



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

На тему: «Применение контактных и бесконтактных методов изучения мирового океана»

Исполнитель: Орлов Алексей Сергеевич
Руководитель: кандидат технических наук, доцент
Полов Николай Николаевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____
кандидат географических наук, доцент
Фокичева Анна Алексеевна

« _____ » 2017 г.

Санкт-Петербург
2017

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет Информационных систем и геотехнологий

Кафедра «Морские информационные системы»

Допустить к защите

Исполняющий обязанности заведующего кафедрой МИС

Фокичева А.А. _____

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

**«ПРИМЕНЕНИЕ КОНТАКТНЫХ И БЕСКОНТАКТНЫХ
МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА»**

Направление подготовки – 17.03.01 «Корабельное вооружение»
Профиль - «Морские информационные системы и оборудование»

Исполнитель:

Орлов Алексей Сергеевич _____

Руководитель:

доцент кафедры «Информационных технологий и систем безопасности», к.т.н.

Попов Николай Николаевич _____

Санкт-Петербург – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.ОБЗОР АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫМ И БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ.	4
1.1 Автоматическая система контактного метода зондирования океана....	4
1.2 Технические характеристики системы «Argo».....	8
1.3 Система бесконтактного метода зондирования океана.	11
Выводы.....	22
2. ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА	24
2.1. Основные виды гидрофизических характеристик	24
2.2 Датчики, используемые в системе Argo для измерения гидрофизических характеристик.....	33
2.3 Техническое оснащение спутниковой системы для получения данных.	36
Выводы.....	44
3.ПРИВЕДЕНИЕ ПРИМЕРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	45
3.1 Основные профили гидрофизических характеристик и их построение в системе «Argo».....	45
Термоклин-это переходный слой между теплой смешанной водой на поверхности океана и прохладной глубокой водой внизу.	45
3.2 Построение среднестатистической скорости звука для заданной области по измеренным данным.	52
Выводы.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. На протяжении последних 30 лет активно ведётся изучение гидрофизических свойств Мирового океана, а с появлением мощной и малогабаритной вычислительной техники возможности для обработки и получения данных возросли, появились системы позволяющие получать данные о температуре и солёности воды в автоматическом режиме, к таким комплексам можно отнести систему буев «Argo».

Однако не все задачи поставленные перед учеными разных направлений может решить данная система, буи «Argo» предназначены для получения данных из определенных точек на определенной глубине, что не всегда подходит для построения общей картины перемещения водных масс и распределение температуры и солёности в океанах и морях.

Для решения задач с которыми не может справиться комплекс буев «Argo» существует спутниковая система определения температуры и солёности на поверхности воды, данные со спутниковой системы обновляются гораздо чаще, в отличии от системы «Argo», однако они имеют не большую погрешность, которой можно пренебречь если использовать их для построения общей картины распределения температуры и солёности на поверхностях морей и океанов.

Данная выпускная квалификационная работа является комплексной. Её структура показана на рисунке 1.

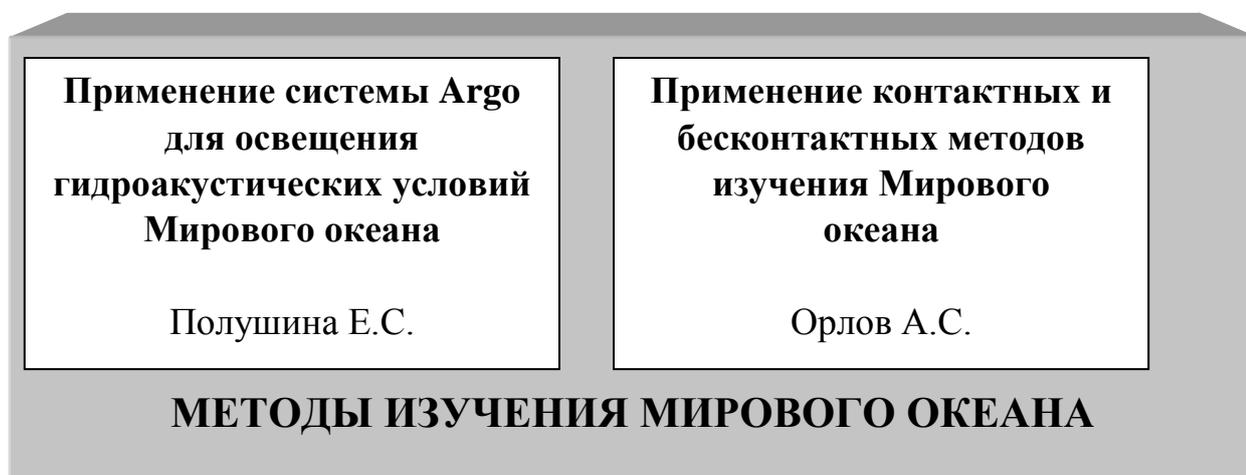


Рисунок 1- Структура выпускной квалификационной работы

Объектом исследований является изучение гидроакустических условий Мирового океана и его гидрофизических характеристик при помощи контактных и бесконтактных систем.

Предметом исследований является изучение гидроакустических условий Мирового океана при помощи двух разных систем.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование различных контактных и бесконтактных систем изучения Мирового океана

В ходе ее исполнения будут решены следующие **задачи**:

- ❖ Обзор автоматических систем изучения мирового океана;
- ❖ Применение данных зондирования водной среды для освещения гидрофизических условий мирового океана;
- ❖ Приведение примеров использования данных для построения гидрофизических полей

1. ОБЗОР АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫМ И БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ.

1.1 Автоматическая система контактного метода зондирования океана.

В мире на данный момент существует всего одна система, которую можно назвать полностью автономной - это система буев "Argo".

Арго- это глобальный массив из 3 886 свободно дрейфующих буев-профилографов, которые измеряют температуру и соленость верхних 2000м океана. Эта система первая, которая позволяет осуществлять непрерывный мониторинг температуры, электропроводности и солености в верхнем слое океана, а все данные передаются, обрабатываются и обнаруживаются в течение

нескольких

часов

после

сбора.

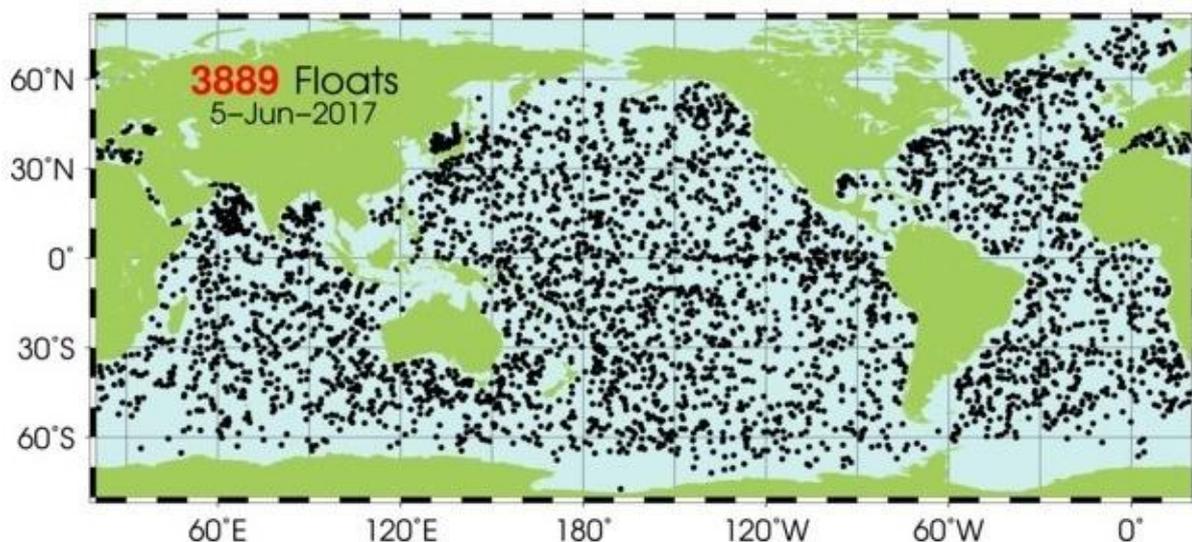


Рисунок 1.1 – Положения буев, которые доставили данные в течение последних 30 дней

Карты, отображающие статистические данные о системе буев, включая их расширения в высоких широтах и окраинных морей, био-геохимических датчиков, систем связи, тип буя и т. д. может быть найден на официальном сайте системы «Argo».

Мы все обеспокоены глобального изменения климата и его последствиями на региональном уровне. Уровень моря растет ускоряющимися темпами 3 мм/год, Арктический морской ледяной покров сокращается, а высокие географической широтой местности стремительно теплеют. Экстремальные погодные явления, приводят к гибели людей и огромным нагрузки на страховую отрасль. 8 из 10 самых теплых лет с 1860 года, были в прошлом десятилетии.

Эти эффекты обусловлены смесью долгосрочного изменения климата и естественной изменчивостью. Их воздействие в ряде случаев полезно (удлиняется вегетационный период, открытие Арктики маршрутов доставки), а в других-отрицательные (увеличение прибрежных наводнений, засух, более

экстремальные и частые волны тепла и погодных явлений, таких как - сильные тропические циклоны).

Нужно понимать (и в конечном счете прогнозировать) изменения в атмосфере и океане, чтобы оптимизировать политику правительств и промышленных стратегии. Чтобы сделать эти прогнозы, мы нуждаемся в более совершенных моделях климата и всех систем земли (включая социально-экономические факторы).

Отсутствие непрерывных наблюдений за атмосферой, океаном и землей мешают разработке и валидации моделей климата. Пример из недавнего анализа который пришел к выводу, что токи транспортировки тепла на север в Атлантическом и влияние западноевропейского климата уменьшился на 30% в прошлом десятилетии. Это изменение было частью тенденции, которая может привести к серьезному изменению в Атлантике.

В 1999 году для борьбы с этим недостатком данных, инновационный шаг был сделан учеными в значительной степени улучшить сбор данных наблюдений в океане посредством увеличения выборки старых и новые количества и расширение охвата с точки зрения времени и территории. Этот шаг был Арго.

Развертывание «Argo» началась в 2000 году, и к ноябрю 2007 года, миллионный профиль был собран. Сегодня, даже с почти 4000 активно плавающими буями, есть еще некоторые районы океана которые перенаселены, а другие пробелы, которые необходимо заполнить дополнительными буями. Для поддержания массива «Argo» национальные программы должны обеспечить около 800 буями в год.



Рисунок 1.2 – Развертывание буя системы «Argo» с научно-исследовательского судна.

Оригинал глобального массив «Argo» был разработан для открытого океана, с исключением сезонного морского льда, зон и окраинных морей. Благодаря двусторонней связи и алгоритму зондирования льдов на буях, эти технические ограничения в значительной степени смягчены. Понятие «Argo» всегда была пространственна-полный глобальный массив. Таким образом, в том числе сезонного морского льда, зон и окраинных морей перемещает буй «Argo» от 3000 до 3800.

