

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.И. ИЛЬИЧЕВА
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ТОИ ДВО РАН)

УДК 550.42; 551.35; 551.46

№ гос. рег. 01201363048

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор ТОИ ДВО РАН
академик

_____ В.А. Акуличев
«__» _____ 2015 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

**РОЛЬ ДЕГРАДАЦИИ МЕРЗЛОТЫ В ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНЕТАРНОГО
АТМОСФЕРНОГО МАКСИМУМА МЕТАНА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В
АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**

(промежуточный)

Руководитель НИР:
д-р геогр. наук

И.П. Семилетов

Владивосток 2015 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зав. лаб. арктических исследований д-р геогр. наук	И.П. Семилетов
Вед. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	А.Н. Салюк
Вед. науч. сотр. канд. геол.-минер. наук .	О.В. Дударев
Ст. науч. сотр. канд. геол.-минер. наук	А.Н. Чаркин
Ст. науч. сотр. канд. геогр. наук	И.И. Пипко
Ст. науч. сотр.	С.П. Пугач
Науч. сотр.	Д.А. Космач

РЕФЕРАТ

Отчет 22 с., 16 рис.

АРКТИЧЕСКИЙ ШЕЛЬФ, СИСТЕМА СУША-ШЕЛЬФ-АТМОСФЕРА, МЕРЗЛОТА, ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ, ДВУОКИСЬ УГЛЕРОДА, КАРБОНАТНАЯ СИСТЕМА, ЭМИССИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ, ИСТОЧНИКИ МЕТАНА, ТРАНСПОРТ МЕТАНА, ГЛОБАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ, ГИДРОХИМИЯ

Объект исследования - моря Восточной Арктики.

Цель работы – изучение отклика углеродного цикла в Арктике на текущие и прогнозируемые климатические изменения, исследование роли морей Восточной Арктики в формировании планетарного максимума парниковых газов.

В рамках темы № 7 в 2014 г. т была проведена комплексная ледово-морская экспедиция в береговой зоне юго-восточной части моря Лаптевых. Работы включали: изучение термохалинного, гидрохимического и газогеохимического режима вод, современного осадкообразования с позиций обмена веществом и взаимодействия различных экзогенных процессов в системах «суша-шельф», «река-море» и «вода-донные осадки», вертикальной структуры водной толщи и донных отложений (по результатам гидроакустического зондирования и сейсмопрофилирования). Также организована и выполнена международная экспедиция в моря Восточной Арктики на шведском ледоколе «Оден».

Исследования 2014 г. были сфокусированы на изучении метанового потенциала 4-х кернов бурения в береговой зоне юго-восточной части моря Лаптевых. Район приурочен к рифтовой зоне и характеризуется аномально высокой сейсмотектонической активностью. Вероятно, в связи с этим в рифтовой зоне моря инструментально зарегистрированы аномальные концентрации растворенного метана. Исследованиями 2012 г. здесь выявлено около 200 мощных факелов с рекордно высокой концентрацией метана (до 6000 нМ). Комплексные гидроакустические и гидрофизические исследования позволили идентифицировать корни факелов в толще донных отложений, обогащенных органическим веществом. Новые данные являются значимым вкладом в переоценку роли морей Восточной Арктики в выбросе метана в атмосферу, который рассматривается многими учеными как одно из потенциально опасных явлений, способных вызвать быстрые изменения климата. Другим важным результатом является валидация результатов сейсмопрофилирования по данным бурения 2014 г., что является крайне важным для картирования кровли подводной мерзлоты.

Выполненные исследования позволяют сделать о следующем. В условиях предполагаемого дальнейшего потепления климата и увеличения материкового стока, разрушении наземной и подводной мерзлоты атмосферная эмиссия парниковых газов (CO_2 и CH_4) усилится. Для понимания этой проблемы и создания адекватной модели климата необходимо дальнейшее

планирование и проведение комплексных исследований в системе суша-шельф в Арктике, что позволит сохранить и укрепить лидирующие позиции российских ученых в изучении Восточно-Сибирского шельфа.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение.....	6
1	Предварительные результаты международных экспедиций 2014 года в Восточно-Арктические моря России	8
1.1.	Ледово-морская экспедиция в прибрежную зону моря Лаптевых.....	8
1.2.	Международная экспедиция на ледоколе «Оден».....	18

ВВЕДЕНИЕ

Арктический шельф – важнейшее звено “климатической кухни”, где под влиянием стока Великих Сибирских рек формируется слой распресненных вод, затрудняющий выход к поверхности относительно теплых соленых вод Северо-Атлантического происхождения, что препятствует расплавлению ледового покрова Арктического Бассейна. В осенне-зимний период шельфовые воды являются источником молодых льдов Северного Ледовитого океана (СЛО), которые в итоге переносятся через пролив Фрама и далее в Северную Атлантику. Изменения в режиме речного стока влияют на образование молодых льдов СЛО, пресноводный баланс в системе СЛО - Северная Атлантика, и на функционирование Великого термохалинного конвейера вод Мирового океана. Характерной особенностью СЛО является то, что это единственный океан, который окружен континентальной и морской субаквальной мерзлотой - крупнейшим резервуаром органического углерода на нашей планете. Под действием глобального потепления мерзлота оттаивает, и огромное количество древнего биологически активного углерода вовлекается в современный биогеохимический цикл. Показано, что вовлечение даже малой доли этого углерода в современный круговорот может привести к катастрофическим последствиям в атмосферном балансе основных парниковых газов, двуокиси углерода и метана. Поэтому, несмотря на сравнительно небольшой размер, арктическая область оказывает сильное влияние на состоянии климата Земли.

В настоящее время для исследования глобальных изменений на региональном уровне необходимо концентрировать усилия на системном подходе к изучению их причин и механизмов в важнейших энергоактивных районах Арктики. К ним относятся моря Восточной Арктики, включающие Чукотское море, Восточно-Сибирское море и восточную часть моря Лаптевых, т.е. районы, находящиеся под прямым влиянием тихоокеанских вод и региональных атмосферных процессов. Этот регион привлекает большой международный интерес и внимание, являясь одной из самых больших и перспективных социально-экономических областей на Земле.

Характерной особенностью этого региона является существование самого широкого и мелководного шельфа в Мировом океане, большая часть которого подстилается субаквальной мерзлотой, являющейся складом для огромного количества органического углерода в различных формах. В фундаментальных работах показана уникальность СЛО в ряду других океанов планеты. Она заключается также в наличии мощного осадочного слоя с огромными запасами органического вещества (ОВ) в различных формах (включая газ и нефть) не только на шельфе и смежных прибрежных территориях, но и в собственно глубоководных, зашельфовых областях океанской акватории.

В целом, суммарные извлекаемые запасы углеводородов континентальных окраин СЛО достигают 83-110 млрд. т условного топлива, что превышает запасы континентальных окраин

каждого из других океанов нашей планеты. Эта величина на два порядка выше общего содержания метана в атмосфере (4 млрд. т), который, по некоторым оценкам, вносит до 30 - 40% вклада в парниковый эффект, обусловленный присутствием в атмосфере двуокиси углерода. Предполагается наличие гигантских нефтегазовых месторождений на шельфе моря Лаптевых. Это значит, что исследования состояния субаквальной мерзлоты и миграции метана и CO_2 в системе дно – вода - атмосфера может иметь, кроме климатического, также важное прикладное значение.

Цель выполненных работ - исследование отклика углеродного цикла в Арктике на текущие и прогнозируемые климатические изменения и оценка роли морей Восточной Арктики в формировании планетарного максимума парниковых газов. Особое внимание уделялось юго-восточной части моря Лаптевых, а также наиболее мелководному и суровому по ледовому режиму, и по этим причинам - наименее изученному высокоширотному Восточно-Сибирскому морю.

