УВ) в арктических морях. Несмотря на высокие концентрации УВ в устьевых участках всех исследованных рек в Белом, Баренцевом, Карском Карского морях, признаки, характерные для нефтяного состава УВ, установлены только собственно в речных водах, то есть маргинальные фильтры рек Северной Двины, Оби и Енисея справляются с поступающими загрязнениями. Воды в нижнем течении рек Оби, Пура, Надыма, характеризуются как «чрезвычайно грязные», а воды р. Таз как «значительно загрязненные». В районе Штокманского газоконденсатного месторождения (ШГКМ) в Баренцевом море на фоне довольно высоких концентрациях органического вещества (концентрации Сорг изменялись от 0.38 до 4.02%) содержание УВ

в донных осадках оказалось низким (4–89 мкг/г). Произошло также снижение содержания алифатических УВ и ПАУ по сравнению с более ранними исследованиями (2000 и 2005 гг.). При этом в толще осадков увеличивались концентрации УВ в пересчете на сухую массу на фоне уменьшения содержания ОВ. Предполагается, что содержание и состав УВ формируют не седиментационные процессы, а высачивание УВ из толщи осадков и их преобразование на границе вода-дно.

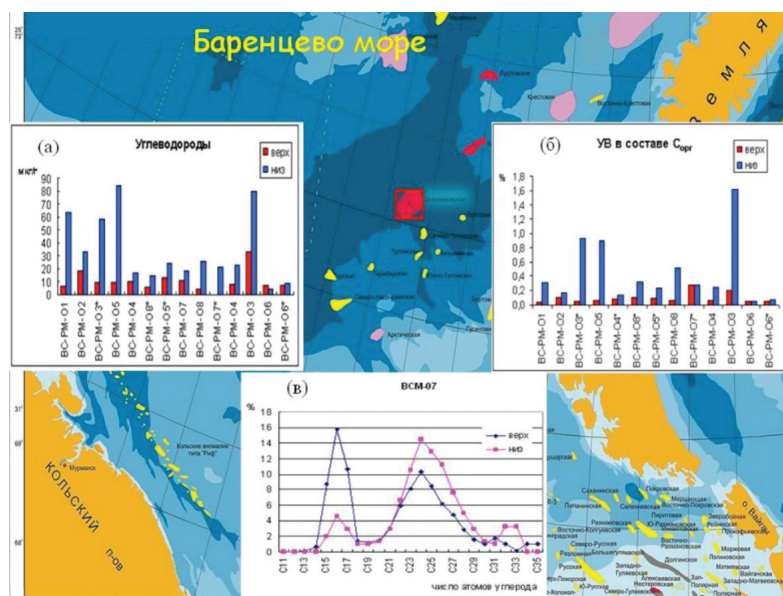


Рис. Изменение концентраций УВ (а), в составе  $C_{org}$  (б) и распределение алканов в составе УВ в верхнем и нижнем слое донных осадков (в) в Баренцевом море в районе Штокманского газоконденсатного месторождения (красный квадрат).

## Направление «ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ И РУДООБРАЗОВАНИЕ»

### Проект: Гидротермальные отложения Срединно-Атлантического хребта

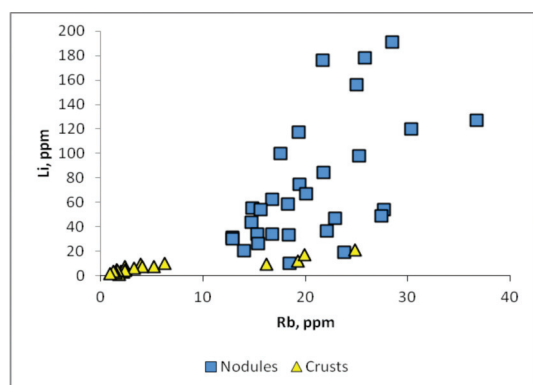
Руководитель – д.г.-м.н. Богданов Ю.А.

Анализ усредненных оценок содержания элементов-примесей в полиметаллических рудах САХ показал: на молодых вулканах Брокен Спур и Менез Гвен высокая концентрация селена; кобальт в заметных количествах присутствует в рудах полей Снейк Пит и Рейнбоу; концентрация никеля на три порядка величин выше в рудах поля Рейнбоу по сравнению с другими полями; по содержанию серебра выделяются руды поля Снейк Пит и Рейнбоу, в последнем также наблюдаются повышенные концентрации золота. Полученные оценки потока метана с гидротермальными флюидами показывают, что abiогенный метан является важным компонентом экосистемы гидротермальных полей срединно-океанических хребтов и придонных вод, вклад abiогенного метана в общий баланс метана в океане с учетом его микробного потребления составляет порядка  $10^9$  М.год<sup>-1</sup>.

## Проект: Генетические особенности и условия формирования железомарганцевых руд в океанах и морях

Руководитель – д.х.н. Дубинин А.В.

Получены данные по химическому составу Fe-Mn конкреций Капской котловины. Рассмотрено поведение щелочных элементов лития и рубидия в зависимости от содержания марганца и железа. Конкреции и корки накапливают различное количество лития и рубидия. В гидротермальных Fe-Mn корках содержания лития невысоки (1–20 г/т), тогда как гидротермальные



марганцевые корки обогащены литием (148–1422 г/т) и марганцем. Содержание лития может служить индикатором степени переработки марганцевых оксигидроксидов в раннем диагенезе для конкреций и гидротермальной поставки вещества для гидротермальных марганцевых корок.

Рис. Распределение лития и рубидия в Fe-Mn конкрециях и корках южной части Атлантического океана.

## Проект: Минеральные ресурсы: железомарганцевые руды и фосфориты

Руководитель – д.г.-м.н. Батулин Г.Н.

Проведено сопоставление микроэлементного состава современных морских и океанских углеродистых отложений со средним составом осадочных пород и черных сланцев, что позволяет получить новую информацию об условиях формирования углеродистых осадочных пород и путях их обогащения микроэлементами. Установлено, что современные и голоценовые углеродистые осадки Черного и Балтийского морей обогащены тем же комплексом микроэлементов, что и древние сланцы, которыми сложены мощные толщи пород с повышенной концентрацией урана, молибдена, ванадия и ряда других металлов. Выполнено комплексное исследование новой коллекции железомарганцевых конкреций и корок из арктического бассейна, в том числе с подводного Хребта Ломоносова, где обнаружены признаки редкометальной, возможно, эндогенной минерализации.

### Направление

## «ГЕОЛОГИЯ И ГЕОДИНАМИКА ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД ОКЕАНОМ»

## Проект: Геодинамика Арктического региона и возможные механизмы аномальной эмиссии метана на арктическом шельфе

Руководитель – член-корр. РАН Лобковский Л.И.

Создана геомеханическая модель погружения земной коры и модель земной коры

Арктического региона. При подходе аномальной мантии происходит разогрев литосферы и на её подошве появляется область со свойствами вязкой астеносферы. Увеличение температуры коры приводит к уменьшению механических характеристик земной коры. В пределах аномальной астеносферы вначале формируется конвективная ячейка. При максимальной скорости вращения ячейки 1,1 см/год максимальное погружение земной коры на 3 км в центральной части плюма происходит за 0,5 млн. лет. При этом погружении сопровождается поднятием земной коры до одного км на периферии плюма.

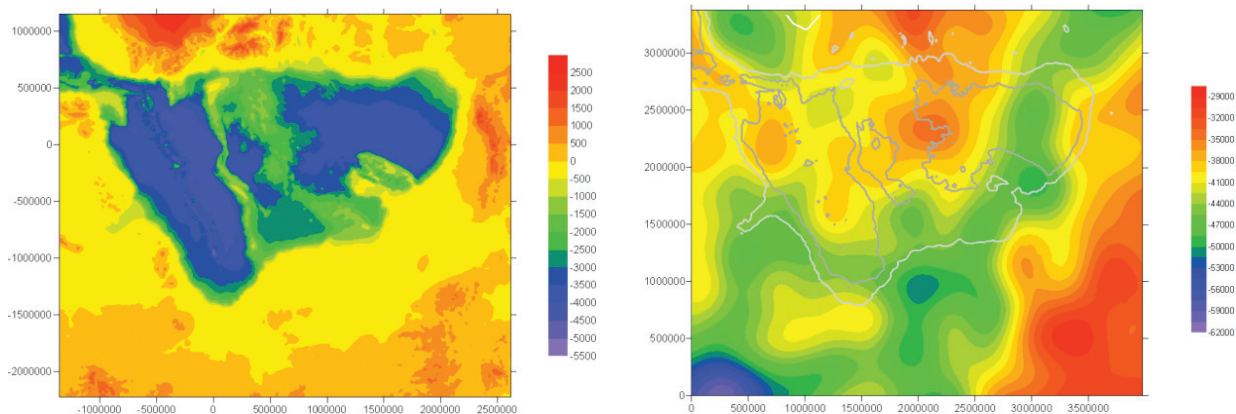


Рис. Батиметрия (слева) и верхняя граница астеносферы (справа) Арктического региона.

## **Проект: Изучение техногенной и природной сейсмичности в районах эксплуатации нефтегазовых сооружений на шельфе внутренних и окраинных морей России**

Руководитель – к.ф.-м.н. Ковачев С.А.

