

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ, ДОСТИГНУТЫХ ТОИ ДВО РАН В РАМКАХ ТЕМ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАДАНИЯ В 2020г.

Важнейшие результаты исследований

1. Расчет и анализ ежесуточных лагранжевых карт в альтиметрическом поле скорости за последние 25 лет позволили обнаружить район вблизи южной оконечности Камчатки, где мезомасштабные антициклонические вихри, движущиеся с севера, могут стационарироваться над Курило-Камчатским желобом в течение многих месяцев. Идентифицировано и изучено 24 стационарировавших вихря в 1993-2019 гг. Показано, что они «генетически» связаны с вихрями, генерируемыми за мысами в заливах и затем мигрирующими на юг вместе с течением. При этом стационарирующий вихрь является аккумулятором вливающихся в него вихрей. Типичный вихрь стационарировал над желобом в течение 8 месяцев и был исследован в сентябре 2017 г. СТД-съемка показала типичную вертикальную структуру с теплым поверхностным слоем, холодным и распресненным подповерхностным слоем и теплым промежуточным слоем вод, захваченных в ядре вихря. С помощью лагранжевых карт различных индикаторов был проанализирован жизненный цикл этого вихря от рождения до распада. Проведен анализ различных факторов и механизмов, поддерживающих стагнацию Камчатских вихрей над желобом и их последующий распад. (рис.1). (*Prants S.V., Budyansky M.V., Lobanov V.B., Sergeev A.F. and Uleysky M.Yu. // Journal of Geophysical Research (Oceans). 2020. V. 125, № 6. e2020JC016187.*).

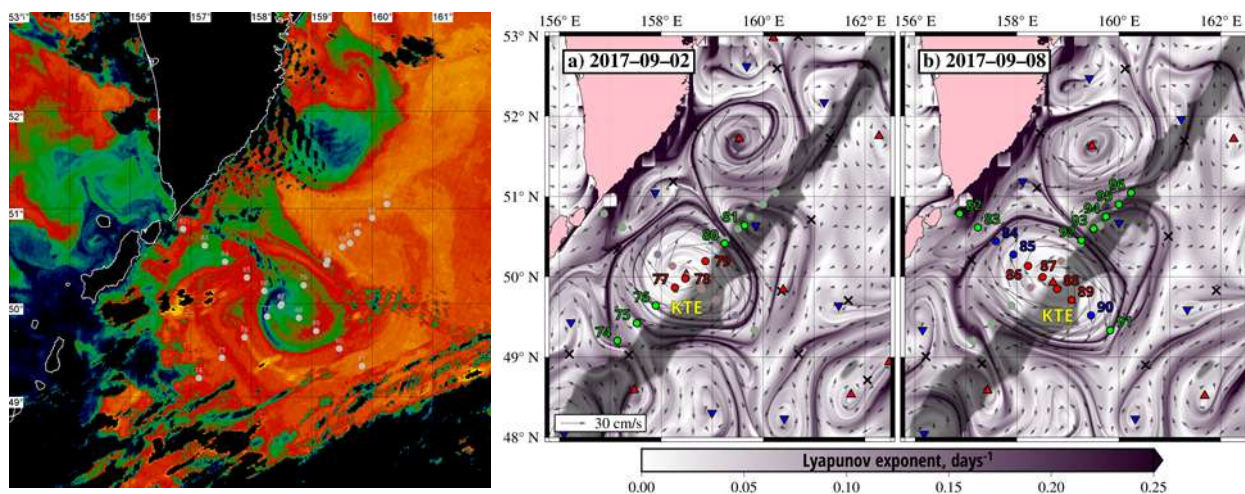


Рис.1– Квазистационарный Камчатский вихрь 2017 г. над желобом (лев.) в поле температуры поверхности моря и (прав.) в поле рассчитанного показателя Ляпунова.

Показаны СТД разрезы со станцией в центре вихря № 88, совпадающей с расчетной эллиптической точкой центра вихря с точностью нескольких км.

2. Разработан метод количественной палеореконструкции ледовых условий на основе трансферных функций, вычисляемых при синхронизации геохимических временных рядов в донных осадках шельфа с данными метеонаблюдений. Применение метода в сочетании с анализом диатомовых комплексов позволило реконструировать изменения продолжительности безледного периода (IFP) в южной части Чукотского моря за последние 4,7 тыс. лет и обосновать их причины (рис.2). Максимальные значения IFP выявлены в 21 веке и 4-5 тыс. лет назад, что совпадает с периодами повышенного поступления тихоокеанских вод (BSW) через Берингов пролив. Реконструкция водных масс на основе диатомовых комплексов выявила значительное влияние прибрежного Аляскинского течения (ASW) на продолжительность IFP в последние 3 тыс. лет. Отклонение его вод на запад 2,7-2,5, 1,4-0,8, 0,3-0 тыс. лет назад приводило к увеличению продолжительности IFP в центральной части моря на 10-15 дней. Это определило несинхронность изменений климата (температуры воздуха) и ледовых условий в регионе, что особенно проявилось в

Малый ледниковый период (Б). (Astakhov A.S., Xuefa Shi, Darin A.V., Kalugin I.A., Hu Limin, Tsoy I.B., Kolesnik A.N., Obrezkova M.S., Alatortsev A.V., Babich V.V., Plotnikov V.V. // Marine Geology. 2020. V. 427. 106220.).

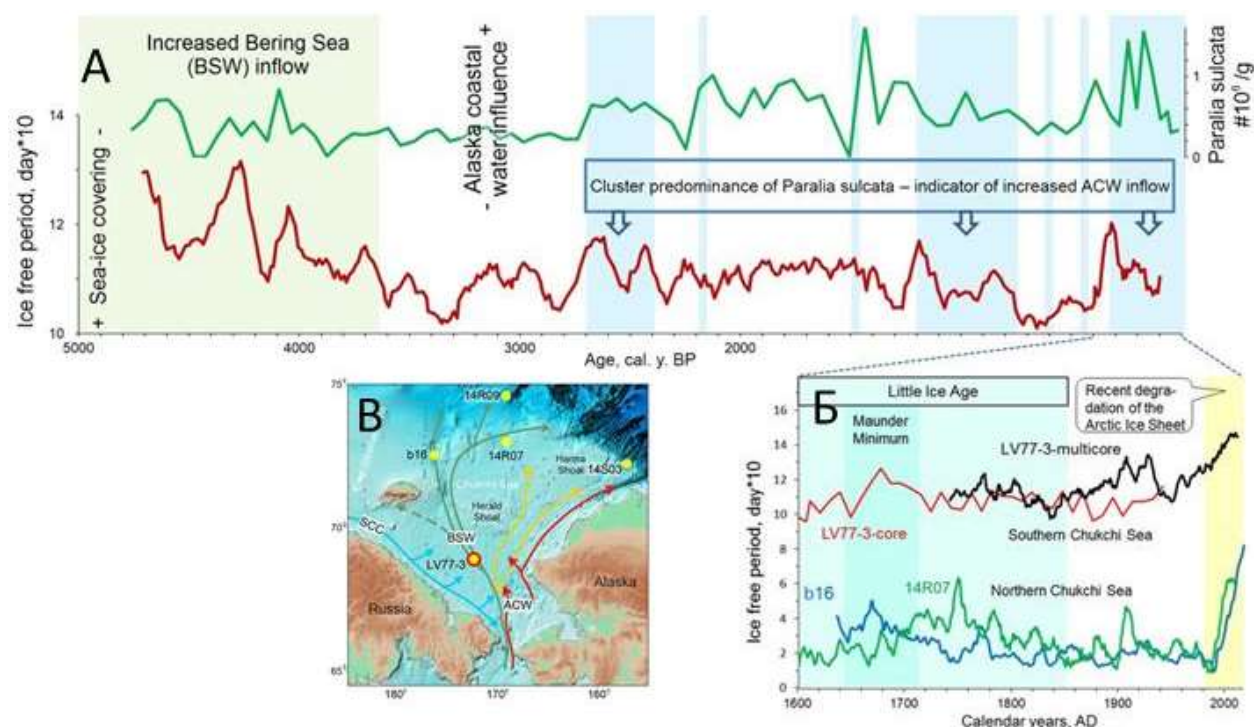


Рис. 2– Продолжительность безледного периода (Ice free period, декады) за последние 4,7 тыс. лет (А) с детализацией для последних 400 лет (Б) по результатам реконструкции на станции LV77-3 и станциях из северной части моря (местоположение на врезке В). На врезке А показаны количественное содержание диатомей *Parlia sulcata*, являющегося индикатором вод Аляскинского прибрежного течения (ASW), и периоды (кластеры) с доминированием этого вида в диатомовых комплексах (голубые линии).

3. Изменения в глобальной глубоководной циркуляции вод в прошлом, связанные с апвеллингом Циркумполярных Глубинных Вод (ЦГВ) вблизи Антарктиды, вероятно, играли основную роль в изменениях содержания CO₂ в атмосфере и климата Земли в прошлом. Однако реакция Тихого океана с его огромным резервуаром CO₂ на апвеллинг ЦГВ изучена слабо. Для исследования этой проблемы мы использовали: записи индексов первичной продукции, значений изотопов кислорода и углерода карбоната раковин бентосных и планктонных фораминифер, количества терригенных частиц ледового разноса в осадках, индексов степени их окисленности и количества и видового состава бентосных фораминифер в осадках трех кернов, отобранных в северной части Императорского хребта (СИХ), за последние 25 тысяч лет. Содержание карбоната кальция в осадках всех изученных кернов и параметры их окисленности резко увеличились около 14,5 тысяч лет назад, что указывает на приток в северо-западную часть Тихого океана относительно молодых вод Южного океана, обогащенных карбонатным ионом и кислородом. Приток богатых питательными веществами вод Южного океана в район СИХ и уменьшение влияния морских льдов в начале потепления Бёллинг / Аллерёд вызвало также резкое увеличение продукции кремнистого фитопланктона (рис.3). Gorbarenko S.A., Shi X., Liu Y., Zou J., Psheneva O.Y., Bosin A.A., Kirichenko I.S., Artemova A.V., Yanchenko E.A., Vasilenko, Y.P. // Global and Planetary Change. 2020. V. 195. 103315.).

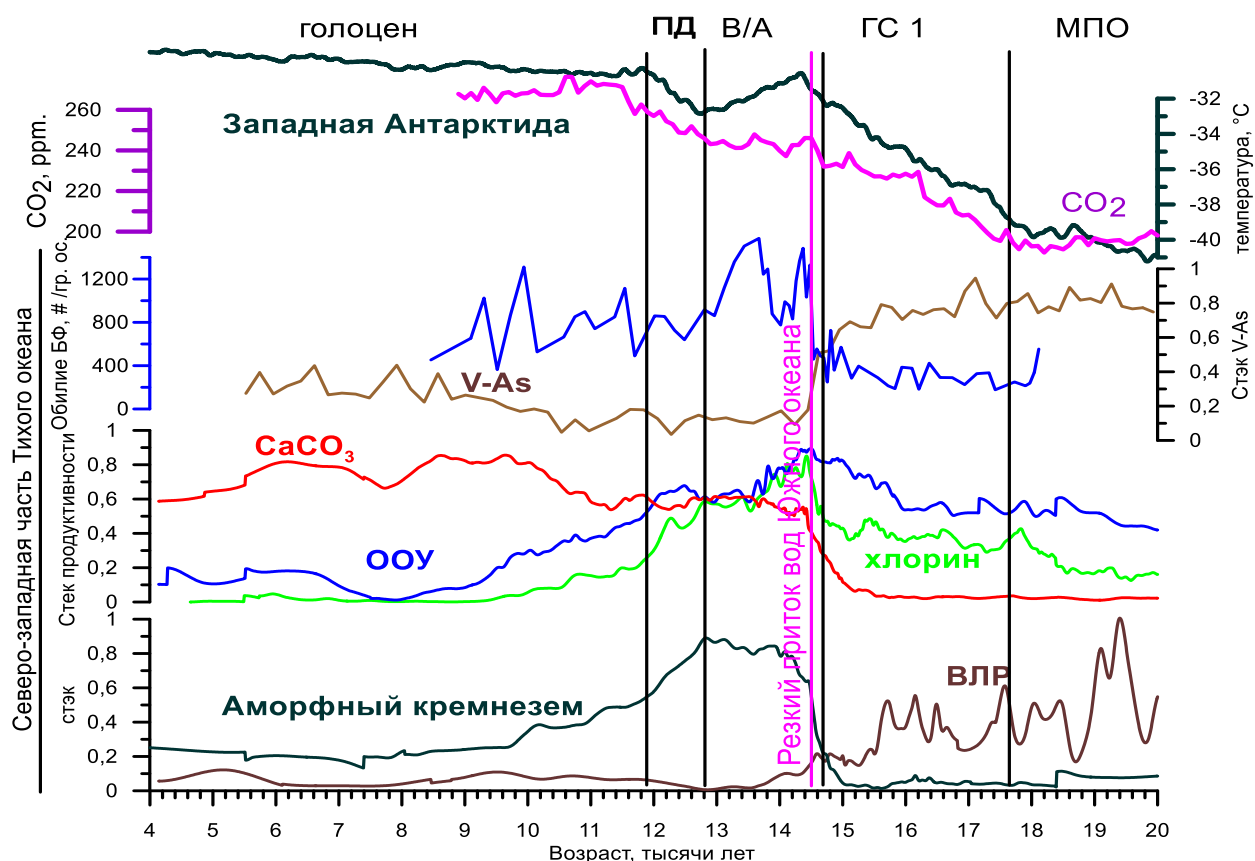


Рис.3 – Сравнение изменений стеков продуктивности (CaCO_3), общего органического углерода (ООУ), хлорина и аморфного кремнезема), величины ледового разноса (ВЛР), содержания редокс-чувствительных элементов V и As и обилия бентосных фораминифер (БФ) в северо-западной части Тихого океана за период оледенения-голоцена (20-4 тысячи лет назад) с вариациями температуры западной Антарктиды (Cuffey et al., 2016) и содержания углекислого газа в атмосфере (Parrenin et al., 2013). ПД-поздний дриас, В/А – потепление беллинг/аллеред, ГС 1- Гейнрич стадиял 1, МПО- максимум последнего оледенения.