1. Предварительные результаты международных экспедиций 2014 года в Восточно-Арктические моря России

С целью исследования структуры и термического режима подводной мерзлоты как фактора, контролирующего выброс метана в атмосферу, в морях Восточной Арктики в весенне-летний период подготовлены и осуществлены две международные экспедиции: ледово-морская экспедиция в прибрежной зоне юго-восточной части моря Лаптевых и экспедиция на ледоколе «Оден».

1.1. Ледово-морская экспедиция в прибрежную зону моря Лаптевых

Работы включали два направления: бурение 4-х скважин и океанографические наблюдения со льда с выполнением гидрологических, гидрохимических, седиментологических, метеорологических, гидрооптических, гидрофизических и гидробиологических исследования (рис. 1).

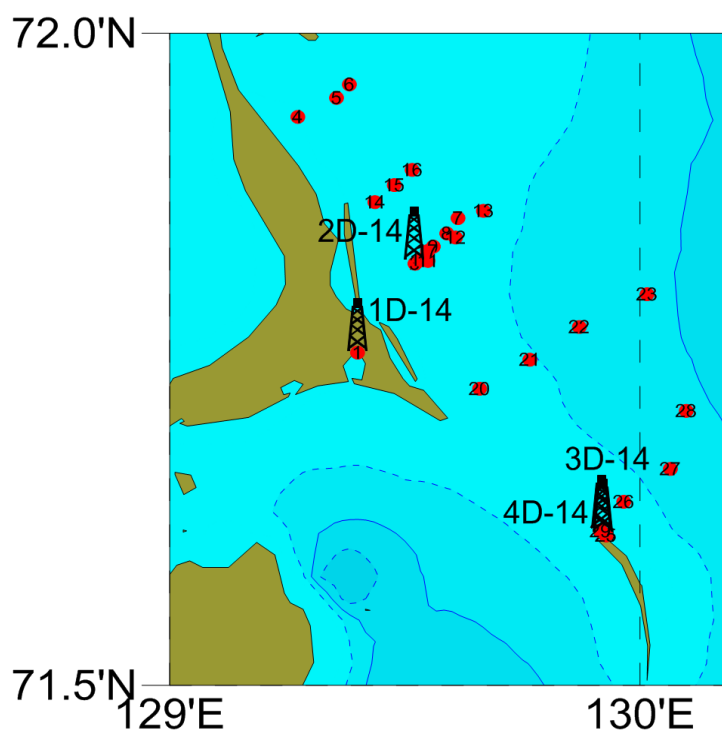


Рис. 1. Районы работ ледово-морской экспедиции ТОИ ДВО РАН в апреле 2014 г. (губа Буор-Хая, юго-восточная часть моря Лаптевых). Красные точки – станции электроразведочного зондирования и океанографических наблюдений; положение скважин отмечено пиктограммой буровой вышки с номером скважины.

На этапе 2014 г. бурение проводилось изучение механизмов и темпов деградации подводной мерзлоты и массивов выбросов метана в атмосферу морей Восточной Арктики (МВА) на примере юго-восточной части моря Лаптевых. С припайного льда были пробурены 4 скважины с положением забоя до -41 м от поверхности дна. Из каждого керна отбирались пробы для получения информации о содержании метана и других газообразных н-алканов (C1-C4), водорода, CO₂ и CO (рис. 2). Такие данные – основа для оценки метанового потенциала Восточно-Сибирского шельфа, а также для выявления генезиса метана, мигрирующего в системе донные отложения - водная толща - атмосфера.

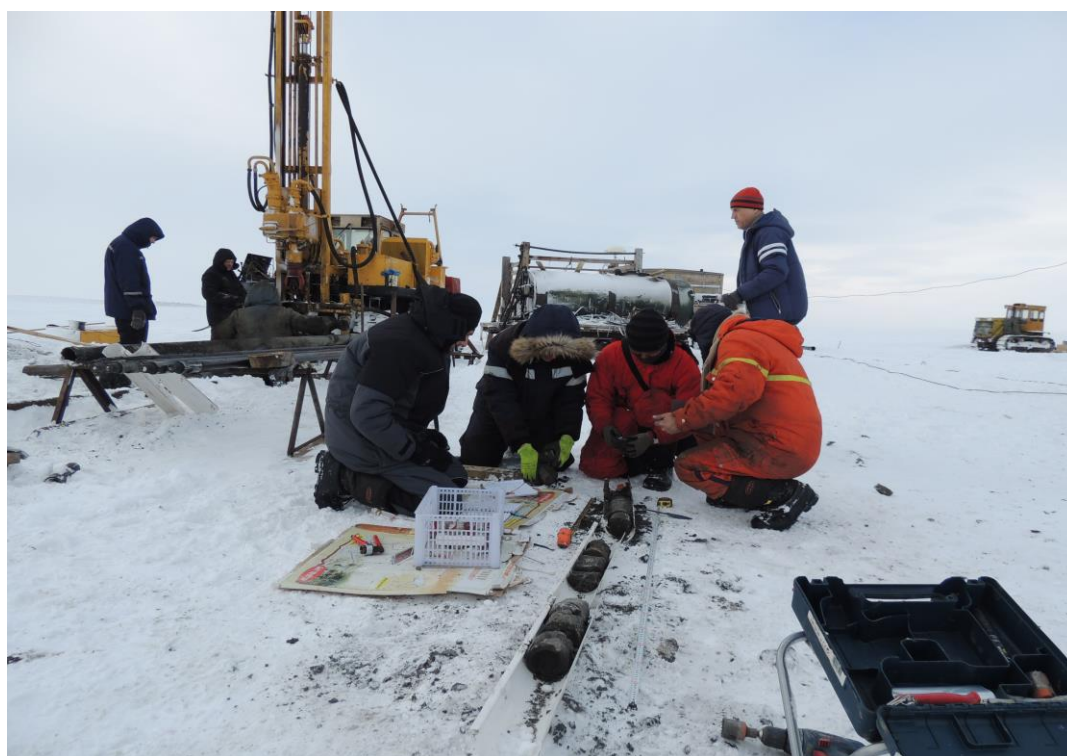


Рис. 2. Прообоотбор и предварительное изучение керна бурения

Профили вертикального распределения концентраций метана свидетельствуют, что максимальные концентрации (до 99 nM) в пределах исследуемого полигона измерены в водах вдоль Быковского полуострова, вероятно вследствие эмиссии газа из донных осадков (рис. 3). Подтверждены положительные корреляции между содержанием водорода и алканами ряда C₂-C₆. Выделены закономерные обратные корреляции между содержанием в керне кислорода и двуокиси углерода. Выявлена корреляционная связь между концентрациями метана с наличием многолетнемерзлых отложений (рис. 4).

