

*На правах рукописи*



**Холмогоров Андрей Олегович**

**ПЕРЕНОС РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА ТЕЧЕНИЯМИ В НЕКОТОРЫХ  
РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА**

Специальность: 1.6.17 - Океанология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Владивосток –2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Научный руководитель: Шакиров Ренат Белалович  
доцент, доктор геолого-минералогических наук  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Официальные оппоненты: Макаров Михаил Михайлович  
кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук

Шевко Елизавета Павловна  
доктор геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории прогнозно-металлогенических исследований  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН)

Защита состоится 19 апреля 2024 г. в 14 часов 30 минут на заседании Диссертационного совета 24.1.214.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук» по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук» и на сайте института:

[https://www.poi.dvo.ru/sites/default/files/Documents/Dissertation/2024/Holmogorov/Холмогоров\\_Диссертация.pdf](https://www.poi.dvo.ru/sites/default/files/Documents/Dissertation/2024/Holmogorov/Холмогоров_Диссертация.pdf)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.1.214.02  
кандидат географических наук

Храпченков Фёдор Фомич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Газогеохимические методы широко используются в исследованиях нефтегазоносного потенциала. Неравномерное распределение метана в океане обусловлено его локальными эндогенными, биогенными и антропогенными источниками. Очаги его высоких концентраций в морской воде являются косвенными признаками залежей углеводородов.

Распределение газогеохимических полей в донных отложениях контролируется комплексом геологических и геофизических характеристик изучаемого района. При дальнейшем выделении в придонный слой воды и распространении в Мировом океане распределение формируется под влиянием гидрологических факторов. При изучении распределения газогеохимических полей важно учитывать совокупное влияние газогеохимических и океанографических факторов, что также отмечено в работах отечественных и зарубежных исследователей (Шакиров, 2018; Mau et al., 2020). Мало изученными остаются механизмы, обуславливающие распределение и перенос метана течениями от его источников. Этот вопрос частично освещается в работах (Shakirov et al., 2017; Малахова, 2004; Shakhova et al., 2010) и подробно показан для бассейнов Центральной Арктики (Ye et al., 2023).

Рассматриваемый в работе механизм переноса метана выглядит следующим образом: метан выделяется из придонных источников и попадает в морскую воду в виде пузырьков свободного газа. Пока внутреннее давление пузырька уравновешено внешним давлением воды, пузырек движется к поверхности и может достичь атмосферы. Если пузырек схлопнется на каком-либо горизонте, то часть метана растворится в морской воде. Растворенный метан формирует поля повышенных концентраций вблизи придонного источника (при этом, по мере удаления от него, концентрация снижается), а также под нижней границей сезонного пикноклина. При движении к поверхности в слое пикноклина происходит скачок температуры, увеличение которой снижает растворимость метана в воде (Grabowska et al., 2022; Davie et al., 2004; Tishchenko et al., 2005). Таким образом, вертикальное распространение полей повышенных концентраций растворенного метана в общем случае ограничивается нижней границей сезонного пикноклина. Далее растворенный метан переносится течениями и вовлекается в генеральную циркуляцию.

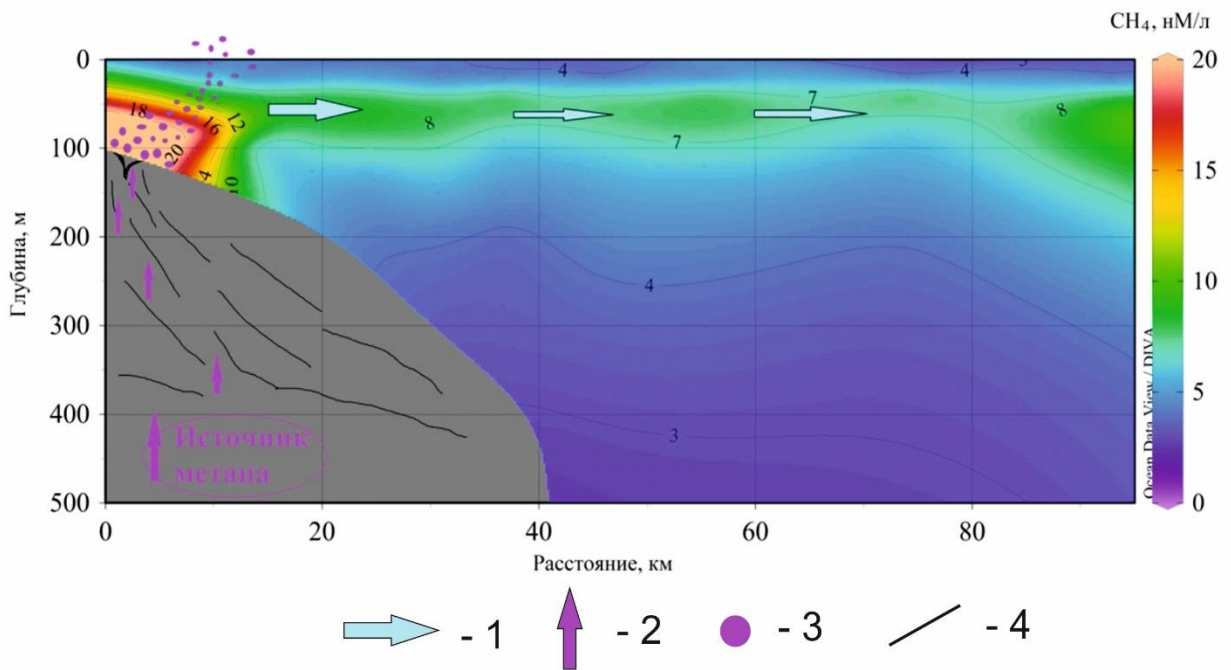


Рисунок 1 – Схема переноса растворенного метана в области максимума скорости течения. 1 – направление течения, 2 – вертикальная миграция метана, 3 – пузыри метана, 4 – разломы

В диссертационной работе исследуется связь газогеохимии с физической океанологией, поскольку метан распространяется в морской среде под влиянием разномасштабных гидродинамических процессов. Знания механизмов распределения и переноса метана актуальны как при выявлении косвенных признаков залежей углеводородов, так и при решении задач эмиссии метана, как парникового газа, в атмосферу, а также проблем, связанных с охраной окружающей среды, что приобретает несомненную актуальность в рамках «климатической повестки». Как указано в Климатической доктрине РФ «интересы Российской Федерации, связанные с изменениями климата, не ограничиваются её территорией и носят глобальный характер». В связи с этим в диссертации рассмотрены разные районы в Мировом океане для сопоставления полученных результатов.

**Цель исследования** - определение особенностей распределения метана в области струйных бароклинных течений, мезомасштабных вихрей и основных влияющих факторов.

**Задачи исследования:**

1. Определить особенности распределения метана и направление его переноса течениями от источников в Татарском проливе в период экспедиционных измерений.
2. Показать океанографические факторы, обуславливающие особенности изменения концентрации метана с глубиной в Восточно-Корейском течении у склона поднятия Ямато и мезомасштабном антициклоническом вихре в прилегающей части Центральной котловины Японского моря на 134°в.д.
3. Определить влияние гидрометеорологических факторов на распределение и перенос метана течениями на Вьетнамском шельфе и склоне Южно-Китайского моря в период океанографических измерений.
4. Провести измерения концентраций растворенного метана в проливе Брансфилд, определить особенности его распределения и переноса течениями в изучаемый период.

5. Определить концентрации растворенного метана в рингах Южного Атлантического течения, выявить области повышенных значений и их вероятные источники на основе результатов гидрофизических измерений и моделирования.

**Научная новизна работы.** Благодаря комплексному анализу при интеграции методов газогеохимии и океанологии, а также по результатам численного моделирования автором показан перенос метана от его придонных источников течениями под нижней границей сезонного пикноклина по данным экспедиционных измерений. Показаны общие особенности распределения метана в области струйных бароклинных течений, мезомасштабных вихрей в различных, не связанных между собой, районах Мирового океана, что говорит о схожести основных влияющих факторов для всех акваторий, при этом некоторые из них (глубина нижней границы пикноклина, снижение концентрации метана по мере удаленности от источника) могут различаться в зависимости от района.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Показаны особенности распределения метана в области струйных бароклинных течений, мезомасштабных вихрей и основных влияющих факторов. Повышенные концентрации метана переносятся под нижней границей сезонного пикноклина течениями от его источника, что позволяет без применения сложных методик определять области потенциальных залежей углеводородов. Поля высоких концентраций метана могут указывать на области концентрации микробиологических сообществ, в том числе участвующих в формировании кормовой базы промысловых биологических видов. Результаты также применимы для реализации научно-исследовательских программ в рамках «климатической повестки», а также с точки зрения решения задач рационального природопользования. Результаты, полученные автором, составили определенный вклад ТОИ ДВО РАН в "Комплексную экспедиционную программу выполнения ресурсных исследований криля и исследований экосистемы Южного океана (Атлантический сектор Антарктики)" (ФАР-РАН, 2019-2022 гг.) (Морозов и др., 2019).

Результаты исследования применимы для реализации конкретных задач ряда документов стратегического планирования (Морская доктрина Российской Федерации; Стратегия развития морской деятельности РФ и др.), а также для достижения целей национального плана действий Российской Федерации в Десятилетии ООН, посвященном науке об океане в интересах устойчивого развития (2021-2030 гг.); Рабочей группы ВЕСТПАК по комплексному изучению газовых гидратов и потоков метана в Индо-Тихоокеанском регионе (CoSGas, 2021-2024 гг.) и Совместной Российско-Вьетнамской лаборатории по морским наукам и технологиям (ТОИ ДВО РАН – Институт морской геологии и геофизики Вьетнамской академии наук и технологий, 2010 г. – н.в.).

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Растворенный в морской воде метан, поступающий из придонных источников, переносится течениями под нижней границей сезонного пикноклина.

2. В мезомасштабных вихрях метан концентрируется под нижней границей пикноклина на периферии вихрей.

3. Перенос растворенного метана в приповерхностном слое морской воды подтверждается результатами Лагранжева анализа происхождения вод.

**Апробация работы.** По теме работы опубликовано 17 статей (в том числе 14 из списка рекомендованных ВАК), 4 главы в монографии, 10 тезисов, 3 патента.

**Личный вклад.** С 2013 г. Холмогоров А.О. принимает участие в исследованиях лаборатории газогеохимии ТОИ ДВО РАН по теме диссертации. Личный вклад автора состоит в выдвигании научной проблемы, в непосредственном участии в проведении морских и экспедиционных исследований, экспериментальном подтверждении и апробации результатов, в разработанной методике, подготовке публикаций и докладов по теме работы, в формулировке научных положений. Все положения и выводы, содержащиеся в диссертации и выносимые на защиту, разработаны соискателем лично, имеют научную новизну, практическую, экономическую и социальную значимость. Вся обработка и интерпретация данных выполнена лично автором. За время работы по теме диссертационного исследования Холмогоров А.О. принял участие в ряде экспедиций, где непосредственно занимался отбором и подготовкой проб, их анализом, а также дальнейшей интерпретацией и публикацией результатов.