В дополнение к глобализации системы буй «Argo» описанной выше, есть несколько усовершенствований Арго которые находятся в различных стадиях развития и реализации. Они включают расширенный охват на дно океана, дополнительные буи оснащены био-геохимических сенсорами и расширенными возможностями пространственного охвата в пограничных и экваториальных регионах.

Помимо развертывания буюв, «Argo» работает над разработкой двух отдельных потоков данных: режиме реального времени и режиме задержки. В режиме реального времени данных о поставках и контроль качества системы установлено, что обеспечивает 90% профилей пользователей с помощью двух глобальных центров обработки данных в течение 24 часов. Задержка системы управления качеством режим (DMQC) была создана и 65% всех профилей, имеющих право имели DMQC.

Надежность буюв улучшается почти каждый год и длительность жизни была продлена. Систему «Argo» разработало большое количество пользователей сообщества университетов, государственных лабораторий и метеорологических/климатических анализируемых/прогнозируемых центров. Необходимость глобальных наблюдений системы «Argo» будет продолжаться бесконечно в будущем, хотя технологии и дизайн массива будет развиваться, модели совершенствуются, все больше известно об изменчивости океана.

1.2 Технические характеристики системы «Argo»

Массив Арго в настоящее время состоит из нескольких моделей буюв:

- ARVOR
- SOLO-II
- APEX
- NAVIS

Каждый из буюв соответствует основным установочным параметрам:

- Дискретность измерений до 10 дней;
- Время нахождения на поверхности – 6 часов;
- Нижний горизонт измерений – 2000 метров.

Параметры неизменны в течение всей продолжительности дрейфа (3-4 года, если буй не будет выловлен). Предполагается, что буй стоимостью около 15 тыс. долларов должен произвести до 150 циклов и более за весь период работы.

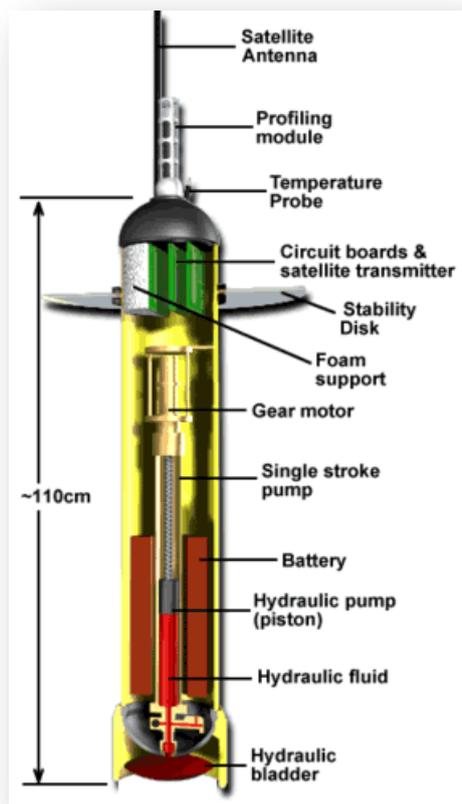


Рисунок 1.3 – Изображение стандартного буй-измерителя Argo

Стандартный буй (рисунок 1.3) состоит из трех подсистем:

Гидравлика: регулировка плавучести через надувную внешнюю камеру, так что буй может всплывать и погружаться.

Микропроцессоры: занимаются управлением функциями и планированием.

Система передачи данных: управляет связью со спутником.

Приблизительный вес: 20 кг

Максимальная рабочая глубина: 2000 м

Глубина разрушения: 2600 м

Таблица 1.1- Основные характеристики наиболее распространенных буюв системе Argo.

Название	APEX	ARVOR	SOLO-II	NAVIS
Страна, производящая буй	США	Франция	США	США
Габариты	25 кг	19,5кг	19,2 кг	18,5 кг
Количество рабочих циклов	150	220-290	200-325	≈ 300
Вид батареи	Щелочные	Литиевые	Литиевые	Литиевые
Измеряемые параметры	P/ T/ S	P/ T/ S	P/ T/ S	P/ T/ S
Количество активных буюв в 2017г.	1826	569	406	393

Анализ таблицы 1.1 показал, что основными различиями буюв-измерителей системы Argo являются их габариты, количество рабочих циклов и вид батареи.

По основным характеристикам лидируют буюв-измерители SOLO-II, способные производить около 325 рабочих циклов при использовании дополнительного аккумулятора. Буюв-измерители ARVOR и NAVIS идут практически вровень, производя порядка 300 рабочих циклов.

По выбранным характеристикам буюв-измерители APEX значительно отстают, их главным плюсом является использование щелочных батарей, на которые нет ограничений при перевозке на самолётах.

В ходе сравнения было выявлено, что наиболее распространенным видом является буй APEX, не смотря на отстающие по сравнению с другими видами характеристики.

Передача данных системы «Argo» осуществляется крайне просто – как только буй начинает опускаться под воду, измерения температуры и солёности производятся и хранятся на борту буюв. Эти данные передаются на спутники, когда буй поднимается на поверхность. Для буюв, используют высокоскоростную связь с большой пропускной способностью. Скорость

передачи данных такая, что гарантирует безошибочный прием информации о местоположение и снятых параметрах. Влюбые погодные условия бую необходимо провести от 6 до 12 часов на поверхности. Местоположение определяется с точностью до ~100м в зависимости от количества спутников и геометрии их распределения.

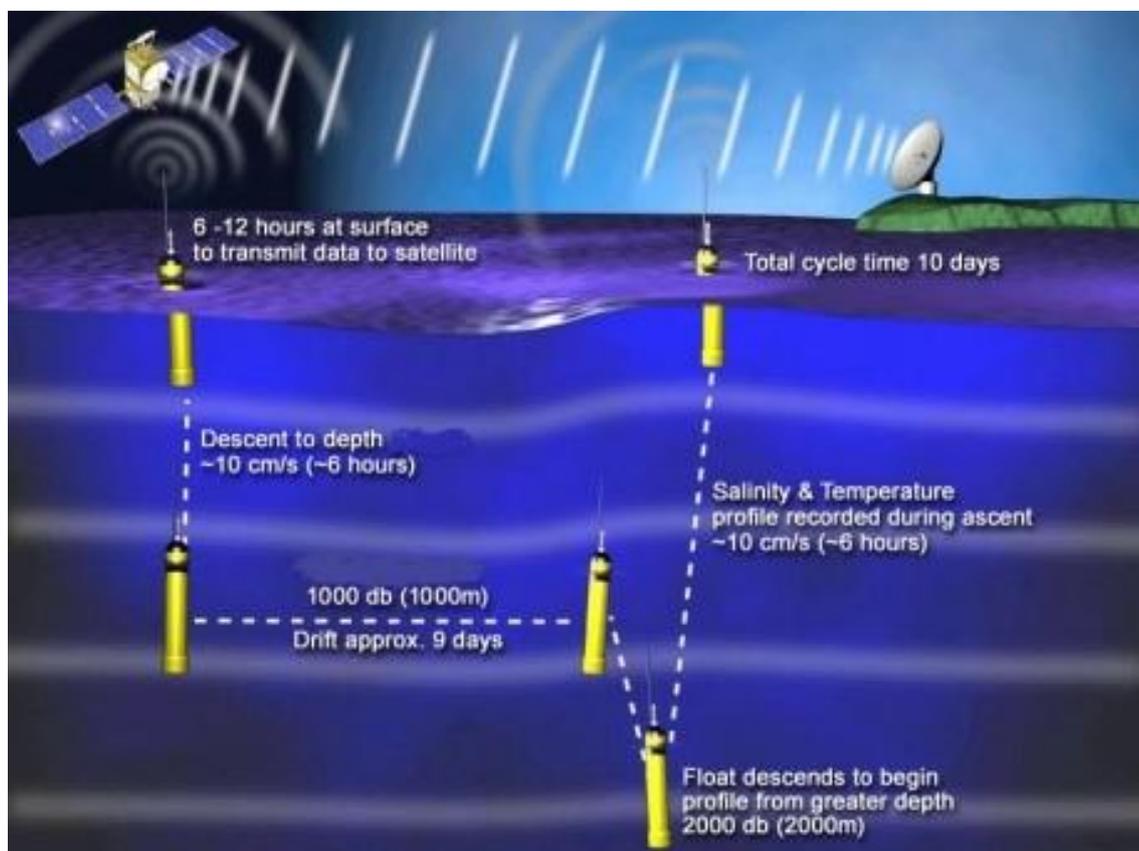


Рисунок 1.4 – Цикл действий буя «Argo».

1.3 Система бесконтактного метода зондирования океана.

Глядя на нашу землю из космоса, становится очевидно, что мы живем на водной планете. Океан покрывает более 70% поверхности Земли. Жизнь в Мировом океане может быть найдена с поверхности в экстремальных условиях на дне самой глубокой подводной впадины.

4 октября 1957 года Советский Союз успешно запустил спутник, первый в мире искусственный спутник Земли. Он был размером с баскетбольный мяч и весом всего 183 кг, "Спутник" был около 98 минут на орбите Земли. В то время как небольшой радиомаяк сигнализировал через определенные промежутки времени

первый земной искусственный спутник открыл эру освоения не только космической, но и земной суши и океанов.