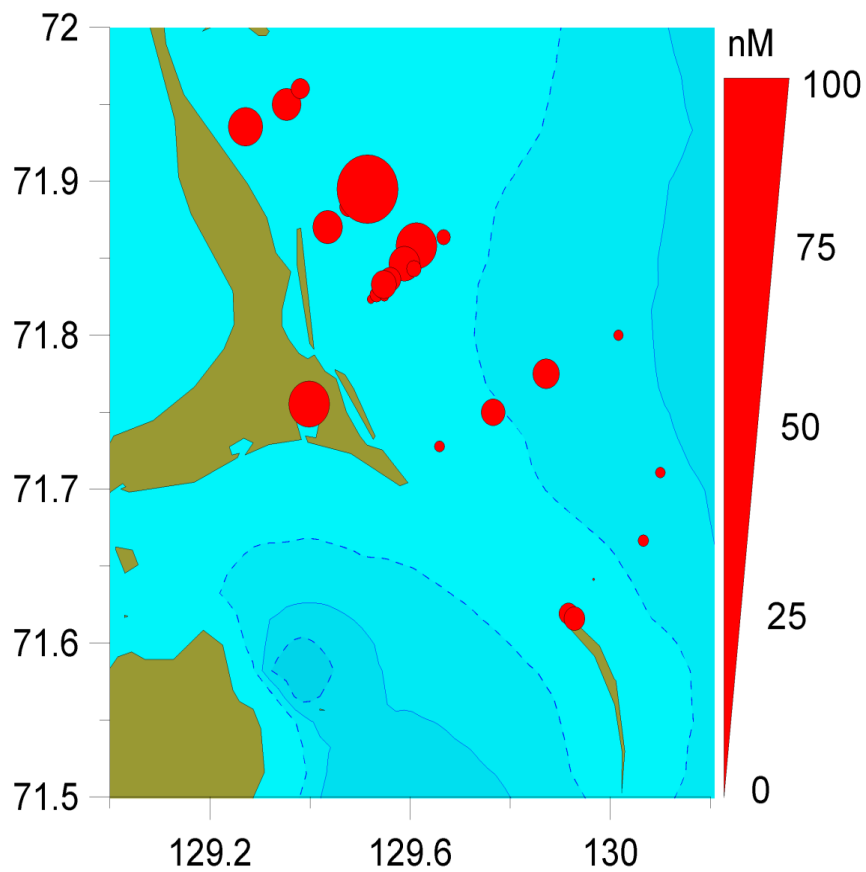
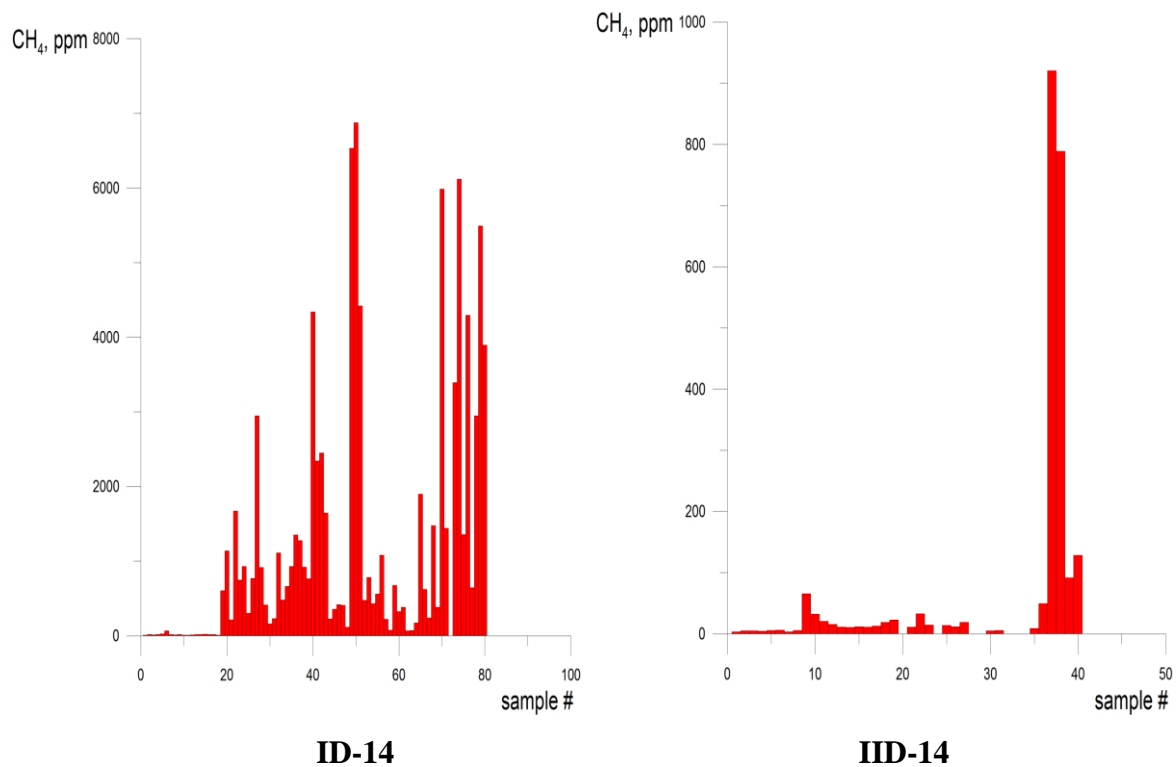


Рис. 3. Распределение метана в водах поверхностного горизонта



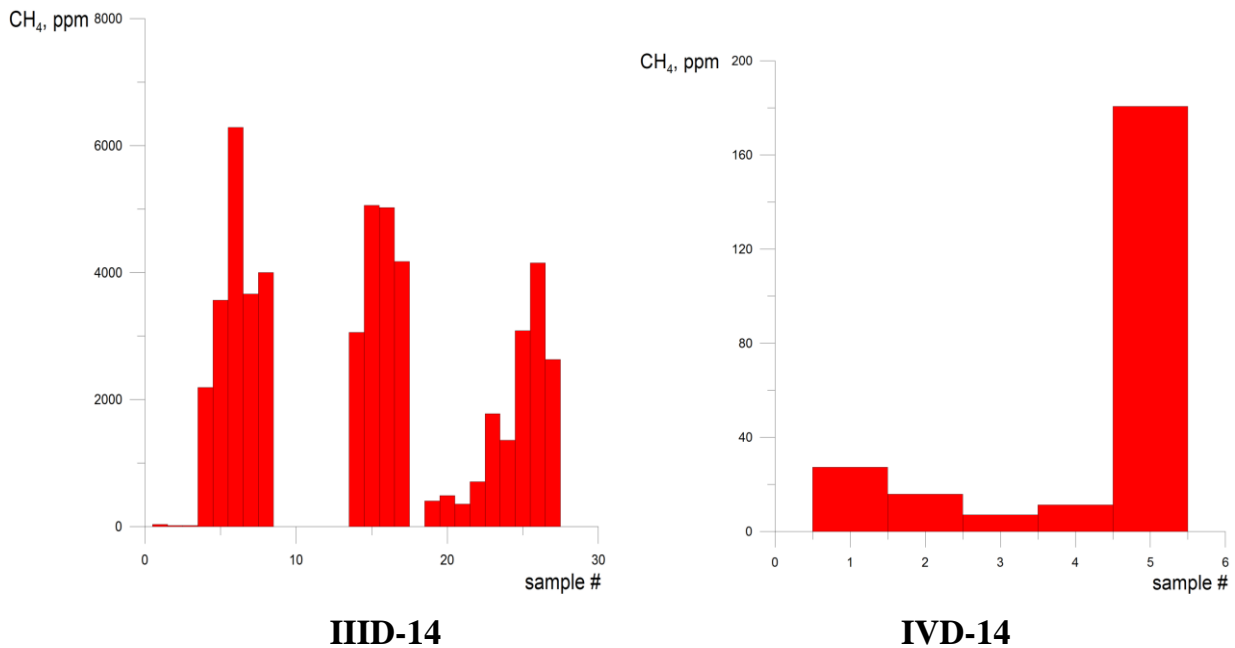


Рис. 4. Концентрации метана в кернах скважин ID-IVD-14.

Термометрические наблюдения включали определения температуры начала замерзания образцов керна.