С 2013 года участвовал в организации и проведении серии прибрежных и морских экспедиций в районе северного шельфа Вьетнама (залив Тонкин) по ряду грантов ДВО РАН, РФФИ и международных проектов. В ходе этих работ выполнены газогеохимические исследования гидрологических скважин и источников на островах, а также водной толщи и донных отложений. Холмогоровым А.О. проведены исследования по распределению и потоку природных газов в термальных источниках северо-западного Вьетнама. Автор участвовал в обработке, интерпретации и публикации результатов экспедиции «Комплексные геолого-геофизические, газогеохимические и океанографические исследования в территориальных водах Вьетнама Южно-Китайского моря» на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» (руководитель д.г.-м.н. Шакиров Р.Б., рейс № 88), организованной ТОИ ДВО РАН и Вьетнамской академией наук и технологий. В 2021 г. провел экспедицию на Южно-Сахалинский грязевой вулкан с целью отбора проб свободных газов основных дегазирующих грифонов с последующим газохроматографическим анализом, интерпретацией и сопоставлением натуральных данных с результатами дистанционных наблюдений. Участвовал в 87 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (руководитель д.ф.-м.н. Морозов Е.Г., ИО РАН), где выполнял газогеохимические исследования в Атлантическом и Южном океанах, включающие в себя отбор проб с последующим газохроматографическим анализом на борту судна и интерпретацией полученных данных. В 2023 г. в качестве руководителя газогеохимических работ, принял участие в экспедиции ТОИ ДВО РАН (руководитель к.г.н. Лобанов В.Б.) 68 рейсе НИС «Академик Опарин» на северо-восточном шельфе Сахалина и северо-западной части Тихого океана. Автором поставлена задача исследований, определены полигоны, проведен отбор проб и газохроматографический анализ на борту.

#### **Благодарности.**

Автор выражает благодарность и признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. Ренату Белаловичу Шакирову и всему коллективу ТОИ ДВО РАН за отзывчивость, помощь и поддержку, оказанную на всех этапах работы. Благодарю к.ф.-м.н. Пономарева В.И. за консультации и огромную помощь, к.г.н. Власову Г.А. за совместную работу, а также д.г.-м.н. Кулинича Р.Г., к.ф.-м.н. Салюка П.А и к.г.-м.н. Сырбу Н.С. и к.ф.-м.н. Будянского М.В. за совместную работу над статьями, а также д.г.-м.н. Плетнева С.П. за помощь и поддержку. Выражаю глубокую признательность оппонентам за объективные и конструктивные отзывы, а также членам океанологического семинара ТОИ ДВО РАН за ценные замечания.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Во введении описана актуальность темы диссертации. Сформулированы проблема, объект и предмет исследования. Показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В **главе 1** представлен аналитический обзор, в котором описана изученность газогеохимических полей Мирового океана. В рассмотренных работах показано универсальное явление геохимической зональности, важная роль ландшафтно-геохимических и структурно-тектонических и других условий в особенностях строения первичных ореолов рассеяния и вторичных ореолов-потоков вещества, включая природные газы (Шакиров, 2018).

В имеющихся работах довольно подробно рассмотрены особенности формирования и распределения газогеохимических полей метана в придонном слое осадка. Однако исследования распределения метана в морской воде сводятся, в основном, к описанию придонных слоев, где вблизи источников наблюдаются повышенные концентрации  $\text{CH}_4$ . При этом мало внимания уделяется вопросу распределения растворенного в морской воде метана и механизмам его переноса.

**Глава 2** описывает методы исследования и фактический материал.

Методики газогеохимических исследований закреплены в Паспорте лаборатории газогеохимии ПС 1.051-21, утвержденном Свидетельством Росстандарта №58 от 21.12.2021, в патентах и публикациях (Обжиров, 1993; Vereshchagina et al., 2013; Полоник и др., 2020), в отчетах по морским экспедициям и НИР. Основой методологии являются экспедиционно-аналитические исследования с теоретическим анализом полученных материалов, а также анализ и систематизация газогеохимических, гидрологических и геологических данных, полученных предшественниками в данном районе.

Используемые данные газогеохимических съемок получены в морских экспедициях в рамках государственных и международных проектов ТОИ ДВО РАН на НИС «Академик Опарин», рейс 54 (ОР54), на НИС «Академик М.А. Лаврентьев», рейсы 85 (LV85), 88 (LV88), на НИС «Академик Мстислав Келдыш», рейс 87 (АМК87). Общее количество проб морской воды составило 2045 штук, а также 485 проб донного осадка.

Карта-схема расположения станций отбора проб воды и приповерхностного осадка в районе работ показана на рисунке 2.

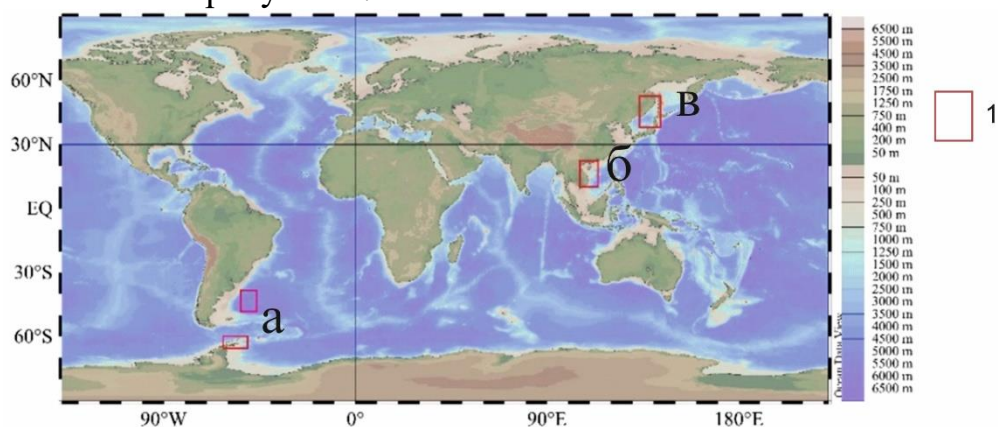


Рисунок 2 – Карта-схема фактического материала. 1 – районы работ в морских экспедициях: а - АМК87, б - LV88, в - ОР54 и LV85

Выбор районов работ обусловлен их различием с точки зрения углеводородного потенциала, а также различием гидрометеорологических особенностей. Японское и

Южно-Китайское моря, район Аргентинской котловины в Атлантическом океане и пролив Брансфилд в Южном океане находятся в разных широтных поясах и обладают различным углеводородным потенциалом. Таким образом, универсальность предлагаемого механизма переноса растворенного метана показана на примере не связанных между собой районов Мирового океана по данным экспедиционных исследований, что позволяет применять данный подход для любых акваторий.

**Глава 3** посвящена исследованию переноса растворенного метана в Татарском проливе и центральной котловине Японского моря. Сформулированы выводы.

**В разделе 3.1** дано описание основных элементов крупномасштабной циркуляции воды в Японском море, включающих циклонический вихрь над Центральной котловиной и основные холодные, и теплые течения, указанные в опубликованных схемах циркуляции (Yoon, Kim, 2009).

**Раздел 3.2** показывает перенос растворенного метана в приповерхностном слое Татарского пролива (рисунок 3а) от его источников (Kholmogorov et al., 2023). В исследовании используется Лагранжева карта происхождения вод в обратном направлении во времени, чтобы показать наблюдаемое распределение концентрации метана в тот же сезон и в том же районе Татарского пролива (рисунок 3б). Самые высокие концентрации  $\text{CH}_4$  (15-37 нМ/л) характерны для шельфовой зоны острова Сахалин в водах, привносимых с юга продолжением Цусимского течения. Средние и низкие значения в основном наблюдаются по оси пролива и вдоль континентального шельфа в водах холодного Приморского течения. Такая неоднородность распределения метана может быть связана с его преобладающим выходом из донных, в том числе содержащих газогидраты, осадков на восточном склоне Татарского пролива (Syrbu et al., 2024; Холмогоров и др., 2022; Шакирова и др., 2020) и шельфе острова Сахалин.

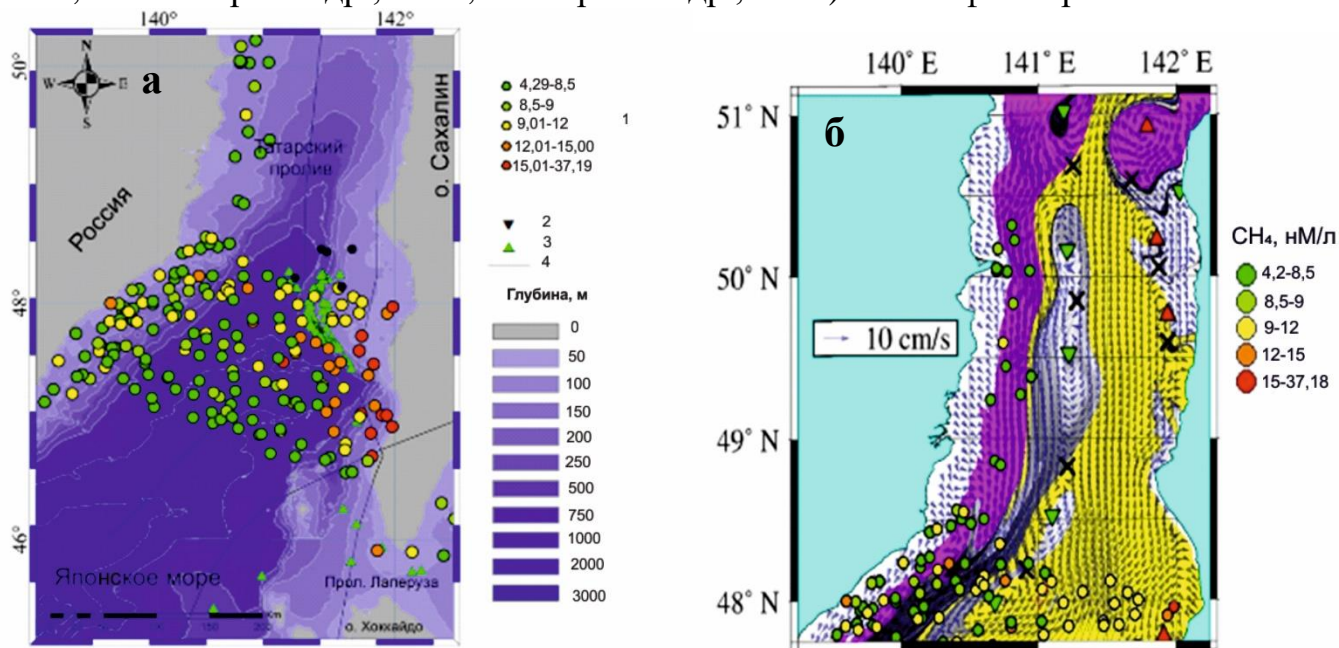


Рисунок 3 – (а) Концентрация растворенного метана (1) на горизонте 4м в Татарском проливе по данным измерений во время рейса 54 НИС "Академик Опарин", 29 сентября - 22 октября 2017 г., газовые гидраты (2), газовые факелы (3) и схематические линии разломов (4); (б) Распределение концентраций растворенного метана на горизонте 5м в Татарском проливе к югу от 51°северной широты, наложенное на комбинированный вектор скорости течения на уровне 15 м – из работы (Ponomarev et al., 2018)



В разделе 3.3 показан перенос растворенного метана течениями в Татарском проливе под сезонным пикноклином на разрезах (рисунок 4).