Наиболее опасным в сейсмическом отношении участком трассы газопровода «Южный поток» является шельф Российского сектора Черного моря, где пиковые горизонтальные ускорения PGA могут достигать 0.39 g или 9 баллов по шкале MSK-64. Донные сейсмологические наблюдения на шельфе Черного моря в районе Анапы показали очаги микроземлетрясений в мантии района на глубинах 40–80 км. Положение очагов позволяет предположить наличие процесса псевдосубдукции, что может определять доминирующий механизм очага сильнейших землетрясений района как взброс. Геодинамическая обстановка на месторождении им. Ю. Корчагина спокойная, предвестники опасных геодинамических явлений не обнаружены. Появление на поверхности нефтяных пятен объясняется сейсмическими воздействиями на геологическую среду от сильных региональных землетрясений с очагами, расположенными в районах Восточного Кавказа, Туркменистана и Закавказья. Обнаружены сигналы от микроземлетрясений, очаги которых приурочены к району Кравцовского месторождения.

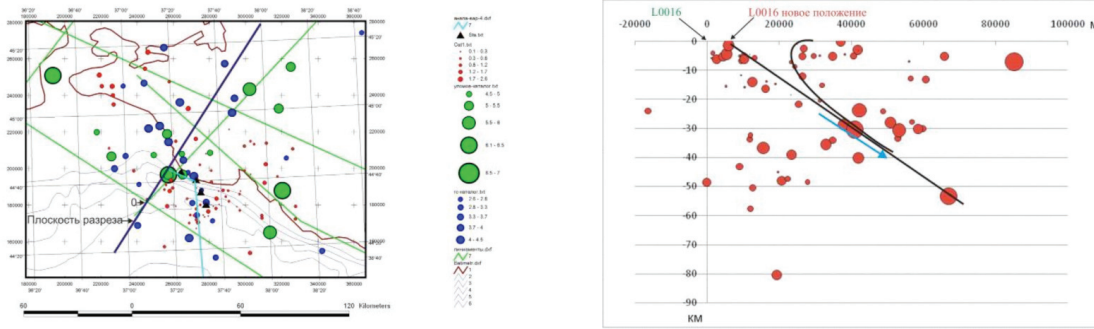
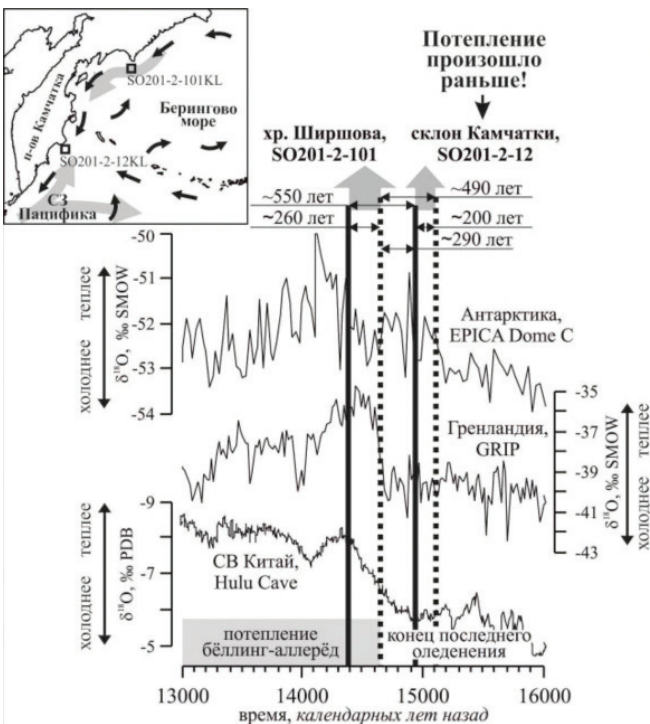


Рис. Слева: карта эпицентров микроземлетрясений Анапского полигона. Эпицентры микроземлетрясений показаны красными кружками. Зеленые кружки – эпицентры землетрясений из Специализированного каталога землетрясений Северной Евразии. Синие кружки – эпицентры землетрясений из каталога ГС РАН. Зеленые линии – сейсмические линеаменты. Справа: глубинный разрез с проекциями очагов микроземлетрясений на вертикальную плоскость с ориентацией вдоль синей прямой, показанной на рисунке слева.

## Проект: Биостратиграфия отложений и палеоокеанология морей России по микрофоссилиям

Руководители – д.г.-м.н. Бараш М.С., д.г.-м.н. Матуль А.Г.

На основе информации о распределении видов диатомовых водорослей и бентосных фораминифер описаны быстрые изменения палеоокеанологии на северо-западе субарктической зоны Тихого океана у побережий России. Для интервала резкого глобального потепления на переходе от последнего оледенения к голоцену 16–13 тысяч лет назад показана диахронность региональных природных событий – «запаздывание» палеоокеанологического сигнала между двумя соседними районами (окраина открытой Пацифики у Камчатки и западная часть полузамкнутого Берингова моря).



потепления на переходе от последнего оледенения к голоцену 16–13 тысяч лет назад показана диахронность региональных природных событий – «запаздывание» палеоокеанологического сигнала между двумя соседними районами (окраина открытой Пацифики у Камчатки и западная часть полузамкнутого Берингова моря). Сильное глобальное потепление после окончания последнего оледенения на приконтинентальной окраине СЗ Пацифики вначале отразилось на придонных водных массах, а затем с опозданием на 200–260 лет – на приповерхностной воде.

Рис. Изменения придонной (по бентосным фораминиферам – сплошная вертикальная линия) и приповерхностной (по диатомеям – пунктирная вертикальная линия) палеоокеанологии на фоне глобальных (Антарктика и Гренландия) и региональных (СВ Китай) палеоклиматических архивов. На карте: серые стрелки показывают современные придонные течения, черные стрелки – поверхностные течения.

## Проект: Исследование четвертичной геологии и палеоокеанологии Атлантического океана по субмеридиональным трансатлантическим геотраверсам

Руководитель – д.г.-м.н. Мурдмаа И.О., д.г.н. Иванова Е.В.

Исследования эрозионно-аккумулятивной деятельности придонных течений на континентальной окраине Южной Америки, а также во впадинах Срединно-Атлантического хребта показали широкое распространение контуритов на континентальном подножии. Доказана их связь с потоками донных антарктических вод. Обнаружен и обследован ранее не известный крупный контуритовый «Дрифт Иоффе» к северу от поднятия Рио-Гранде, состоящий из фораминиферовых осадков. Формирование дрифта связано с деятельностью восточной ветви потока Антарктических вод, выходящих из канала Вима в Бразильскую котловину. Угловые несогласия и перерывы в колонках донных осадков вероятнее всего отражают периоды глубокой эрозии за счет интенсификации придонных течений.

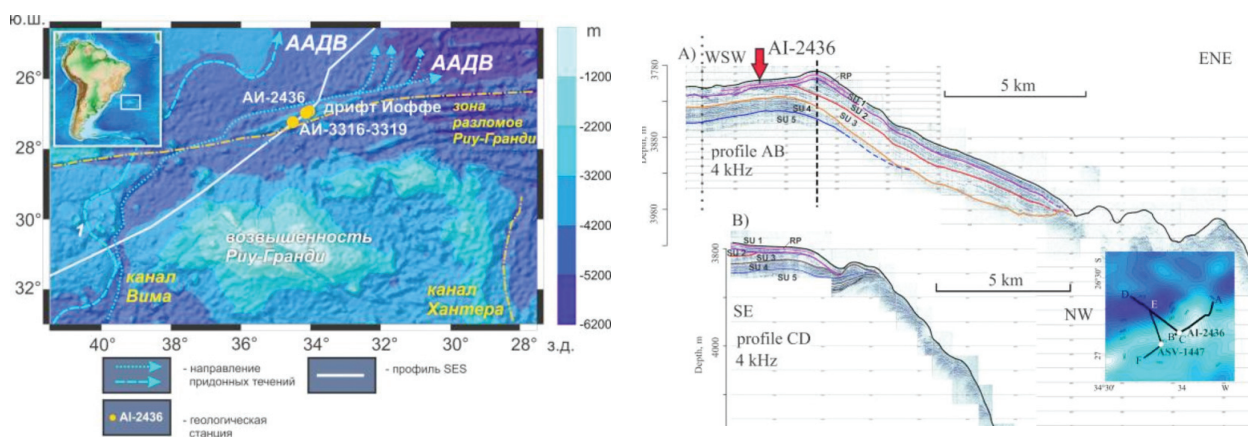


Рис. Слева: батиметрическая схема района дрифта Иоффе и направления придонных течений. Справа: фрагменты сеймопрофилей дрифта Иоффе. Положение профилей показано на врезке.

## Направление «ЭКОСИСТЕМЫ МИРОВОГО ОКЕАНА»

### Проект: Пространственная организация сообществ гидротермальных и метановых выходов

Руководитель – д.б.н. Галкин С.В.

Исследована пространственная структура гидротермальных ассоциаций Тихого и Атлантического океанов. Выявлены значительные качественные и структурные отличия гидротермальных ассоциаций разных температурных зон гидротермального поля. Видовой состав ассоциаций креветок и алвинеллид (высокотемпературная зона) представляет собой обедненный видовой состав ассоциаций митилид (изкотемпературная зона) в данном районе. Различия в составе гидротермальных ассоциаций в разных районах обусловлены в большей степени глубиной, чем расстоянием между районами и видом-эдификатором.