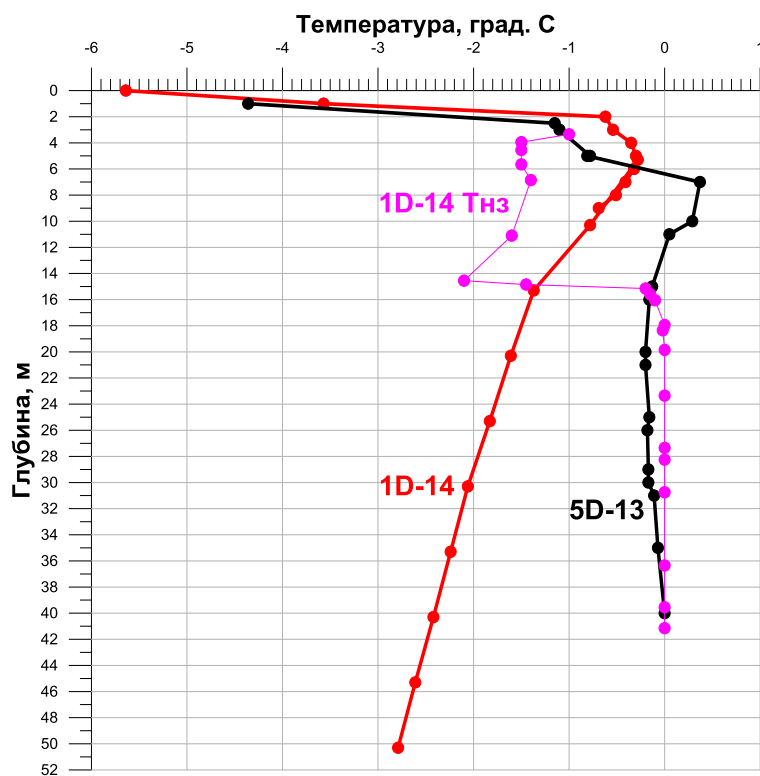


Рис. 5. Результаты термометрии в скважинах VD-13 и ID-14 (Ивашкина лагуна)

На рис. 5 приведено сравнение результатов термических измерений в скважинах VD-13 (скважина в центре Ивашкиной лагуны) и ID-14 (северо-западная часть лагуны). Кривая Тнз – кривая температуры начала замерзания отложений по скважине ID-14. Выражены различия между распределением температуры по глубины в разных частях лагуны и граница между охлаждёнными и мёрзлыми породам по скважине ID-14. Данные термометрии и фактическое залегание кровли мёрзлых пород на гор. -12 м полностью совпадают. Данные измерений в других скважинах обрабатываются.

Выполнены работы по электроразведыванию осадочной толщи и субаквальной мерзлоты. Впервые разработана и освоена методика непрерывного зондирования, заключающаяся в зондировании становления поля в ближней зоне (ЗСБ), когда регистрируется процесс стабилизации поля, возникающего при искусственном возбуждении его прямоугольными импульсами постоянного тока (рис. 6). По результатам изучения процесса становления определяются приведенные кажущиеся сопротивления (ρ_t) и суммарная проводимость (S_t) для различных времен становления поля (t), меньшее из которых отвечает верхней части разреза, а наибольшее - обобщенной характеристике разреза в целом. Интерпретации палеточным и машинным способом подвергаются графики зависимости ρ_t и S_t от t . Для работ методом ЗСБ использовалась аппаратура «Цикл-7» (СНИИГИМС, Новосибирск).

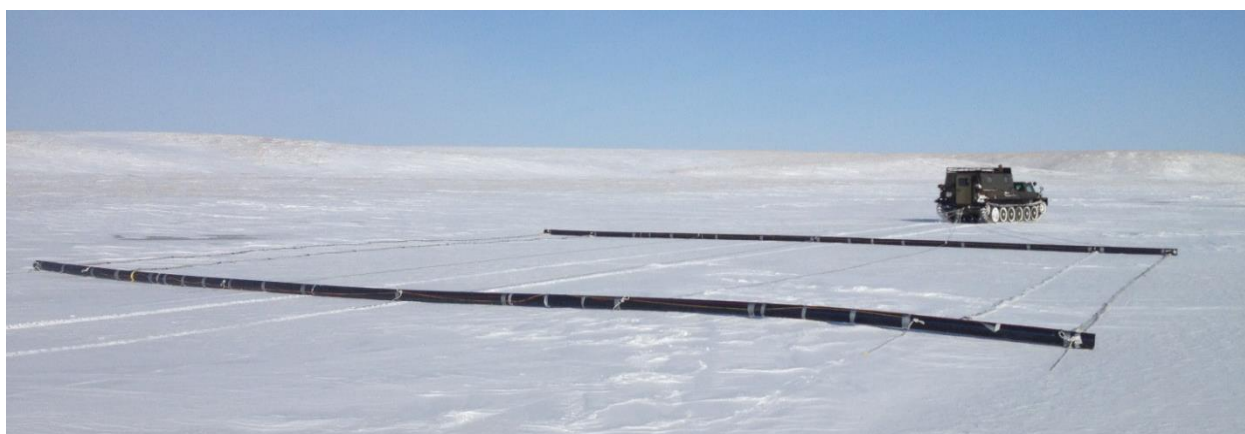
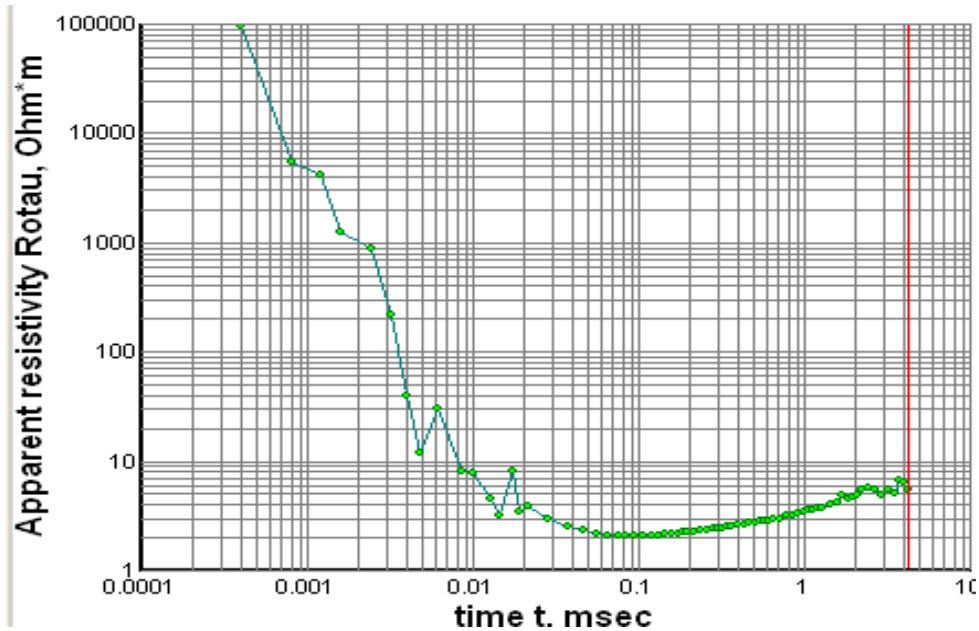