4. Впервые в мире установлено, что при движении тайфунов в прибрежной зоне в частотном диапазоне 5-10 Гц генерируются микросейсмы «голоса моря», регистрируемые лазерным деформографом. Показано, что время появления микросейсм «голоса моря» совпадает со временем прихода первичных микросейсм, генерируемых прогрессивными морскими волнами (рис.4). Исчезновение микросейсм «голоса моря» коррелирует с исчезновением первичных микросейсм и слабо коррелирует с исчезновением вторичных микросейсм. Максимальный ветер не всегда совпадает с максимальными микросейсмными «голоса моря». По данным двухкоординатного лазерного деформографа установлена зона генерации наиболее максимальных амплитуд микросейсм «голоса моря», которая территориально находится вблизи м. Поворотный Японского моря. (авторы: д.ф.м.н. Долгих Г.И., к.ф.м.н. Чупин В.А.). Dolgikh G., Chupin V., and Gusev E. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2020. V. 15, № 5. P. 750-754.

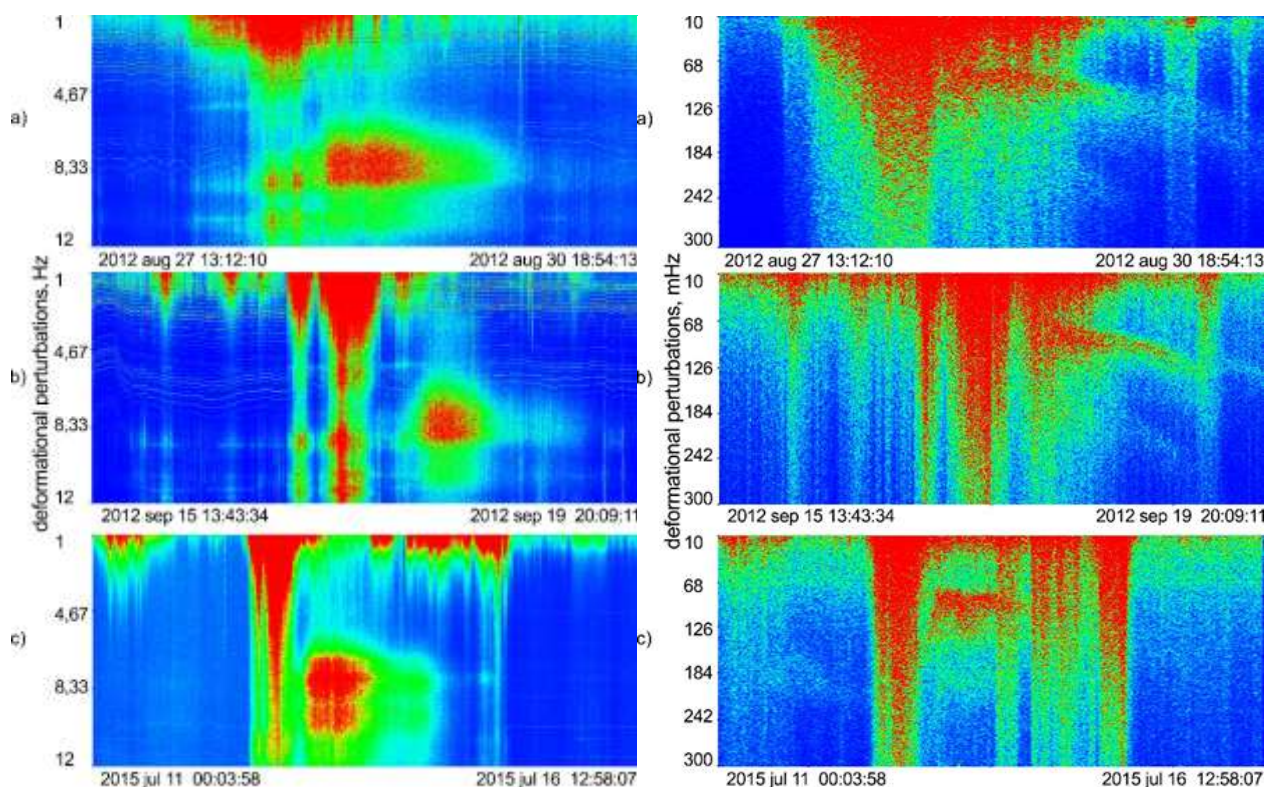


Рис.4— Динамические спектрограммы лазерного деформографа в диапазоне микросейсм «голоса моря» (слева), первичных и вторичных микросейсм (справа), генерируемых прогрессивными и стоячими морскими волнами, при движении трёх тайфунов.

5. Изучена проблема рассеяния и агрегации плавающих трассеров (пластик и нефть) в океане, зависящих от кинематических характеристик поля скорости на поверхности океана. Важным аспектом плавающих примесей является их способность образовывать ярко выраженные кластеры, которые представляют собой скопления в изолированных пятнах. Понимание и предсказание динамики этого явления является одной из проблем современной океанографии. Проведено моделирование кластеризации примеси в окрестности вихрей в регулярном модельном поле скорости с добавлением случайного дивергентного поля скорости. Показано, что на малых временах эффективность и скорость кластеризации возрастают в окрестности вихрей (рис.5). При дальнейшем увеличении времени эффективность и скорость кластеризации падают. На больших временах кластеры начинают разрушаться под действием эффектов хаотической адвекции. (Stepanov, D.V., Ryzhov, E.A., Zagumennov, A.A., Berloff, P., Koshel, K.V. // Geophysical Research Letters. 2020. V. 47. e2019GL086504.; Stepanov, D.V., Ryzhov, E.A., Berloff, P., Koshel, K.V. // Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics. 2020. V. 114:4-5. P. 690-714.).

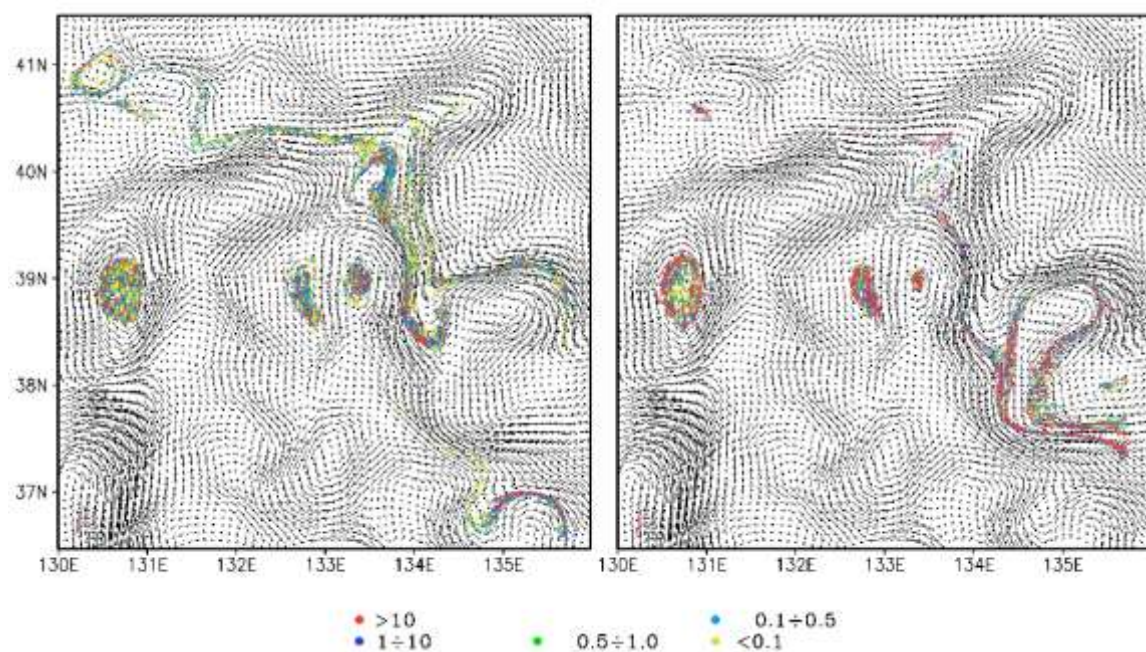


Рис.5— Пример распределения трассеров через 40 суток без добавления случайного поля (слева) и со слабо дивергентным случайным полем (справа)

Основные результаты законченных работ (или крупных этапов работ)

Тема № 1 «Математическое моделирование и анализ динамических процессов в океане», (0271-2019-0001),

научн. рук. д.ф.-м.н. Пранц С.В.

Рег. номер: АААА-А17-117030110034-7

1. Разработана и апробирована новая методика моделирования распространения звука в океане, основанная на численном решении широкоугольных и псевдодифференциальных модовых параболических уравнений (ШМПУ/ПДМПУ). Акустическое поле в океане представляется в виде разложения по акустическим модам, причем для коэффициентов разложения выводятся адиабатические уравнения однонаправленного распространения, обеспечивающие сохранение энергетических характеристик поля. Для моделирования поля точечного источника разработан новый стартер – начальное условие в задаче Коши для ШМПУ/ПДМПУ. Методика обеспечивает существенно более высокую скорость выполнения расчетов, чем другие известные подходы к моделированию распространения звука в трехмерных океанических волноводах. На основе этой методики разработан прототип комплекса прикладных программ для расчета уровней акустических шумов на акватории с заданной гидрологией и батиметрией по данным опорного точечного измерения. (Petrov P.S., Ehrhardt M., Tyshchenko A.G., Petrov P.N. //Journal of Sound and Vibration, 2020, V. 484, art. no. 115526; Petrov P.S., Antoine X. n//Journal of Computational Physics, 2020, V.410, art. no. 109392).

2. Исследовался вклад мезомасштабной динамики в перераспределение тепла в Японском море (ЯМ) на основе данных численного моделирования циркуляции с 1990 по 2010 гг. Расчет циркуляции ЯМ проводился с помощью модели INMOM на высоком пространственном разрешении, которое позволило явно воспроизвести мезомасштабную динамику в южной части моря. Получены количественные оценки интенсивности мезомасштабной динамики, установлено, что бароклинная неустойчивость крупномасштабных течений ЯМ является ведущим механизмом ее генерации. Показано, что с мезомасштабной динамикой связан меридиональный поток тепла, благодаря которому осуществляется интенсивный теплообмен через субполярный фронт, разделяющий бассейн ЯМ на северную и южную части. Получены оценки интенсивности меридионального теплообмена обусловленного мезомасштабной динамикой. Установлено, что интенсивность этого теплообмена сильно неоднородна по пространству и изменяется в течение года. (Stepanov Dmitry V., Eugene A. Ryzhov, Alexei A. Zagumennov, Pavel Berloff, Konstantin V. Koshel // Geophys. Res. Lett. 2020. Vol. 47, N3. P. e2019GL086504.).