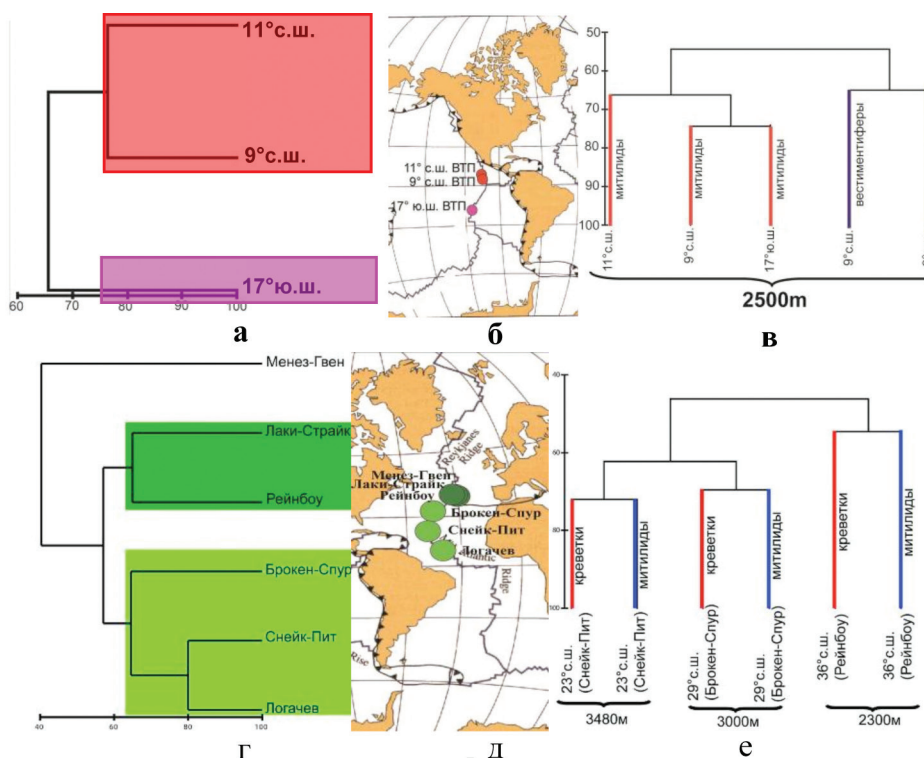


Рис. Сходство ассоциаций митилид из Тихого океана (а). Карта расположения районов (б). Сходства ассоциаций митилид, вестиментиферы и креветок на ВТП (в). Сходство ассоциаций митилид из Атлантического океана (г). Карта расположения районов (д). Сходство ассоциаций митилид и креветок на САХ (е).

## Проект: Мониторинг биоразнообразия морского льда Центрального Арктического бассейна

Руководитель – д.б.н. Мельников И.А.

Сравнение видового состава ледовой флоры Северного Ледовитого океана (СЛО) с аналогичными данным предыдущих наблюдений в этом же регионе показывает, что количество видов уменьшилось с 63 в 2007 до 27 в 2011 г. Выявлено значительное различие в видовом составе сезонных и многолетних льдов. В центральных районах СЛО происходит смена доминирования многолетних льдов сезонными льдами, что приводит к перестроению в составе и структуре биологических сообществ.

## Проект: Геоэкология градиентных зон Атлантики: гидротерм, придонного слоя, океанических фронтов

Руководитель – член-корр. РАН Верещака А.Л.

Изучено количественное распределение зоопланктона в различных глубинных зонах: эпи-, мезо-, бати- и абиссопелагиали. Биомасса мезопланктона максимальна в эпипелагиали (30–90 мг/м<sup>3</sup>) и последовательно убывает с глубиной (до 0.2–0.8 мг/м<sup>3</sup>). Биомасса макропланктона, наоборот, минимальна в эпипелагиали (2–3 мг/м<sup>3</sup>), последовательно возрастает в слое основного пикноклина (6–13 мг/м<sup>3</sup>) и промежуточной антарктической водной массе (13–47 мг/м<sup>3</sup>). Доля макропланктона в общей биомассе сетного планктона в столбе воды в Центральной

и Южной Атлантике примерно равной биомассе мезопланктона. Проанализированы 48 видов отряда Euphauseaceae, для 3 видов нуклеотидные последовательности данного фрагмента гена получены впервые. В результате проведенного филогенетического анализа для 3 видов был выявлен высокий уровень внутривидового генетического полиморфизма. На основании полученных результатов сформулировано предположение о существовании криптических (скрытых) видов для видов *Euphausia brevis*, *E. tenera* и *Nematoscelis atlantica*. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения более детального морфологического анализа для представителей данных видов из разных районов Мирового океана.

## Проект: Первичная продукция морских экосистем: региональные оценки и эколого-физиологические условия формирования

Руководители – к.б.н. Демидов А.В., к.б.н. Мошаров С.А.

Исследовано воздействие абиотических и биотических факторов на формирование первичной продукции (ПП) Карского моря. Основным фактором, лимитирующим фотосинтез в Карском море в осенний период, является уровень надводной и подводной освещенности. Величины ПП в столбе воды определялись главным образом уровнем ассимиляционной активности фитопланктона, а не его биомассой. Разработаны и верифицированы региональные интегрированные модели ПП Карского моря. Воспроизводимость алгоритмов возрастает при использовании в расчетах фотоадаптивных параметров фитопланктона.

## Проект: Пространственная организация ихтиоценозов Белого моря – биологические и гидрофизические аспекты

Руководитель – д.б.н. Евсеенко С.А.

В летний период в ихтиопланктоне заливов Белого моря доминируют личинки беломорской сельди (*Clupea pallasii marisalbi*). Изучение пространственного распределения личинок массовых видов показало, что основными факторами, определяющими форму и месторасположение их скоплений, являются локализация мест нереста и наличие и форма градиентных зон, образующиеся в результате взаимодействия вод с различной температурой и соленостью.

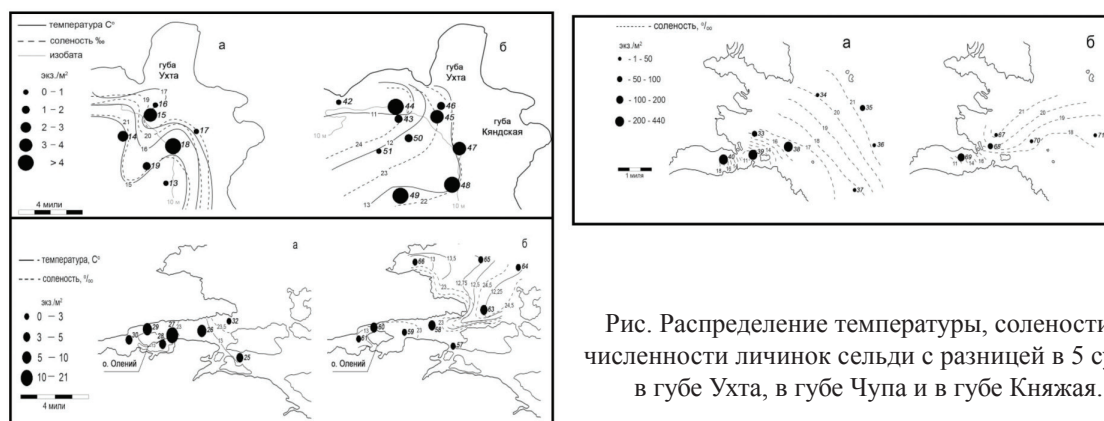


Рис. Распределение температуры, солености и численности личинок сельди с разницей в 5 суток в губе Ухта, в губе Чупа и в губе Княжая.

## **Проект: Колонизация глубин океана: пути расселения фауны и адаптационные механизмы**

Руководитель – д.б.н. Гебрук А.В.

Проанализированы морфологические и экологические адаптации у глубоководных голотурий Северной Атлантики. Используются данные по 103 видам, обитающим глубже 400 м. Показано, что в донных сообществах мягких осадков на Срединно-Атлантическом хребте доминируют бенто-пелагические (плавающие) голотурии, составляя 77–99% биомассы. По количеству видов на долю бенто-пелагических голотурий приходится от 50 до 75% всех видов голотурий в сообществах. Проанализированы также жизненные формы голотурий Северной Атлантики. Жизненные формы выделены на основе типа питания, степени подвижности и отношения к субстрату. По типу питания среди голотурии различают сестонофагов, депозитофагов и формы со смешанным типом питания. Тип подвижности определяется по отношению средней скорости перемещения к средней длине тела взрослых особей. По этому критерию выделены неподвижные ( $\sim 0 \text{ ч}^{-1}$ ), малоподвижные ( $< 1 \text{ ч}^{-1}$ ) и подвижные ( $> 1 \text{ ч}^{-1}$ ) формы. По отношению к субстрату выделяются бентосные эпифаунные, инфаунные, бенто-пелагические и пелагические формы. Исследованы особенности распределения жизненных форм голотурий по глубине. Показано (рисунок), что с возрастанием глубины увеличивается доля подвижных и бенто-пелагических форм, а также депозитофагов, уменьшается доля неподвижных форм, эпифауны и сестонофагов. Доля инфаунных и малоподвижных видов с глубиной меняется незначительно. Наибольшие изменения наблюдаются на глубине 1100 – 1400 м, этот горизонт соответствует нижней границе верхнебатиальной фаунистической зоны.

## **Проект: Взаимодействие физических и биологических процессов разного масштаба в морской пелагиали – роль в формировании структуры и продуктивности экосистем, трансформации и переносе вещества**

Руководитель – д.б.н. Флинт М.В.