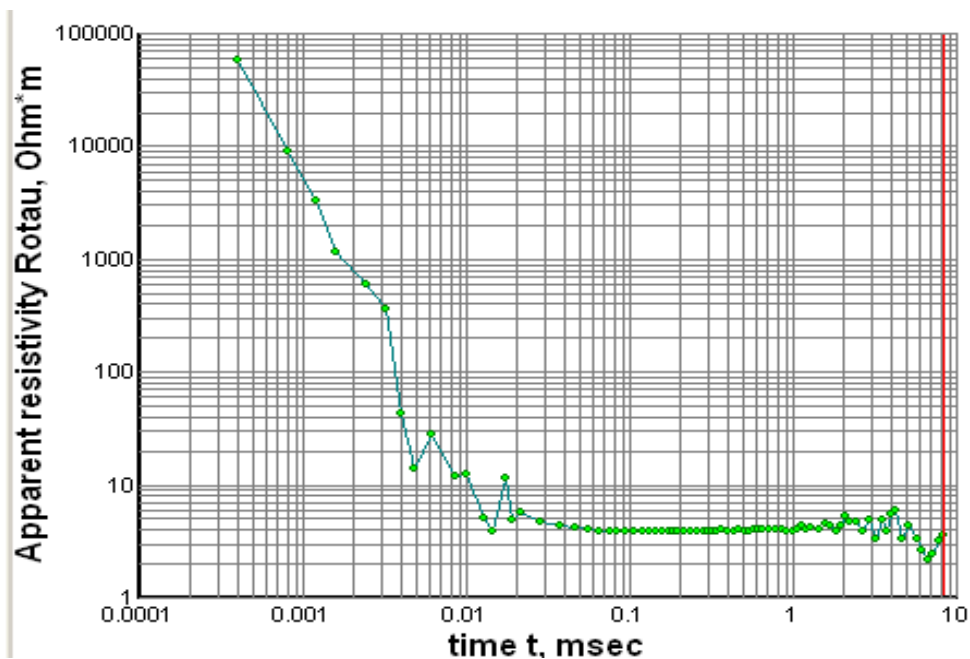
Рис. 6. Выполнение непрерывных электромагнитных зондирований с помощью вездехода

Основное звено аппаратного комплекса- буксируемая вездеходом несущая конструкция размером 20х20м, на которой располагались генераторная (20х20м) и приемная (19х19м) петли. Предварительный анализ кривых электромагнитных зондирований свидетельствует, что при выполнении электромагнитных зондирований

были получены результаты, указывающие на наличие или отсутствие (рисунок 5) высокоомного слоя на глубинах 20-50 метров. Результаты бурения вблизи острова Муостах подтвердили предположение о наличии многолетнемерзлых пород (ММП) на этих глубинах. Карта галсов электроразведочных работ 2014 года приведена на рис. 8.



а



б

Рис. 7. Типичные кривые ЗСБ (а - присутствие ММП в разрезе, б – их отсутствие) .

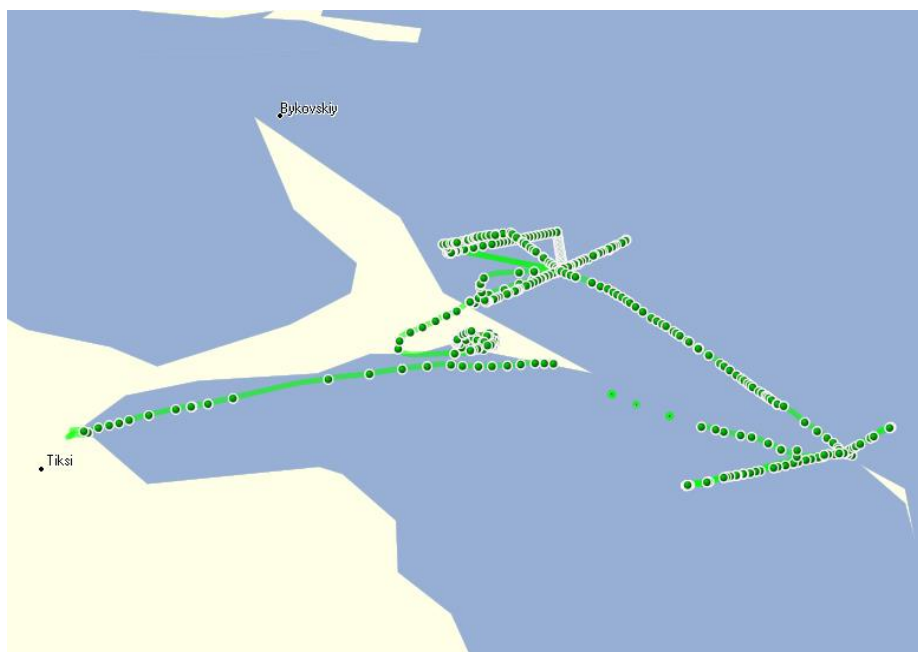


Рис. 8. Положение галсов электромагнитного зондирования 2014 г .

Наряду с вышеупомянутыми исследованиями, в кернах выполнялись определения водно-физических (плотность, влажность) и теплофизических (теплопроводность, удельная теплоемкость). Некоторые результаты рассматриваемых измерений даны на рис. 9.

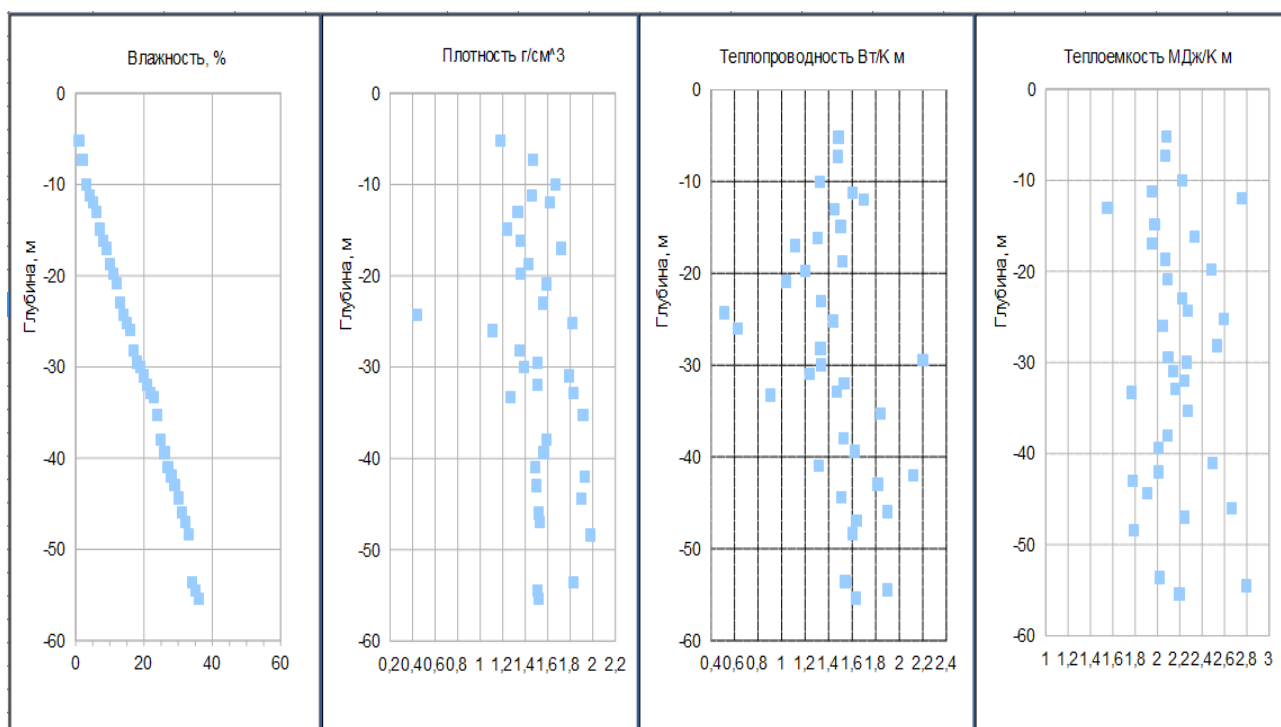


Рис. 9. Распределение влажности, плотности, теплопроводности и удельной теплоемкости по глубине в скважине IID-14.