3. Сформулирован нестандартный метод определения параметров солитонов внутренних волн в шельфовых зонах океана. Метод основан на данных прямых измерений пространственно-временных характеристик внутренних волновых боров: скорости расширения его волновой зоны, скорости и амплитуды лидирующего солитона, фазовой скорости линейной внутренней волны, представляющей его задний фронт. По данным эксперимента, поставленного осенью 2013 года, с использованием предлагаемой методики были определены значения параметров гидрофизического фона на морском полигоне ТОИ ДВО РАН. Значения этих параметров составили: $\alpha \sim 0,023\text{с}^{-1}$, $\beta \sim 36,7\text{м}^3\text{с}^{-1}$ и $c_0 \sim 0,38\text{мс}^{-1}$. Сравнение этих значений и значений, полученных по гидрологическим данным с помощью стандартной методики, показало удовлетворительное соответствие между ними. Предложенная схема определения параметров гидрофизического фона для слабо нелинейных внутренних волн во многих отношениях (финансовом, техническом,

методическом) менее затратная по сравнению со стандартной методикой их определения. (V V Novotryasov // Journal of Physics: Conference series. 2020. Т. 1666. Art. no. 012067)

4. Выполнена оценка показателей Ляпунова для комплексного уравнения Гинзбурга-Ландау, выведенного автором в предыдущих работах и описывающего трехмерную двухкомпонентную конвекцию в бесконечном по горизонтали слое жидкости при больших числах Рэлея. Само уравнение численно моделировалось псевдоспектральным ETD-методом при помощи пакета программ, разработанного нами ранее. Для конкретного случая хаотической конвекции вычислены первые 180 показателей Ляпунова, 164 из которых положительны. Оказалось, что величины этих показателей хорошо приближаются полиномом 4-го порядка, зависящим от номера показателя. При этом максимальный показатель $\lambda_1 = 1.17$. Также оценена размерность Каплана-Йорке хаотического аттрактора $D = 317$. Впервые в литературе на основе спектра показателей Ляпунова оценена размерность хаотического аттрактора, возникающего в эволюционном уравнении в частных производных. Полученные результаты способствуют пониманию конвективных процессов в многокомпонентных средах и могут быть основой для построения более продвинутых моделей конвективной турбулентности. (Kozitskiy S.B. // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2020. V. 84. P. 105172-1 – 105172-7.).

5. Разработана двумерная комплексная численная модель медленного течения многофазной жидкости на больших временах в расчетной области, состоящей из относительно толстого слоя двухфазной жидкости, покрытого тонким многослойным вязким пластом. На границе сопряжения разнородных подобластей происходит массообмен между легким компонентом двухфазного слоя и нижним слоем многослойного пласта. Общая система уравнений соединяет в себе уравнения вязкой компактки, описывающие течение в двухфазном слое, с уравнениями Рейнольдса – в пласте. Проведено численное моделирование процесса аккумуляции разуплотненной неоднородности в мантии Западно-Тихоокеанской зоны перехода океан–континент. Модельные исследования механизма образования активных океанических окраин являются одной из основных проблем глобальной тектоники, так как для глубокого и всестороннего изучения этого процесса необходимы не только качественные представления, но и количественные характеристики глубинных движений и распределения напряжений. (Пак В.В.// Вычислительная механика сплошных сред. 2020. Т. 13, № 2. С. 150-160.).

6. Построена теория возмущений решения задачи Штурма-Лиувилля для модовых функций и волновых чисел, вызванных вариациями глубины моря. Данный вопрос может быть сведен к классической задаче о возмущении потенциала в стационарном уравнении Шредингера путем определенной замены переменных. В явном виде приведены формулы теории возмущений первого и второго порядка для модовых функций и волновых чисел. Представлен пример использования этих формул и выполнен анализ их точности. Описанный подход позволяет значительно повысить вычислительную эффективность моделирования распространения звука в нерегулярных волноводах мелкого моря при сохранении того же уровня точности, что достигается при отдельном решении задачи Штурма-Лиувилля в каждом поперечном сечении. (Захаренко А.Д., Петров П.С., Трофимов М.Ю. //Подводные исследования и робототехника, 2020, Т. 34, № 4. С. 66-69.)/

7. Рассмотрена задача о распространении звука в волноводе мелкого моря с неоднородностью батиметрии в виде неглубокого кольцеобразного подводного каньона. Описана новая методика расчёта звукового поля в волноводе с осевой симметрией в случае, когда источник не лежит на оси. Она основана на разделении переменных в уравнениях

горизонтальной рефракции для модовых амплитуд и представлении решения в виде двойного ряда. Данная методика может быть использована в широком классе задач рассеяние звука на неоднородностях среды различного типа, обнаруживающих вращательную симметрию, например, на синоптических вихрях. Также установлена связь между членами ряда, составляющего решение, и горизонтальными лучами, которые фокусируются в области над каньоном. Наконец, получена оценка доли энергии, захватываемой каньоном, в зависимости от расположения точечного источника звука. (Казак М.С., Петров П.С. // Акустический журнал. 2020, Т. 66, № 6, С. 613–621.).

8. Сформулированы критерии соответствия между квантовым и классическим описанием динамики холодных атомов в квазипериодических оптических решетках, соответствующих возмущенной модели Обри-Андре. В более широком контексте модель Обри-Андре описывает переход между локализованным и делокализованным состояниями волн в квазислучайных средах. Показано, что в классическом пределе делокализация может быть вызвана резонансным воздействием на так называемые вырожденные торы в фазовом пространстве. В квантовом режиме делокализация усиливается при увеличении соотношения между периодами оптической решетки. (A.A. Didov, L.E. Kon'kov, D.V. Makarov. // European Physical Journal B. 2020. V. 93, Iss. 1. Art.no. 13,.).

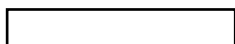
Тема № 2 «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинамикой и сейсмотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамлении» (0271-2019-0002),

Научн. рук. д.г.м.н. Кулинич Р.Г.

Рег. номер: AAAA-A17-117030110032-3

1. Выполнена оценка существующих приливных моделей океана, а также моделей приливной деформации твердой Земли на разных расстояниях от морских побережий на основе данных долговременного мониторинга приливных вариаций гравитационного поля Земли вдоль трансконтинентального профиля между Атлантическим и Тихим океанами. Для станций, расположенных в центре Евразии, эффекты океанских приливов минимальны. Ситуация изменяется при приближении к берегам океанов, где становятся значимыми океанические приливные нагрузки. Выявлено различие влияния океанов в суточном и полусуточном диапазоне приливов в западных и восточных частях профиля, показано интенсивное увеличение вклада океанского прилива при смещении к Тихому океану. Обнаружены особенности приливных характеристик на побережье Японского моря, что может быть связано с региональными отличиями вязкоупругих свойств литосферы и мантии в зоне конвергенции тихоокеанской литосферной плиты с Евразийским континентом. (В. Ю. Тимофеев, М.Г. Валитов, Д.Г. Ардюков, А.В. Тимофеев, Б. Дюкарм, Р.Г. Кулинич, Т. Н. Колпащикова, З.Н. Прошкина, Е.В. Бойко, С.Б. Наумов // Океанология. 2020. Т. 60. № 1, с. 37–48.).

2. Проведена интерпретация магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований в интервале периодов $10 < T < 20\,000$ с на территории Северного Вьетнама. Построена глубинная геоэлектрическая модель тектоносферы региона, главными элементами которой являются субвертикальные сквозьлитосферные электропроводящие разломы и высокоомные нарушения проводящей астеносферы. Эти элементы формируют зоны аномальных кривых кажущегося сопротивления с монотонным ростом по мере увеличения периодов вплоть до 20 000 с. Совокупность таких элементов геоэлектрической модели названа нами «сверхглубинная флюидно-разломная система» (СГФРС). В результате моделирования на территории Северного Вьетнама выявлено положение трех ортогонально пересекающихся СГФРС северо-восточного и юго-восточного простирания. Показано, что проводящие (флюидонасыщенные) сквозьлитосферные разломы, выходящие в основание



осадочной толщи, контролируют расположение залежей нефтегазовых и рудных месторождений. (Никифоров В.М., Варенцов И.М., Шкабарня Г.Н., Каплун В.Б., Жуковин А.Ю., До Хыу Куонг. // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 9. С. 1266-1288.).

3. По результатам 3D-инверсии данных магнитовариационных зондирований на обсерватории “Тикси” и на о. Котельный построены модели распределения удельного электрического сопротивления в геологическом разрезе моря Лаптевых до глубин 200 км. Подобные модели впервые построены для данного региона по результатам магнитовариационного зондирования. Отмечается корреляция между положением неоднородностей моделей и особенностями геолого-геофизического строения региона. (Старжинский С.С., В.М. Никифоров, А. Йошикава. // Физика Земли, 2020, № 2. с. 89-102.).

4. По результатам 3D-инверсии данных магнитовариационных зондирований в пунктах на противоположных берегах Татарского пролива построена геоэлектрическая модель геологического разреза пролива до глубин 200 км. У континента выделяется высоко проводящая прибрежная коровая аномалия шириной до 40 км. У о. Сахалин проводящая аномалия на глубине около 10 км коррелирует с локализацией очагов землетрясений на этих глубинах. (Старжинский С.С., Никифоров В.М. // Геология и геофизика, 2020, № 12.).

5. Выполнен численно-графический расчет и анализ полей напряженно-деформационного состояния геологической среды под воздействием плотностной неоднородности в районе Центральных Курил. В структуре полей напряжений установлены общие закономерности: общий план распределения напряжений моделирует связь со слоисто-блоковой структурой коры и величина напряжений уменьшается от мантии к поверхности и вдоль профиля – от глубоководного желоба в сторону Курильских островов. (Кулинич Р.Г., Осипова Е.Б., Валитов М.Г. // Тихоокеанская геология. 2020. Т.39, №1. С.21-28. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-2-21-28.).

Тема № 3 «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана», (0271-2019-0003)

Научн. рук. к.г.н. Лобанов В.Б.

Рег. номер: AAAA-A17-117030110042-2

1. По данным климатических массивов (NOAA) определены тенденции, региональные особенности и возможные причинно-следственные связи межгодовых изменений температуры воздуха и воды на поверхности (ТПО) и в верхнем 750-метровом слое с вариациями полей атмосферного давления, ветра и климатических индексов (КИ) за последние 4 десятилетия. Полученные результаты позволили охарактеризовать степень неоднородности реакции океана на происходящие глобальные изменения климата, выделить обособленные районы и дать количественную оценку скорости потепления в этих районах. Показано, что на западе температурные тренды значительно выше, чем на востоке, а в теплый период года они примерно в 2 раза больше, чем в холодный. Изменения температуры воды и аномалий теплосодержания в толще воды различных районов происходит крайне неравномерно. Фазы чередования теплых и холодных периодов согласуются с тенденциями изменений характеристик центров действия атмосферы, КИ и различных климатических параметров. (Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Рудых Н.И., Воронцов А.А. // Метеорология и гидрология. 2020. № 3. С. 44-57.).

2. Рассмотрено формирование прибрежного течения под действием отжимного ветра и его влияние на термохалинную структуру вод залива Петра Великого. При усилении ветра формируется сильное прибрежное течение вдоль изобаты и поперечный шельфовый поток, направленный от берега в верхнем слое. Отжимной ветер формирует двуслойную

циркуляцию с подъемом воды в нижнем слое и сгоном воды в верхнем слое. Поток в верхнем слое приводит к падению уровня моря и понижению температуры. При усилении ветра формируется антициклоническая циркуляция справа от оси ветровой струи. Скорость течения у западного берега залива достигала 0,8 м/с и была направлена на северо-восток вдоль изобаты. Прибрежное течение возникает под действием наклона уровня из-за воздействия отжимного ветра (*Рогачев К.А., Шлык Н.В.* // Океанология. 2020. Т. 60, № 4. С. 495-506.).

3. На основе данных многолетних наблюдений проведен анализ изменчивости гидрологических условий в южной части Охотского моря в зависимости от атмосферной циркуляции. На фоне тенденции потепления в 1985— 2016 гг. были выявлены экстремальные флуктуации термического режима акватории в летний период в отдельные годы. Установлено, что формирование экстремальных термических режимов происходит в очагах барических аномалий и носит локальный характер. Механизм формирования аномально холодных режимов обусловлен наличием над Охотским морем тропосферной ложбины и охотского антициклона, развитие которых способствует усилению системы Восточно-Сахалинского течения и ослаблению течения Соя. Формирование экстремально теплых режимов обусловлено отсутствием ложбины, усилением влияния на район гребня гавайского антициклона и интенсификацией течения Соя. (*Мороз В.В., Шатилина Т.А.* // Метеорология и гидрология. 2020. № 9. С. 78-89.).