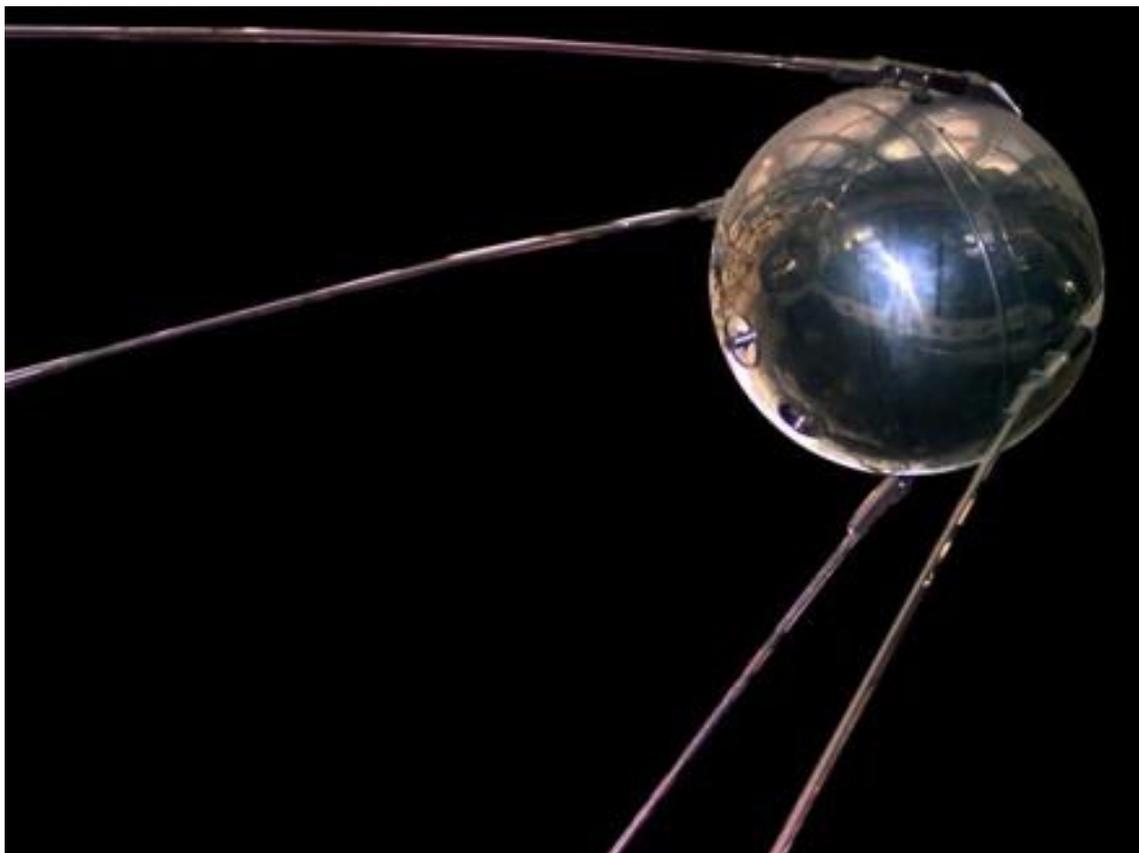


Рисунок 1.5- Первый советский спутник («Спутник -1»).

Спутники, позволяющие обнаружить и наблюдать различные характеристики и особенности атмосферы земли и океанов часто упоминаются, как спутники наблюдения за окружающей средой. Большинство экологических спутников имеют один из двух типов орбит: геостационарные и солнечно-синхронные. Геостационарную орбиту спутники Земли на скорости вращения Земли. Это позволяет им непрерывно навести курсор на одну позицию на поверхности. Большинство спутников, используемых для связи, телевидения и т. д. надо поддерживать гео-синхронную орбиту. Гео-синхронные экологические спутники используются в основном для прогнозирования погоды. Эти спутники вращаются вокруг Земли примерно 22 000 миль прямо над экватором, позволяя непрерывно наблюдать за одной стороной Земли. Они используются для наблюдения за развитием основных штормов, ураганов и смерчей. Первый из НОАА геостационарных эксплуатационных спутников

наблюдения за окружающей средой был запущен в 1975 году. В настоящее время, GO-8 и Goes-10 работают, один для западной части Соединенных Штатов, другой-для восточной части.

Таблица 1.2 - Виды движения спутниковых систем

Спутники на полярной орбите	Геостационарные спутники
<p>Орбиты этих спутников носит их в течение нескольких градусах от полюса, и они заканчивают около 15 витков в сутки (примерно каждые 100 минут). Спутник измеряет полосу земной поверхности под ним, как он путешествует. Из-за относительно низкой орбите этих спутников, данные высокого пространственного разрешения.</p> <p>Однако, временное разрешение этих спутников зависит от их орбиты и характеристик датчиков. Спутников, таких как спутник envisat уже 35 день повторить цикл - время, затраченное на повторный визит в том же месте над поверхностью земли.</p>	<p>Орбиты геостационарных спутников гораздо выше - около 36000 км. Спутник находится прямо над экватором, и его скорость точно такая соответствует скорости вращения Земли. В результате получается, что спутник остается в том же месте относительно поверхности земли. Спутник может непрерывно контролировать большую площадь, и несколько хорошо размещены спутники могут покрыть большую часть поверхности земли. Основными недостатками является то, что высоких широтах не наблюдается, а на более высокую орбиту приводит к снижению пространственного разрешения.</p>

Продолжение таблицы 1.2

Время, необходимое для проведения повторного измерения в точке на поверхности земли могут быть значительно уменьшены, если прибор имеет широкие шириной, или дело в высоких широтах, где на орбите дорожки расположены ближе друг к другу.	
--	--

Солнечно-синхронные спутники проходят над точкой на Земле в то же время каждый день. Солнечно-синхронных спутников наблюдения за окружающей средой являются “полярной орбите”, подразумевая, что они орбиты Земли с севера на юг, проходя через Северный и Южный полюса во время каждой орбиты. ЭСО (Полярный эксплуатационных спутников наблюдения за окружающей средой) поддержания орбиты высотой около 500 миль и займет примерно 100 мин. чтобы закончить орбиту. В зависимости от датчиков спутник поддерживает на борту, оно может просматривать полосу всего несколько миль шириной в более чем 1500 миль в ширину. Несколько видов спутников попадают в эту категорию, в том числе НОАА полярно-орбитальных спутников наблюдения за окружающей средой (ЭСО), Ландсат, SeaWiFS, ikonos и др.

Области применения спутниковой системы зондирования поверхности океана.

Поверхностная температура моря один из важнейших типов данных, который собирается спутниками. Знание температуры океанской воды важно сам по себе. Изменения температуры влияют на поведение рыбы, может привести к обесцвечиванию кораллов, и влияет на погоду на побережье. Спутниковые снимки температуры поверхности моря также могут показать закономерности циркуляции воды. Примеры включают в себя - местах подъема

глубинных вод, характеризующихся холодной водой, которая поднимаются из глубины, часто у берегов; и теплые воды течений, таких как Гольфстрим. Наиболее часто используемый инструмент, предоставляющий информацию о морских температурах поверхности – это Радиометр с очень высоким разрешением установленный на таких метеоспутниках, Noaa-14, Noaa-15 и Noaa-16. Этот датчик собирает данные каждый день, создавая изображение путем объединения строк в 2048 пикселей (элементов изображения, или "точки"), как она проходит над поверхностью земли. Каждый отдельный пиксель, принятый радиометром avhrr занимает площадь земной поверхности примерно 1 квадратный километр, это обеспечивает региональный обзор температуры поверхности моря и ее изменчивость.

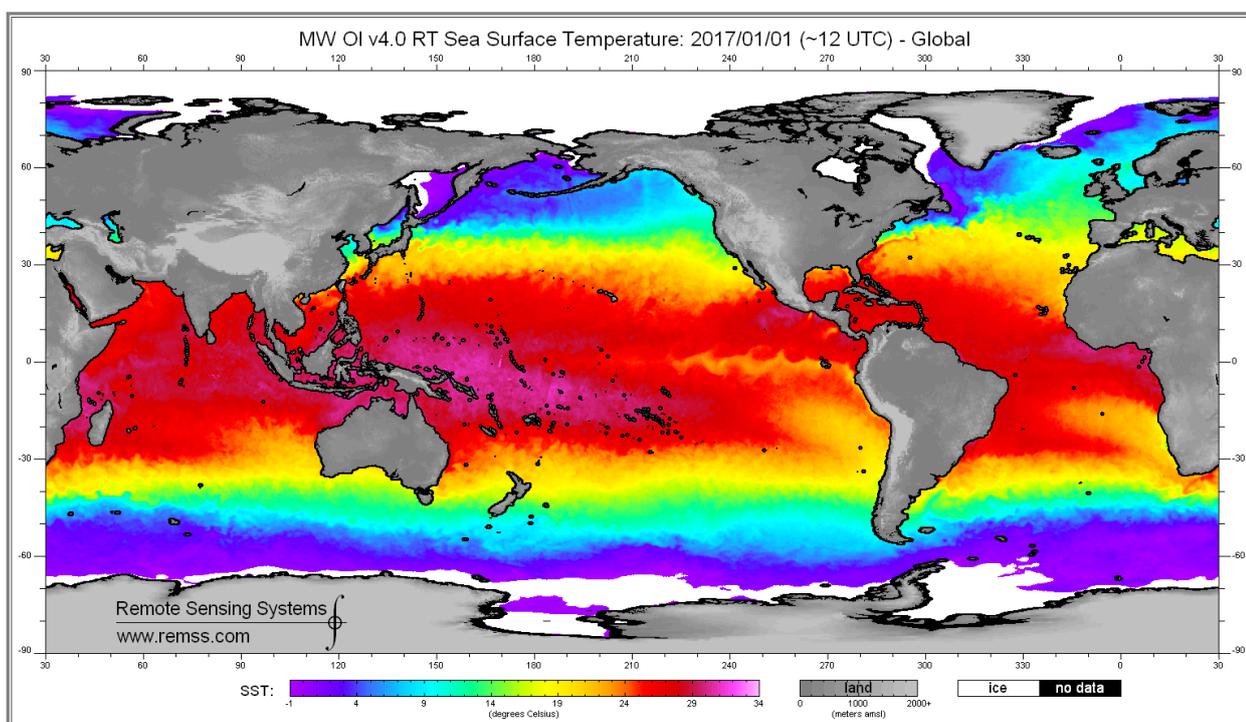


Рисунок 1.6 – распределение температуры на поверхности океана

В дополнение к температуре, спутники предоставляют информацию о цвете океана. Это позволяет ученым обнаруживать присутствие водорослей, речных плумов и других растений. Один из спутников, который может давать такие снимки является спутник - Orbview-2. Этот спутник помогает исследователям определить последствия наводнения вдоль побережья и

обнаружить цветение вредоносных водорослей, что может привести к заражению моллюсков и убивать других рыб и морских млекопитающих.

Спутниковые снимки также используются для сопоставления компонентов в воде, таких как коралловые рифы. Датчики, такие как landsat-7 и ikonos позволяют предоставить подробную информацию о местности. Снимок landsat-7 является частью программы "Landsat", одна из самых длинных существующих спутниковых программ на окружающую среду. Первые снимки landsat, запущенного в 1972 году, имела грубое разрешение - 80 метров пикселей. Это означает, что каждый пиксель дает изображение земной поверхности с площадью 80 квадратных миль, чем больше пикселей, тем ниже разрешение. Хотя изображение, показывающее 80 кв. ми может показаться "высоким разрешением", когда она берет начало от нескольких сотен миль в космосе, следующее спутниковое поколение, было запущено в 1982 году с разрешением пикселей 30 метров. Сегодня, снимки landsat-7 (рисунок 1.7) составляет 110 квадратных миль, с 30 метров в цвет пиксела, и 15 метров в пиксель черный и белый. Изображение той же области каждый может быть принято каждые 16 дней, когда спутник проходит над одной и той же точки на Земле.