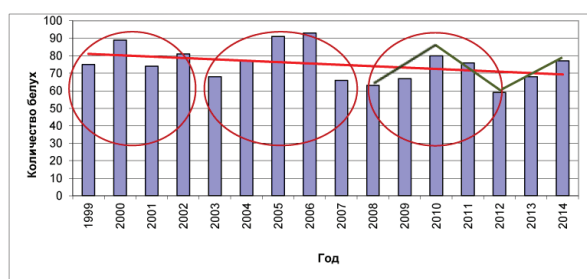
Впервые установлено, что шельфовые районы бассейна Карского моря отделены от его глубоководных районов мощной барьерной/фронтальной зоной – Фронтом желоба Св. Анны, блокирующий широтный обмен и процессы взаимодействия между экосистемами шельфа и глубоководного бассейна и препятствующий распространению вод, опресненных речным стоком и связанных со стоком аллохтонных материалов, включая загрязнения, за пределы Карского шельфа. Сама фронтальная зона является областью повышенной (до 5–10 раз) биологической продуктивности и концентрации биоты; локальная экосистема активно функционирует до глубокой осени на фоне сезонной стагнации. Долговременная стабильность положения Фронта желоба Св. Анны подтверждается тем, что с фронтом связаны важнейшие для Арктики биогеографические границы. Установлено, что сток Оби и Енисея не уходит за пределы Карского моря, а формирует в бассейне огромную поверхностную опресненную

«линзу», протяженность которой может достигать 250–300 км. Установлена наиболее вероятная локализация распресненной «линзы» – центральная и северо-западная часть Карского шельфа. Это естественное региональное свойство экосистемы и связанная с ним низкая продуктивность будет способствовать относительной малоущербности антропогенной нагрузки, связанной с разработкой сырья на Карском шельфе.

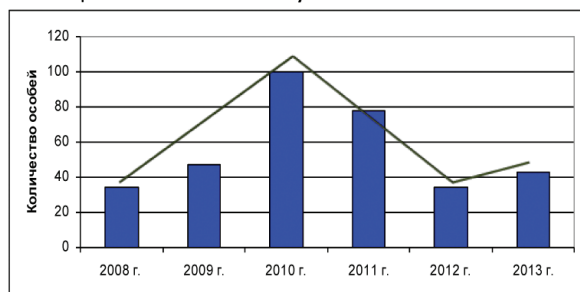
## **Проект: Исследования зависимости поведения, социальной структуры и акустической сигнализации китообразных от индивидуальных, этологических, популяционных, географических и антропогенных факторов**

Руководитель – д.б.н. Белькович В.М.

В результате ежегодного мониторинга была подтверждена выявленная ранее 4–5-летняя цикличность численности белух, посещающих акваторию Соловецкого летнего скопления, которая во многом обусловлена кормовой базой и климатическими условиями



Соловецкое летнее скопление белух



Мягостровское летнее скопление белух

(см. рис.). Вследствие антропогенного воздействия наблюдается тенденция общего снижения численности белух на исследуемой акватории. Выявлено синхронное изменение численности белух на акваториях Соловецкого и Мягостровского скоплений что также указывает на зависимость данного параметра от климатических условий.

Рис. Динамика численности белух в летних скоплениях (Онежский залив, Белое море).

## **Проект: Прибрежные донные сообщества морей Европейской России как индикатор климатических и антропогенных изменений окружающей среды**

Руководитель – д.б.н. Мокиевский В.О.

При исследовании многолетней динамики прибрежного макрозообентоса Черного моря обнаружены различия видового состава сменяющих друг друга сообществ, сопоставимые с межгодовыми различиями в пределах одного сообщества. Структурные изменения в прибрежных сообществах макрозообентоса Черного моря происходят в рамках одного фаунистического комплекса и определяются изменениями состава и численности доминирующих видов. Проведено сопоставление зональности бентосных сообществ в

эстуариях рек Оби и Енисея. Выявлено принципиальное сходство пространственной структуры бентосных сообществ эстуарных зон и построена общая схема, описывающая их зональность. Главной выявленной закономерностью обеих эстуарных зон является увеличение видового разнообразия всех изученных групп макробентоса на градиенте солёности. Выявлены группы видов, закономерно сменяющие друг друга на градиенте солёности. Выявлен параллелизм в распределении сообществ в исследованных эстуариях. Выделенные комплексы не вполне четко соответствуют изогалинам на момент съёмки: распределение бентоса отражает средние, а не моментальные значения основных факторов.

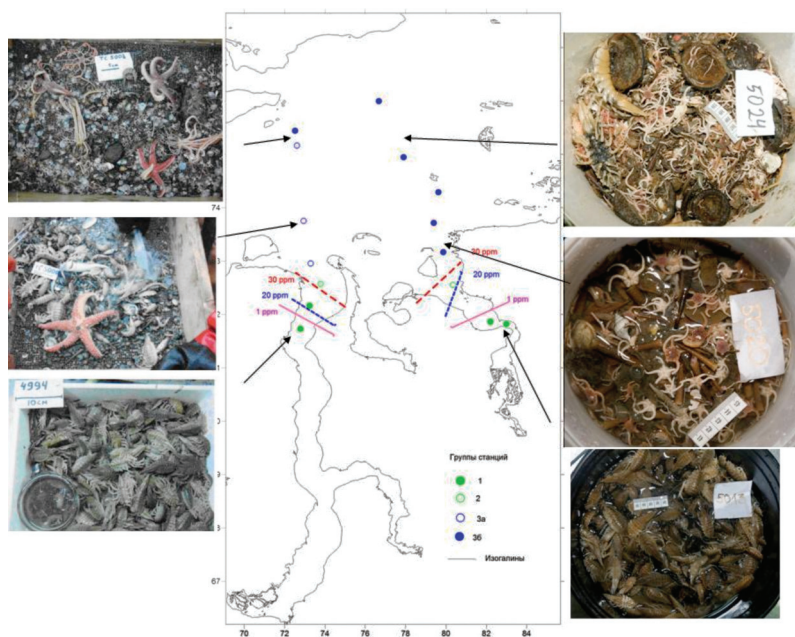


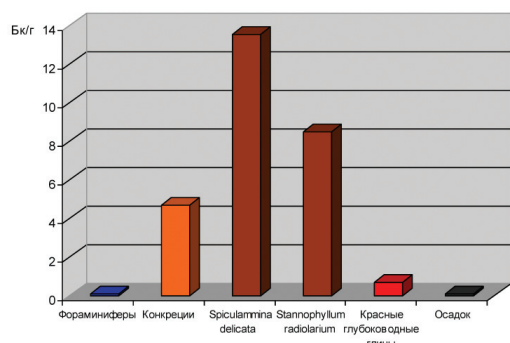
Рис. Схематическое распределение основных комплексов донной фауны в солоноватоводной, и морской частях эстуариев Оби и Енисея.

## Проект: Экологические и генетические последствия формирования зон повышенной радиоактивности в донных осадках Мирового океана бентосными организмами

Руководитель – д.г.н. Доманов М.М.

Исследовано содержание естественных радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в бентосных организмах северо-восточной зоны Тихого океана. Показана высокая изменчивость концентраций радионуклидов в объектах среды обитания бентосных организмов и непосредственно в них самих. Повышенное содержание  $^{226}\text{Ra}$  в придонном слое воды, характерное для этого района, вызывает существенное увеличение концентрации радионуклидов в бентосных организмах и сопровождается увеличением дозовой радиационной нагрузки на донные организмы. Радиоактивность простейших группы *Protista* является самой высокой среди всех измеренных образцов бентосных организмов. Содержание  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в этих простейших организмах зависит от вида ксенофиофории, состава материала, используемого ими для агглютинации и концентрации радионуклида в среде обитания

организма. Высокое содержание естественных радионуклидов в ксенофиофориях является одним из факторов, определяющих уровень радиационной нагрузки для бентосного сообщества в целом. Ксенофиофории локально концентрируют Ba и  $^{226}\text{Ra}$  в зоне своего обитания, создавая неоднородности их распределения в донных осадках. Рассмотрены механизмы



концентрирования  $^{226}\text{Ra}$  ксенофиофориями в форме кристаллов барита ( $\text{BaSO}_4$ ), что важно существенно для оценки роли этого процесса в распределение Ba и  $^{226}\text{Ra}$  в донных осадках абиссальной зоны.

Рис. Активность  $^{226}\text{Ra}$  в ксенофиофориях и осадках в регионе Клариян-Клиппертон.

## Проект: Принципы формирования гидрохимического режима прибрежных акваторий океана, климатические и антропогенные составляющие.

Руководитель – к.г.н. Маккавеев П.Н.

Завершен 6-ти летний мониторинг в прибрежной зоне Большого Сочи. Показано, что в районе выноса рек Мзымта, Кудепста и Сочи, имеет место «вторичное» накопление органического вещества, связанное не с аллохтонным выносом, а скорее со значительным поступлением из рек биогенных элементов, стимулирующих первичную продукцию на внешней границе зоны смешения. Показано, что слишком высокие значения содержания растворенного органического углерода свидетельствуют либо о значительном антропогенном загрязнении органическим веществом (например, р. Битха), либо об эвтрофикации, в то время как слишком низкие – о снижении биологической деятельности, о «безжизненности» вод (например, р. Мзымта). Среднее содержание терригенной взвеси и концентрация кремния и нитритов в морской воде вблизи устья р. Мзымта более чем удвоилось за последние 6 лет. Содержание в воде растворенного кислорода, уменьшилось, и сегодня приходится констатировать состояние придонных вод близкое к гипоксии. Размеры и расположение загрязненных морских областей кардинально меняются в течение нескольких дней в зависимости от интенсивности ветра.

## Проект: Роль гидрологических барьеров в видообразовании морской фауны: изучение молекулярно-генетическими методами

Руководитель – к.б.н. Ступникова А.Н.

Изучена барьерная роль крупных океанических фронтов Южного океана в изоляции популяций зоопланктона. Проанализированы результаты синхронных измерений

гидрофизических параметров разных гидрологических зон Атлантического сектора Южного океана и полиморфизма пяти массовых видов мезопланктона. Совместный анализ митохондриальных и ядерных генетических маркеров и морфологических признаков для мономорфных ранее видов-космополитов копеподы *Metridia* cf. *lucens* и хетогнаты *Eukrohnia* cf. *hamata* позволил доказать существование близнецовых видов в пределах Южного океана. Показано, что благодаря активному трансфронтальному переносу океанические фронты проницаемы для большинства видов зоопланктона и не являются физической преградой для потока генов между популяциями.