4. По спутниковым данным исследованы вихревые дорожки (ВД) в районе Шантарских островов (Охотское море). Две устойчивые ВД были обнаружены в пр. Северо-Восточный, разделяющем острова Большой и Малый Шантар. Пространственные и временные масштабы явления показывают, что как вихри, так и ВД в проливе Северо-Восточный имеют субмезомасштабную природу. Данные дистанционного зондирования позволили определить геометрические параметры, характеризующие устойчивость океанических ВД. Северная ВД имела в длину 9–11 км и состояла из 4–5 пар вихрей противоположного знака вращения (циклон-антициклон). Средний диаметр вихрей составлял $0,73 \pm 0,09$ км. Вихри в южной дорожке прослеживались на расстоянии 6–7 км, при этом регистрировались 3–5 вихревых пар. Средний диаметр вихрей был равен $0,47 \pm 0,07$ км. Во время отлива вихри в цепочке распространялись преимущественно в восточном направлении, во время прилива – в западном. (*Жабин И.А., Лукьянова Н.Б.* // Исследование Земли из космоса. 2020. №3. С. 38-44.).

5. На основе модельных расчётов, гидрологических и спутниковых наблюдений проанализирована пространственная изменчивость термохалинной структуры вод морской акватории национального парка «Шантарские острова» (Охотское море), связанная с приливным перемешиванием и речным стоком. В тёплый период года на шельфе Шантарских островов формируется устойчивая зона приливного перемешивания. В пределах этой зоны выделяются локализованные области интенсивного перемешивания, связанные с сильными приливыми течениями. Речной сток поддерживает устойчивую стратификацию в прибрежных районах, подавляя приливное перемешивание. (*Жабин И.А., Лукьянова Н.Б., Дубина В.А.* // Метеорология и гидрология. 2020. № 10. С. 90-99.).

6. С использованием измерений на трех автономных донных станциях на континентальном склоне залива Петра Великого в Японском море проведен анализ динамической структуры каскадинга и связанных с ним потоков тепла и импульса. Показано, что в процессе погружения поверхностных вод генерируются возмущения скорости течений. Взаимодействие флуктуаций температуры и скорости течений приводит к потокам тепла и импульса, пространственно-временная и спектральная структура которых определяется длительностью и величиной аномалий плотности погружающихся вод. При больших аномалиях процесс погружения имеет турбулентно-вихревой характер. (*Навроцкий В.В.,*

Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Воронин А.А., Горин И.И., Павлова Е.П. // Океанологические исследования. 2020. Т. 48. № 3. С. 148–163.).

7. На основании всей доступной спутниковой информации о состоянии ледяного покрова Чукотского моря за период 1997–2016 гг. проведен анализ сезонной и многолетней изменчивости возраста льда в море. Показано, что зона максимальной изменчивости приходится на области 2–3-балльных градаций возраста льда и следует за смещениями этой области, в первой половине теплого периода (июнь – ноябрь) ледового сезона поднимаясь к северу, а во второй – спускаясь обратно к югу. Анализ спектральных составляющих первых трех временных составляющих эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) поля возраста льда позволил выделить 4–7-летнюю квазипериодичность для первой составляющей и преобладающую 2–3-летнюю – для второй и третьей. (Плотников В. В., // Метеорология и гидрология. 2020. № 4. С. 54-61.). Вакульская Н. М., Дубина В. А., Руденко О.Н., Пустошнова В. И.

9. На основе статистического анализа временных рядов впервые показано, что длительные измерения с помощью заякоренного буя WaveScan на юго-западном шельфе залива Петра Великого большинства метеорологических характеристик, температуры приповерхностного слоя воды, характеристик ветровых волн и зыби хорошо согласуются с данными реанализов ERA-Interim и ERA5. Определены зависящие от скорости ветра особенности изменчивости поворота вектора скорости течения с глубиной на синоптическом и сезонном масштабах, в том числе при интенсивном воздействии ветра во время прохождения тропического циклона Лайонрок. Показано, что в теплый сезон при скорости ветра до 5-6 м/с, наблюдаются значительный левый поворот вектора скорости течения с глубиной ниже приповерхностного слоя трения и противотечение в придонном слое шельфа. (Лобанов В.Б., Лазарюк А.Ю., Пономарев В.И., Сергеев А.Ф., Кустова Е.В., Марьина Е.Н., Старжинский С.С., Харламов П.О., Шкорба С.П., Воронин А.А., Горин И.И., Зверев С.А., Калинин В.В., Косьяненко А.А., Крайников Г.А., Рудых Я.Н., Семкин П.Ю., Суховеев Е.Н., Щербинин П.Е. // Океанологические исследования. 2020. Т. 48. № 4. С. 5-32.).

10. На основании доступной информации о состоянии ледяного покрова Чукотского моря и индексов Арктической осцилляции (АО) за период 1950–2017 гг. проведен анализ разномасштабной изменчивости ледовых условий и оценена зависимость ледовых условий от характера атмосферной циркуляции отображенной в индексах арктической осцилляции. Выявлены локальные области высокой связи индексов АО и ледовых условий моря. Показано, что в Чукотском море идет направленное уменьшение площади ледяного покрова и изменение характера сезонных процессов. (Плотников В. В., Вакульская Н. М., Мезенцева Л.И., Дубина В. А., Пустошнова В. И. // Известия ТИНРО. 2020. Т. 200. № 1. С. 155-167.).

11. Выявлены направленные изменения в показателях гидрометеорологического режима морей восточной Арктики: в характере и интенсивности атмосферной циркуляции над регионом (отмечается изменение характера и интенсивности ветрового режима); в ледяном покрове морей (идет активное уменьшение ледяного покрова); в характере и интенсивности волновой деятельности (за счет первых двух показателей, наблюдается активизация волновой деятельности, выражаемой в существенном увеличении площади и глубины волнового перемешивания). Полученные оценки могут быть использованы для реализации ряда вероятностно-статистических моделей изменчивости гидрометеорологического состояния, а также при решении ряда практических задач, хозяйственного освоения акваторий морей восточной Арктики. (Плотников В.В., Вражкин А.Н., Мезенцева Л.И., Друзь Н.И., Вакульская Н.М., Дубина В.А. // Известия Томского политехнического университета. 2020. Т. 331. № 7. 103–115.).

Тема № 4 «Влияние природных и антропогенных факторов на биогеохимические процессы и состояние биоты

в морских экосистемах» (0271-2019-0004),

Научн. рук. д.б.н. Челомин В.П.

Регистрационный номер: АААА-А17-117030110038-5

1. Общее количество взвешенного вещества атмосферных аэрозолей (ВВАА) было отобрано в летний и зимний сезоны в Китае (Шеньян, Пекин, Шанхай), России (Владивосток) и Корее (Пусан) с 1997 по 2014 г.г. Девять полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), содержащих от четырех до шести ароматических колец, были определены с помощью жидкостной хроматографии высокого давления с флюорасцентным детектором. В Пекине и Шеньяне обнаружены высокие концентрации ПАУ с большой сезонной изменчивостью (зима > лето) при многолетнем снижении с 1997 по 2014 г.г., причем максимальные средние концентрации ПАУ выше 200 нг/м³ наблюдались в зимний период. Во Владивостоке концентрации ПАУ были ниже, чем в Шеньяне, Пекине, Шанхае. В приморских городах Шанхай, Пусан и Владивосток концентрации ПАУ были наименьшими, особенно в летний период благодаря муссонному климату региона. (Hayakawa K., Tang N., Nagato E., Toriba A., Lin J-M., Zhao L., Zhou Z., Qing W., Yang X., **Mishukov V., Neroda, A., Chung, H.Y.** //International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. 17 (2), 431.).

2. Исследованы внутригодовые изменения концентраций растворенного органического углерода (РОУ), неорганических форм фосфора, азота и кремния в р. Раздольной. Показано, что муссонный климат создает импульсный характер потоков биогенных веществ из р. Раздольной в Амурский залив, что способствует созданию «избыточной» биомассы фитопланктона. Годовые потоки биогенных веществ и РОУ, поставляемые р. Раздольной в залив, существенно больше в сравнении с канализационными стоками г. Владивосток. Показана межгодовая неравномерность потоков. Наши наблюдения позволили установить систематическое увеличение годовых потоков биогенных веществ и РОУ за период 2003–2017 гг., обусловленное ростом годового речного стока. (Михайлик Т.А., Недашковский А.П., Ходоренко Н.Д., Тищенко П.Я.// Известия ТИНРО, 2020. Т. 200. № 2. С. 401-411.).

3. Исследованы продукционные и гидрохимические параметры эстуарных макроприливных экосистем рек Уда и Усалгин (Шантарское море). Установлено, низкая концентрация неорганических форм азота и приливное разрушение вертикальной плотностной структуры вод обеспечивает низкую автотрофную продукцию в эстуариях. Однако высокие концентрации растворенного органического углерода в речных водах создают благоприятные условия для образования гетеротрофной продукции не только в реках, но и в зонах смешения. Неорганические формы биогенных веществ, поставляемые реками, являются основой автотрофной продукции, что в большей степени проявляется при соленостях более 24 ‰. В целом эстуарии рек Уда и Усалгин можно характеризовать как гетеротрофные бассейны. (Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Тищенко П.П., Павлова Г.Ю., Сагалаев С.Г., Ходоренко Н.Д., Шкирникова Е.М., Швецова М.Г. //Вестник ДВО РАН, 2020. № 2. С.88-96.).

4. В феврале и июле 2014 г. проведены геохимические исследования донных отложений двух районов Амурского залива, различающихся по интенсивности поступления органического углерода (ОУ), продуцируемого морскими травами (*Zostera marina* L.). Установлено, что концентрация ОУ в верхнем слое (5 см) донных отложений в зоне произрастания макрофитов была 5,51%, а без морских трав – 1,78%. Показано, что на акваториях с интенсивным развитием травы около 50% общего содержания ОУ перерабатывается в пределах верхних 40 см осадка и сопровождается резким увеличением концентрации Si, P, N, щелочности и уменьшением pH, сульфатов. Сульфатредукция полностью не объясняет резкое уменьшение содержания ОУ по глубине осадка. Сделано

предположение, что утилизация ОВ в донных осадках, покрытых зарослями макрофитов (*Zostera marina*) сопровождается его трансформацией в биомассу инфауны. (Тищенко П.Я., Ходоренко Н.Д., Барабаничиков Ю.А., Волкова Т.И., Марьяш А.А., Михайлик Т.А., Павлова Г.Ю., Сагалаев С.Г., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М. //Океанология, 2020. Т.60. № 3. С. 393 – 406.).

5. Исследован диагенез органического вещества (ОВ) донных отложений, отобранных в феврале 2018 г. в местах залежей лечебных грязей (залив Угловой, б. Воеводе и Экспедиции, зал. Петра Великого, Японское море). Изучена карбонатная система донных отложений. Соотношения между растворенным неорганическим углеродом и щелочностью, а также данные по сульфат-хлорным отношениям и подвижным формам сульфидов указывают, что сульфатредукция является основным процессом деградации ОВ в донных осадках. Были получены высокие значения коэффициентов биотурбации: 3,0, 107,6 и 14,5 см²/сут для залива Углового, бухт Воеводы и Экспедиции, соответственно. Установлено, что потоки взвешенного органического углерода из водной среды в осадок и растворенного неорганического углерода из осадка в водную среду существенно различаются между собой. (Тищенко П.Я., Медведев Е.В., Барабаничиков Ю.А., Павлова Г.Ю., Сагалаев С.Г., Тищенко П.П., Швецова М.Г., Шкирникова Е.М., Уланова О.А., Тибенко Е.Ю., Орехова Н.А. //Геохимия, 2020. Т. 65. № 6. 583-598.).