Спутника Ikonos-это коммерческий спутник, который может собрать очень высокое разрешение изображения в 4 пикселя метров в цвет и 1 пиксель метров в черно-белых. Образы, которые он собирает используются для описания рифов, прибрежных местообитаний и других аналогичных условиях. На снимке приведенном ниже (Рис. 1.6) изображен Перл и Гермес Атолл на северо-западе Гавайских островов. Этот Атолл является частью экосистемы заповедника коралловых рифов.



Рисунок 1.7- Снимок спутника Landsat изображающий Перл и Гермес Атолл.

Спутники которые могут давать экологические изображения используются совместно с другими организациями, которые получают данные от различных датчиков. Например, морских животных, таких как морские черепахи и ламантины, могут быть оснащены датчиками, которые передают информацию об их местонахождении. (рисунок 1.13) Спутники становятся стандартным инструментом для изучения океанов.

Океанографии из космоса-молодая наука, первый Океанский спутник наблюдения был выпущен в конце 70-х годов. С тех пор все большее количество миссий было запущено, от разведки до новой эры систематического оперативного мониторинга океана.

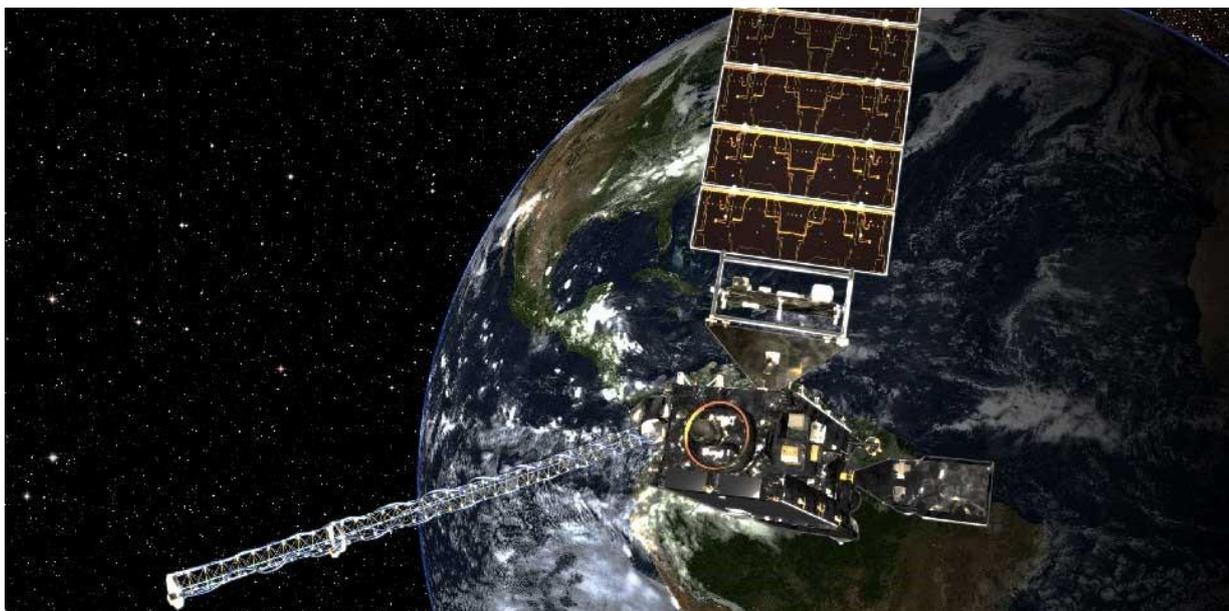


Рисунок 1.8 – Один из спутников NOAA

На Геостационарный эксплуатационный Экологический Спутник-16 (IS-16) является первым из нового поколения NOAA(Рисунок 1.8) геостационарных метеорологических спутников. Среди многих миссий этого спутника, он будет собирать температуры океана и климатические данные.

Спутники –это удивительные инструменты для наблюдений Земли и большой синий океан покрывает более 70 процентов нашей планеты. С помощью дистанционного зондирования со своих орбит высоко над землей, спутники дают нам гораздо больше информации, чем будет возможно получить только с поверхности.

Используя спутники, исследователи NOAA внимательно изучают океан. Информации, собираемые спутниками могут рассказать о многом, температуре поверхности моря, цвете океана, коралловые рифы, и море и озера льдом. Ученые также используют системы сбора данных на спутники для передачи сигналов от передатчика на земле для исследователей в поле—используются в приложениях, таких как измерение приливных высот и миграцией китов. Передатчики на спутниках также реле информации о местоположении, получаемых с аварийных радиомаяков, чтобы помочь спасти жизни, когда люди находятся в бедственном положении на катерах, самолетах, или в отдаленных районах.

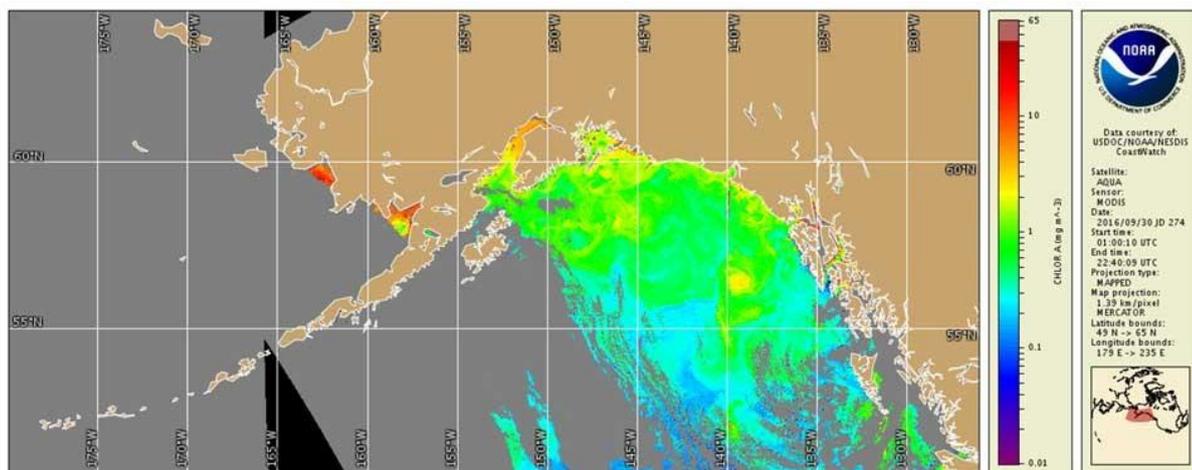


Рисунок 1.9 – Информация о цвете океана

Спутники также предоставят информацию о цвете океана. Например, цвет данных помогает исследователям определить последствия наводнения вдоль побережья, обнаружить реку перья, и найдите цветение вредных водорослей, что может привести к заражению моллюсков и убивать других рыб и морских млекопитающих. Цвет океана со спутников позволяет не только определить, где "цветение" водоемов формируется, но и предсказать, где она может развиваться в будущем. Очистные сооружения также использовать прогнозы цветения водорослей, созданный в NOAA, чтобы решить, когда, чтобы изменить их формулу обработки воды для обработки водорослей.

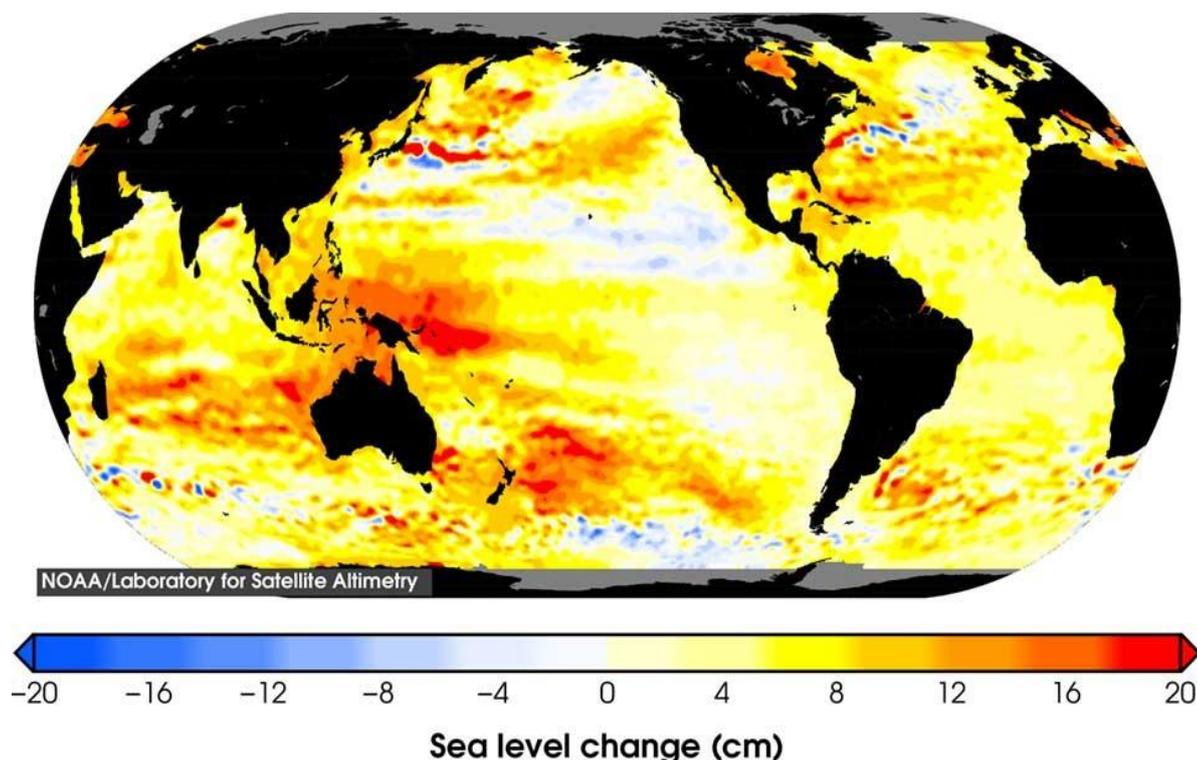


Рисунок 1.10 – Карта общего изменения уровня моря с 1993 года

Одним из наиболее значимых потенциальных воздействий изменения климата является повышение уровня моря, которое может привести к затоплению прибрежных районов и островов, береговой линии, эрозии и разрушения важных экосистем, таких как - болота и мангровые заросли. Измерения спутника радиовысотомер может быть в сочетании с точно известным орбитам космических аппаратов для измерения уровня моря в глобальном масштабе с беспрецедентной точностью. На измерение долгосрочных изменений среднего глобального уровня моря дает возможность для тестирования климатических моделей предсказания глобального потепления.