Океанографические исследования выполнены на 29 станции, в том числе на четырех в точках бурения (рис. 10) проведены суточные наблюдения за изменчивостью вертикальной термохалинной структуры водной толщи и характеристик течения. На рис. 8 – майна во льду для выполнения суточной постановки зондов.



Рис. 10. Майна в точке бурения для проведения суточных океанографических наблюдений

Выполнены 49 зондирований водной толщи. Они осуществлялись зондами YSI-CastAway CTD и RBR-620. Параметры течения определялись измерителем Infinity AEM-USB.

Станция ID-14. В течение 3-х суток в майне (рис. 8) проведены 11 зондирований. Толщина льда была 190 см, глубина 296 см. Температура и соленость с глубиной и временем практически не изменялись. Средние значения соответственно равны -0.53°C и 12.1‰.

Станция IID-14. В точке второго бурения глубина была 5 метров, температура - около 0°C по всему профилю. В течение 2-х суток наблюдений в распределении солености отмечена градиентная зона на гор. 3.5, ниже которой значения повысились от 1.3‰ до 13.7‰ на дне. В придонном горизонте за время наблюдений температура повысилась от -0.3°C до 0°C , а соленость снизилась от 16.6‰ до 16.1‰ (рис. 11).

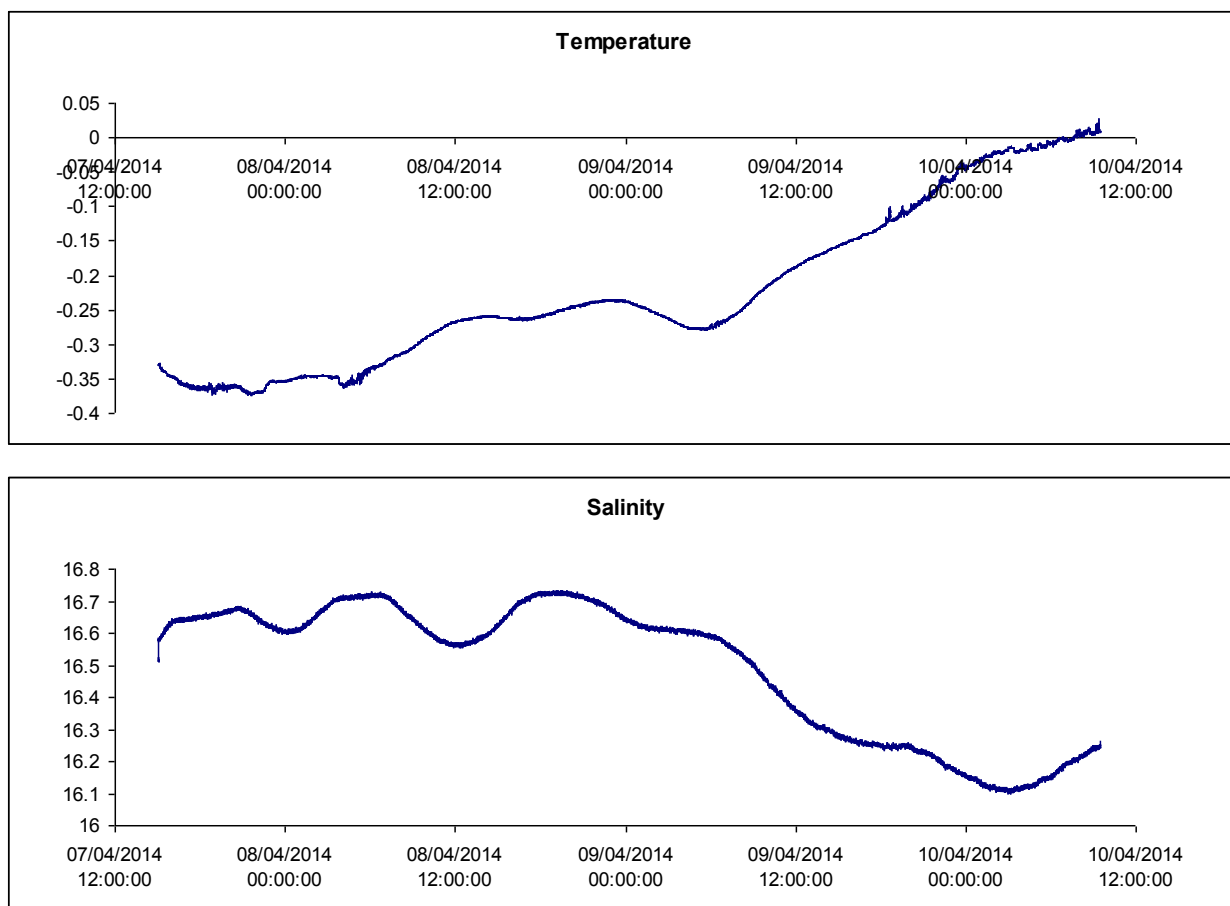


Рис. 11. Внутрисуточная изменчивость термохалинной структуры вод в придонном горизонте станции IID-14

За 2-х суточный период экспозиции измерителей течения скорость у дна и подо льдом варьировала в диапазоне всего 2-8 см/с. На рис. 12 прослеживаются колебания скорости и направления течений, соответствующие неправильному полусуточному приливу.

Станция IID-14. Глубина составляла 2.7 метра, толщина льда – 1.2 метра. Температура воды -0.57°C . Соленость изменялась от 13.7 на поверхности до 14.7‰ в придонном горизонте. В течение 12-часовой экспозиции измерителя течения было зарегистрирован показатель скорости до 40 см/с западного направления. За 5 часов соленость у дна возросла от 12‰ до 13‰.

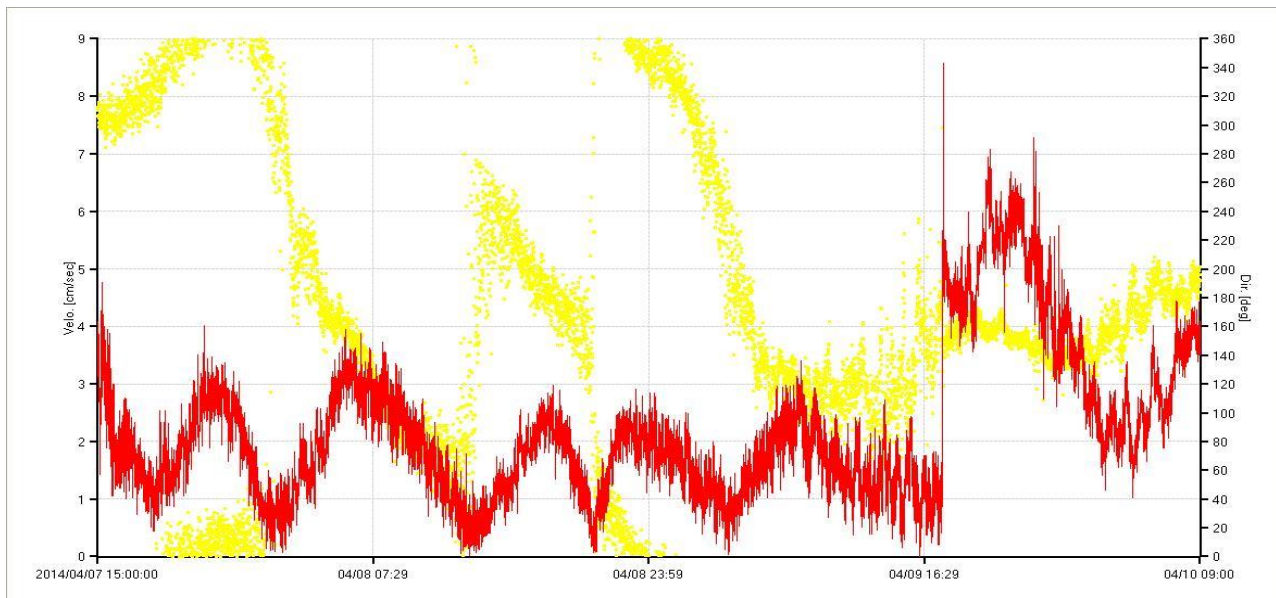


Рис. 12. Параметры течения в придонном горизонте станции IID-14

Станция ID-14. Соленость изменялась от 10.9‰ в поверхностных водах до 14.1‰ у дна при относительно устойчивой по вертикали температуре около устойчивой на дне, температура практически не менялась, и ее значение находилось на уровне около $-0,5^{\circ}$.