6. Установлено, что воды трансграничных рек Раздольной (Суйфун) и Туманной (Тумен) содержат чрезвычайно высокие концентрации биогенных веществ. Потоки биогенных веществ, поставляемые этими реками, вызывают эвтрофикацию и сезонную гипоксию акваторий Амурского залива и юго-западной части залива Петра Великого (биосферный заповедник), соответственно. В обоих случаях гипоксия развивалась в придонных водах, в местах топографических депрессий после экстремальных потоков биогенных веществ, вызванных атмосферными осадками в период летнего муссона. Наблюдаемые гидрохимические аномалии (низкие концентрации кислорода и рН, высокие концентрации фосфора, кремния, растворенного неорганического углерода) указывают на то, что главной причиной гипоксии является микробиологическая деградация "избыточных" диатомей на границе раздела вода–осадок в условиях низкой динамики вод и отсутствия фотосинтетически активной радиации. (Pavel Ya. Tishchenko, Petr P. Tishchenko, Vyacheslav B. Lobanov , Tatyana A. Mikhaylik , Aleksander F. Sergeev , Pavel Yu. Semkin, Maria G. Shvetsova// Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2020. V. 239. 106731.).

7. Показано наличие межгодовой изменчивости циркуляции поверхностных вод, распределения температуры и концентрации взвешенного органического углерода (ВОУ) в Татарском проливе (северная часть Японского моря) в сентябре - октябре, вызываемой прибрежным апвеллингом и стоком р. Амур. При увеличении стока р. Амур (2013 г., 2016 г.) повышается уровень моря, усиливается антициклональная циркуляция вод в северной части Татарского пролива и возрастает перенос вод Амурского лимана с высокой концентрацией ВОУ на юг вдоль побережья материка. При уменьшении водности р. Амур (2002 г., 2008 г.) понижается уровень моря и формируется циклоническая циркуляция вод в северной части Татарского пролива. Прибрежный апвеллинг и связанный с этим явлением подъем глубинных вод приводит к снижению уровня моря и возникновению циклонической циркуляции вод в Татарском проливе. (Andreev A.G. // Izv. Atmosph. Ocean. Phys. 2020. Vol. 57. No. 12. P. 1787 – 1802; Андреев А.Г. //Вестник ДВО РАН. 2020. № 1. С. 120-126.).

8. Выполнены гидробиологические исследования на акватории Шантарского архипелага в 12– 28 июля 2016 г. Показано, что воды бассейна характеризуются высокими концентрациями гумусового вещества. Средняя концентрация хлорофилла в придонных водах Удского залива была 1,1 мкг/л, а в заливе Академии она была в 4 раза выше. Удский залив на момент исследования можно рассматривать как, преимущественно, гетеротрофный бассейн, а залив Академии – автотрофный. Биомасса зоопланктона в Удском заливе изменялась от 9,5 до 2513 мг/м³, при среднем значении 736 мг/м³, а в заливе

Академии эти изменения были в пределах от 0,38 до 3620 мг/м³, при средней величине 458 мг/м³. Видовым доминантом зоопланктона был *Calanus glacialis*. В раннелетний период зарегистрированы встречи девяти полярных китов к югу от о. Феклистова и по одной особи в проливе Северный и в устье залива Николая. (Мельников В.В., Федорец Ю.В., Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Тищенко П.Я.// Океанология, 2020. Т. 60. № 2. С. 244-249.).

9. Определен уровень хлорорганических пестицидов (ХОП) в жировой ткани ларги западной части Японского моря. Концентрация гексахлорциклогексана и его изомеров (ΣHCH) колеблется от 389 до 50070 нг/г липидов; концентрация дихлордифенилтрихлорэтана и его метаболитов (ΣDDT) - от 62720 до 1110930 нг/г липидов. Сумма концентраций ХОП в жире ларги из западной части Японского моря одна из самых высоких среди всех видов ластоногих, обитающих в северной части Тихого океана. Предполагается, что хлорорганические соединения, обнаруженные в тюленях из западной части Японского моря, могут поступать в этот район из некоторых стран Юго-Восточной Азии, все еще использующих ХОП в сельскохозяйственном секторе. Задokumentированы факты трансплацентарного переноса пестицидов от матери к плоду во время беременности и к новорожденному в период лактации. (Trukhin A.M., Boyarova M.D. // Marine Pollution Bulletin. 2020. V.150. 110738.)

11. Представлены результаты многолетних исследований распределения, относительной численности и сезонных миграций моржей в прибрежных водах Чукотского полуострова на основе наблюдений 1990 – 2012 гг. Исследования показали, что в прибрежье Чукотского полуострова моржи редко встречаются в январе – феврале. Начиная с марта их численность увеличивается. Миграция из Берингова моря в Чукотское начинается в апреле, продолжается в летние месяцы до ранней осени. В июле-сентябре в Берингов пролив проходят от 100 до 1000 моржей ежегодно. В районе береговых лежбищ в Анадырском заливе численность моржей на протяжении лета остается стабильной и снижается только с появлением льда в октябре – ноябре. (Vladimir V. Melnikov // Arctic. V. 73, N 1, P. 99–113.).

12. Проведены сравнительные исследования влияния загрязнения на двусторчатого моллюска *Corbicula japonica*, обитающего в реках Раздольная, Партизанская и лагуне Тихая. В качестве молекулярных биомаркеров использовали индикаторы окислительного стресса (перекисное окисление липидов, антирадикальная активность), а также повреждение ДНК и микроэлементный состав тканей пищеварительной железы и жабр моллюска. В тканях *C. japonica* из р. Партизанская выявлены высокие концентрации железа, цинка и свинца. В тканях моллюсков из р. Раздольная обнаружена высокая концентрация меди. Уровень продуктов перекисного окисления липидов в пищеварительной железе *C. japonica* из р. Партизанской был выше, чем в других исследуемых районах. Установлено, что во всех моллюсках из исследованных эстуариев наблюдается хронический окислительный стресс. Предложенные биомаркеры в различной степени характеризуют состояние корбикул, обитающих в биотопах с разным уровнем загрязнения, указывая на то, что в самом худшем состоянии находятся моллюски из р. Раздольная. (N.V. Dovzhenko, V.V. Slobodskova, I.V. Matrosova, T.S. Pryazhevskaya // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020, V.421, 062031.).

13. На примере моллюска *Mytilus trossulus* проведена оценка взаимосвязи между степенью загрязнения окружающей среды и ответными реакциями биохимических индикаторов, включая стабильность лизосомальной мембраны – СЛМ, индексы физиологического состояния (CI и CIL), активность каталазы (CAT), глутатион-S-трансферазы (GST) и ацетилхолинэстеразы (АХЭ), уровни перекисного окисления липидов (МДА) и окисления белков (КБ), повреждение ДНК. Биоаккумуляция металлов и поведение исследованных биомаркеров в мидиях, обитающих в б.Золотой Рог и Залив Восток (залив Петра Великого, Японское море), свидетельствуют о существенных различиях в уровнях загрязнения. На

молекулярном уровне биомаркеры окислительного не проявили чувствительность к степени загрязнения окружающей среды. В то же время биомаркеры СЛМ и показатели физиологического состояния, а также активность GST и повреждение ДНК проявили высокую чувствительность к хроническому комплексному загрязнению окружающей среды. (A. Istomina, A. Mazur, V. Chelomin. S. Kukla, V. Slobodskova, A. Zvyagintsev, L. Kolosova, A. Zhukovskaya, Yu. Fedorets. // Water Air Soil Pollut (2020) 231:403.).

14. Ионы цинка и оксид цинка в наноформе оказывали эмбриотоксическое действие на морского ежа *Scaphechinus mirabilis* (Agassiz, 1864) в концентрациях 50–100 мкг/л и полностью подавляли развитие личинок при концентрациях 200–400 мкг/л. Эффективные концентрации (EC50), вызывающие нарушения оплодотворяющей способности сперматозоидов и развития личинок морского ежа, составили 490 ± 16 и 29 ± 4 мкг/л для наноразмерного ZnO и 6526 ± 99 и 67 ± 12 мкг/л для ионов цинка, соответственно. В целом, наноформа ZnO проявляет токсичные свойства, оказывая влияние на раннее развитие *S. mirabilis* в более низких концентрациях, чем ионы Zn^{2+} . (A. A. Mazur, E. V. Zhuravel, V. V. Slobodskova, and M. A. Mazur // Russian Journal of Marine Biology, 2020, Vol. 46, No. 1, pp. 49–55.).

15. Показано, что пластик, попадая в морскую среду, является источником токсичных химических веществ. выполнена оценка токсичности использованных («грязных») и первичных («чистых») пластиковых фрагментов на примере морского моллюска *Mytilus trossulus* Gould, 1850. Модельные эксперименты показали, что пластик является источником химических соединений, которые инициировали в мидиях окислительный стресс, вариации микроэлементного состава в тканях, а также вызывали снижение активности антирадикального звена (ИАА) и оказывали выраженное генотоксическое действие. (N V Dovzhenko, A A Mazur, S P Kukla, V V Slobodskova, L F Kolosova1, A A Istomina, V P Chelomin V.P. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2020, V. 548, 042040.).

16. Исследовано влияние липидного комплекса, выделенного из водно-спиртового экстракта морской красной водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis* и коммерческого препарата сравнения "Эссенциале" на биохимические показатели плазмы крови и мембран эритроцитов мышей при экспериментальном стрессе (вертикальная фиксация за дорсальную шейную складку). Фармакологический эффект липидного комплекса *A. tobuchiensis* проявлялся в снятии дислипидемии и гиперхолестеринемии, что сопровождалось снижением количества общих липидов, липопротеинов низкой плотности и увеличением количества липопротеинов высокой плотности в плазме крови, в нормализации соотношения холестерина/фосфолипиды, а также фосфолипидного состава мембран эритроцитов. (Kushnerova N.F., Fomenko S.E., Sprygin V.G., Momot T.V. // Russian Journal of Marine Biology. 2020. Vol. 46, No. 4. P. 277-283.).

17. Исследовано влияние липидной фракции, выделенной из водно-этанольного экстракта таллома бурой водоросли *Sargassum pallidum* и коммерческого препарата сравнения «Эссенциале®» на физиологические характеристики эритроцитов и липидный состав их мембран при интоксикации четыреххлористым углеродом (CCl₄). Введение крысам внутрижелудочно через зонд липидной фракции из экстракта саргассума в дозе 80 мг общих липидов на кг массы тела в течение 7 дней после интоксикации CCl₄ оказывало мембранопротекторное действие, которое проявлялось в восстановлении размерных характеристик эритроцитов, расширении порога их устойчивости к гемолизу, сохранении соотношения липидных компонентов в мембране. Выраженный эффект обусловлен сочетанным действием входящих в ее состав «морских» липидов. (Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G., Drugova E.S., Momot T.V. // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2020. Vol. 53. No. 11. P. 1063-1068.).

Тема № 5 «Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза» (0271-2019-0005)

Научн. рук. д.г.м.н. Цой И.Б.

Регистрационный номер: AAAA-A17-117030110033-0

1. Идентифицированы тефры из эруптивных центров вулканов Карымского, Горелого, Опала и Шивелуча на основе анализа образцов из колонки SO201-2-40 с возвышенности Мейдзи (северо-западная часть Императорского хребта). Установлено, что мощная эксплозивная активность указанных вулканов в голоцене-плейстоцене проявлялась неоднократно: вулкан Карымский – 8.7, ~ 175 тыс. лет назад; вулкан Горелый – ~39, ~77, ~120 тыс. лет назад; вулкан Опала – ~ 40 (?), ~75, ~90 тыс. лет назад; вулкан Шивелуч – ~ 141 тыс. лет назад. Указанные тефры являются хорошими маркерами для отложений северо-западной части Тихого океана и могут послужить основой для тефрохронологической модели отложений этого региона и использованы в палеовулканологических и палеоокеанологических реконструкциях. (*Derkachev A.N., Gorbarenko S.A., Ponomareva V.V., Portnyagin M.V., Malakhova G.I., Liu Y. // Journal of Quaternary Science. 2020. V. 35. N.1 - 2. P. 362–379.*)
2. Впервые на основе комплексных исследований (петрографических и микропалеонтологических) проведено обоснование возраста и условий формирования осадочного чехла возвышенности Ямато Японского моря. Установлено, что полезные ископаемые фосфориты и бариты приурочены к среднему – верхнему миоцену. На Ямато островные территории, покрытые лесной растительностью, распространенные в раннем миоцене, ограниченно сохранялись до плейстоцена включительно. Неравномерное осадконакопление связано с расчлененным рельефом и активной тектоникой, сопровождающейся вулканизмом в раннем миоцене и плейстоцене. Сходство комплексов пород крупных возвышенностей Ямато и Криштофовича по возрасту и генезису свидетельствует об общем направлении развития этих возвышенностей, тесно связанном с формированием Японского моря. (*Tsoy I.B., Vashchenkova N.G., Vasilenko L.N., Gorovaya M.T., Vagina N.K., Melnichenko Yu.I. // Stratigraphy and Geological Correlation. 2020. V. 28, № 2. P. 202-229.*)
3. Впервые определены концентрации ртути(Hg) в колонках глубоководных донных отложений Курильской котловины Охотского моря и Курило-Камчатского желоба. Показано, что Hg в осадках находится в физически сорбированной форме и зависит от содержания диатомовых водорослей (кремнистых остатков). Важнейшими результатами являются определение скорости седиментации и потоков ртути в донных отложениях Курильской котловины. Согласно полученным данным, в доиндустриальный период (1900 г.) поток Hg составлял 33–36 мкг/м² в год. Максимальный поток ртути (44 мкг/м² в год) соответствовал 1980 году, со снижением до 30 мкг/м² в год в современных отложениях. Установлено, что на накопление Hg в донных отложениях района исследований влияют два фактора: атмосферные осаднения Hg (в том числе в результате антропогенных выбросов) и биологическая продуктивность. (*Aksentov K.I., Sattarova V.V. // Progress in Oceanography. 2020, 180, 102235.*)
4. Изучена реакция бентосных фораминифер (БФ) и продукции радиолярий в центральной части Охотского моря (ОМ) на орбитальные и тысячелетние изменения климата и окружающей среды за последние 136 тыс. лет на основе осадочного керна ПК-7Р, с имеющимися данными продуктивности, геохимии и литологии с модифицированной возрастной моделью. Рассчитаны скорости аккумуляции (СА) микрофоссилий (потоки) основных экологических групп и видов радиолярий и БФ как количественные реакции в их продукции в связи с экологическими и гидрологическими изменениями водной толщи и поверхностных осадков в центральной части ОМ и глобальные и региональные изменения климата. Рассмотрены ответы радиолярий и бентосных фораминифер на изменение