Сопоставление

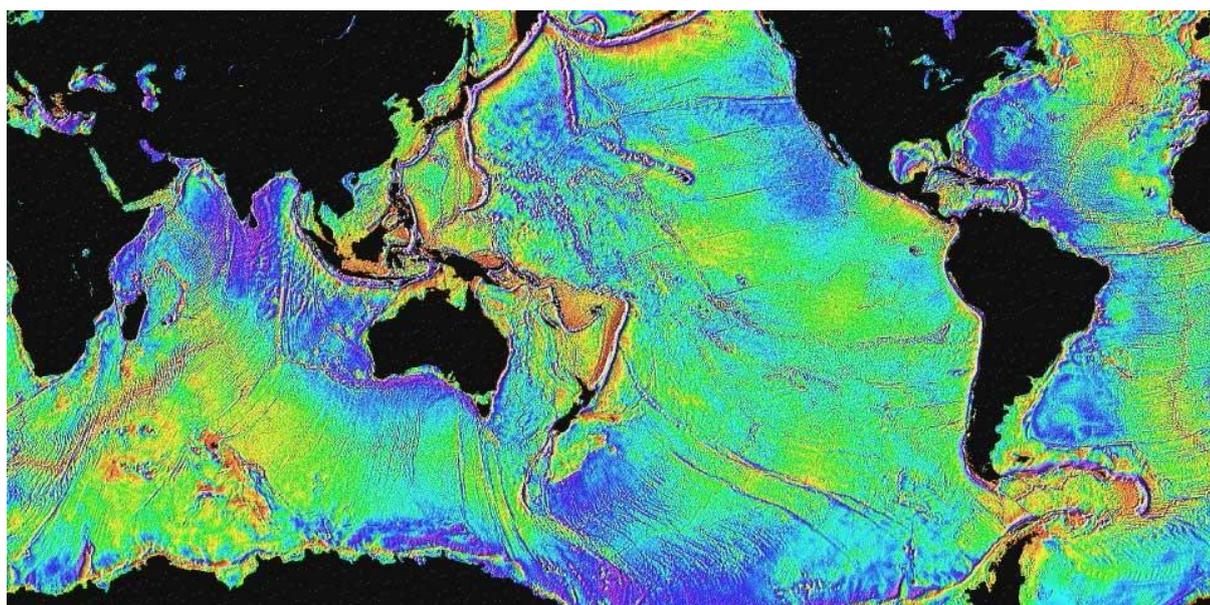


Рисунок 1.11 –Карта рельефа под водой снятая со спутника

Спутниковые снимки также могут быть использованы для карт рельефа в воде (рисунок 1.11) , таких как коралловые рифы. В морской геологии намного проще, чем в геологии материков, поскольку скорость эрозии ниже, а также потому, что континенты пострадали от нескольких столкновений, связанных с открытием и закрытием океанических бассейнов. Несмотря на свою относительную юность и геологическую простоту, большинство из этого глубокого дна остается малоизученной, поскольку она закрыта толщей воды. На сегодняшний день, корабли наметили лишь небольшую часть морского дна. Но благодаря гравитации, поверхность океана имеет широкие кочки и провалы, которые имитируют рельеф океанского дна. Эти кочки и провалы могут быть сопоставлены с помощью очень точный радар-альтиметр, установленного на спутнике.



Рисунок 1.12 - Ураган "Иван" 15 сентября 2004 года, прежде чем он обрушился на побережье США

Океан играет важную роль в регулировании погоды и климата на планете. Данные о погоде является, пожалуй, наиболее известным применением спутниковых технологий. (рисунок 1.12)NOAA
Оперативная метеорологическая спутниковая система состоит из двух типов

спутников: геостационарные оперативные спутники наблюдения за окружающей средой для сверхкраткосрочного прогноза, предупреждения и наблюдения и полярно-орбитальных спутников для долгосрочного прогнозирования. Оба типа обеспечивают полный погодный мониторинг.

Спутники обеспечение экологической изображений может также использоваться совместно с другими организациями, которые получают данные от различных датчиков. Например, морских животных, таких как морские черепахи и ламантины, могут быть установлены датчики, которые передают информацию об их расположении на орбите спутников. Аналогичная технология используется также для человека поиск и спасение.

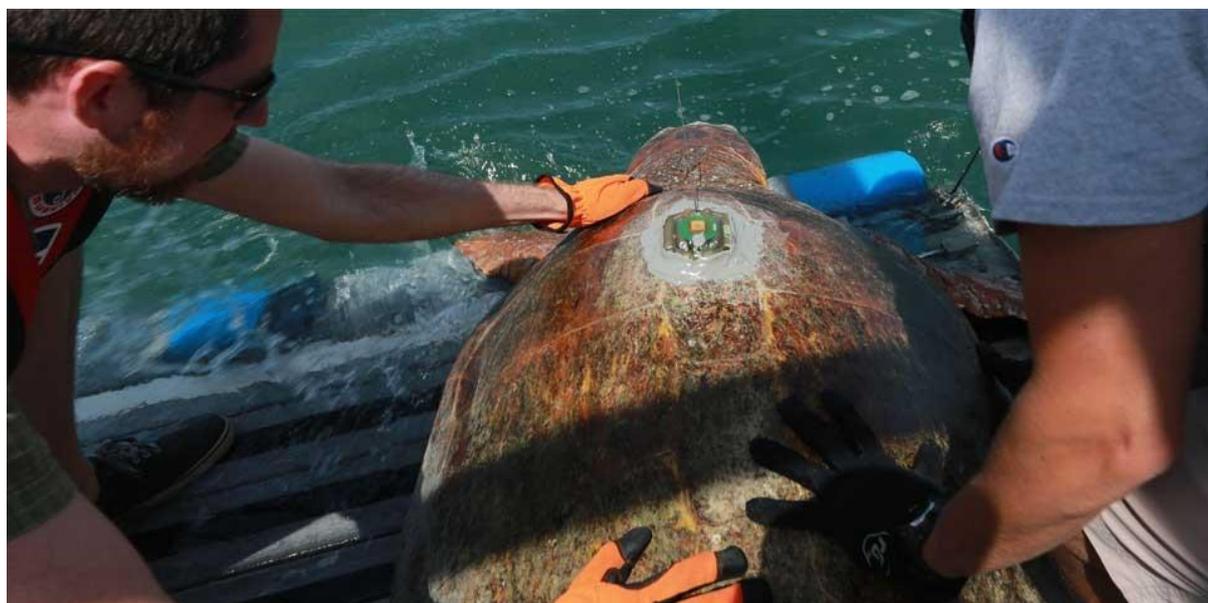


Рисунок 1.13– Спуск с корабля черепахи со спутниковым маячком

Выводы

Рассмотрена автоматическая система контактного метода зондирования океана и оказалось что системой, которая может называться автоматической можно назвать только одну – это система автоматических буев «Argo».

На данный момент запущено около 3886 буев – измерителей, которые могут измерять соленость(электропроводность) и температуру морской воды до 2000 метров. Эта система является первой, позволяющей мониторить

температуру и соленость на обширной территории за счет большого массива буев, при этом передавая данные на сервера в автоматическом режиме, которые потом, после обработки, попадают в открытый доступ и используются во многих направлениях.

Учитывая, что развертывание системы «Argo» началась в 2000 году, а к ноябрю 2007 года уже миллионный профиль был собран и сейчас почти 4000 дорогостоящих автоматических буй-измерителя плавают в разных морях и океанах, можно говорить о том, что через пару лет такие буи будут находиться во всех акваториях мировых океанов и морей.

Были рассмотрены и технические характеристики системы «Argo» и можно утверждать, что каждый из буев системы соответствует основным установочным параметрам, таким как:

1. Дискретность измерений до 10 дней;
2. Время нахождения на поверхности – 6 часов;
3. Нижний горизонт измерений – 2000 метров.

Все эти параметры должны будут оставаться неизменными в течение срока службы буя, а именно 3-4 года, если он не будет выловлен.

Так же надо учитывать, что сразу несколько компаний занимаются производством буев для системы «Argo» и их параметры несколько отличаются, это наглядно видно на таблице 1.1.

Так же была рассмотрена система бесконтактного метода зондирования океана, которая позволяет снимать разного рода данные благодаря программной обработке снимков со спутников.

Эти данные включают в себя построение распределения температуры и солености на поверхностях морей и океанов с небольшой погрешностью, которой можно пренебречь если использовать данные не для точных расчетов, так же снимки изменения уровней морей и океанов, движение косяков рыб, расположения коралловых рифов и т.д..

Полученные данные используются в разных направлениях научных исследований, начиная с метеорологии и заканчивая экологией.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА

2.1. Основные виды гидрофизических характеристик

Система Арго позволяет получать данные о основных видах гидрофизических характеристик Мирового океана:

Соленость;

Давление;

Температура.

С помощью которых можно вычислить плотность морской воды, но что более важно для данной работы скорость распространения звука в ней.

Соленость - общее количество твердых минер.веществ в 1 кг морской воды, выраженное в г. при условии, что все галогены заменены эквивалентным количеством Cl, углекислые соли переведены в окислы, а орг. вещество сожжено. Единицей ее является промилле (‰), что соответствует содер. 1 г минер.веществ в 1 кг воды.

Процентное содержание солей представлено на рисунке 2.1.

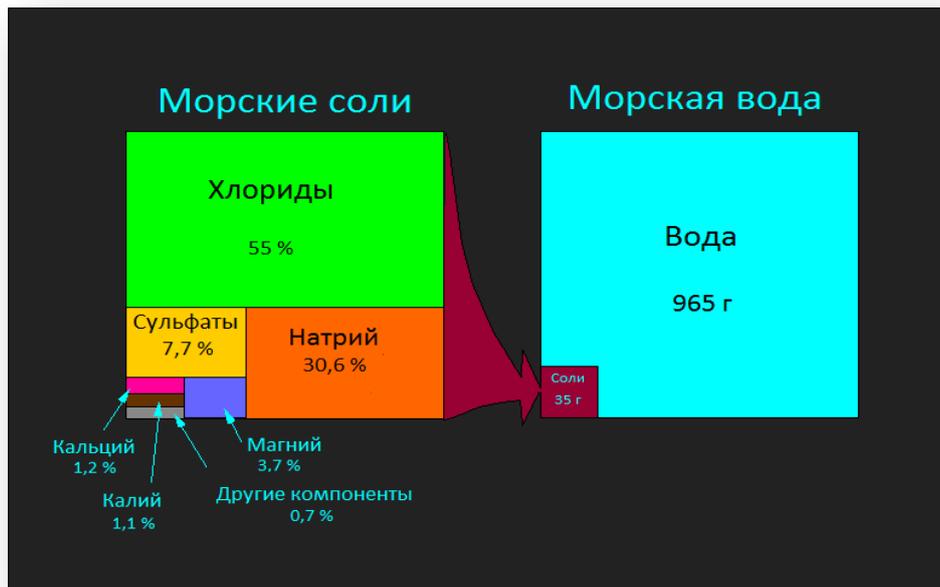


Рисунок 2.1 – Процентное содержание солей в морской воде

Процентное соотношение солей в различных частях Мирового океана одинаково не зависимо от их концентрации.