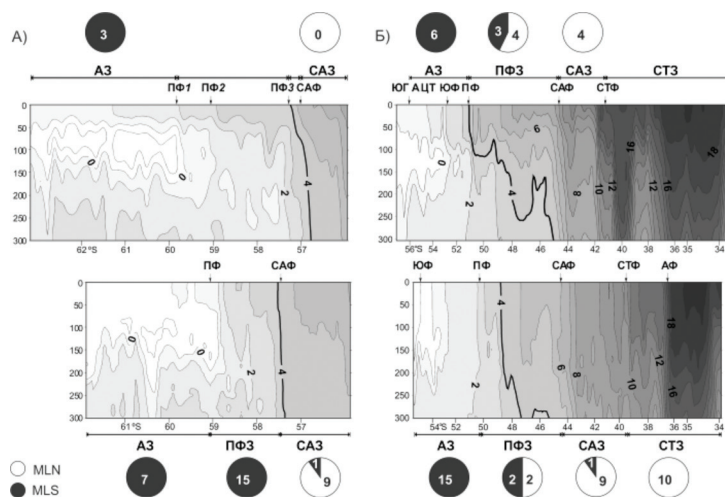


Рис. Соотношение близнецовых видов MLN и MLS комплекса *Metridia lucens* в разных гидрологических зонах и распределение температуры в западной (А) и восточной (Б) частях Атлантического сектора Южного океана антарктическим летом (сверху) и антарктической весной (снизу). На рисунке отмечены океанические фронты.

## Направление «КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ»

### Проект: Трансевропейский меридиональный морской эколого-геохимический разрез

Руководитель – академик РАН Лисицын А.П.

Получены данные о количественном распределении (содержания и потоках), а также о минералогии взвеси, составе ее биогенной части, геохимии, гранулометрии, свойствах природных частиц и загрязнений в атмосфере, в водах смешения рек с морем (в маргинальных фильтрах), в толще вод моря, в морских льдах и снеге, биоте и в донных осадках, а также в природных архивах водосборного бассейна. Показало, что Белое море является как бы мегаполигоном, на котором удалось отработать новый подход к изучению процессов седиментации. Установлено, что характер процессов современного осадконакопления в Каспийском море, расположенном на стыке гумидного и аридного природных поясов, существенно отличается под влиянием широтной климатической зональности.

**Программа Президиума РАН № 4 «Природная среда России:  
адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и  
развития атомной энергетики»**

**Проект: Диагноз и моделирование динамики  
экстремальных атмосферных циклонов под влиянием  
океана и оценка связанных с ними негативных последствий**

Руководитель – член-корр. РАН Гулев С.К.

Созданы долговременные архивы циклонических траекторий над Северным полушарием на основе использования данных современных реанализов, включая высокоразрешающий Арктический реанализ ASR. Это позволило получить наиболее полное на сегодня количественное описание циклонической активности и установить механизмы формирования экстремальных циклонических образований в средних широтах. Среди этих механизмов особое внимание было уделено диабатическим процессам на поверхности океана. Рассмотрены механизмы формирования экстремальных циклонов взрывного углубления над областями экстремальных потоков тепла. Прикладное значение проведенных исследований заключается в создании технологии оперативного диагноза и прогноза экстремальных погодных явлений на территории Российской Федерации и разработке рекомендаций по минимизации рисков и оптимизации стратегического планирования с учетом климатических изменений. Разработанные технологии оперативного мониторинга, диагноза и прогноза экстремальных погодных явлений будут переданы для использования в учреждения Росгидромета Минприроды России, а также будут использоваться для планирования мероприятий по минимизации рисков и оптимизации деятельности Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ. Рекомендации по оптимизации стратегического планирования будут переданы Минэкономразвития РФ и региональным органам власти РФ и будут использоваться для долговременного стратегического планирования отраслей экономики и развития регионов с учетом изменений интенсивности и частоты экстремальных климатических событий в условиях меняющегося климата.

**Программа Президиума РАН № 19 «Фундаментальные проблемы  
нелинейной динамики в математических и физических науках»**

**Проект: Интегрируемость двумерной гидродинамики со  
свободной поверхностью**

Руководитель – д.ф.-м.н. Бадулин С.И.

С помощью численных методов исследованы статистические свойства развивающейся из конденсатного решения модуляционной неустойчивости в рамках классического нелинейного уравнения Шредингера (НУШ). Показано, что в нелинейной стадии модуляционной неустойчивости моменты амплитуд осциллируют вокруг своих асимптотических значений по гармоническому закону. Амплитуда этих осцилляций стремится к нулю со временем  $t$



как  $t^{-3/2}$ , фаза осцилляций содержит нелинейный сдвиг фаз убывающий как  $t^{-1/2}$ , и частота осцилляций равна удвоенному максимальному инкременту неустойчивости. Асимптотические значения моментов амплитуд совпадают со значениями моментов для рэлеевской функции плотности вероятности появления амплитуд волн (PDF). Показано, что подобное поведение моментов обусловлено эволюцией PDF осцилляторного типа, когда PDF флюктуирует вокруг фиксированной рэлеевской PDF и величина этих флюктуаций стремится к нулю со временем. В частности, показано, что для определенных областей амплитуд PDF имеет ту же зависимость от времени, что и моменты амплитуд.

**Программа Президиума РАН № 27 «Фундаментальный базис инновационных технологий прогноза, оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России»**

**Проект: Ресурсные оценки метана в форме морских газовых гидратов**

Руководитель – к.г.-м.н. Егоров А.В.

Проанализированы 4 принципиально отличающиеся друг от друга метода глобальной оценки ресурсов метана в морских газовых гидратах, дающих цифры отличающиеся более чем на 2 порядка. По литературным данным на сегодняшний день наиболее вероятна глобальная оценка запасов  $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$ . Проблема ресурсной оценки осложняется отсутствием на сегодняшний день апробированной технологии подводной добычи гидратного метана и пониманий устройства залежей. По мере вовлечения в анализ новых данных прослеживается тенденция к уменьшению глобальной оценки. Расхождение с глобальной оценкой запасов на два порядка обусловлено тем, что в последнюю включены рассеянные газовые гидраты, которые невозможно добывать. Для концентрированных форм газовых гидратов наиболее вероятная оценка  $2 \cdot 10^{14} \text{ м}^3$ .

**Программа Президиума РАН № 28 «Проблемы происхождения жизни и становления биосферы»**

**Проект: Формирование зон повышенной радиоактивности в донных осадках Мирового океана бентосными организмами. Экологические и генетические последствия**

Руководитель – д.г.н. Доманов М.М.

В работе, выполненной на культуре бактерий, выделенных из морской воды Баренцева моря, исследовано изменение численности и размерной структуры популяции бактерий, развивающихся в условиях радиационного горемезиса. Показано, что влияние повышенного радиационного фона (морской барит, содержащий  $^{226}\text{Ra}$ ) проявляется не только в виде

увеличения общей численности бактерий, но и в развитии более крупных колоний. Общая площадь колоний бактерий в эксперименте увеличивается в 1,3–1,4 раза как за счет роста числа отдельных колоний, так и за счет увеличения размера колоний. Полученные результаты подтверждают предположение, что в организмах ксенофиофорий, простейших группы Protista, концентрирующих в себе морской, обогащенный радием барит, проявляется эффект радиационного гормезиса, который обеспечивает повышенную продуктивность бактериального сообщества, биомасса которого служит дополнительным источником пищи для ксенофиофорий. Можно ожидать, что эффект радиационного гормезиса проявляется не только в развитии бактериального сообщества, развивающегося на стеркомах ксенофиофорий, но и в других морских организмах, содержащих повышенное количество барита.

## **Проект: Влияние условий среды на развитие и эволюцию организмов океана**

**Руководитель – д.г.-м.н. Бараш М.С.**

Рассмотрены влияние и взаимосвязь факторов и условий среды, оказавших критическое влияние на великое массовое вымирание в позднем девоне у границы франского и фаменского веков (372.2 млн. лет назад), и в конце девона (358.9 млн. лет назад). В качестве основных причин вымирания предложены тектонические движения, колебания климата и уровня моря, вулканизм, столкновение Земли с космическими телами (импакт-события). Абиотические факторы через гидрологическую структуру и гидрохимический состав водной толщи влияли на развитие биоты океана. Тектоническим фоном вымирания было существование Гондваны у Южного полюса и развитие главного акадско-ранневариссийского складчатого пояса. В числе климатических последствий глобальных природных изменений были парниковый эффект, сильное потепление, затемнение атмосферы, препятствующее проникновению ультрафиолетовых лучей и фотосинтезу, стагнация океана, аноксия. В итоге сокращалась биопродуктивность, разрушались пищевые цепи, что приводило к вымиранию значительной части биоты.

## **Проект: Генетическая связь углеродистых и фосфатных отложений в истории Земли**

**Руководитель – д.г.-м.н. Батулин Г.Н.**

Продолжено исследование основного и микроэлементного состава современных и древних углеродистых и фосфатных отложений, обогащенных органическим веществом и микроэлементами, включая тяжелые металлы, представляющие практический интерес. Параллельно детально исследовались фосфоритовые отложения, которые нередко сопряжены в пространстве и времени с углеродистыми сланцами. Новые данные подтверждают, что параллельное накопление в осадочных бассейнах углеродистых и фосфатных отложений является закономерным процессом, связанным с биопродуктивностью, и в очередной раз опровергает хомогенную гипотезу генезиса фосфоритов. Продолжалось исследование состава свежей вулканической лавы и вулканических пеплов камчатских и исландских вулканов как потенциальных источников редких металлов в современных осадках и рудных образованиях. Установлена близость основного и микроэлементного состава миоценовых фосфоритов

Грузии и современных фосфоритов, открытых ранее Г.Н. Батуриным на шельфе Намибии, что опровергает мнение грузинских геологов (Дзоценидзе и др.) о вулканогенном генезисе фосфоритов. На рудном поле "Петербургское" (рифтовая зона в Атлантике) установлена наряду с сульфидной также оксидная марганцевая минерализация, что расширяет диапазон рудоносности рифтовых зон океана.