условий окружающей среды в центральной части Охотского моря за последние 136 тыс. лет. (Gorbarenko S.A., Yanchenko E.A., Harada N., Bosin A.A., Artemova A.V., Vasilenko Y.P. // Quaternary Science Reviews. 2020. Vol. 247, 106569.).

5. Впервые на основе интерпретации новых аналитических данных по редким элементам щелочных базальтоидов юго-западной части Японского моря (Цусимская котловина) и данных из литературных источников была установлена внутриплитная плюм-континентальная (САВ) природа плиоцен-голоценового этапа вулканизма южной части Японского моря. Это подтвердилось близостью химических свойств цусимских базальтоидов с вулканическими породами вулканов Цинбоху и Удалянци Центрально-Азиатской внутриплитной провинции (ЦАВП), которая располагается к западу от Японского моря и сформировалась в позднем кайнозое под воздействием Северо-Азиатского суперплюма (Emelyanova T.A., Lelikov E.P., Pugachev A.A. // Oceanology. 2020. Vol. 60. No. 2. P. 236–247.).

6. Впервые разработана и представлена модель геологического развития Японского и Охотского морей в позднем мезозое – кайнозое на основе установления геохимической специфики каждого из этапов вулканизма и выявления геодинамических режимов совместно с источниками магмогенерации. Позднемеловой субдукционный режим в маастрихте – дате сменился на режим трансформной окраины, который продлился вплоть до плиоцена. Он охарактеризовался процессами тектоногенеза, плюмогенеза, максимального окраинно-морского спрединга и завершился в плиоцене – плейстоцене возобновлением субдукции Тихоокеанской плиты под Евразийский континент. (Emelyanova T.A., Petrishchevsky A.M., Izosov L.A., Lee N.S., Pugachev A.A. // Petrology. 2020. Vol. 28. No. 5. P. 418–430.).

7. Предложена расширенная и усовершенствованная модель происхождения и эволюции окраинных морей в мегазоне сдвига при боковом взаимодействии Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит. В этой мегазоне происходит дробление континентальной и океанической плит, мантийный апвеллинг, формируются восходящие и нисходящие литосферные сейсмоактивные вихри. В качестве доказательства состоятельности предлагаемой модели приводятся данные факторного математического анализа, результаты гравитационного и теплофизического моделирования, анализ распределений магнитуд землетрясений в 3D-пространстве и данные по геохимической специфике вулканизма Японского и Охотского морей. Обсуждены вопросы происхождения окраинных морей и проведено сравнение с другими геодинамическими моделями различных геотектонических парадигм. (Izosov L.A., Petrishchevsky A.M., Emel'yanova T.A., Chuprynin V.I., Lee N.S., Vasilyeva M.A. // Journal of Volcanology and Seismology. 2020. Vol. 14 № 1. P. 44–57.).

Тема № 6 «Газогеохимические поля морей Востока Азии, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации в донных осадках»
(0271-2019-0006),

научн. рук. д.г.-м.н. А.И. Обжиров

Регистрационный номер: АААА-А17-117030110035-4

1. Впервые представлены новые данные газового и химического состава донных осадков окраинно-шельфовой части Восточно-Сибирского моря, континентального склона и котловины Подводников Северного Ледовитого океана. Определены генетические показатели семи групп эпигенетических углеводородных газов. На основании полученных материалов выделены площади распространения предполагаемых нефтегазовых, газонефтяных и нефтяных залежей. В донных осадках установлены три парагенетические

группы химических элементов, максимумы концентраций которых связаны с определенными геоструктурами района исследований. Исходя из результатов газогеохимических исследований, следует, что наиболее высокой нефтеперспективностью характеризуются центральная часть Северо-Чукотского осадочного бассейна, Ломоносово-Менделеевская флексурно-разломная зона, континентальный склон, террасы и подножье котловины Подводников. (Гресов А.И., Сергиенко В.С., Яцук А.В., Зарубина Н.В., Калинин В.В. // Доклады академии наук, 2020, № 1. С. 113–117.).

2. Впервые представлены новые данные газового и химического состава донных осадков окраинно-шельфовой части Восточно-Сибирского моря, континентального склона и котловины Подводников Северного Ледовитого океана. Определены генетические показатели семи групп эпигенетических углеводородных газов. На основании полученных материалов выделены площади распространения предполагаемых нефтегазовых, газонефтяных и нефтяных залежей. В донных осадках установлены три парагенетические группы химических элементов, максимумы концентраций которых связаны с определенными геоструктурами района исследований. Исходя из результатов газогеохимических исследований, следует, что наиболее высокой нефтеперспективностью характеризуются центральная часть Северо-Чукотского осадочного бассейна, Ломоносово-Менделеевская флексурно-разломная зона, континентальный склон, террасы и подножье котловины Подводников. (Гресов А. И., Яцук А. В. // Геология нефти и газа, 2020. № 4. С. 83-96.).

3. Обнаружены негативные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ в раковинах бентосных фораминифер в газонасыщенной колонке LV50-05, отобранной в зоне активного выхода метана на подводном склоне Северо-Восточного Сахалина в Охотском море. Они могут отражать локальную историю метановых событий. Хроностратиграфия осадочного разреза колонки строится на восьми AMS ^{14}C -датах и биостратиграфических данных. Аномальные отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ интерпретируются как записи метановых эмиссий на дне моря во время первичной биоминерализации и постседиментационной кальцификации раковин. В исследуемом районе установлены четыре метановых события (МС) в голоцене: кратковременные МС-1 (700—900 лет) и МС-2 (1200—1400 лет); долговременные МС-3 (2500—5400 лет) и МС-4 (7400—10 000 лет). (Плетнев С.П., Юньхуа Ву, Романова А.В., Аннин В.К., Уткин И.В., Вережагина О.Ф. // Геология и геофизика, 2020. Т. 61. № 4. С. 527-545.).

4. Установлена активная эмиссия углеводородных и других газов с максимальными значениями потока метана до 482 моль/(км²×сут.) над газогидратами в Татарском проливе Японского моря. Выявлены закономерности распределения метана, водорода, гелия и термогенного изотопного состава углерода метана. Доминирующее влияние на возникновение придонных газогеохимических аномалий метана и на его поток на границе вода-атмосфера имеют плотность распределения и активность подводных геологических источников, а также особенности глубинного строения района. Установлена корреляция аномалий геофизических полей, распределения газовых факелов, аномальных полей углеводородных газов и потоков метана в атмосферу по контуру выступа фундамента. По повышенным потокам метана в атмосферу выделяются бортовые части Южно-Татарского прогиба. Установленные закономерности могут быть использованы для прогноза скоплений газогидратов на других акваториях. (Шакиров Р.Б., Валитов М.Г., Сырбу Н.С., Яцук А.В., Обжиров А.И., Мишуков В.Ф., Лифанский Е.В., Мишукова О.В., Саломатин А.С. // Геология и геофизика, 2020. т. 61. № 9. с. 1215-1230.).

5. Открыты области распространения газогидратов, газовых факелов, аномальных газогеохимических полей в Южно-Татарском осадочном бассейне (Татарский пролив, Японское море). Исследован компонентный состав углеводородных газов (C1-C5) в донных осадках. Выполнено газогеохимическое районирование района исследований. Впервые для

поверхностного слоя донных осадков (интервал 0-15 см) Южно-Татарского осадочного бассейна, Японского моря рассчитана региональная фоновая концентрация CH_4 (ниже 5,2 ppm), построены карты площадного распределения и проведен анализ источников углеводородных газов (УВГ). Масштабным районом активной разгрузки метана и УВГ в водную толщу является восточный континентальный склон Татарского пролива, что характеризует данный район как активную флюидопроводящую зону разгрузки глубинных источников газа. Полученные результаты подтверждают высокий нефтегазоносный потенциал акватории Татарского пролива, Японского моря. (A. Yatsuk, R. Shakirov, A. Gresov, A. Obzhairov // Geo-Marine Letters. 2020. 40:481–490.).

Тема № 7 «Изучение изменчивости параметров арктической системы «литосфера-гидросфера-атмосфера» в тихоокеанском секторе Арктики и Субарктики: физические, геофизические, биогеохимические и геологические аспекты» (0271-2019-0007),

научн. рук. чл.-корр РАН Семилетов И.П.
Регистрационный номер: AAAA-A17-117030110039-2

1. Изучено распределение изотопов ($\delta^{13}\text{C}$, $\Delta^{14}\text{C}$) и молекулярных биомаркеров углерода, объемной плотности и магнитной восприимчивости и рентгено-флюоресцентного сканирования керна донных осадков SWERUS-L2-31-PC1 (гл. 1120 м) с материкового склона Восточно-Сибирского моря. Выявлен ряд важных региональных палеогеографических событий. За последние 30 тыс. лет позднечетвертичного времени на северо-востоке Сибири произошли три потепления: (а) ~ 28 тыс. лет назад, (б) 14,7÷12,9 тыс. лет назад, (в) ~ 11,7 тыс. лет назад. Синхронно происходило усиление деградации вечной мерзлоты и увеличение на один порядок выбросов углекислого газа в атмосферу. Наиболее ярко это проявилось в последнюю раннеголоценовую дегляциацию, сопровождавшуюся быстрым затоплением приморских равнин. Очевидно, что углерод вечной мерзлоты можно считать одним из ключевых эталонов чувствительности к климатическим изменениям. (Martens J., Birgit Wild B., Muschitiello F., O'Regan M., Jakobsson M., **Semiletov I.**, **Dudarev O.**, Gustafsson Ö. // Sci. Adv. 2020; 6: eabb6546 16 October 2020.

2. Методами хромато-масс-спектрометрии, изотопной хромато-масс-спектрометрии и пиролитического анализа Rock-Eval проанализированы образцы донных осадков с внешнего шельфа моря Лаптевых. Район характеризуется сосредоточением на поверхности дна множества выходов газовых струй. Повсеместно в молекулярном составе органического вещества (ОВ) выявлены соединения, характеризующие значительный вклад терригенной компоненты. Обнаружены соединения, служащие биомаркерами метанотрофных микроорганизмов. Среднее содержание C_{30} голенов в донных осадках участков массивного выброса метана со дна в 2 раза выше, чем на удаленных (фоновых) станциях. Увеличение содержания C_{30} $\alpha\beta$ и C_{32} $\alpha\beta$ -гопанов в ОВ в 1,5 раза по сравнению с фоновыми станциями (за пределами полигона) при уменьшении значения моретанового индекса относительно C_{31} гопанового индекса, позволяет предположить миграцию нефтепроизводного ОВ (микронепти). Обнаруженные в молекулярном составе тритерпеноиды, являющиеся составными звеньями цепочки диагенетического преобразования ОВ бактериального происхождения, могут говорить о процессе метанообразования за счет жизнедеятельности сульфатредукторов и метанотрофов. (Гринько А., Гончаров И., Шахова Н., Густафссон О., Обласов Н., Романкевич Е., Зарубин А., Кашапов Р., **Черных Д.**, Гершелис (Панова) Е., **Дударев О.**, Мазуров А., **Семилетов И.** // Геология и геофизика, 2020, т. 61, № 4, с. 560—585.).