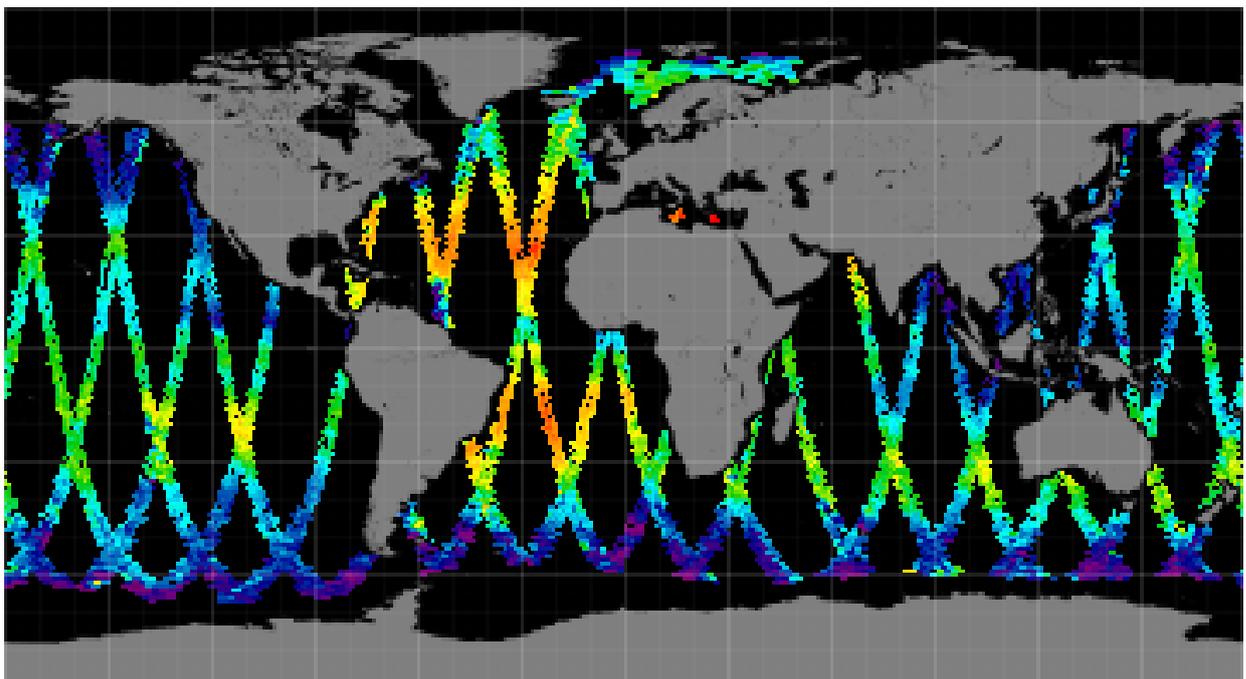


Рисунок 2.2- Распределение солености на поверхности океана.(спутниковая система)

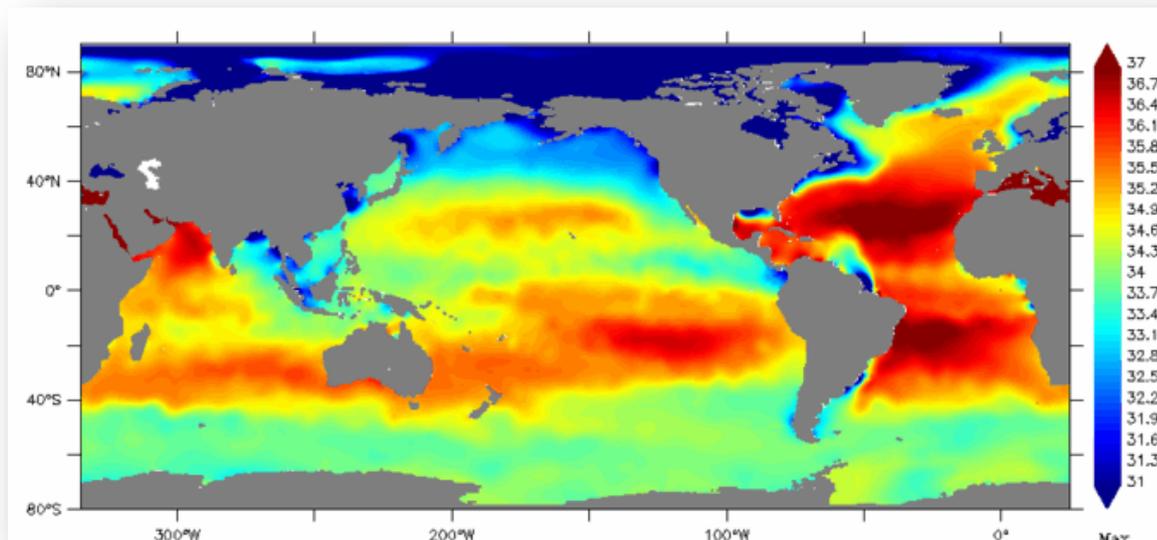


Рисунок 2.3 – Распределение солёности на поверхности океана.(спутниковая система)

Средняя солёность Мирового океана— 35 ‰. Повышенная солёность соотносится с зонами максимального испарения и наименьшего количества атмосферных осадков. Пониженная солёность (менее 34 ‰) характерна для приарктических и приантарктических вод, где сказывается сильное опресняющее действие талых ледниковых вод. В зимнее время в этих районах солёность несколько повышается за счёт осолонения вод в процессе ледообразование. От поверхности ко дну океана солёность убывает. Придонные воды от экватора до арктических широт имеют солёность 34,7—34,8 ‰.

В средних широтах превышение испарения над осадками приводит к тому, что поверхностные воды становятся более солёными, чем глубинные. Если их солёность становится достаточно большой, они погружаются вниз (хотя этому препятствует их более высокая температура, снижающая плотность). При этом может наблюдаться явление, названное «солевые пальцы». Таким образом, в этих регионах расслоение воды поддерживается градиентом температуры, а влияние солёности может, наоборот, способствовать перемешиванию слоёв.

В более высокоширотных водоёмах (таких как Северный Ледовитый океан, Берингово море и Южный океан) поверхностные воды могут быть, наоборот, холоднее глубинных. В таком случае расслоённость воды стабилизируется только ростом солёности с глубиной, и галоклин изолирует поверхностные воды от глубинных. Это способствует появлению льда, а также ограничению выхода углекислого газа в атмосферу. Галоклин также хорошо выражен во фьордах и эстуариях со слабым перемешиванием воды, где пресная вода с материка растекается по поверхности океана.

Температура - физическая величина, характеризующая степень нагретости тел.

Океан получает от Солнца много тепла — занимая большую площадь, он получает тепла больше, чем суша. Вода обладает большой теплоемкостью, поэтому в океане накапливается огромное количество тепла. Только верхний 10-метровый слой океанической воды содержит тепла больше, чем вся атмосфера. Но солнечные лучи нагревают только верхний слой воды, вниз от этого слоя тепло передается в результате постоянного перемешивания воды.

Необходимо заметить, что температура воды с глубиной понижается, сначала скачкообразно, а затем плавно. На глубине вода почти однородна по температуре, так как глубина океанов в основном заполнена водами одного и того же происхождения, формирующимися в полярных областях Земли. На глубине более 3-4 тыс. метров температура обычно колеблется от +2°C до 0°C.

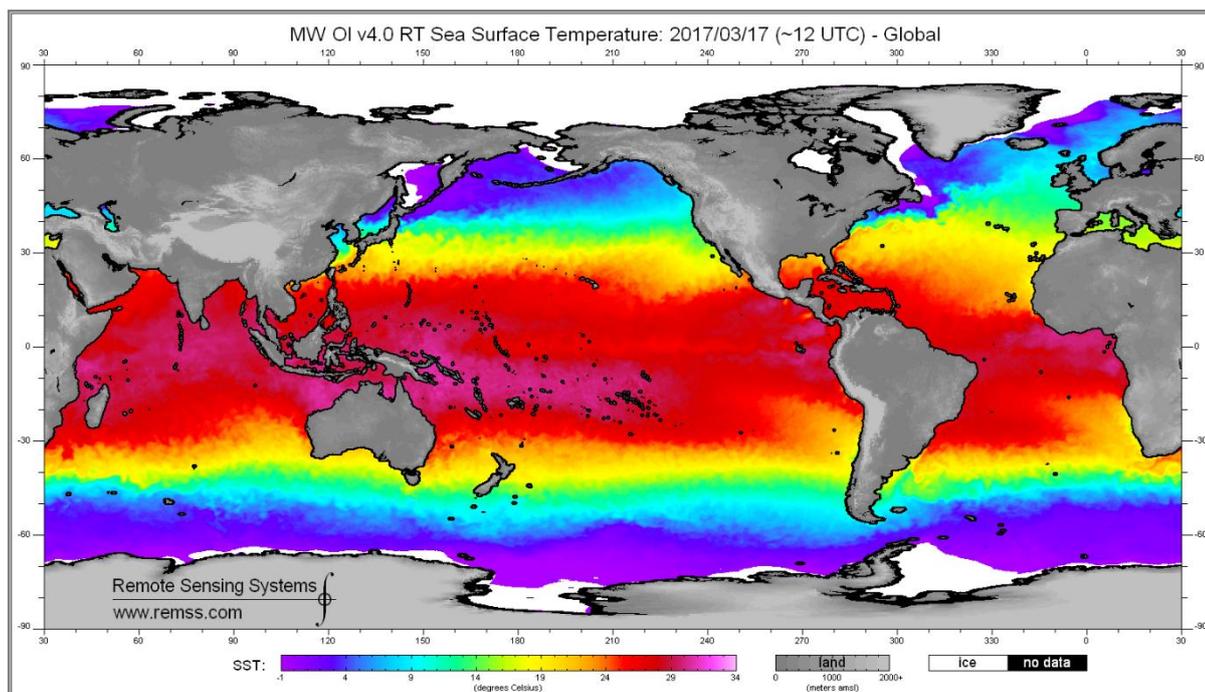


Рисунок 2.3- Распределение температуры поверхности Мирового океана

Температура Мирового океана зависит от широты и распределяется на его поверхности зонально. Наибольшие средние температуры располагаются на экваторе и равны 27° - 28°C . Так как наша Земля шар, с увеличением широты уменьшается угол падения солнечного луча, уменьшается величина солнечной радиации и температура вод Мирового океана понижается. Из-за близости холодной Антарктиды скорость понижения температур к югу несколько быстрее, чем к северу.