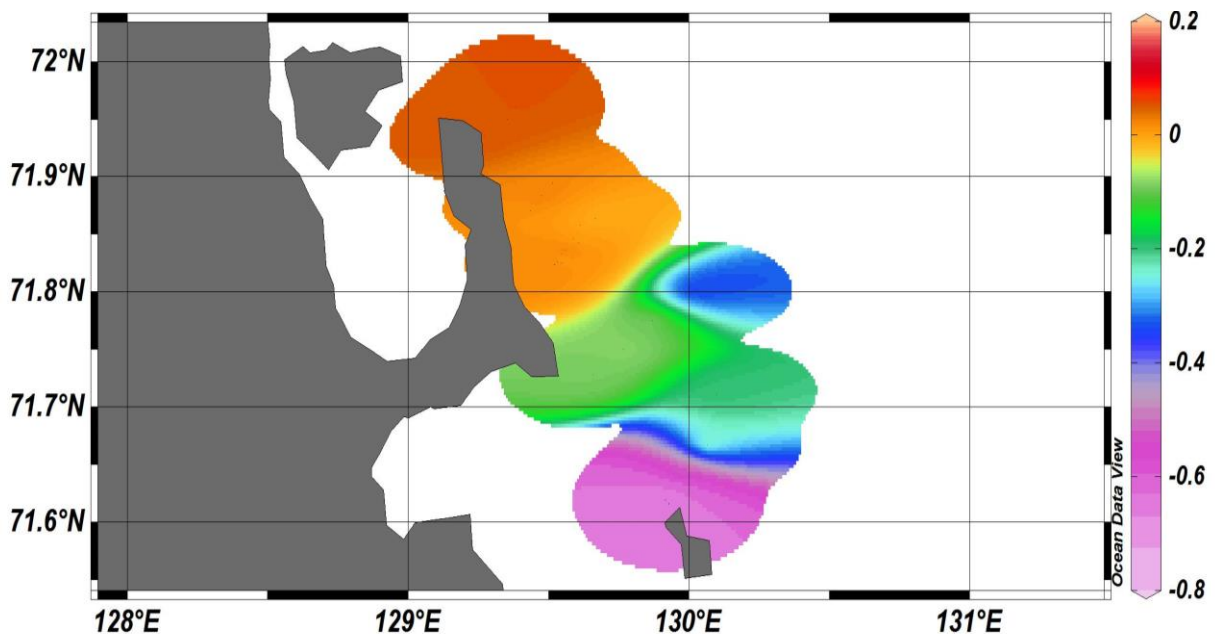


Рис. 13. Пространственная структура поля температуры воды в поверхностном горизонте

Рисунок 13 иллюстрирует влияние водного стока реки Лены: вблизи устья Быковской протоки зарегистрированы минимальные величины солености 1.4‰ и

температура около 0.05°C. Минимальная температура -0.83°C и максимальная соленость 18.71‰ отмечены у дна на станции № 28.

1.2. Международная экспедиция на ледоколе «Оден»

Значимым результатом 2014 г. была подготовка и участие в проведении крупнейшей международной экспедиции в моря бассейна Северного Ледовитого океана на ледоколе «Оден». Судно принадлежит Государственному управлению судоходства Швеции, (Sjöfartsverket/Swedish Maritime Administration, SMA) (рис. 14). Из 42 научных сотрудников международной экспедиции с российской стороны участвовало 11 человек.



Рис. 14. Ледокол «Оден»

Программа исследований направлена на выявление особенностей функционирования геосистем «суша-море», «река-море» и «море-атмосфера» Российской Арктики в прошлом, настоящем и будущем. Работы проводились по следующим направлениям: биогеохимия вод, газогехимия вод и приповерхностной атмосферы, седиментология (с изучением физических и химических свойств донных осадков), микробиология и биостратиграфия донных осадков, физическая и химическая океанография вод, геофизические наблюдения (включая выявление очагов пузырькового переноса газов в водной толще), метеорология пограничного приповерхностного слоя атмосферы.

На шельфе и материковом склоне Восточно-Арктических морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского исследовались:

- источники и механизмы поступления метана на Арктическом шельфе;
- поля метана, углерода, и их влияние потепления климата и концентрацию в системе «донные осадки – вода - приводная атмосфера»;
- судьба углерода подводной мерзлоты в шельфовых водах;
- процессы, контролирующие потоки углерода и углекислого газа;
- временные изменения величин потоков углерода по записям свойств кернов донных осадков;
- тепловой обмен в приводной атмосфере.

Районы работ и станции в 1 и 2 этапах экспедиции представлены на рис. 15 и 16.

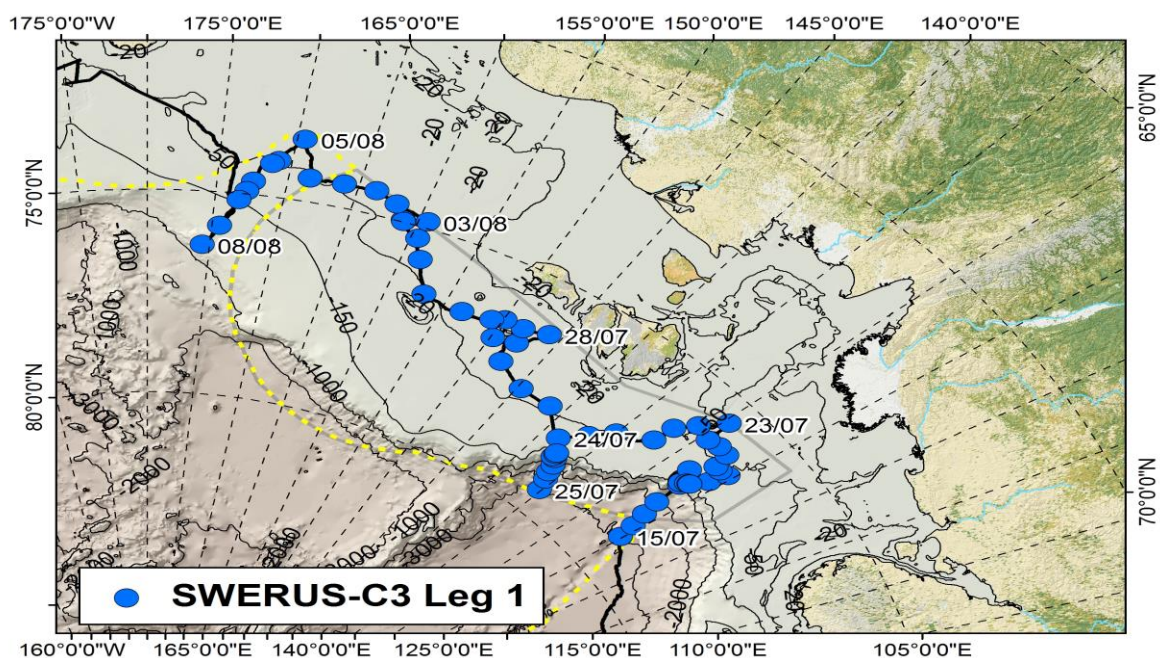


Рис. 15. Районы работ и станции этапа 1 экспедиции на ледоколе «Оден» (пунктирная линия желтого цвета – граница исключительной экономической зоны России, кружки синего цвета – комплексные океанографические станции, 23/07 – дата работы)