## Проект: Сравнительный анализ эволюции фауны в фоновых и экстремальных биотопах

Руководитель – член-корр. РАН Верещака А.Л.

Построено филогенетическое древо эволюции ракообразных в фоновых биотопах на примере сергестид. Одновременно выделено 8 новых родов. (см. рис.). Описаны особенности эволюции креветок в бентопелагиали, эпи-, мезо- и батипелагиали.

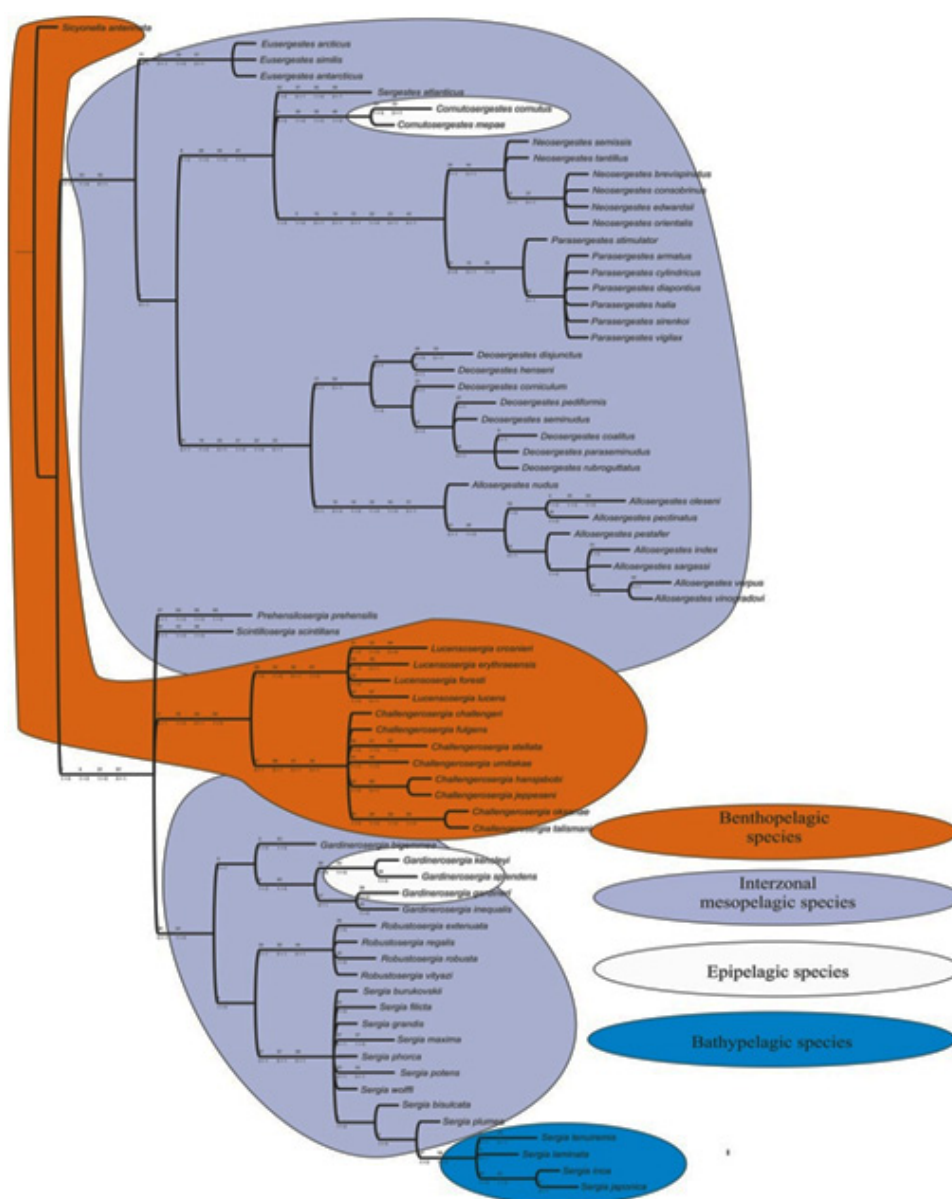


Рис. Эволюция креветок-сергестид в бентопелагиали (коричневый цвет), эпипелагиали (прозрачный), мезопелагиали (голубой) и батипелагиали (синий цвет).

## Программа Президиума РАН № 30 «Живая природа: современное состояние и проблемы развития»

### Проект: Оценка адаптивной способности чужеродного вида к натурализации и его стратегии к расселению на примере вселенца в южные моря Евразии гребневика *Mnemiopsis leidyi*

Руководитель – д.б.н. Шиганова Т.А.

Продолжены экспериментальные работы по изучению эколого-физиологических параметров гребневика *Mnemiopsis leidyi* на базе Института океанологии Болгарской Академии наук (Варна). Экспериментальные данные показали, что при высокой концентрации гребневика *M. leidyi* снижается содержание кислорода, кремнекислоты, рН и повышается содержание минерального фосфора, аммония, нитратов и нитритов, органического углерода. В результате экспериментального моделирования происходящих процессов было установлено, что мнемииопсис, выделяя слизь, стимулирует рост ее потребителей – бактерий. Что привело к увеличению численности консументов бактерий – силиат и гетеротрофных флагеллят. Увеличение биогенных элементов, более всего  $\text{NH}_4$ , экскретируемого мнемииопсисом, также дополнительно стимулирует развитие фитопланктона. С увеличением фитопланктона увеличиваются значения первичной продукции.

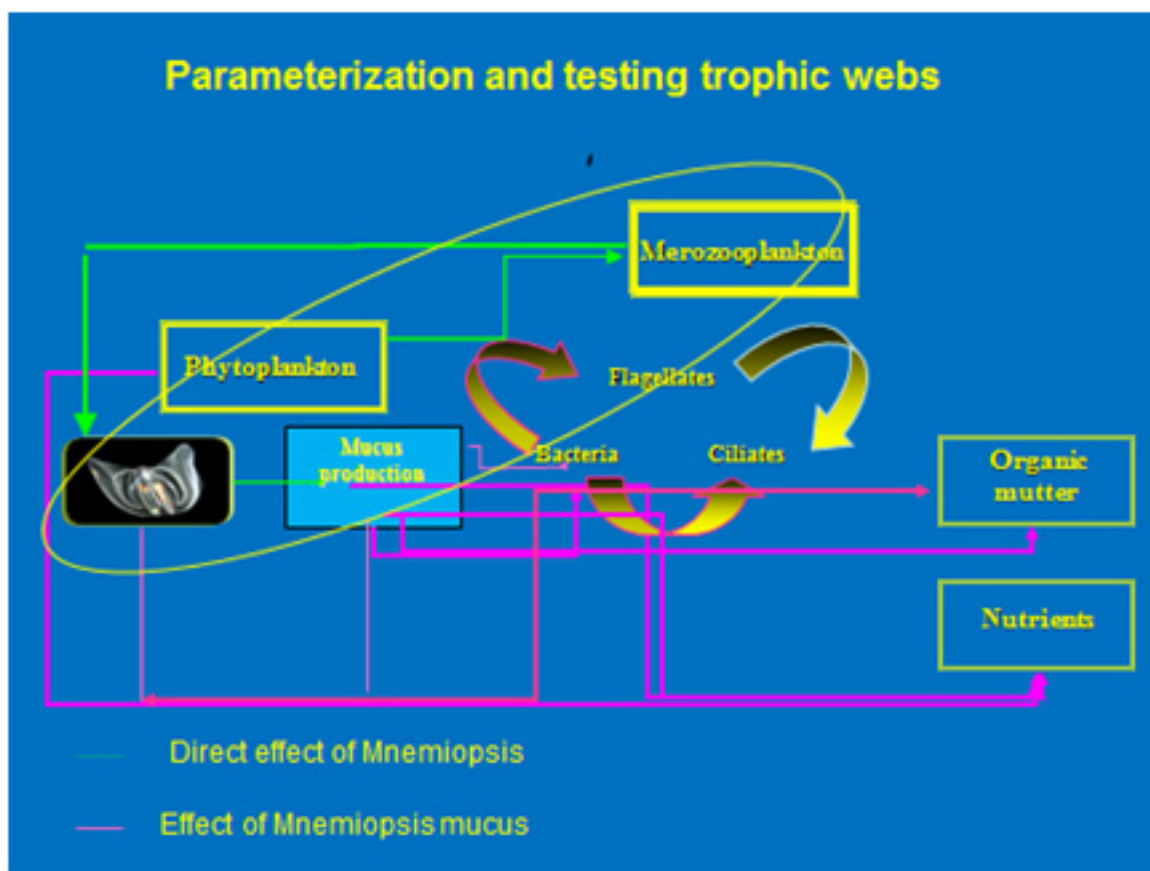


Рис. Схема воздействия *Mnemiopsis leidyi* и выделяемой им слизи на зоопланктон и низшие трофические уровни.

## **Проект: Современное состояние и межгодовая динамика ихтиопланктонного комплекса Белого моря.**

Руководитель – д.б.н. Евсеенко С.А.