Тема № 8 «Изучение фундаментальных основ возникновения, развития, трансформации и взаимодействия гидроакустических, гидрофизических и геофизических полей Мирового океана» (0271-2019-0007),

научн. рук. академик Долгих Г.И.

Регистрационный номер: АААА-А20-120021990003-3

1. Выявлены общие закономерности распространения низкочастотных гидроакустических волн на шельфе убывающей глубины и их трансформации в сейсмоакустические волны поверхностного типа на границе раздела вода-дно. В результате экспериментальных и модельных исследований установлено, что на морских глубинах более половины гидроакустической волны на 9% -10%, около 4% -7% энергии гидроакустических волн преобразуется в сейсмоакустическую энергию рэлеевского типа. С уменьшением глубины процент преобразованной энергии резко возрастает (рисунок 8). Полученные экспериментальные результаты позволили определить критическую глубину, на которой шельф “запирает” прохождение гидроакустической энергии в воде на частоте 22 Гц. Эта глубина, полученная по экспериментальным данным, очень хорошо совпадает с теоретическими расчетами и равна 17.8 м. При уменьшении частоты излучаемого гидроакустического сигнала этот эффект будет проявляться на больших глубинах. Так, например, при излучении гидроакустического сигнала с частотой 1 Гц на шельфе убывающей глубины и при аналогичных упругих параметрах морского дна этот сигнал не будет распространяться в воде, а будет, начиная с глубин около 390 м, распространяться в дне. (Dolgikh G.I., Piao Shengchun, Budrin S.S., Song Yang, Dolgikh S.G., Chupin V.A., Yakovenko S.V., Dong Yang, Wang Xiaohan // Applied Sciences. 2020. V. 10. No. 9. P. 3183.).

2. Изучена связь вариаций основных периодов гравитационных морских волн с дисперсией и эффектом Доплера, вариациями скорости и направления ветра в зоне действия тайфунов. При совместном анализе вариаций гидросферного давления диапазонов гравитационных и инфрагравитационных морских волн изучены их энергетические отношения, определены региональные инфрагравитационные морские волны, вносящие существенный вклад в энергию инфрагравитационного диапазона. Установлено, что изменение суммарной энергии морских инфрагравитационных волн (20 с – 8 мин) коррелирует с изменением суммарной энергии морских гравитационных волн (2-20 с) (см. рисунок 3), что свидетельствует в пользу теории о генерации морских инфрагравитационных волн гравитационными морскими волнами. (Dolgikh G.I., Budrin S.S., Dolgikh S.G. // Journal of Marine Science and Engineering. 2020. 8(10). 796.).

3. Определены принципы построения «Деформационной антенны Земли» на территории России, предназначенной для регистрации и пеленгации колебаний и волн широкого диапазона частот, начиная от инфразвукового до диапазона гравитационных волн. Располагая лазерные деформографы классического и маятникового типов в определённых точках, можно получить уникальный комплекс, по чувствительности и частотному диапазону превосходящий комплекс проекта LIGO. Максимальная чувствительность антенны может быть достигнута на базе «м. Шульца – Севастополь», равная 10^{-24} в частотном диапазоне 3-43 Гц. На базе «Фрязино – Протвино» может быть достигнут наибольший частотный диапазон (3-2479 Гц) при чувствительности 3.4×10^{-21} . (Долгих Г.И. // ПЖТФ. 2020. Т. 46. Вып.7. С. 3-7.).

4. Рассмотрены особенности атмосферно-литосферного взаимодействия в минутном диапазоне периодов. Разработана методика оценки воздействия атмосферных процессов на литосферные. Учёт воздействия атмосферных процессов на литосферные позволяет более чётко выделять гидросферно-литосферные колебания и волны данного диапазона периодов. При обработке синхронных экспериментальных данных с применением современных методов спектрального оценивания было установлено, что в спектрах отдельных синхронных записей лазерных деформографов и лазерного нанобарографа были выделены

значительные максимумы на периодах около 2 мин 21 с, 4 мин 33 с, 7 мин 35 с, 8 мин 32 с, 11 мин 23 с, 13 мин 39 с, 22 мин 45 с, 34 мин 08 с. (Долгих Г.И., Долгих С.Г., Василевская Л.Н., Лисина И.А. // ДАН. 2020. Т. 490, № 1. С. 22–26.).

5. Изучены особенности возникновения автогенерационных процессов в системе «атмосфера – земная кора», при которых энергия нелинейных колебаний земной коры последовательно передаётся от высокочастотных (20-30 с) до низкочастотных (4-5 мин). Описаны причины возникновения данных автогенерационных колебаний, а также их поведение в зависимости от изменений атмосферного давления. Выдвинуто 2 предположения о связи этих процессов с основными тонами и обертонами высоких порядков собственных колебаний Земли, которые могут существовать при относительно низкой сейсмоактивности Земли (1), и с возможно существующими в рассматриваемых регионах конкретных осцилляторов-генераторов (2). Различие в периодах рассматриваемых колебаний на м. Шульца и на юге о. Тайвань, но подобие их динамических особенностей, делают второе предположение более реалистичны (Долгих Г.И., Будрин С.С., Яковенко С.В. // ДАН. 2020. Т. 490. №2. С. 57-60. DOI: 10.7868/S2686739720020061.

6. Обнаружены и исследованы подводный и донный низкочастотные акустические сигналы (400 Гц) от подводного источника излучения, расположенного относительно приёмной системы по другую сторону перешейка м. Шульца. Приёмная система состояла из трехкомпонентного донного геофона и приёмной акустической комбинированной системы, расположенной в толще волновода на глубине 9 м. Кратчайшее расстояние между источником и приёмником через материковый барьер составляет ~1000 м. Азимутальный угол прихода сигнала продольных волн совпадает с геометрической линией соединяющей источник и приёмник. Приём поперечной и продольной волн осуществляется по различным ортогональным осям координат геофона. Направление прихода продольной волны в точку измерения близко к горизонтальному. Предлагается модель донного слоя на основе упругих свойств желе. При амплитуде смещений частиц среды в акустической волне ~ 0,01 мм структура желе полностью удовлетворяет свойствам упругого твёрдого тела. (Щуров В.А., Щеглов С.Г., Буренин А.В., Ткаченко Е.С. // Подводные исследования и робототехника. 2020. №3 (33). С. 36-45.).

Тема № 9 «Изучение фундаментальных основ акустики донного слоя океана и разработка новых методов акустической диагностики высокого разрешения толщи океана, в том числе в шельфовых зонах» (0271-2019-0009),

научн. рук. академик Акуличев В.А., д.ф.м.н. Буланов В.А.

Регистрационный номер: AAAA-A17-117030110040-8

1. Разработаны теоретические модели акустических характеристик микронеоднородной морской воды, содержащей различные гетерогенные неоднородности, такие как пузырьки, твердые и мягкие взвеси, планктон. Созданы новые методы акустической диагностики, основанные на регистрации обратного рассеяния и отражения от поверхности моря акустических импульсов с различной частотой и дальнейшей обработкой, позволяющей одновременно измерять коэффициенты рассеяния и поглощения звука и нелинейный акустический параметр морской воды. Многочастотное зондирование позволило реализовать акустическую спектроскопию пузырьков в приповерхностных слоях моря, провести оценку газосодержания и получить данные о поглощении звука при различных состояниях моря вплоть до штормовых. Показано, что применение остронаправленных пучков ультразвука и эффектов нестационарного распространения акустических импульсов позволяет в рассеянном назад поле разделять информацию о планктоне и пузырьках и определять с высоким пространственным разрешением структуру пузырьковых облаков, образующихся при обрушении поверхностных волн, и структуру планктонных сообществ. (В. А. Буланов, И. В. Корсков, С. Н. Соседко, А. В. Стороженко // Приборы и техника

эксперимента. 2020. № 3. С. 131–136; В. А. Акуличев, В. А. Буланов, Л. К. Бугаева // Ученые Записки Физического Факультета МГУ. 2020. №1, с. 2010107.1 - 2010107.4; В.А. Буланов, И.В. Корсков, А.В. Стороженко, С.Н. Соседко // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 1. С.42-55.).

Тема № 10 «Разработка новых методов и средств исследования и освоения морских акваторий. Развитие методов диагностики и повышения эффективности функционирования сложных акустических систем» (0271-2019-0010)

научн. рук. д.т.н. Моргунов Ю.Н., д.т.н. Коренбаум В.И.

Регистрационный номер: АААА-А20-120031890011-8

1. Экспериментально определены времена прихода и эффективные скорости распространения импульсных акустических сигналов вдоль акустической трассы, ориентированной приблизительно вдоль кромки шельфа. Проведен теоретический анализ и моделирование распространения звука между точками излучения и приема, описана модовая структура акустического поля на трассе и установлены закономерности формирования такого поля при распространении звука на расстояния в десятки и сотни километров. Разработана методика предсказания эффективных скоростей распространения импульсных сигналов на дальние расстояния в мелком море. Установлено, что на трассах подобных рассмотренной с длиной более 100 км горизонтальная рефракция является одним из существенных факторов, определяющих характер дисперсии импульсных сигналов, а также дополнительную задержку по сравнению с распространением вдоль геодезических линий поверхности Земли. (Петров П. С., Голов А. А., Безответных В. В., Буренин А. В., Козицкий С.Б., Сорокин М. А., Моргунов Ю.Н. // Акустический журнал. 2020. Т. 66, №1. С.20-33.).

2. Исследован вопрос о влиянии крупномасштабных неоднородностей поля скорости звука в океане (на примере устойчивого антициклонического вихря) на точность решения задачи акустической дальнометрии. Проведены вычислительные эксперименты по исследованию влияния вихря на структуру звукового поля, формируемого на акустической трассе, проходящей через его центр, источником навигационных сигналов (ИНС), расположенным на шельфе. По гидрологическим данным, полученным с помощью моделей глобальной циркуляции океана NEMO и ИВМ РАН, построена модель нерегулярного волновода «шельф-глубокий океан» и выполнено численное моделирование акустического поля, формируемого ИНС в таком волновод. Выполнен анализ модовой структуры поля, определены интервалы локализации различных модальных компонент сигнала, рассчитаны эффективные скорости распространения сигналов от ИНС на различных горизонтах приема. Выполнены оценки влияния вихря на времена прихода сигналов от ИНС в точку приема. В рамках рассматриваемой методики решения задачи акустической дальнометрии даже относительно крупный неучтенный синоптический вихрь, ядро которого находится непосредственно на трассе, оказывает относительно слабое влияние на точность определения дальности (дополнительная погрешность 0,01%). (Сорокин М.А., Петров П.С., Д.Д. Каплуненко, Д.В. Степанов, Моргунов Ю.Н. // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 4(34). С 53–60.).

Тема № 11 «Разработка физических основ и методов дистанционного зондирования Земли и современных информационных технологий для комплексных исследований океана и атмосферы» (0271-2019-0011)

научн. рук. к.ф.м.н. Салюк П.А., к.т.н. Фищенко В.К.

Регистрационный номер: АААА-А17-117030110037-8

1. Выполнены расчёты спектров яркостных температур уходящего излучения Земли на каналах радиометра МТВЗА-ГЯ и приведены глобальные поля яркостных температур Земли на нисходящих (ширина полосы обзора $L = 1500$ км) и восходящих ($L = 2500$ км) витках. Поля на вертикальной и горизонтальной поляризациях дают представление о температуре поверхности океана и скорости приводного ветра, интегральном содержании в атмосфере водяного пара, капельной облачности и осадков, характеристиках циклонов, фронтов и атмосферных рек над океаном, распределении морских льдов и свойствах ледяных щитов Антарктиды и Гренландии, температуре земных и растительных покровов и др. Полученные результаты необходимы для совершенствования моделирования яркостной температуры, разработки алгоритмов восстановления параметров, проведения калибровки радиометров и валидации продуктов спутников серии «Метеор-М» № 2. (Чернявский Г.М., Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л. Стрельцов А.М., Евсеев Г.Е., Черный И.В. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т.17. № 3. С. 51-65.).