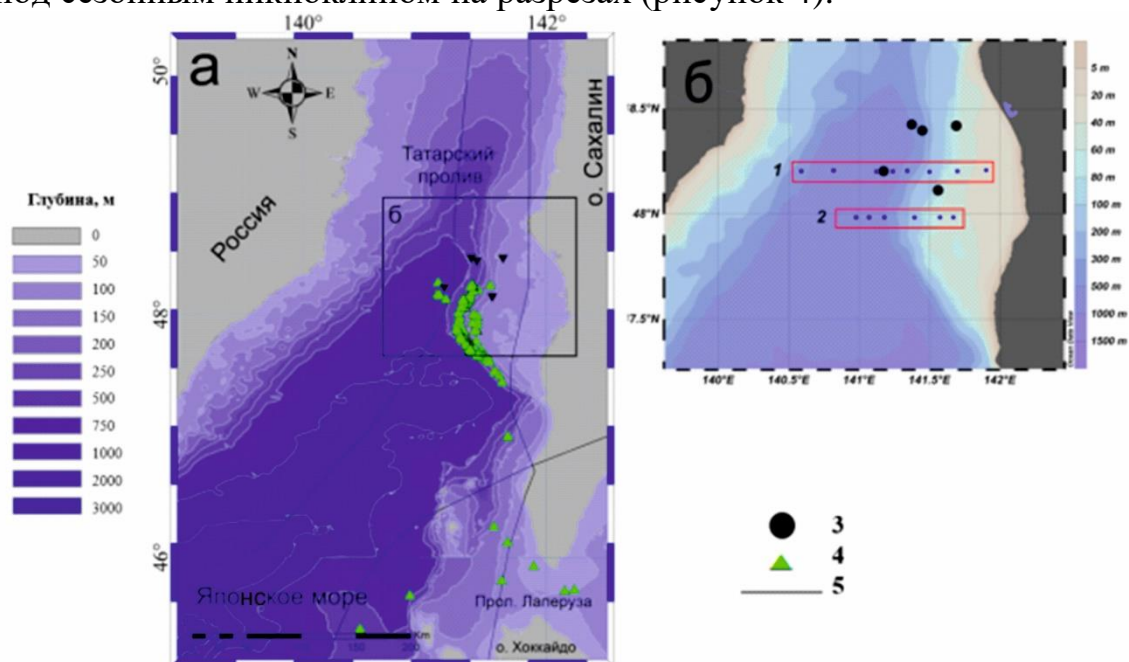


Рисунок 4 – Район исследований (а) с обозначением газовых гидратов (3), газовых факелов (4) и схематичных линий разломов (5). На врезке (б) показаны разрезы 1 и 2, станции CTD измерений и отбора проб воды 21-23 мая 2019 года в рейсе LV85. Рельеф дна показан цветовой шкалой

Установлено, что в мае-июне растворенный в морской воде метан поступает из его источников, расположенных на западном шельфе острова Сахалин и в глубоководной зоне вблизи оси Татарского пролива. В начале теплого сезона растворенный метан переносится на север Западно-Сахалинским течением через восточный шельф Татарского пролива в слое под сезонным пикноклином.

Локальный максимум 84,4 нМ/л был обнаружен к северу от абсолютного максимума в струйном течении под сезонным пикноклином (рисунок 5). Абсолютная максимальная концентрация  $\text{CH}_4$  (155,6 нМ/л) наблюдалась на западном шельфе о. Сахалин в придонном слое на глубине 65 м (рисунок 6). Такая же особенность распределения максимумов концентрации метана обнаруживалась и ранее в работах ТОИ ДВО РАН (проект SSGH, Россия-Япония, 2012-2015 гг., Operation report..., 2013; 2014; 2016).

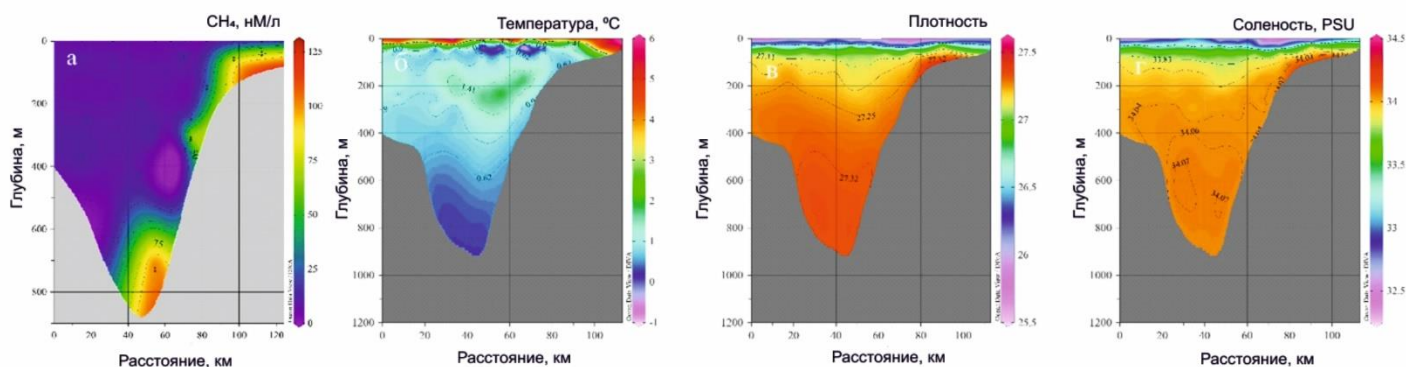


Рисунок 5 – Концентрация растворенного метана (а), температура (б), плотность (в) и соленость (г) на северном разрезе 1 в Татарском проливе, рейс LV85, отбор проб и измерения проводились 21-23 мая 2019 года

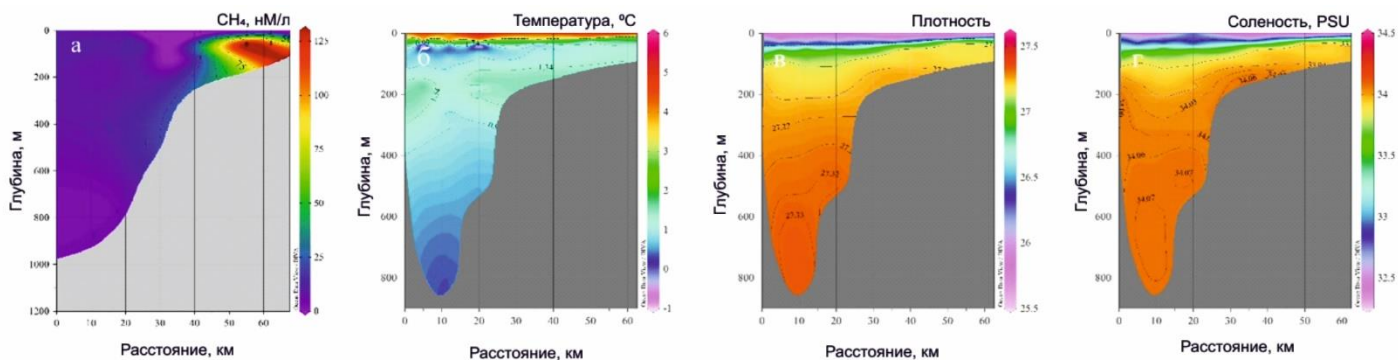


Рисунок 6 – Концентрация растворенного метана (а), температура (б), плотность (в) и соленость (г) на южном разрезе 2 в Татарском проливе, рейс LV85, отбор проб и измерения проводились 21-23 мая 2019 года

В разделе 3.4 описываются результаты изучения распределения растворенного метана в мезомасштабном квазистационарном антициклоническом вихре. В теплом Восточно-Корейском течении вблизи склона поднятия Ямато в Центральной котловине Японского моря локальная максимальная концентрация метана 8,2 нМ/л наблюдается под сезонным пикноклином (рисунок 7). В мезомасштабном антициклоническом вихре на 134° восточной долготы в глубокой части Центральной котловины локальный максимум метана 5,2 нМ/л также обнаружен под сезонным пикноклином.

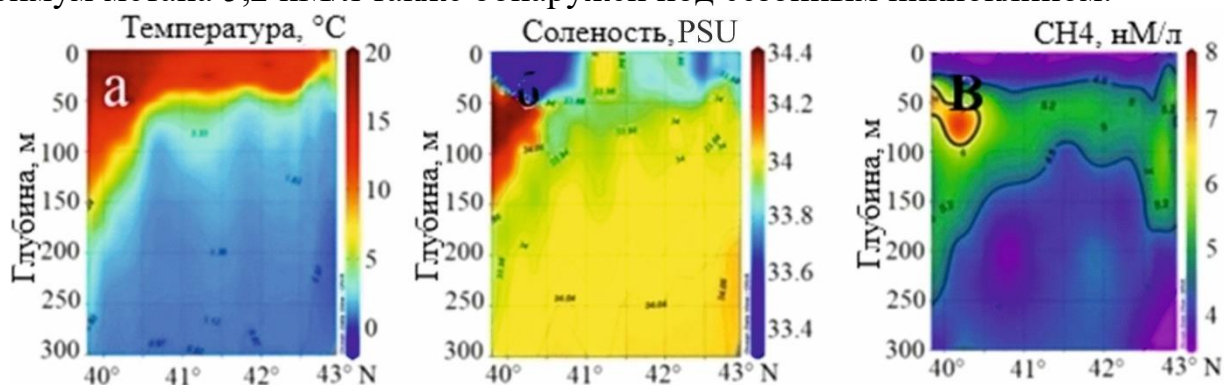


Рисунок 7 – Меридиональные разрезы температуры (а), солености (б) и метана (в) вдоль 134° восточной долготы от склона поднятия Ямато до континентального склона Японского моря (измерения в рейсе ОР54, октябрь 2017 г.)