На температуру морской воды влияет и климат окружающих территорий: так, например, температура вод Красного моря, окруженного жаркими пустынями, достигает и 34°C . На температуру морской воды в умеренных широтах оказывает большое влияние время года и даже время суток. На температуру океанических вод оказывают сильное влияние и океанические течения: теплые течения уносят воды от экватора в умеренные широты, а холодные течения — от полярных областей. Подобное перемешивание вод способствует более равномерному распределению температур в водных массах.

Для всего Мирового океана средняя температура поверхностного слоя океанских вод составляет $+17,5^{\circ}\text{C}$. С глубиной она падает, однако, температура

вод горячих источников на дне океана достигает 400°C. Средняя температура всей массы вод океана всего 4°C. Самая высокая средняя температура у поверхности воды в Тихом океане равна 19°C, в Индийском — 17°C, в Атлантическом океане — 16°, в Северном Ледовитом океане — 1°C.

Давление - сила, действующая на какую-н. поверхность; степень упругости газов и жидкостей.

В связи с тем, что вода гораздо плотнее воздуха, изменение давления с глубиной происходит в океане во много раз быстрее, чем его изменение в атмосфере. Давление в морях и океанах возрастает на каждые 100 м глубины на 1 МПа или на 1 атм. (1 бар) на каждые 10 м глубины. Его величина зависит от плотности воды. Под действием давления вышележащих слоев удельный объем морской воды уменьшается, т.е. она сжимается. Сжимаемость морской воды незначительна: при нормальной солености (35) и $t_0 = 15\text{ }^\circ\text{C}$ она равна 0,0000442, поэтому воздействие давления воды на глубоководные организмы не так велико, как может казаться. В случае абсолютной несжимаемости вод, объем Мирового океана увеличился бы на 11 млн. км³, а его уровень поднялся бы на 30 м. К основным физическим свойствам воды относятся также оптические, акустические, электрические и радиоактивность.

Данные о перечисленных выше свойствах морской воды получают в системе Арго автоматически, контактным методом, следовательно, погрешность измерения очень мала. При помощи полученных данных можно рассчитать такие важнейшие параметры как плотность и скорость звука.

Плотность – скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объёму.

Температура и соленость — главные факторы, обуславливающие плотность воды.

Для морской воды чем ниже температура и выше соленость, тем больше плотность воды (рис. 3). Так, при солености 35 ‰ и температуре 0 °C плотность морской воды составляет 1,02813 г/см³ (масса каждого кубометра такой морской воды на 28,13 кг больше, чем соответствующего объема

дистиллированной воды). Температура морской воды наибольшей плотности не +4 °С, как у пресной, а отрицательная (-2,47 °С при солёности 30 ‰ и -3,52 °С при солёности 35 ‰)

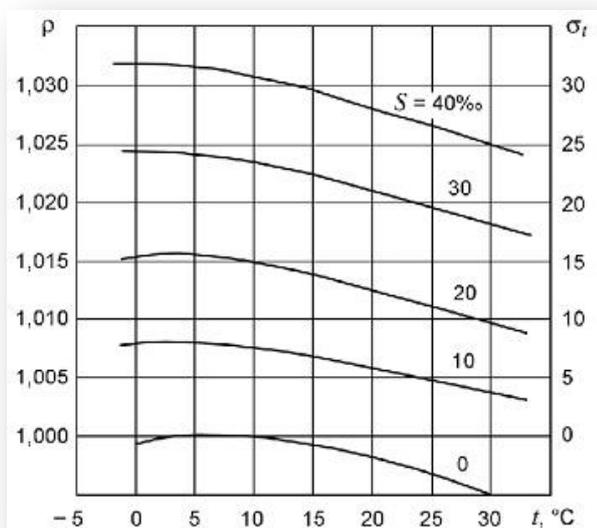


Рисунок 2.4- Связь плотности морской воды с ее солёностью и температурой

Благодаря нарастанию солёности плотность воды увеличивается от экватора к тропикам, а в результате понижения температуры — от умеренных широт к Полярным кругам. Зимой происходит опускание полярных вод и их движение в придонных слоях к экватору, поэтому глубинные воды Мирового океана в целом холодные, но обогащенные кислородом.

Выявлена зависимость плотности воды и от давления (рис. 4).

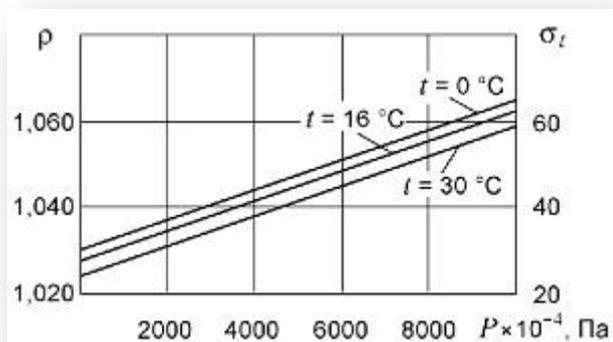


Рисунок 2.5- Зависимость плотности морской воды ($S=35 \text{ ‰}$) от давления при различных температурах

Плотность — скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объёму. Поле плотности воды Мирового океана в основном подобно полю температуры. Только в полярных областях и некоторых морях главную роль играет солёность. В соответствии с тем, что температура воды в тропических и умеренных широтах уменьшается от поверхности ко дну, а в полярных широтах в том же направлении увеличивается солёность, плотность вод повсеместно растёт с увеличением глубины.

Скорость звука - скорость распространения звуковых волн в среде.

В отличие от воздуха, вода слабо поглощает энергию звуковых волн, звук в водной толще океана может распространяться на чрезвычайно большие расстояния (на многие тысячи километров). Скорость звука в воде не зависит от его частоты. Например, высокочастотный свист дельфина распространяется с той же скоростью, что и низкочастотная "песня" горбатого кита. Радиоволны, наоборот, очень сильно поглощаются водой, и их невозможно использовать для подводного изучения океана. Благодаря перечисленным особенностям распространения звука в морской воде, он широко используется для подводной связи, навигации, обнаружения различных объектов и многих других практических и научных целей. Особое значение имеют ультразвуковые волны (с частотой более 20 тыс. герц), которые могут посылааться излучателями направленно.

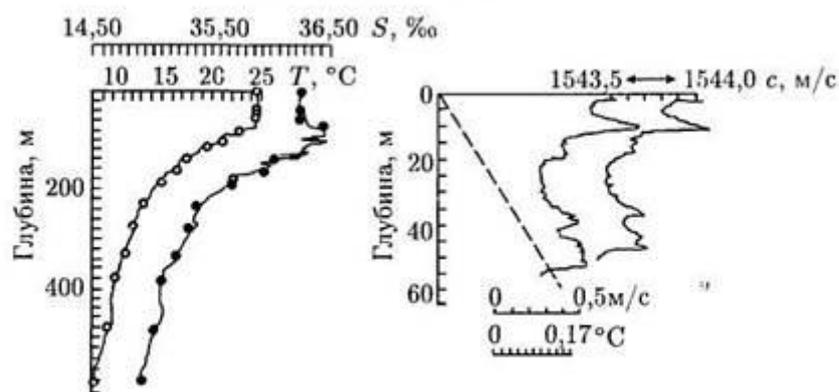


Рисунок 2.6- Зависимость распространения скорости звука от температуры давления и солености

Скорость звука в морской воде изменяется от 1400 до 1550 м/с. Средняя его скорость равна 1500 м/с, что в 4-5 раз превышает скорость звука в атмосфере. С увеличением температуры, солености и давления (глубины) она возрастает, причем наиболее под влиянием температуры. Например, при изменении температуры на 1 °C скорость звука в морской воде меняется на 4,4 м/с, с увеличением солености на 1 ‰-на 1,2 м/с и при возрастании глубины на 100 м - на 1,75 м/с.

2.2 Датчики, используемые в системе Argo для измерения гидрофизических характеристик

Рассмотрим датчики измерения температуры, солёности и давления, используемые системой Argo. В настоящее время используются комплекты датчиков SBE-41, RBRargo, ранее также использовался комплект датчиков FSI.

SBE-41

SBE 41 был первоначально разработан в 1997 году для интеграции с подповерхностным океанографическим бумом под названием ALACE (автономный лагранжевский циркуляционный проводник) (Davis, et al., 1992).



Рисунок 2.7 – Sea-BirdCTD модуль

В настоящее время Sea-Bird производит около 1000 SBD 41 / 41CP CTD в год, обеспечивая более 90% годовых требований к программе Argo, а также растущий рынок, не связанных с Argo.

Особенности конструкции SBE 41 / 41CP

SBE 41 / 41CP использует проверенные датчики температуры, проводимости и давления MicroCAT.

SBE 41 / 41CP имеет тщательно продуманную защиту от загрязнений, U-образным проточным каналом и насосом.

Датчик давления SBE 41 / 41CP имеет термисторную защиту от температуры окружающей среды.

Насос SBE 41 обеспечивает расход 40 мл / св течение 2,5 секунд на измерение T, C и & P и выхлопы через ноль-упорный порт.

Датчики CTD и электроника установлены на верхней торцевой крышке Argo.

Как SBE 41, так и 41CP измеряют проводимость, температуру и давление, а также могут быть оснащены датчиками для измерения растворенного кислорода. Датчики на SBE 41 и 41CP идентичны; Разница заключается в схемах и протоколах выборки:

Для SBE 41 и 41CP система может быть запрограммирована на передачу всех данных или только интересующих параметров (только C, T, P; T и P; P или C, T, P и D.O.).

CTD-зонды фирмы "RichardsBranckerResearchLtd", Канадская фирма RBR, основанная в 1986 г. и известная ранее как "DataLoggers", в числе другого океанографического оборудования ранее уже выпускала измерители параметров воды, но с относительно слабыми метрологическими характеристиками.

RBRargo CTD

RBRargo CTD разработан специально для программы ARGO. Конструкция сверхнизкой мощности приводит к экономии энергии в 5 раз по CTD, в то время как оптимизированный CFD поток делает насос совершенно ненужным. Соленость поверхности по умолчанию - поведенческая ячейка не подвержена воздействию поверхностно-активных веществ и не повреждается при высыхании.



Рисунок 2.8- RBRargo модуль

Мощность и компактная электроника, RBRargo соответствует как стандартным корпусам ARGO, так и НАТО А-класса, и выдерживает воздушное развертывание.

Все приборы RBRargo имеют встроенную компенсацию температурных воздействий на давление, а также влияние температуры и давления на проводимость.

Инструмент запускает настоящую RTOS (операционную систему реального времени) и способен регистрироваться автономно одновременно с поставкой периодических измерений (например, контроллеру двигателя плавучести).

Существует три режима выборки в соответствии с глубиной буя в толще воды. Например, режим 1 - между 2000 и 1000 дбар, объединение всех измерений, проведенных в диапазоне 5 дбар. Режим 2 -1000 дбар и 300 дбар, с отбором проб на частоте 1 Гц и сохранение образцов в диапазоне 1 дбар. Режим 3 может быть между 300 дбар и поверхностью.