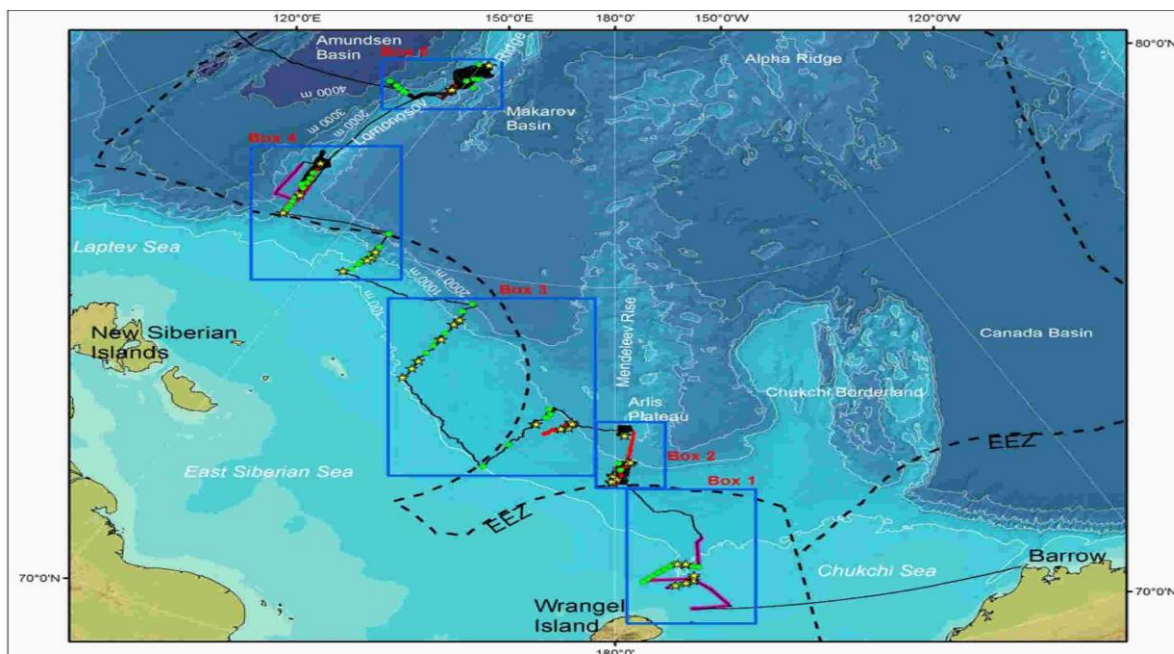


Рис. 16. Районы работ и станции этапа 2 экспедиции на ледоколе «Оден» (пунктирная линия черного цвета – граница исключительной экономической зоны России, кружки зеленого цвета – гидрологические станции, звездочки желтого цвета – геологические станции: мультикореры, поршневая и гравитационная трубки, линии сиреневого цвета – профили электроразведки, линии красного цвета – профили сейсморазведки, линии черного цвета – акустические профили)

Погодные и ледовые условия во время исследований в целом были благоприятными. Как правило, скорость ветра не превышала 10 м/с, Сплоченность ледового покрова над материковым склоном Арктического бассейна достигала 9-10 баллов, тогда как большая часть шельфа была свободной от льда. Несмотря на такие ледовые условия запланированный объем работ был выполнен. В результате осуществления комплекса междисциплинарных океанографических исследований получены новые уникальные данные о следующих процессах в системе «литосфера-гидросфера-атмосфера» в районе пограничной области «шельф - материковый склон» морей Восточно-Сибирского региона:

- (а) оценена роль возможных источников метана, исследованы некоторые механизмы его поступления и переноса через донные осадки, водную толщу и приповерхностную атмосферу;
- (б) выявлены поля метана, углерода и уровень их концентрации в водах Восточно-Арктических морей;
- (в) оценено влияние этих парниковых газов на потепление климата;
- (г) изучены некоторые аспекты судьбы углерода подводной мерзлоты в шельфовых водах;

(д) оценена роль ведущих процессов (включающих латеральный транспорт, окислительную и микробиальную деструкцию, ремобилизацию после захоронения), контролирующих потоки углерода и углекислого газа;

(е) изучены особенности теплового обмена в приводной атмосфере. Исследована роль облачности и полей льда в формировании потоков углекислого газа в пограничном слое над Арктическим шельфом в летний период;

(ж) основа всестороннего изучения вещественных характеристик кернов донных осадков послужили научной базой для реконструкции временных изменений потоков углерода. Таким образом, появляется возможность решения фундаментальной проблемы - является ли таяние многолетней мерзлоты причиной беспрецедентного увеличения концентраций углерода в послеледниковое время.

Результаты измерений, выполненных на борту, судна представлены в виде рабочих таблиц на электронных носителях. После окончательной обработки результаты наблюдений в стандартном табличном виде и на электронных носителях будут включены в отчет.

Между ТОИ ДВО РАН, Стокгольмским университетом и Международным арктическим научным центром Университета Аляски, г. Фэрбенкс, США предусматривается обмен научными данными, пробами морской воды, донных осадков и взвеси в рамках:

- «Соглашения о научном сотрудничестве между Королевской шведской академией наук и Российской академией наук»,

- Соглашения о научном сотрудничестве между Шведским секретариатом полярных исследований (SPRS) и Дальневосточным отделением Российской академии наук (ДВО РАН)»,

- «Соглашения о содействии научному сотрудничеству в Арктическом океане между Международным арктическим научным центром Университета Аляски, г. Фэрбенкс, США и Дальневосточным отделением Российской академии наук».

Данный обмен может быть осуществлен в порядке, определенном законом РФ "Об участии в международном информационном обмене" и после получения разрешения Федеральных органов исполнительной власти, действующих в пределах своей компетенции.

Результаты исследований будут использованы при подготовке заключительного отчета о рейсе, научных отчетов, рецензированных научных статей по проектам фундаментальных исследований Президиума РАН, Федеральной целевой программы «Мировой океан», грантов ДВО РАН, программы ориентированных фундаментальных исследований, проекта «SWERUS-C3» и тп.

ТОИ ДВО РАН выражает благодарность сотрудникам Минобрнауки, ФСБ, Министерства обороны РФ и Тихоокеанского флота, ФСТЭК ДФО и всем другим ведомствам, которые участвовали в экспертизе программы международных исследований на ледоколе «Оден», и тем самым способствовали продвижению в дальнейшем освоении еще крайне мало изученного Арктического региона, развитию и укреплению международных научных связей.

В настоящее время ТОИ ДВО РАН проводит необходимые процедуры для ввоза отобранных в экспедиции образцов воды, воздуха и донных осадков, а также оформляет Разрешения для совместной обработки и использования этих образцов и данных с иностранными участниками экспедиции. После получения необходимых разрешений, планируется совместная обработка образцов воды, взвеси, донных осадков и воздуха в лабораториях Стокгольмского университета и Международного Арктического центра. Такие исследования будут осуществляться в течение 4-12 месяцев после получения разрешения.