В главе 4 описано влияние тектонических и гидрометеорологических условий на генезис и миграцию метана в западной части Южно-Китайского моря (привьетнамский шельф и склон).

В разделе 4.1 показано, что рассматриваемые участки в районе осадочных бассейнов реки Красной и впадины Фу Хань расположены в зонах глубинных разломов в тектоническом каркасе с максимальной вероятностью его реактивации (Tran et al., 2021). Прогнозируемая тектоническая реактивация должна инициировать усиление газовой миграции из эндогенных источников в верхние слои земной коры.

Раздел 4.2 посвящен гидродинамическому режиму Южно-Китайского моря (ЮКМ) в районе исследований. Регион ЮКМ находится в условиях Восточно-Азиатского муссона, для которого характерны сезонные изменения. Экспедиция в 88 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» выполнялась в период повышенной повторяемости тропических циклонов. Прямым подтверждением этого явился тайфун NAKRI, который

сформировался в южной части ЮКМ. Это явилось еще одним фактором, усложняющим структуру вод и общий гидродинамический режим, который повлиял на перенос метана в исследуемом районе.

В разделе 4.3 представлены результаты исследования газогеохимических полей района осадочного бассейна реки Красная. Здесь в придонных осадках были выявлены аномальные концентрации метана (максимум  $793 \text{ нМ/дм}^3$ ) при фоновом содержании этого газа  $252 \text{ нМ/дм}^3$  (Геолого-геофизические..., 2021). Аномальная концентрация метана выявлена и в водной толще представленного профиля (рисунок 8). Здесь установлена повышенная концентрация растворенного в воде метана с абсолютным максимумом ( $58 \text{ нМ/л}$ ) в придонном слое на глубине  $91 \text{ м}$  (рисунок 7б). Аномалия метана распространяется от дна до горизонта  $50 \text{ м}$ , где ее количественные значения падают до  $28 \text{ нМ/л}$ . Аномалия прослеживается вдоль профиля на расстоянии более  $200 \text{ км}$ .

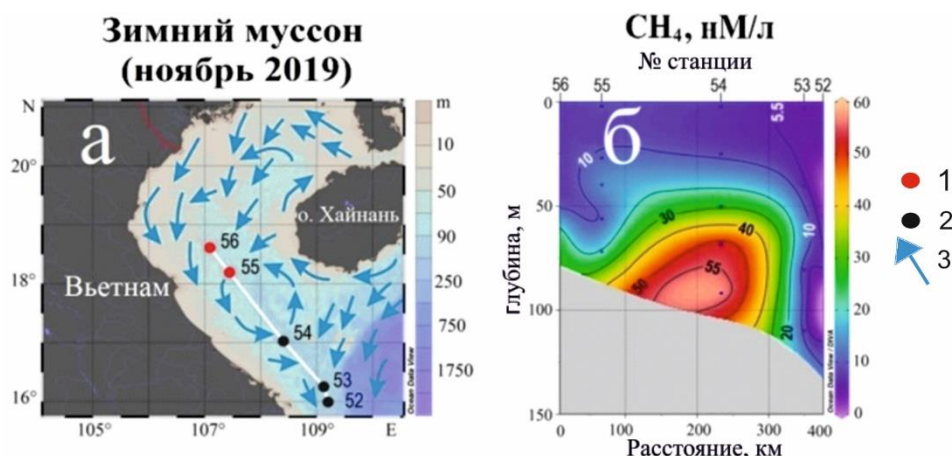


Рисунок 8 – Распределение метана в воде бассейна р. Красной. а – положение станций отбора проб воды; б – концентрации метана в воде. 1 – станции, где отобраны пробы и воды и осадка; 2 – станции, где отобраны пробы осадка; 3 направления течений в период экспедиционных наблюдений

Таким образом, в воде бассейна реки Красной концентрации метана в целом невысокие, за исключением станции № 54. Подобная аномалия с максимальной концентрацией метана  $228 \text{ нл/л}$  в этом районе была обнаружена еще в 80-е гг. прошлого столетия ( $17^{\circ}40'10'' \text{ с.ш.}$ ,  $108^{\circ}00'10'' \text{ в.д.}$ ) (Кулинич, 1985; Обжиров и др., 1985). Это свидетельствует о многолетнем процессе дегазации данного района и существовании здесь глубинного источника генерации углеводородов с формированием газовых, возможно, и нефтяных, скоплений в низах осадочной толщи (Никифоров и др., 2020; Шакиров, 2018). Судя по характеру распространения газовой аномалии, от источника в районе ст. № 54 (рисунок 8б) часть растворенного метана может переноситься водными течениями на северо-запад и частично на юг. Это хорошо иллюстрируется рисунком 8а, где показана схема течений. Полученные выводы подтверждаются результатами многолетних наблюдений распределения метана в заливе Тонкин (Акуличев и др., 2013; Шакиров и др., 2016; Геолого-геофизические..., 2021; Syrbu et al., 2020).

В разделе 4.4 представлены результаты опробования метана в осадках и воде района осадочного бассейна Фу Хань. Этот бассейн, ранее считавшийся неперспективным на поиски нефти и газа, в настоящее время рассматривается как весьма благоприятный для генерации и накопления углеводородов (Арешев, 2004; Геолого-геофизические..., 2021). В осадках выявлены повышенные концентрации метана (до

2000 нМ/дм<sup>3</sup>) с тенденцией увеличения с севера на юг, а также геомикробиологические индикаторы (Еськова и др., 2022). На профилях-б и г выполнено опробование метана в воде и осадках, на профиле-в – только в воде (рисунок 9).

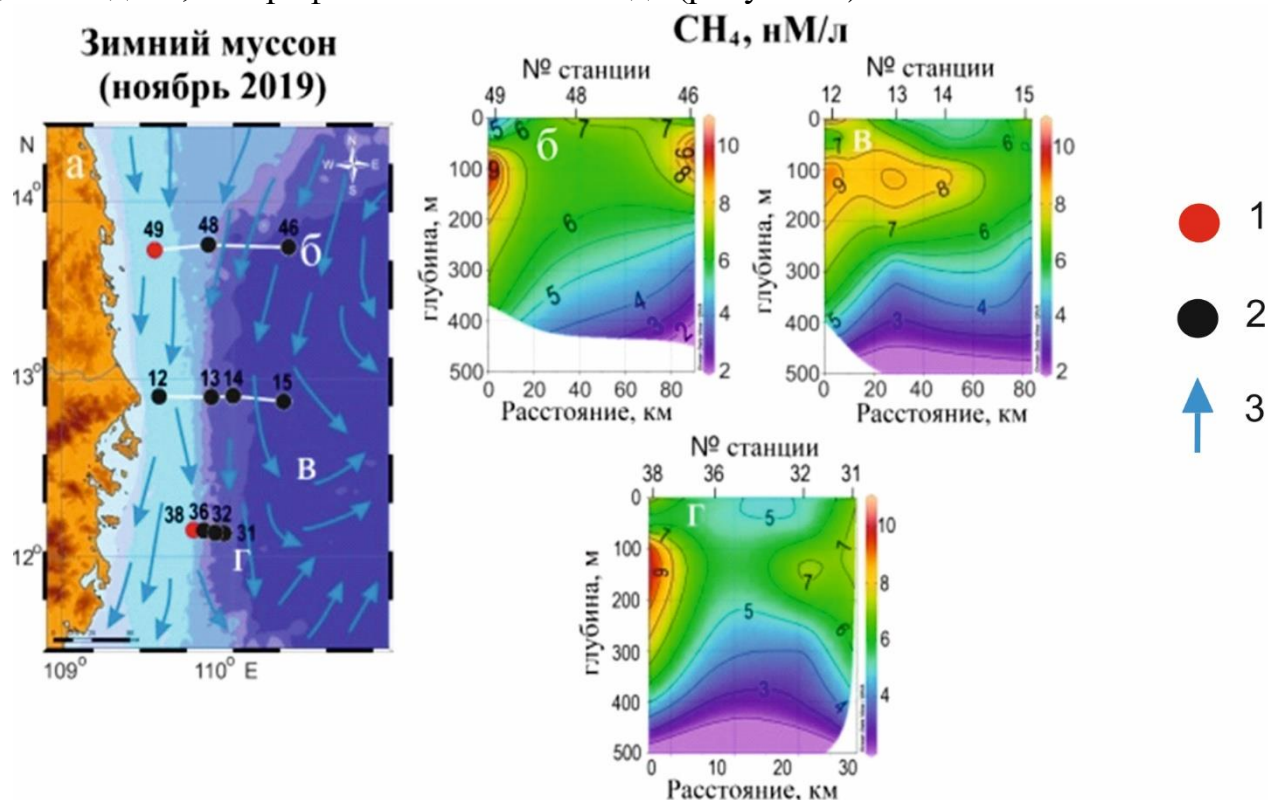


Рисунок 9 – Результаты опробования метана в воде осадочного бассейна Фу Хань. а- положение профилей и станций отбора проб; б, в, г– номера профилей и содержание метана в воде; 1 – станции, где взяты пробы газов в осадках и придонном слое воды; 2 – станции отбора проб воды (не достигшие дна) и осадка; 3 – направление течений в период экспедиционных наблюдений

Анализ распределения метана в воде и сравнение с его содержанием в осадках показывает, что на всех профилях (б, в, г) повышенные концентрации метана располагаются в верхнем слое воды и не установлена прямая связь с его аномальными концентрациями в осадках.

Области повышенных концентраций метана распространяются в слое 50 (70) – 200 (300) м под нижней границей сезонного пикноклина (рисунок 8), которая характерна и для других рассмотренных акваторий (Morozov et al., 2022; Kholmogorov et al., 2022; Kholmogorov et al., 2023; Холмогоров и др., 2023). Это означает, что метан принесен сюда морским течением либо от геологических источников на шельфе Вьетнама, либо из других районов ЮКМ под воздействием тропического циклона ТЦ «NAKRI» (рисунок 10).

ТЦ «NAKRI» развился из тропической депрессии, сформировавшейся 04.11.2019 г. в южной части Южно-Китайского моря, смещался на запад и 10-го ноября 2019 г. своей западной периферией воздействовал на прибрежные юго-восточные провинции Вьетнама (<http://ferhri.org>). Воды, переносимые течениями из центральной и восточной части ЮКМ под воздействием ТЦ «NAKRI» на широте 12°с.ш. сливались с водами Вьетнамского течения. Влияние этого циклона также проявилось в распределении гидрооптических параметров в верхнем слое толщи вод (Геолого-геофизические..., 2021).