2. Проанализированы пространственные спектры концентрации хлорофилла «а» (Chla) и температуры поверхности моря (SST) по данным судовых и спутниковых измерений в районе антициклонического вихря в Южно-Китайском море в феврале-марте 2004 г. Отмечено возможное влияние на пространственную изменчивость исследуемых характеристик двух типов динамики и биологических факторов, связанных с зимним цветением фитопланктона. Сравнение пространственных спектров, рассчитанных из судовых измерений Chla и SST (проточным флуориметром и термосолинографом), со спектрами, рассчитанными по спутниковым данным второго уровня (MODIS/Terra и SeaWiFS/SeaStar). Полученные результаты могут быть использованы для изучения фитопланктонных сообществ, и разделения вкладов гидрологических и биологических процессов в поля цвета морской поверхности. (Kleshcheva T.I., Permyakov M.S., Salyuk P.A., Golik I.A // J Oceanogr. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10872-020-00567-1>.).

3. Проведены эксперименты по созданию и исследованию оптического пробоя при двухимпульсном возбуждении и при одноимпульсном возбуждении в поле ультразвука. Наблюдается увеличение интенсивности спектральных линий марганца при одноимпульсном оптическом пробое в поле ультразвука. Однако, интенсивность линий при накачке ультразвуком оказывается меньше, чем при двойном пробое. Установлена высокая эффективность использования ультразвука для регистрации следовых концентраций иона кальция в жидкости при одноимпульсном оптическом пробое жидкости, сравнимая с эффектом двухимпульсного оптического пробоя. Полученные результаты могут быть использованы для организации оперативного определения элементного состава морской воды в многоуровневых измерительных системах. (Буланов А.В., Соседко Е.В. // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 491. № 1. с. 92-96.).

4. Показано, что среднеквадратичный уклон крупномасштабных морских волн (по сравнению с длиной волны радара) может быть восстановлен из спутниковых измерений радаром осадков в пределах полосы шириной около 115 км. Проведен обзор полученных результатов и впервые показаны перспективы глобального мониторинга. На основе данных радиолокации осадков становится возможным измерять глобальные поля уклонов морских волн. Кроме этого, данные радара осадков могут быть использованы для картографирования ледяного покрова, что также является важной задачей. Еще одним существенным преимуществом является то, что радар осадков проводит измерения с 1997 года, и на сегодняшний день накоплен огромный массив данных, что позволит провести анализ декадных изменений. (Panfilova M., Karaev V., Mitnik L., Titchenko Yu., Ryabkova M., Meshkov E. // Journal of Geophys. Res. Ocean. 2020. V. 125, № 11. e2020JC016531.).

5. Получена нелинейная модель экмановского пограничного слоя в обобщенном уравнении завихренности. Обобщенное уравнение эволюции завихренности для баротропной модели вязкой жидкости включает члены линейного и эффективного нелинейного трения,

связанные с влиянием на потоки в океане или атмосфере вращения и трения в планетарном пограничном слое (ПС) у подстилающей поверхности. Для учета в этом уравнении пространственной изменчивости параметров ПС предложена новая нелинейная модель ПС, в которой на основе полуэмпирических соображений получены соотношения для вертикального масштаба ПС, устраняющие его неограниченный рост при стремлении абсолютной завихренности к нулю. Показано, что учет члена нелинейного трения приводит к генерации мезо- и мелкомасштабных структур и при определенных условиях может приводить к разбеганию циклонов, а исключение этого члена – к их слиянию. (Пермяков М.С., Журавлев П.В., Семькин В.И. // Известия РАН, Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56, № 6 ю С. 669-675.).

6. Завершена статистическая обработка архива спутниковых изображений (АСИ) с полярными мезоциклонами (ПМЦ) над дальневосточными (ДВ) морями за 15 холодных сезонов (октябрь-апрель 2003-2018 гг.). Выполнен анализ причин интенсификации мезоциклонической активности над Японским морем в холодном сезоне 2017/2018 гг. Выявлена связь мезоциклонической активности с аномально продолжительным холодным вторжением, вызванным атмосферным блокирующим процессом при локализации тихоокеанского высотного гребня над Беринговым морем. По данным мультисенсорных спутниковых измерений и реанализов высокого разрешения детально изучены ПМЦ над Японским морем с петлями траекторий, аномальной (> 7 суток) продолжительностью жизненного цикла и скоростью ветра ≥ 30 м/с. (Гурвич И.А., Пичугин М.К., Хазанова Е.С. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 1. С. 243-251.).

7. Промоделированы вариации коэффициентов яркости моря, которые могут быть определены дистанционно, при прохождении внутренних волн (ВВ) в шельфовой зоне западной части Японского моря. Расчеты проведены на основе судовых *in situ* измерений гидрологических и биооптических характеристик водной толщи за 2008–2016 гг. Показано, что наибольшим контрастом для дистанционного наблюдения проявлений ВВ в морской толще обладают индексы цвета в диапазоне длин волн 0,4–0,5 мкм и дистанционно определенные концентрации хлорофилла-а по алгоритмам типа OC2. Для оценки положения гребней внутренних волн, а также для оценки амплитуды необходимо решение обратной задачи дистанционного зондирования цвета моря с учетом региональных гидрооптических характеристик и непостоянной стратификации оптически-активных компонентов в морской толще с привлечением данных гидрофизического моделирования. Результаты могут быть использованы для автоматической идентификации и оценки амплитуды ВВ с помощью спутникового зондирования цвета моря. (Липинская Н.А., Салюк П.А. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2020. Т. 13, № 2. С. 51–59.).

8. Проанализировано загрязнение Восточно-Китайского моря конденсатом (сверхлегкой нефтью), вытекавшим с затонувшего иранского танкера Sanchi 15-20 января 2018 г. с помощью изображений, полученных радаром с синтезированной апертурой (РСА) со спутников ALOS-2 ($\lambda = 23$ см), Sentinel-1B ($\lambda = 5,6$ см) и COSMO-SkyMed ($\lambda = 3$ см), а также мультиспектральной оптической камерой Multi Spectral Instrument (MSI) со спутника Sentinel-2. Отмечено примерное соответствие моделей дрейфа конденсата данным спутниковых наблюдений. Показана корреляция изображений РСА PALSAR-2 и MSI, полученных с разницей во времени в 1 ч 13 мин. Определены контрасты нефти на фоне взволнованной морской поверхности. Выделено несколько градаций загрязнения, отличающихся, по-видимому, степенью однородности и толщины плёнок. На изображениях MSI на фоне хорошо различимых ветровых волн выделены циркуляции Ленгмюра: светлые полосы конденсата, чередующиеся с тёмными полосами воды. (Митник Л.М., Хазанова Е.С. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 2020 Т. 17. №4. С. 246–255.).

Тема № 12 «Разработка и внедрение перспективных методов исследования состояния окружающей среды и её ресурсного потенциала, в условиях активизации промышленного развития России в Дальневосточном и Арктическом регионах»
(0211-2019-0005)

научн. рук. к.г.м.н. Чаркин А.Н.

Регистрационный номер: АААА-А20-120011090005-7

Установлено, , в районе разгрузки субмаринных грунтовых вод в губе Буор-Хая (море Лаптевых) большая часть короткоживущих изотопов радия (^{224}Ra , ^{223}Ra , ^{228}Ra) поступает из осадочного материала и лишь высокая активность долгоживущего изотопа ^{226}Ra обеспечивается вкладом грунтового источника. Подмерзлотный генезис грунтовых вод подтверждается низкими значениями $\delta^{18}\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ отношения и максимальной щёлочностью относительно остальных вод исследуемой акватории губы Буор-Хая. С помощью модели трёх источников смешения «Monte Carlo» установлено, что содержание подмерзлотных грунтовых вод в районе их разгрузки (ст.2 дно) достигает 7%. Charkin, A.N., Pipko, I.I., Yu.Pavlova, G., Dudarev, O.V., Leusov, A.E., Barabanshchikov, Y.A., Shcherbakova, K.P., Yaroshchuk, E.I., Pugach, S.P., Gulenko, T.A., Goriachev, V.A., Semiletov, I.P., Zarubina, N.V. // Journal of Hydrology. 2020. Vol. 590. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125515.).

Тема № 13 «Исследование состояния и изменений природной среды на основе комплексного анализа и моделирования гидрометеорологических, биогеохимических, геологических процессов и ресурсов Дальнего Востока» (0211-2019-0006),

научн. рук. д.г.м.н. Обжиров А.И.

Регистрационный номер: № АААА-А19-119122090009-2

1. Исследования особенности распределения индикаторных групп микроорганизмов в донных отложениях Южно-Китайского моря. Показана зависимость распределения индикаторных метаноокисляющих микроорганизмов и аномальных концентраций метана в донных отложениях. Обнаружена корреляция между высокой численностью культивируемых метанотрофных и сульфатредуцирующих микроорганизмов в анаэробной и субанаэробной зоне донных отложений и образованием включений темного цвета (гидротроилитов), а также марказитов. (Еськова А. И., Пономарева А. Л., Легкодимов А. А., Калгин В. Ю., Шакиров Р. Б., Обжиров А. И. // Известия Иркутского государственного университета Серия «Науки о Земле». 2020. Т. 33. С. 33-43.).

2. Впервые изучены сезонные колебания растворенных и взвешенных форм 13 полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в эстуариях рек Партизанской и Туманной. Уровень ПАУ в течение года в целом был низкий, однако наблюдалось повышение концентраций ПАУ вследствие влияния сезонных факторов, как природных (летние паводки), так и антропогенных (активность отопительных систем). Установлено, что сезонные увеличения содержания канцерогенных и потенциально канцерогенных ПАУ ведут к повышению уровня экологического риска до среднего. Показано, что ПАУ, поступающие в эстуарии в течение года, были пирогенного происхождения, однако в отдельные сезоны наблюдался приток петрогенных ПАУ. Распределение ПАУ между солеными и соленоватыми/пресными водами в эстуарных системах зависело от путей поступления ПАУ. Оценены массы ПАУ, поступающие со стоком рек в воды Японского моря. (Chizhova T., Koudryashova Y., Prokuda N., Tishchenko P., Hayakawa K. // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. 17. 6019.).

Тема № 14 «Комплексные исследования окружающей среды Южного океана» (0211-2019-0007), научн. рук. Шакиров Р.Б.
Регистрационный номер: АААА-А19-119122390017-4

1. Впервые выявлена аномалия метана в новом глубоководном (более 1000 м) участке пролива Брансфилд. С помощью газогеохимической съемки был выявлен фокусированный метановый сип на глубине 1397 м, характеризующийся высоким уровнем концентрации метана (43 нмоль/л) в придонном горизонте воды. Установлено, что обогащенный метаном (10,29–14,46 нмоль/л) придонный слой морской воды распространяется на расстояние до 30–35 км от центральной части метановой аномалии. На этом участке выявлен мощный микробиальный фильтр, расположенный в зоне разгрузки метана, в составе которого были зафиксированы культивируемые формы термофильных метанотрофных бактерий, что указывает на термогенное происхождение метана и характеризует в целом активные эндогенные процессы «дыхания недр» в рифтогенной структуре пролива Брансфилд. Полученные результаты вносят важный вклад в понимание деятельности геосистем и экосистем Атлантического сектора Южного океана. (*Полоник Н.С., Пономарева А.Л., Шакиров Р.Б.* // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 32. С. 61–76/.).

2. Проанализированы результаты измерений исключительно редкого крупномасштабного атмосферного явления – внезапного стратосферного потепления (ВСП) в Южном полушарии. Измерения выполнены сканирующим микроволновым температурно-влажностным зондировщиком атмосферы МТВЗА-ГЯ с нового метеорологического спутника России "Метеор-М" № 2-2 в диапазоне частот $\nu = 52,8 - 57,6$ ГГц. При анализе временных рядов антенных температур $T_a(\nu)$ обнаружен быстрый (на несколько десятков градусов за неделю) рост температуры средней и нижней стратосферы над Антарктидой в конце августа – сентябре 2019 г. По временным рядам полей яркостных температур $T_y(\nu)$ с 6 августа по 30 сентября 2019 г. прослежена эволюция ВСП над Южной полярной областью. Из сопутствующих измерений следует, что потепление сопровождалось изменением циркуляции атмосферы в обширном регионе, засухой и сильными пожарами в Австралии, уменьшением площади озоновой дыры над Антарктидой, возмущением характеристик ионосферы. (*Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л.* // Современные проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2020. Т.17. № Т. 17, № 7. С. 229-242).