На основе анализа ранее полученных данных о видовом составе и численности зоопланктона в основных районах обитания личинок беломорской сельди установлено, что обилие личинок не зависит от общей численности пищевого зоопланктона. Личинки сельди на изученных полигонах (в нерестовых заливах), даже в местах своей пиковой численности, не оказывали существенного влияния на количество кормового зоопланктона, что свидетельствует об избыточной кормовой базе. В то же время, статистический анализ размерного состава личинок беломорской сельди и размерно-видового состава мезозоопланктона в местах их концентрации показал достоверную положительную корреляцию между количеством личинок длиной менее 7 мм и численностью науплиусов копепод длиной 0.1–0.2 мм (губа Чупа), а также между числом личинок сельди из размерной группы более 7 мм, и числом зоопланктонных организмов длиной 0.5–0.6 мм (губа Княжая). Анализ количества личинок сельди в местах их концентрации в июне показал его сильное снижение в Кандалакшском заливе в течение 5–6 дней. В местах наибольших скоплений личинок их количество снизилось от 3–7 (губа Княжая) до 17 раз (губа Чупа). При этом концентрация пищевых организмов оставалась относительно постоянной и не могла являться фактором, определяющим численность личинок. К числу факторов влияющих на численность личинок, относится пресс хищников. Показано, что численность медуз существенно влияет на обилие личинок сельди. При относительном обилии зоопланктона в исследованных нерестовых губах, пищевая конкуренция между медузами и личинками сельди, вероятнее всего, отсутствует; снижение количества личинок сельди в местах скопления медуз обусловлено прямым хищничеством последних.

## **Программа Президиума РАН № 43 «Фундаментальные проблемы математического моделирования»**

### **Проект: Суперкомпьютерные технологии математического моделирования опасных гидрометеорологических явлений в Мировом океане и на морях России в условиях меняющегося климата.**

Руководитель – член-корр. РАН Гулев С.К.

Проведены эксперименты для наиболее значительных экстремальных гидрометеорологических событий последних десятилетий на Черном и Баренцевом морях с разрешениями 6–9 км для внешних областей и несколько сотен метров для внутренних областей. Новороссийская бора – одно из самых интенсивных метеорологических явлений на территории России. Это холодный кататический ветер, дующий с гор на Новороссийское побережье Черного моря. Скорость такого ветра обычно 30 м/с, а падение температуры около 15°C. Такое явление носит локальный катастрофический характер и значительно

влияет на структуру течений и состояние поверхности Черного моря. Раз в несколько лет случается экстремально интенсивная бора, в которой скорость ветра превышает 40 м/с, а падение температуры у побережья составляет до 25°C. Такой экстремальный случай был исследован при помощи численного моделирования (см. рис.). Хорошо видна область теплого и влажного морского воздуха, в которую, через небольшой горный массив, вторгается холодная арктическая воздушная масса (см. рис. 1). На этом же рисунке красной линией показано направление для вертикального профиля потенциальной температуры, изображённого на рисунке (2). На этом рисунке следует обратить внимание на то, что мощность холодного воздуха не превышает полтора км. Оба рисунка полностью совпадают с существующими гипотезами развития боры. На рисунке (3) изображена аэрологическая диаграмма на основе модельных данных в точке с координатами метеорологической станции г. Новороссийска. Хорошо виден мощный слой неустойчиво стратифицированного воздуха.

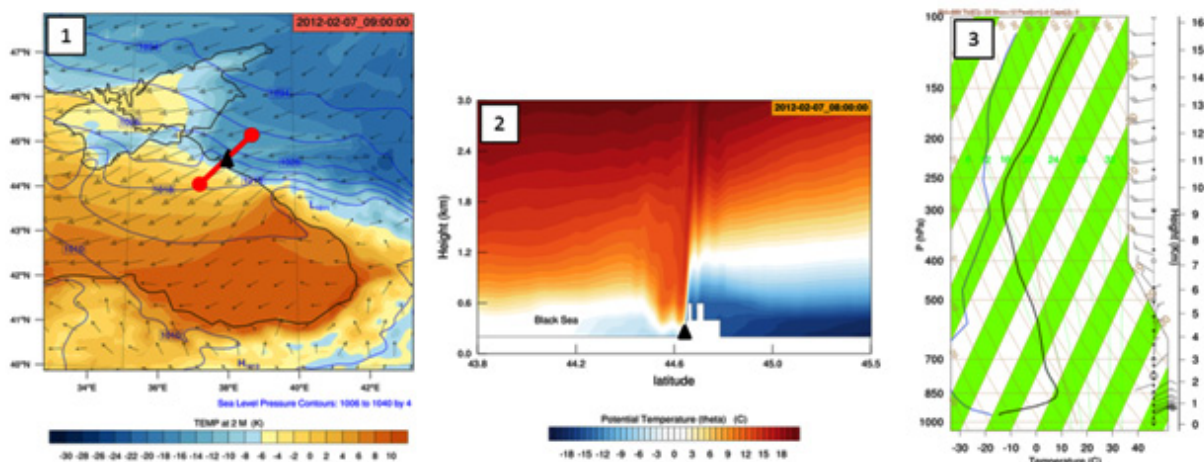
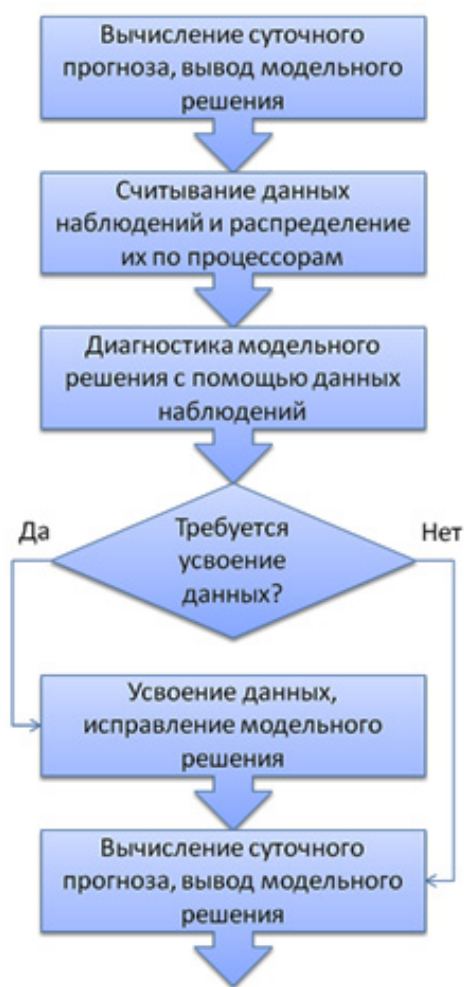


Рис. Результат моделирования экстремальной боры в момент максимальной интенсивности (7 Февраля 2012 г. 7:09 UTC). Слева поле температуры на 2м (1), в центре вертикальный профиль потенциальной температуры по разрезу (2), отображенному на 1, и вертикальная диаграмма состояния атмосферы (3) в точке с координатами метеостанции г. Новороссийск (треугольник на 1).

**Проект: Разработка технологии сверхвысокоразрешающего математического моделирования глобального океана с усвоением массовых данных аэрокосмического мониторинга для решения задач прогноза погоды и климата на массивно-параллельных вычислительных системах**

Руководитель – член-корр. РАН Ибраев Р.А.

Решается задача разработки технологии сверхвысокоразрешающего математического моделирования глобального океана с усвоением массовых данных аэрокосмического мониторинга для прогноза погоды и исследований климата на массивно-параллельных вычислительных системах. В настоящее время для оперативного средне- и долгосрочного



прогноза погоды высокого пространственного разрешения требуются компьютерные мощности порядка  $10^4$ – $10^5$  вычислительных ядер. Их эффективное использование невозможно без программных технологий массивного параллелизма. Разработана основа вычислительной технологии сверхвысокоразрешающего математического моделирования глобального океана с усвоением массовых данных аэрокосмического мониторинга методом объективного анализа. Расчёт динамики океана осуществляется моделью Мирового океана ИВМ–ИО, ввод и вывод данных – Программным комплексом совместного моделирования. Разработана вычислительная технология подкачки массовых данных аэрокосмических наблюдений NASA и НИИ «Аэрокосмос». Созданная совместная система моделирования и усвоения данных успешно работает на суперкомпьютере «Ломоносов» (МГУ) и масштабируется на  $\sim 10^4$  вычислительных ядрах.

Рис. Принципиальная схема работы совместной системы моделирования и усвоения данных для прогноза состояния океана.

## Программа Президиума РАН № 44 «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации»

**Проект: Седиментологические и биогеохимические исследования снежно-ледяного покрова, водной толщи, донных осадков, газогидратов и эмиссии метана в морях западного сектора Российской Арктики.**

Руководитель – академик РАН Лисицын А.П.

Получены новые данные о количественном распределении, составе и потоках рассеянного осадочного вещества в атмо-, гидро-, крио- и седиментосфере морей западного сектора Российской Арктики. Исследованы биогеохимические процессы в маргинальных фильтрах рек, впадающих в моря западного сектора Российской Арктики, и в тонком слое на границе раздела придонной воды и донных осадков, о роли биоты в процессах современного осадконакопления, о степени загрязнения природной среды моря тяжелыми металлами и углеводородами.

## **Проект: Разработка новой геодинамической модели эволюции Арктического региона на основе представлений тектоники деформируемых литосферных плит**

Руководитель – член-корр. РАН Лобковский Л.И.