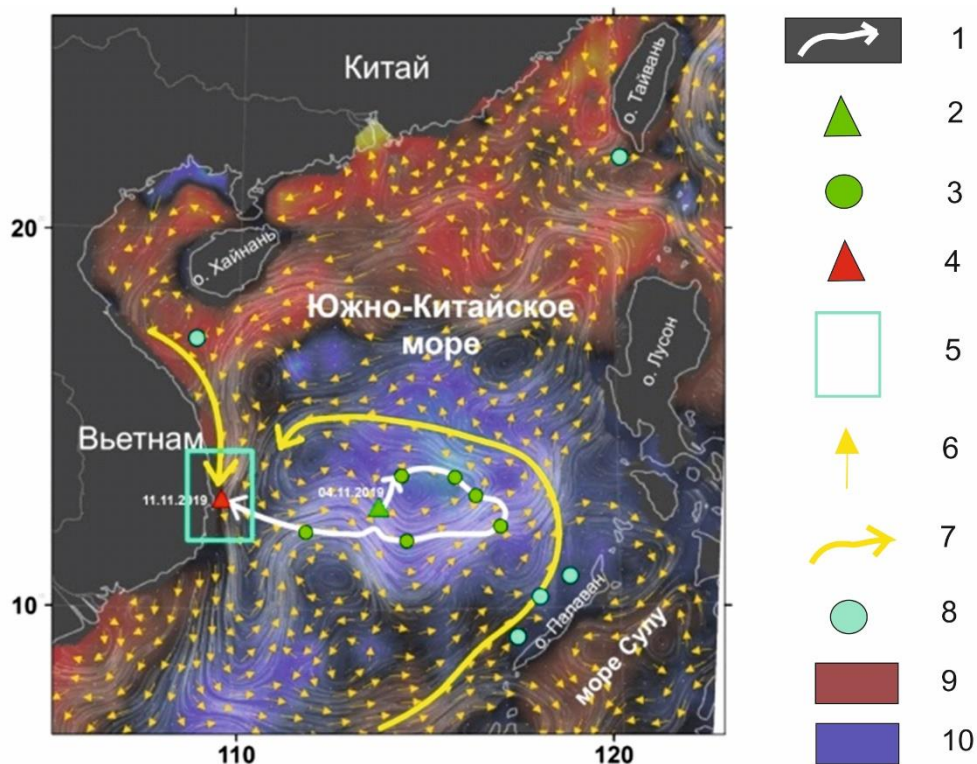


Рисунок 10 – Траектория ТЦ «NAKRI»

1 – траектория движения (<https://www.jma.go.jp/>) ТЦ; 2 – место зарождения ТЦ; 3 – положение центра ТЦ для каждого дня 05-10.11.2019 г.; 4 – выход ТЦ на берег (11.11.2019 г.); 5 – исследуемая акватория; 6 – направление движения водных масс на 09.11.2019 г. по данным спутникового наблюдения (<https://earth.nullschool.net/>); 7 – вероятные траектории привноса метана в бассейн Фу Хань из других эндогенных источников ЮКМ (8); 9 – более теплая морская вода, 10 – более холодная морская вода

**В главе 5** показан перенос метана течениями в проливе Брансфилд, Южный Океан. Пролив представляет особенный интерес как рифтогенная зона с проявлениями современной сейсмической и вулканической активности, а также как район с недавно обнаруженными участками гидротермальной деятельности и повышенными концентрациями метана в толще вод (Полоник и др., 2020).

**В разделе 5.1** кратко описаны основные геологические особенности района работ.

**В разделе 5.2** показан перенос метана системой течений пролива Брансфилд (Kholmogorov et al., 2022) (рисунок 11). Анализ проб морской воды выявил концентрации метана 2,5 – 11 нМ/л. Максимальные концентрации метана (11 нМ/л) наблюдаются на склоне желоба пролива у Южных Шетландских островов на восточном и центральном разрезах на горизонтах 0-500 м. На рисунке 11 различима область повышенных концентраций метана с ядром на глубине 400 м и имеющая горизонтальный масштаб около 10 км. Это может быть обусловлено переносом насыщенных метаном вод течением пролива Брансфилд, направленным на восток.

В поверхностном и подповерхностном (до глубины 200 м) водных слоях на центральном и восточном разрезах (рисунок 10) выделяется область повышенных концентраций (8 нМ/л), что также может быть связано с гидрологическим режимом – существование вихрей на центральной оси пролива.

Минимальные концентрации метана (2,5 нМ/л) обнаружены на дне пролива – в водном слое глубиной более 1000 м (рисунок 11), что может быть вызвано транзитом глубинной воды пролива Брансфилда (ГВБ), верхней границей ее распространения

считаются значения потенциальной температуры  $-1,0^{\circ}\text{C}$  и солёности 34,5 PSU (Garcia et al., 2002).

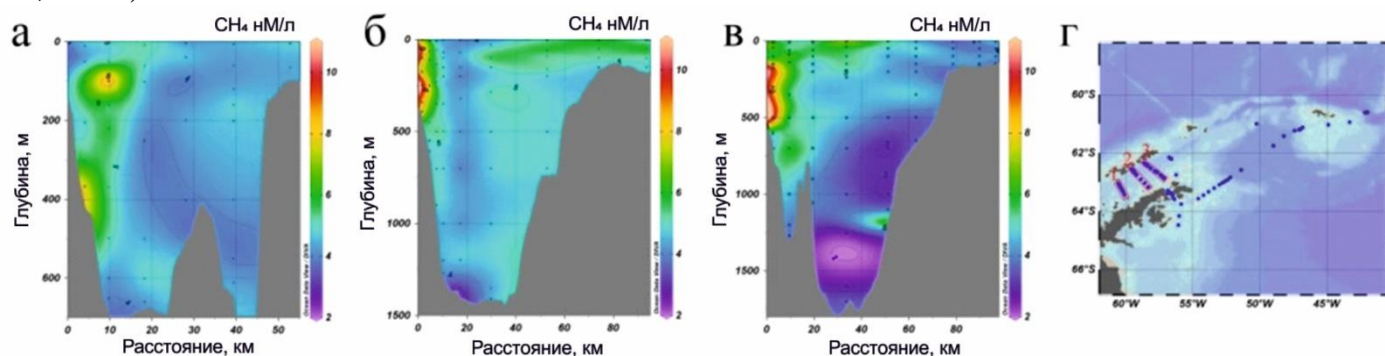
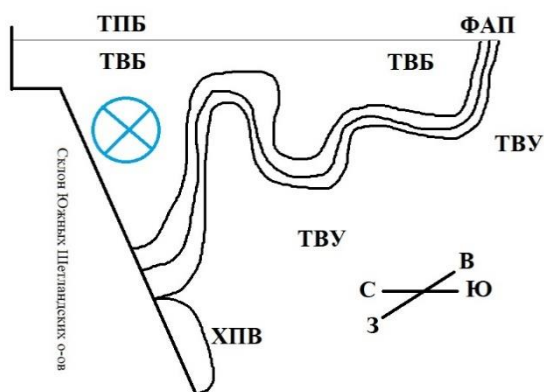


Рисунок 11 – Распределение концентрации метана на западном (а), центральном (б) и восточном (в) разрезах в проливе Брансфилд (г).



Распределение концентраций метана в проливе Брансфилд в значительной степени контролируется гидрологическим режимом. Схема транзита метана на разных горизонтах через пролив подтверждается современными гидрологическими исследованиями (Кречик и др., 2021), а также данными российских и зарубежных коллег, полученными в предыдущие периоды (Sangrà et al., 2011; Gordon et al., 2000; Frey et al., 2023; Морозов, 2007). Схема течений пролива в разрезе представлена на рисунке 12.

Рисунок 12 – Схема основных компонентов системы течений пролива Брансфилд (Sangrà et al., 2011)

ТПБ – течение пролива Брансфилд, ТВБ – транзитные воды пролива Брансфил, ХПВ – холодные придонные воды, ТВУ – транзитные воды моря Уэдделла, ФАП – фронт Антарктического полуострова

**В главе 6** исследуется происхождение локальных максимумов содержания метана под сезонным пикноклином в рингах Южного Атлантического течения.

**В разделе 6.1** описаны известные из предыдущих исследований источники метана в юго-западной части Атлантического океана, которые расположены на континентальном шельфе (рисунок 13). Автор учитывал современные данные о нефтегазоносности бассейнов Атлантического океана (Забанбарк, Лобковский, 2022).

**Раздел 6.2** посвящен океанографическим особенностям района исследований.

**В разделе 6.3** показан перенос метана течениями под пикноклином: проводится сопоставление результатов газогеохимических, океанологических, измерений и численного моделирования (рисунок 13) на примере глубоководной Аргентинской котловины в зоне влияния Южного Атлантического течения. Повышенные концентрации метана (до 12 нМ/л) были обнаружены только в слое 50-200 м. Связь аномальных концентраций с нижележащими водными слоями не установлена, что указывает на привнос метана в район исследований течениями.

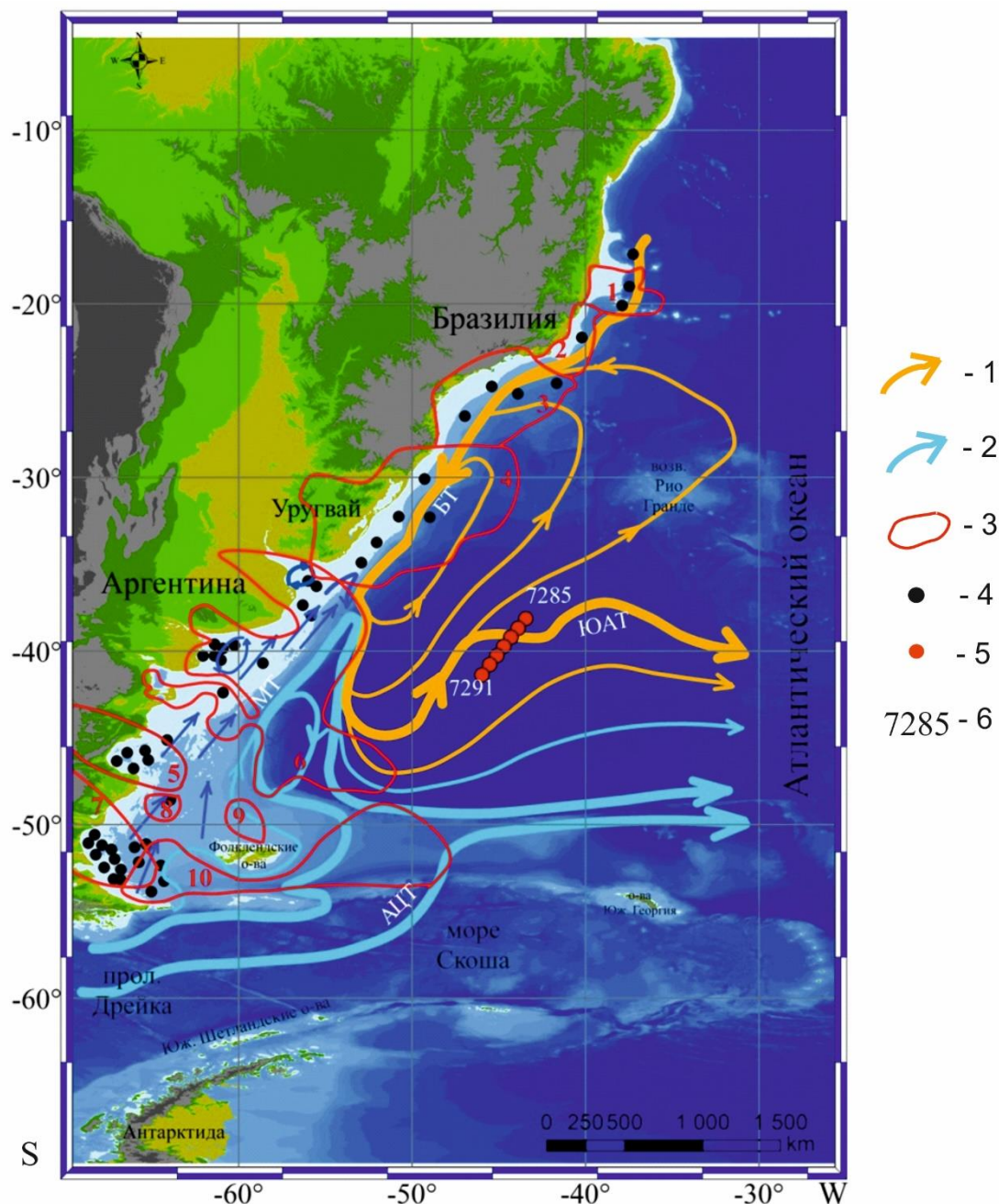


Рисунок 13 – Район исследования

1 и 2 – направления течений: БТ – Бразильское течение, МТ – Мальвинское течение, ЮАТ – Южно-Атлантическое течение, АЦТ – Антарктическое циркумполярное течение; 3 – границы нефтегазоносных бассейнов (<https://sig.energia.gob.ar/>; Силантьев, Халошина, 2016); 4 – места добычи нефти и газа (<https://sig.energia.gob.ar/>; <https://www.cccarto.com/oil/braziloil>; <https://www.oilandgas360.com>); 5 – станции отбора проб (7285-7291) в рейсе АМК87

На основе данных, представленных на рисунке 13, и с учетом особенностей Лагранжева анализа выбраны координаты отрезков прямых линий, заданных в девяти Латиноамериканских бассейнах западной части Южной Атлантики, а также в Антарктическом Циркумполярном и Мальвинском течениях. Эти отрезки (рисунок 14) задавались для проведения численных экспериментов Лагранжева анализа, для определения потенциальных источников метана, от которых растворенный газ мог распространяться под сезонным пикноклином к конкретным океанографическим

станциям разреза через меандры Южного Атлантического течения (рисунок 15). В совместном исследовании автора диссертационного исследования с лабораторией нелинейных динамических систем и лабораторией спутниковой океанологии и лазерного зондирования ТОИ ДВО РАН использовалось поле скоростей AVISO, построенное по сетке с шагом  $0,25^\circ$ , и реанализ CMEMS на основе модели NEMO. Численное моделирование – к.ф.-м.н. М.В. Будянский, визуализация результатов моделирования (рисунки 15 и 17) – к.ф.-м.н. П.А. Салюк.

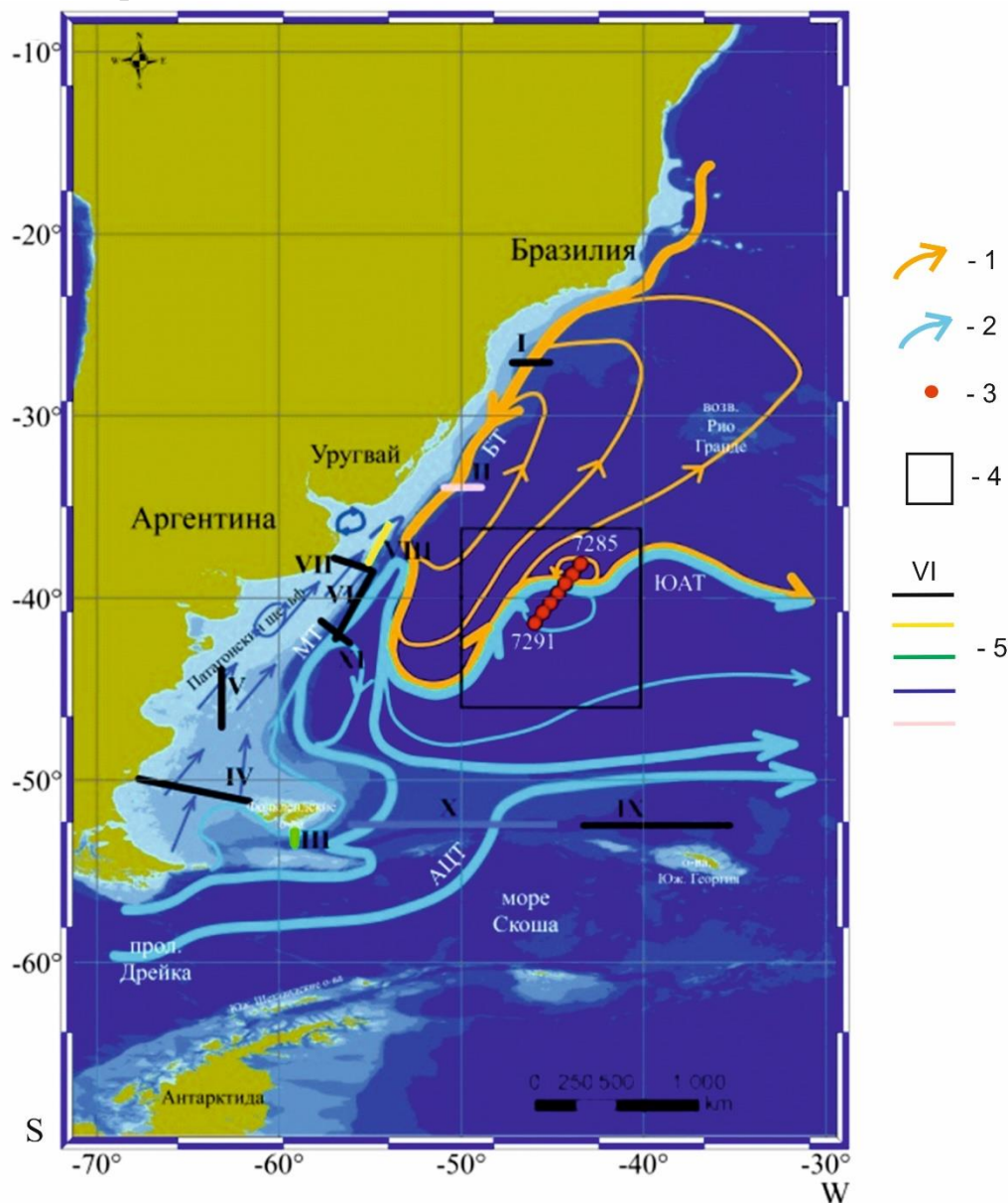


Рисунок 14 – Район исследования

1 и 2 – направления течений, вихри в зоне отбора проб взяты из (Mogozov et al., 2022); 3 – станции отбора проб АМК87 (7285-7291); 4 – зона отбора проб; 5 – отрезки, к которым запускались виртуальные частицы во время проведения численного моделирования

Сопоставление полученных газогеохимических результатов с картой происхождения вод (рисунок 15) наглядно показывает, что повышенные концентрации метана на горизонте 5 м (6,5-7,6 нМ/л) содержатся в водах северного происхождения, тогда как южные холодные воды содержат меньшие концентрации метана – 4,4-6,4



нМ/л. При этом в области слияния северных и южных вод наблюдается абсолютный максимум метана 7,6 нМ/л.

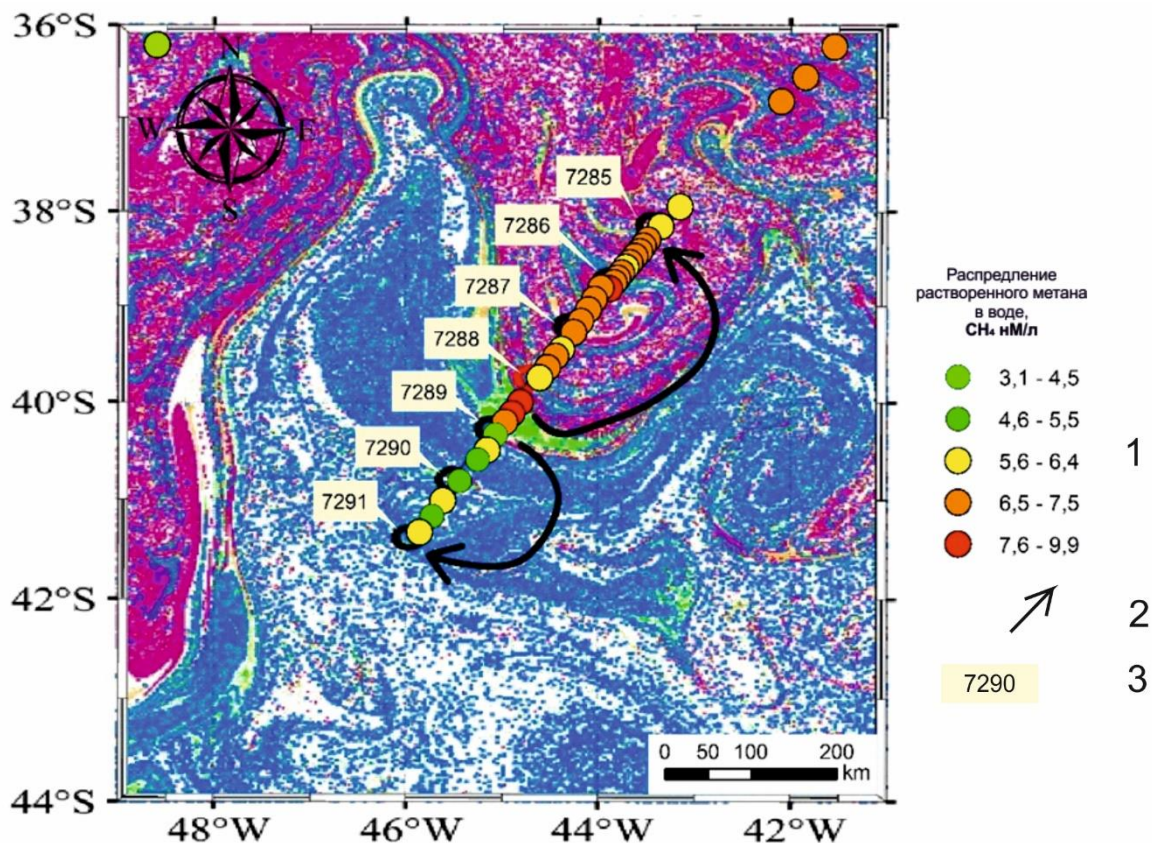


Рисунок 15 – Привнос вод различного происхождения на основе Лагранжева анализа (Будянский М.В.) согласно заданным отрезкам II (красный), III (зеленый), VIII (желтый), X (синий) – (см. рисунок 14) в район отбора проб

1 – распределение растворенного метана на горизонте 5м; 2 – траектории переноса метана в рингах Южного Атлантического течения; 3 – номера станций отбора проб в рейсе АМК 87

На рисунке 16 видна область повышенных концентраций метана с абсолютным максимумом 12 нМ/л, при этом растворенный метан в основном концентрируется под нижней границей пикноклина в слое 50-200м.