Разрабатываемая в рамках настоящего проекта новая геодинамическая модель эволюции литосферы Арктики основывается на современных данных сейсмической томографии и их гидродинамической интерпретации в виде представления о вынужденной горизонтально протяженной верхнемантийной конвекции под Арктикой и Северо-Восточной Азией, связанной с непрерывным конвейерным погружением Тихоокеанской литосферы в зонах субдукции Алеутского, Курило-Камчатского и Японского глубоководных желобов. Выполнены первые численные эксперименты различных сценариев развития нестационарной верхнемантийной конвекции, связанной с погружением литосферы в зонах субдукции. Показан гидродинамический механизм миграции островной дуги в сторону океана, развития задугового рифтинга и спрединга, рифтогенеза более дальней области континента, примыкающей к задуговому бассейну. Установлена периодическая смена направления миграции дуги (от движения в сторону океана к сближению с континентом), смена режимов задугового растяжения и сжатия в зависимости от угла наклона погружающейся литосферы (под континент, вертикально вниз или под океанскую литосферу). Предложенная модель дает физический механизм мелового растяжения литосферы Американо-Азиатского бассейна с образованием системы хребтов Альфа-Менделеева и сопряженных с ними котловин Макарова и Подводников, а также естественным образом объясняет возникновение крупной магматической провинции в центральной Арктике (вместо традиционного Арктического плюма в модели описывается восходящий поток верхнемантийной ячейки, компенсирующий нисходящий поток вещества, несущий погружаемую литосферу).

## **ПРОГРАММЫ ОНЗ РАН**

### **Программа ОНЗ-1 «Геологическое изучение и нефтегазоносность Арктики (территории и акватории)»**

#### **Проект: Геодинамическая эволюция нефтегазоносных бассейнов Карско-Баренцевоморского шельфа России**

Руководитель – член-корр. РАН Лобковский Л.И.,  
отв.исп. – д.г.-м.н. Сорохтин Н.О.

Изучение пространственно-временных закономерностей эволюции структурно-вещественных комплексов Карско-Баренцевоморского шельфа России и его обрамления позволило выделить четыре возрастных этапа нефтегенерирующих процессов и определить генетические особенности формирования нефтегазоносных бассейнов региона. К наиболее ранним потенциально нефтегазоносным образованиям региона следует относить развитые в зоне сочленения Русской плиты с Тимано-Печорской и Баренцевоморской литосферными



плитами структурно-вещественные комплексы рифея (Варангер-Тиманская зона). В результате закрытия океана Япетус в раннем ордовике – позднем девоне (505–362 млн. лет) и формирования складчатой системы каледонид, возникли потенциально нефтегазоносные площади, локализованные в западной части Баренцевоморской плиты и к северу от Балтийского щита. Еще позже, при закрытии Палеоуральского океана в раннепермское – раннетриасовое время (290–241 млн. лет) были сформированы нефтегазоносные области к западу и востоку от Уральской складчатой системы по линии Полярный Урал – Пай-Хой – Новая Земля – п-ов Таймыр. Четвертый и завершающий этап формирования нефтегазового потенциала региона связан с зоной накопления углеводородов как биогенного, так и абиогенного (газогидратного) типов в основании материкового склона на пассивной окраине континента в обрамлении Северного Ледовитого океана в кайнозое (55–0 млн. лет).

Расположенные в пространстве нефтегазоносные бассейны и провинции разделены на два крупных генетических типа (см. рис.). К первому можно отнести те, которые в процессе эволюции нефтегазоносных бассейнов претерпели один (каледонский) или два (каледонский и герцинский) этапы тектоно-магматической активизации, а ко второму только один – герцинский. Кроме этого в пределах южной части Баренцево-Северо-Карской и Тимано-Печорской провинций выделяется самостоятельная зона потенциального нефтегазонакопления рифейского возраста, что подчеркивает ее уникальность и возможность существенного приращения УВ потенциала региона. Эта область примечательна тем, что процессы генерации углеводородного сырья в ней протекали на протяжении наиболее продолжительного времени, а общий потенциал был сформирован в результате проявления трех тектоно-термальных эпох: байкальской, каледонской и герцинской.

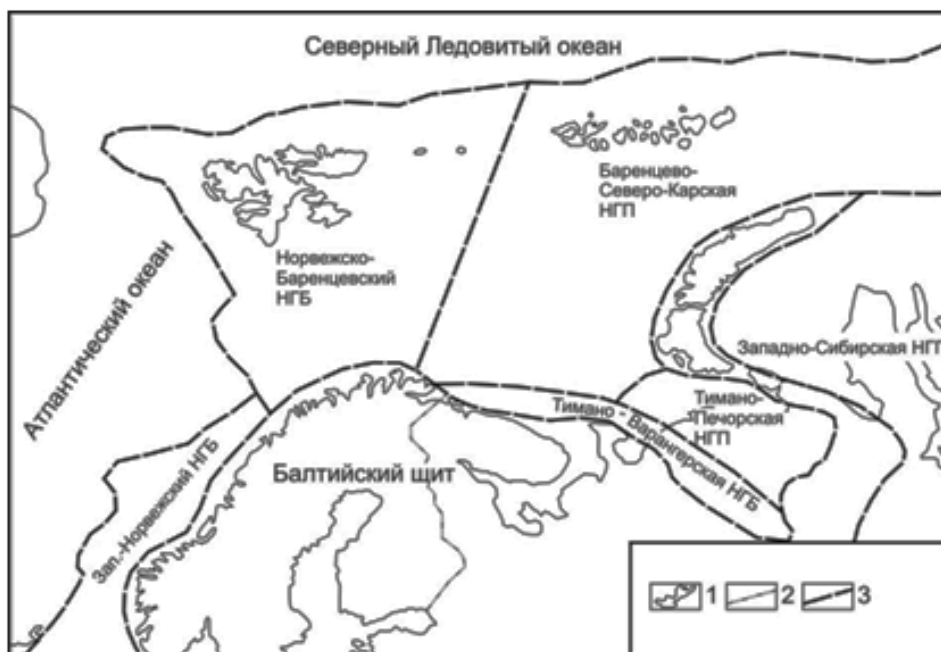


Рис. Нефтегазоносные бассейны и провинции запада Российской Арктики по А.Н. Дмитриевскому и М.Д. Белонину [2004] с изменениями. 1 – контур береговой линии; 2 – государственная граница и граница ответственности арктического сектора России; 3 – срединная линия между территориями России и Норвегии; границы нефтегазоносных бассейнов, областей и провинций.

## Программа ОНЗ-5 «Наночастицы: условия образования, методы анализа и извлечения из минерального сырья»

### Проект: Микро- и наночастицы в Мировом океане и пресноводных объектах – природный биокосный сорбент тяжелых металлов и углеводородных загрязнений

Руководитель – академик РАН Лисицын А.П.

Обобщены результаты изучения распределения и состава микро- и наночастиц в Антарктике, Арктике (включая Белое море и его водосборный бассейн), Каспийском море и его водосборном бассейне, для сравнения в прудах г. Санкт-Петербурга, Ладожском озере. Показано, что наночастицы особенно важны для экологического мониторинга, т.к. перенос многих вредных примесей, как напрямую удалось установить нашими работами, осуществляется в основном в форме мельчайших частиц (микро- и наночастиц). Эти же частицы оказывают огромное влияние на климатические условия (например, вулканический пепел в верхних слоях атмосферы, сажа и др.). Эти данные и знания необходимы как для правильной оценки путей переноса и накопления опасных загрязнений, так и для прогноза грядущих изменений климата, атмо-, гидро-, лито- и биосферы. Исследовано геохимическое поведение группы микроэлементов в водной толще на разрезе эстуарий р. Енисей – Карское море. Найдена прямая значимая корреляционная зависимость между мутностью и содержанием некоторых взвешенных металлов (мкг/л), в частности, меди (рис., а) и железа (рис., в). Это подтверждает общую закономерность распределения осадкообразующих компонентов, установленную ранее для других морских бассейнов. Впервые обнаружена прямая положительная связь между содержанием взвешенной меди и объемной концентрацией взвеси (мм<sup>3</sup>/л) (рис., б), что, по-видимому, обусловлено вкладом агрегатов фитопланктона в состав взвеси. Впервые выявлен тренд повышенного накопления мышьяка в пелитовой фракции взвеси (2–10 мкм), свидетельствующий о важной роли сорбционных процессов в геохимии мышьяка (рис., г).

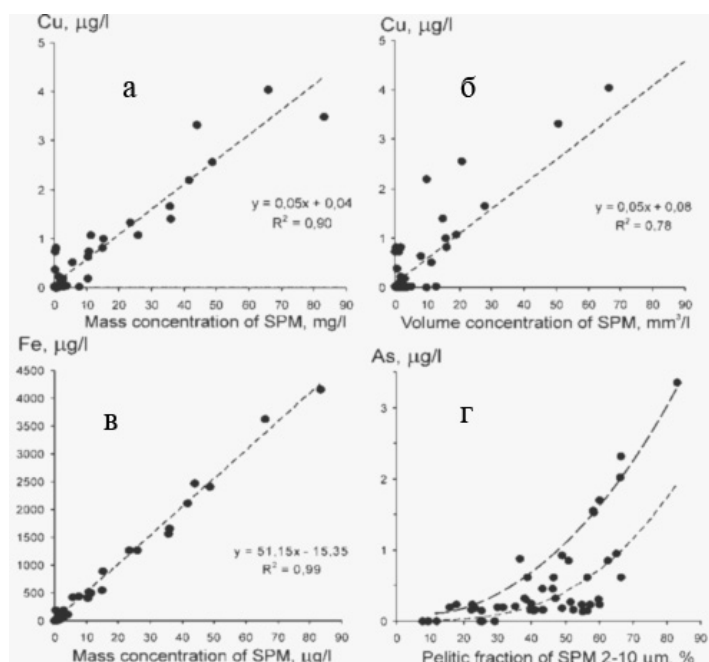


Рис. Зависимости концентрации взвешенных форм некоторых элементов от массовой и объемной концентрации водной взвеси, а также доли пелитовой фракции во взвеси.