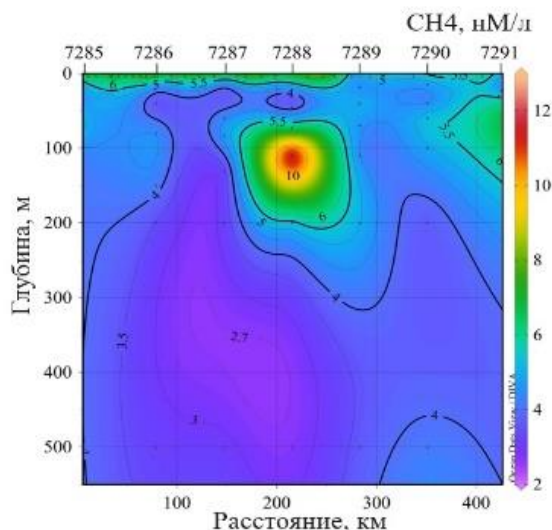


Рисунок 16 – Распределение метана на разрезе

Проведенное моделирование позволило установить потенциальные источники, от которых метан был привнесен в район исследований. Яркие отличия концентраций метана, как на поверхности (рисунок 15), так и на океанографическом разрезе (рисунок 16) объясняются привнесением его водами различного происхождения.

При рассмотрении перемещения виртуальных частиц, представленных на рисунке 17, видно, что основная масса зеленых точек (от прибрежной ветви МТ) пересекает центральную станцию 7288 с максимальной концентрацией метана. Точки красного цвета (от БТ) в основном пересекают станции 7285-7287. Точки синего цвета (морская ветвь МТ) пересекают станции 7289-7291. Распространение желтых точек (от прибрежной части Патагонского шельфа) четко видно только на данных AVISO, и траектория их перемещения пролегает через центральную станцию 7288, к которой они подходят примерно 14 января 2022 г.

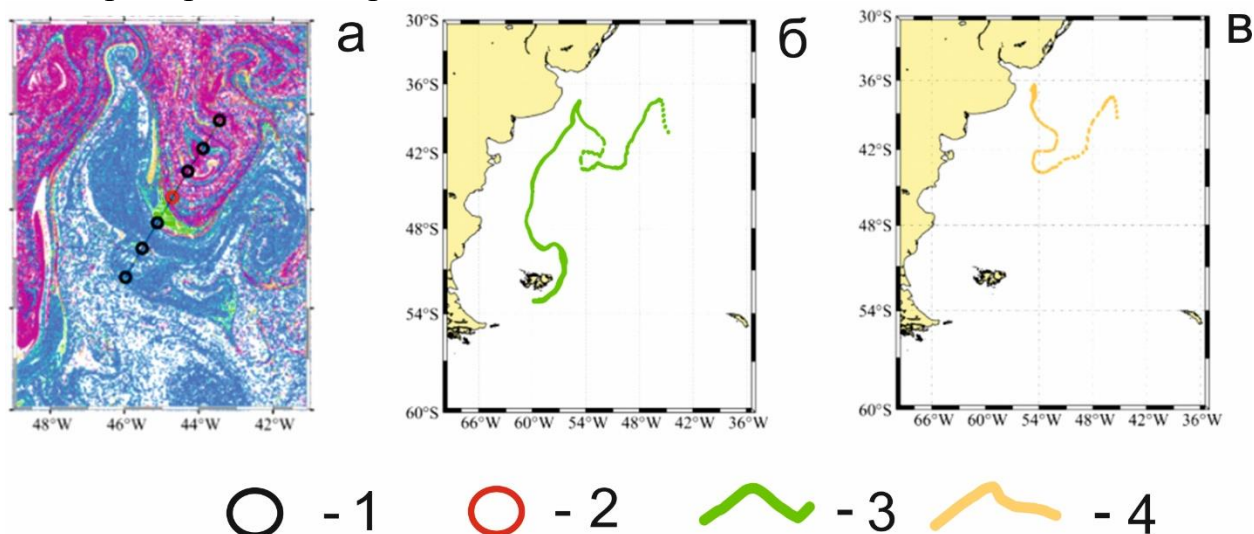


Рисунок 17 – (а) пространственное распределение Лагранжевых точек, пересекавших отрезки II (красный), III (зеленый), VIII (желтый), X (синий) и достигших рассматриваемого разреза на момент судовых измерений 13.01.2022. (б) Лагранжев анализ по данным AVISO. Траектория обратного распространения точек от разреза в компактной клиновидной структуре (зеленый цвет) до отрезка III. (в) Траектория обратного распространения точек от разреза в компактной каплевидной структуре (желтый цвет) до отрезка VIII

1 – местоположения судовых станций; 2 – станция с максимальной измеренной концентрацией метана на глубине около 110м

Результаты исследований подтверждают основную закономерность распределения метана в толще вод исследованных районов, что указывает на общность механизмов его переноса от источников под пикноклином с учетом конкретных гидродинамических явлений и гидрологической структуры толщи вод.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

В начале теплого сезона растворенный метан переносится на север Западно-Сахалинским течением над восточным шельфом Татарского пролива в слое под сезонным пикноклином. Локальный максимум метана на его вертикальном профиле в холодном Приморском течении, Восточно-Корейском теплом течении и в мезомасштабном антициклоническом вихре на 134° восточной долготы в Японском бассейне расположен под нижней границей сезонного пикноклина и распространен в слое 50-150 м в северо-западной части Японского моря.

Часть метана, находящегося в водах, в районе газового месторождения Кен Бау (Южно-Китайское море) может переноситься на юг прибрежным Вьетнамским течением, адаптированным к условиям зимнего северо-восточного муссона. Показано, что система тектонических разломов, сформировавших осадочные бассейны Фу Хань и реки Красной, создает необходимые эндогенные условия для образования и миграции метана в донные осадки и морские воды. Установлена большая роль тайфуна NAKRI в привносе метана в водную толщу бассейна Фу Хань. Под его влиянием были созданы благоприятные гидродинамические условия для переноса растворенных газов, возможно, от зон их эмиссии в районе нефтегазовых скоплений и месторождений у побережья о-вов Калимантан и Палаван в бассейн Фу Хань.

Детально изучено распределение полей метана в проливе Брансфилд (Южный океан). Выявлена связь распределения  $\text{CH}_4$  в воде с системой течений пролива. Установлены повышенные значения концентраций метана, привносимого в пролив Брансфилд теплым течением из моря Беллинсгаузена. Низкие концентрации  $\text{CH}_4$  также характерны для холодных вод моря Уэдделла, которые осуществляют транзит водных масс в Атлантический океан.

Проведены комплексные исследования концентрации растворенного метана в юго-западной части Атлантического океана. Сопоставление результатов газогеохимических, океанографических исследований и результатов численного моделирования показало, что растворенный метан от придонных источников на шельфе Аргентины и Мальвинского бассейна, а также на шельфе Бразилии переносится течениями в район слияния Мальвинского и Бразильского течений. Показано, что переносимый в рингах Мальвинского и Бразильского течений метан образует область максимальных концентраций под нижней границей пикноклина в слое 50-200 м.

Показанные районы различны с точки зрения углеводородного потенциала, а также гидрометеорологических особенностей. Японское и Южно-Китайское моря находятся в разных широтных поясах и обладают высоким углеводородным потенциалом. Показано, что растворенный метан переносится от его источников течениями под нижней границей сезонного пикноклина и вовлекается в генеральную циркуляцию, что подтверждается результатами Лагранжева анализа. Наличие повышенных концентраций  $\text{CH}_4$  на периферии мезомасштабных вихрей подтверждает его перенос в струях течений.

Универсальность предлагаемого механизма переноса растворенного метана показана на примере не связанных между собой районах Мирового океана по данным экспедиционных исследований, что позволяет применять данный подход для любых других акваторий Мирового океана.

Таким образом, на примере разных районов Мирового океана выявлена и описана общность базовых механизмов переноса растворенного метана и показана роль течений. В этой связи особенно важным является использование примененной методической основы, которая позволяет интерпретировать источники и аномальные поля растворенного метана в различных пространственных и временных масштабах.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в рецензируемых журналах:*

1. Kholmogorov A. Dissolved Methane Transport in the Tatar Strait and the Deepest Basin of the Japan (East) Sea from Its Possible Sources. / A. Kholmogorov; V. Ponomarev, N. Syrбу; S. Shkorba. // *Water*. – 2023. Vol. – 15.– Art. no. – 821.
2. Kholmogorov A.O. Influence of Hydrological Factors on the Distribution of Methane Fields in the Water Column of the Bransfield Strait: Cruise 87 of the R/V “Academik Mstislav Keldysh”, 7 December 2021–5 April 2022. / A.O. Kholmogorov, N.S.Syrбу, R.B. Shakirov. // *Water*. 2022. – Vol. – 14.– Art. no. – 3311.
3. Холмогорова А.О. Исследование изменчивости концентраций метана в поверхностном слое вод Японского моря в контексте сейсмических событий (по результатам экспедиционных исследований 2017-2018 гг.) / А.О. Холмогоров, Н.С. Сырбу, Р.Б. Шакиров // *Геодинамика и тектонофизика. Современная геодинамика*. – 2022. – Т. 13. – № 3. – DOI 10.5800/GT-2022-13-3-0642.
4. Холмогоров А.О. Распределение метана в водной толще района Тропической подводной горы (Атлантический океан). / А.О. Холмогоров, Н.С. Сырбу, Р.Б. Шакиров, Л.Б. Невеш // *Вестник ДВО РАН*. – 2023. – № 2. – С. 64 – 74.
5. Syrбу N. Cold Seeps and Heat Flow: Gas Hydrate Provinces Offshore Sakhalin Island. // N. Syrбу, A. Kholmogorov, E. Maltseva, A. Venikova. / *Water*. – 2024. – Vol. – 16. – Art.no. 213.
6. Morozov E.G. Multidisciplinary Observations across an Eddy Dipole in the Interaction Zone between Subtropical and Subantarctic Waters in the Southwest Atlantic / E.G. Morozov, D.I. Frey, V.A. Krechik, et al. // *Water*. – 2022. – Vol. 14. – Art. no. 2701.
7. Komissarov A.A. Low-Frequency Sound Propagation in an Underwater Waveguide with a Giant Gassy Pockmark. / A.A. Komissarov, D.V. Makarov, A.O. Kholmogorov, R.B. Shakirov // *J. Mar. Sci. Eng.* – 2023. – Vol. 11. Art.no. – 211.
8. Якимов Т.С. Проявления аутигенной минерализации вдоль континентального склона Японского моря и в Татарском проливе (материалы 61 рейса НИС «Академик Опарин»). / Т.С. Якимов, Р.Б. Шакиров, Н.С. Сырбу, А.О. Холмогоров, А.В. Сорочинская // *Тихоокеанская геология*. – 2023. – Т. 42. – № 4. – С. 101–114.
9. Сырбу Н.С. Сравнительный анализ газо-геохимических данных наземного и спутникового мониторинга острова Сахалин и его шельфа (северо-восток России): тектонические следствия. / Н.С. Сырбу, А.О. Холмогоров, И.Е. Степочкин, Е.С. Хазанова. // *Геотектоника*. – 2023. – № 2. С. 39–56.
10. Сырбу Н.С. Особенности газогеохимических полей метана в районе залива Петра Великого (Японское море). / Н.С. Сырбу, А.О. Холмогоров, Н.С. Ли, А.И. Гресов. // *Тихоокеанская геология*, 2023. – Т. 42. – № 4. – С. 91–100.
11. Syrбу N.S. Geochemical distribution of helium, hydrogen, carbon dioxide, and methane in Sakhalin Island mud volcanoes, hot springs, and cold seeps. / *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. // N.S. Syrбу, G.T. Snyder, R.B. Shakirov, A.O. Kholmogorov, R.V. Zharkov, U. Tsunogai – 2022. – Vol. 431. – Art.no. 107667.
12. Syrбу N.S. Gasgeochemical features in the western part of the East Vietnam Sea (Bien Dong Sea). / N.S. Syrбу, N. Hoang, R.B. Shakirov, A.O. Kholmogorov, A.L. Venikova, D.A. Le, A.A. Legkodimov // *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*. – 2022. – Т. 22. – № 3. – DOI 10.15625/1859-3097/17229.

13. Le D.L. Distribution of gases in bottom sediments of the southwestern sub-basin South China Sea (Bien Dong). / D.L. Le, A.O. Obzhairov, N. Hoang, R.B. Shakirov, D.A. Le, N.S. Syrбу, D.M. Tuan, N.V. Tao, T.T. Huong, D.H. Cuong, A.O. Kholmogorov, P.V. Binhe, O.V. Mishukova, A.I.Eskova // *Tikhookeanskaya Geologiya*. – 2021. – №2. – P. 67–77.

14. Syrбу N.S. Formation of anomalous gas fields of helium and hydrogen in the Cat Ba, Co To and Bach Long Vi islands, northern Vietnam. / N.S. Syrбу, D.L. Le, A.O. Kholmogorov, N. Hoang. // *Vietnam Journal of Earth Science*. – 2021. – Vol. 43. – No. 3. – P. 301-315.

15. Syrбу N.S. Geological features for the formation of gas-geochemical fields, including helium and hydrogen, in the water and sediments at the Vietnamese part of the South-China Sea. / N.S. Syrбу, D.H. Cuong, T.S. Iakimov, A.O. Kholmogorov, Yu.A. Telegin, U.Tsunogai // *Georesursy = Georesources*. – 2021. – Vol. 23(1). –P. 132–142.

16. Макаров Д.В. Влияние покмарков на распространение низкочастотного звука в мелком море. / Д.В. Макаров, А.О. Холмогоров, Р.Б. Шакиров // *Подводные исследования и робототехника*. – 2021. – №. 4(38). – С. 68–79.

17. Syrбу N.S. Formation of abnormal gas-chemical fields of methane, helium and hydrogen in the area of North Vietnam, coastal and adjacent water area. / N.S. Syrбу, R.B. Shakirov, D.A. Le, A.O. Kholmogorov, T.S. Iakimov, V.Yu. Kalgin // *Lithology and Mineral Resources*. – 2020. – № 6. – P. 512-527.

#### ***Главы в монографии:***

1. Якимов Т.С., Холмогоров А.О. Петрографические особенности вулканогенно-осадочной толщи острова Катба. Геолого-минералогические особенности Южного и Центрального Вьетнама. Геолого-геофизические и океанографические исследования западной части Южно-Китайского моря и прилегающего континента (по результатам 88 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и береговых экспедиций 2010-2020). 2021. С. 179-186.

2. Мишукова Г.И., Шакиров Р.Б., Швалов Д.А., Мишукова О.В., Легкодимов А.А., Холмогоров А.О. Потоки метана на границе раздела вода-атмосфера на акватории открытой части моря, привьетнамского континентального склона и шельфа в осенний сезон. Геолого-геофизические и океанографические исследования западной части Южно-Китайского моря и прилегающего континента (по результатам 88 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и береговых экспедиций 2010-2020). 2021. С. 243-248.

3. Сырбу Н.С., Шакиров Р.Б., Холмогоров А.О., Ле Дык Ань. Распределение углеводородных газов, гелия и водорода на островах Тонкинского залива (Катба, Кото и Бать Лонг Ви). Геолого-геофизические и океанографические исследования западной части Южно-Китайского моря и прилегающего континента (по результатам 88 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и береговых экспедиций 2010-2020). 2021. С. 252-259.

4. Сырбу Н.С., Холмогоров А.О., Легкодимов А.А., Ле Дык Ань. Формирование аномальных газогеохимических полей в районе термальных и минеральных источников Северного Вьетнама. Геолого-геофизические и океанографические исследования западной части Южно-Китайского моря и прилегающего континента (по результатам 88 рейса НИС «Академик М.А. Лаврентьев» и береговых экспедиций 2010-2020). 2021. С. 248-252.

***Материалы диссертации были представлены на конференциях:***

1. Холмогоров А.О. Особенности газогеохимического режима термальных источников разломной зоны Красной реки (Северный Вьетнам). // Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование: MARESEDU – 2020». Москва, 26-29 октября 2020 г. Стендовый доклад, заочно.

2. Холмогоров А.О. Концентрации метана в поверхностном слое морской воды Японского моря в контексте сейсмических событий // IX конференция молодых учёных «Океанологические исследования». Владивосток, 29-30 апреля 2021г.

3. Kholmogorov A.O., Shakirov R.B., Syrбу N.S., Obzhіrov A.I., Tsunogai U., Le D.A., Phung V.P. Gasgeochemical features of the western Vietnam sea // THE 3rd national scientific conference of Vietnam natural museum system. Hanoi. 2021. P. 693–701

4. Холмогоров А.О., Сырбу Н.С., Шакиров Р.Б. Корреляция концентраций метана в поверхностном слое морской воды и сейсмических событий (по данным рейса 54 НИС «Академик Опарин», 2017 г.) // Международная научно-практическая Конференция «Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность -2021». Москва, 26–31 мая 2021 г.

5. Холмогоров А.О. Сейсмическая активность и колебания концентраций метана в Японском море. Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов IV Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Южно-Сахалинск, 6-10 сентября 2021 г. Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2021. С. 59.

6. Холмогоров А.О. Концентрации метана в поверхностном слое воды Японского моря и сейсмические события региона. Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тезисы докладов Международной научной конференции, посвящённой 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий». 13-18 сентября 2021 г. ФИЦ ИнБЮМ. Севастополь. С. 705-706.

7. Холмогоров А.О. Газогеохимические исследования в проливе Брансфилд (Южный океан). Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, 5–9 сентября 2022 г., Севастополь, Российская Федерация. – Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2022. с. 147-149.

8. Kholmogorov A.O., Syrбу N.S. Oceanological and geophysical features of the areas of gas hydrates occurrence (the Sea of Japan, the Tatar Strait). Ресурсы, окружающая среда и региональное устойчивое развитие в Северо- Восточной Азии: Тезисы докладов V Международной научной конференции (Иркутск, 23–26 августа 2022 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022. С.109

9. Холмогоров А. О., Сырбу Н. С., Степочкин И. Е., Хазанова Е. С. Сравнительный анализ наземных, морских и спутниковых наблюдений газо-геохимических полей метана и углекислого газа на острове Сахалин и его шельфе. Моря России: вызовы отечественной науки M79 = The Seas of Russia: Challenges of the National Science : тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Севастополь, 26–30 сентября 2022 г. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2022. с. 362-364.

10. Холмогоров А.О. Газогидратные провинции акватории острова Сахалин на основе геологического, геофизического, сейсмического и гидрологического районирования. Россия в Десятилетии ООН наук об океане (Тезисы докладов на Первой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Россия

в Десятилетии ООН наук об океане»), Москва: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. с. 168-171.

***РИД***

1. Холмогоров А.О. Патент на полезную модель водоотборного устройства (RU202449U1. Водоотборное устройство. ТОИ ДВО РАН им. В.И. Ильичева, Владивосток. 2021).

2. Сырбу Н.С., Холмогоров А.О. Патент на изобретение. Система для отбора проб из водосборного устройства. RU2786650C1. ТОИ ДВО РАН им. В.И. Ильичева, Владивосток. 2022.

3. Холмогоров А.О. Патент на изобретение. Стационарная потоковая камера для отбора газов на границе вода-атмосфера. Пат. № 2798692 / з. № 2023107526, заявл. 29.03.2023, зарег. и опубл., Бюл. № 23 июня 2023 г. ТОИ ДВО РАН им. В.И. Ильичева, Владивосток. 2023.

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук  
Холмогорова Андрея Олеговича

Подписано к печати 15.02.2024 г.  
Объем 0,9 п.л.

Формат бумаги 60x84/16  
Тираж 100 экз.

Напечатано в ФГБУН  
«Тихоокеанский океанологический институт  
им. В.И. Ильичева ДВО РАН»  
заказ № 126  
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43