Сравнение основных характеристик комплектов RBRargo и SBE-41 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнение характеристик комплексов датчиков SBE-41 и RBRargo

	Начальная точность измерений			Увеличение погрешности за год		
	T	S	P	T	S	P
SBE-41	±0,002	±0,002	± 2 дбар	0,0002	0,001	0,8дбар
RBRargo	±0,002	±0,003	0,5/ 1/ 2 /3дбар	0,002	0,01	1/ 2/ 4/ 6дбар

Анализ рассмотренных ранее сведений и составленной таблицы показал, что оба вида комплекта датчиков имеют свои характерные плюсы, но по значениям погрешности SBE-41 является наиболее лучшим комплектом.

2.3 Техническое оснащение спутниковой системы для получения данных.

Для выявления датчиков устанавливаемых в метеорологических и океанологических целях, нам надо знать поля и явления Мирового океана, исследуемые дистанционными методами.

Таблица 2.2 – Поля и явления мирового океана.

Поля и явления Мирового океана	Параметры и характеристики	Датчик / Спутник
Температура по верхности океана	Температура по верхности океана	ИК-радиометры, спектро-радиометры AVHRR/NOAA, ATSR/ERS-1-2, AATSR/Envisat, MODIS/Terra, Aqua TMI/TRMM и др.
Солёность по верхности океана	Солёность	СВЧ-радиометры SMOS, Aquarius (в разработке)
Морские течения, динамика водных масс	Скорость и направление течения, морфологическая структура	Тепловые ИК-радиометры AVHRR/NOAA, TMI/TRMM радиолокаторы РСА и радиовысотометры в разработке
Уровень моря	Аномалии поля уровня, колебания уровня	Радиовысотометры ALT/Topex-Poseidon, RA/ERS-1-2 и др.
Состояние по верхности моря, волнение	Длина, высота и направление распространения волн	Радиолокаторы РСА, СВЧ-радиометры, альтиметры SAR/ERS-1-2 и Envisat, SSM/I/DMSP, ALT/Topex- Poseidon, RA/ERS-1-2

Продолжение таблицы 2.2

Приводный ветер	Скорость и направление ветра	Скаттерометры и СВЧ- радиометры SCAT/ERS-1-2, NSCAT/ADEOS, QuickSCAT/SEAWIND, SSM/I/DMSP и др.
Цвет воды, биопродуктивность	Цвет воды, концентрация хлорофилла фитопланктона, концентрация взвеси	Многозональные сканеры и камеры CZCS/Nimbus, SeaWiFS/SeaStar, MERIS/Envisat, MODIS/Terra, Aqua, ADEOS и др.
Морские льды	Распространение, положение кромки, толщина, возраст, сплоченность, скорость и направление дрейфа льдов и т.п.	Радиолокаторы РСА, СВЧ-радиометры, радиовысотометры, сканирующие системы оптического диапазона Radarsat-1, 2, Envisat,
Рельеф дна	Формы рельефа дна мелководного шельфа, морфология дна Мирового океана	Многозональные камеры и сканеры, радиовысотометры ScaSat, ERS, EnviSat

Продолжение таблицы 2.2

Мезо/мелкомасштабные явления на морской поверхности	Параметры явлений	Радиолокаторы SAR, PCA Алмаз, ERS-1-2, Radarsat-1, 2, Envisat и др.
---	-------------------	---

Температура и солёность

Температура и солёность поверхности океана представляют собой важнейшие характеристики морской воды. Для динамической океанографии важно знать распределение плотности, определяющей движение водных масс, а плотность морской воды есть функция её температуры и солёности. Для измерения температуры водной поверхности из космоса применяют инфракрасные радиометры, работающие на метеорологических и океанологических спутниках, по данным которых регулярно создаются глобальные и региональные карты температур морской поверхности, а для измерения солёности в настоящее время разрабатывается аппаратура на базе микроволновых радиометров, однако уже сейчас мы способны с помощью устаревших датчиков (СВЧ-радиометры) и сильной программной обработке получать графики распределения солёности на поверхности мирового океана.

Морские течения

Морские течения – это перемещение водных масс, характеризующееся направлением и скоростью.

Основные силы (причины), вызывающие морские течения, подразделяются на внешние и внутренние. К внешним силам относятся ветер, атмосферное давление, приливообразующие силы Луны и Солнца; к внутренним – силы, возникающие вследствие неравномерного распределения по горизонтали плотности водных масс.

Кроме внешних и внутренних сил, вызывающих морские течения, сразу же после возникновения движения вод проявляются вторичные силы, к

которым относятся отклоняющая сила вращения Земли (сила Кориолиса) и сила трения, замедляющая всякое движение.

На направление течения оказывают влияние также конфигурация берегов и рельеф дна. Под полем течений понимается распределение суммарного вектора скорости течения на акватории Мирового океана.

«Увидеть» течения на космических снимках оказалось возможным благодаря регистрации температур поверхности инфракрасными радиометрами – по таким снимкам определяют ширину струи, меандры, сопровождающие течение вихри (ринги), грибовидные течения. Для количественных измерений поля течений из космоса, определения направления и скорости движения воды в настоящее время применяются интерферометрические системы на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой.

Уровень моря

Под уровнем моря понимается положение поверхности воды по высоте в данном месте и в данный момент времени, а под полем уровня – распределение значений уровня в пространстве.

Основными причинами, вызывающими колебания уровня, в особенности у побережий океанов и морей, являются: приливы и отливы, ветровой нагон и сгон воды, изменение атмосферного давления, течения, сейши, изменение плотности воды. Сезонные колебания уровня многих морей связаны с температурным расширением-сжатием водой массы, а глобальные климатические изменения вызывают многолетние колебания уровня Мирового океана, изучение которых сейчас особенно актуально и ведётся с помощью радиоальтиметров.

Состояние поверхности моря, волнение

Под полем волнения понимают распределение элементов поверхностных волн (высоты и длины волны). Преобладающими на поверхности океанов и морей являются ветровые и приливо-отливные волны. Вызывая шероховатость

морской поверхности, волны отображаются на радиолокационных снимках. Радиоальтиметры позволяют определять высоту волн, а СВЧ-радиометры – силу волнения.

Приводный ветер – скорость и направление ветра у поверхности воды – может быть измерен только над океаном СВЧ-радиометрами и скаттерометрами. Они обеспечивают ежедневные глобальные карты ветров.

Цвет воды, биопродуктивность

Поле цвета океана – пространственное распределение оптических характеристик морской воды (избирательного поглощения и рассеяния солнечного света). Цвет воды зависит от концентрации пигмента хлорофилла (фитопланктона) и взвесей, поэтому определение цвета используется для изучения биопродуктивности океана и загрязнения вод. Цветовые характеристики воды получают многозональными сканерами с каналами в голубой и зеленой зонах спектра – CZCS, SeaWiFS.

Морские льды

Морские льды образуются в высоких широтах и представляют серьёзную проблему для судоходства. Их распространение фиксируется съёмочными системами оптического диапазона, а для изучения типа и возраста льдов, их толщины, сплочённости, динамики используются активные (SAR) и пассивные системы радиодиапазона.

Рельеф дна

Подводный рельеф мелководий, изучение которого особенно важно в связи с освоением шельфа, фиксируется съёмочными системами оптического диапазона лишь в прозрачных водах и до небольших глубин. Топография дна мелководных зон отображается также в структурах волнения, фиксируемых радиолокационными снимками. Рельеф дна Мирового океана обуславливает пространственные вариации уровня поверхности океана и изучается по данным радиоальтиметрии.

Основные физические поля океана и приводной атмосферы возмущают различные мезо/мелкомасштабные естественные и искусственные явления в

океане – нефтяное загрязнение и органические пленки, атмосферные явления, – которые, в свою очередь, локально перераспределяют характеристики полей Мирового океана. Они отображаются на радиолокационных снимках.

ИК-радиометры

Первые изображения Земли из космоса в тепловом инфракрасном диапазоне были получены с американского метеорологического спутника TIROS-1. Спутник запускался в интересах Национального аэрокосмического агентства (NASA) и Министерства обороны США. Несмотря на то, что данные, полученные сенсорами спутников TIROS-1 и 2, характеризовались низким пространственным разрешением, была впервые показана возможность использования данных теплового дистанционного зондирования для решения целого ряда метеорологических задач.

На данный момент существует множество систем дистанционного зондирования земли в тепловом диапазоне, в таблице 2.3 приведены названия и информация о наиболее распространенных системах, которые используются на данный момент, многие из них достаточно старые.

Таблица 2.3 – Примеры систем спутникового зондирования в тепловом диапазоне

Название системы	КА	Время действия, годы	Тепловые диапазоны, мкм	Разрешение, м	Страна
AVHRR	NOAA	С 1970	3,55 – 3,93 10,3 – 11,3 11,5 – 12,5	6000 1000	США
GOES	GOES	С 1975	10,2 – 11,2 11,5 – 12,5	2000	США
ATSR	ERS-1	С 1995	3,7;12	1100	Европа

Продолжение таблицы 2.3

ASTER	Terra	С 1999	8,125 – 8,475 8,475 – 8,825 8,925 – 9,275 10,25 – 10,95 10,95 – 11,65	90	США
MODIS	Terra,Aqua	С 1999	16 каналов в диапазоне 3,66 – 14,385	1000	США
ETM+	Landsat-7	С 1999	10,4 – 12,5	60	США
TIRS	Landsat-8	С 02.2013	10,6 – 11,2 11,5 – 12,5	100	США
МСУ-МР	Метеор-М №1	С 2009	3,5 – 4,1 10,5 – 11,5 11,5 – 12,5	1000	Россия

СВЧ-Радиометр

Микроволновый радиометр (СВЧ) - это радиометр , который производит измерения энергии в микроволновом диапазоне на частотах 1-1000 ГГц. Микроволновые радиометры имеют очень чувствительные приемники, предназначенные для измерения теплового электромагнитного излучения атмосферными газами. Они, как правило, оснащены несколькими приемными каналами для того, чтобы извлечь характерный спектр излучения атмосферы или внеземные объекты. Микроволновые радиометры используются в различных природоохранных и инженерных задач, включая прогнозирование погоды, климат контроль, радиоастрономии и распространения радиоволн исследования.

С помощью микроволнового спектрального диапазона от 1 до 300 ГГц обеспечивает дополнительную информацию в видимом и инфракрасном спектральном диапазоне. Главное, атмосфера и растительность полупрозрачные

в СВЧ диапазоне. Это означает, что его компоненты, как сухие газы, водяной пар, или гидрометеоры взаимодействуют с микроволновым излучением, но в целом даже в пасмурную атмосферу не полностью непрозрачными в этом диапазоне частот.

Для погоды и климата - СВЧ-радиометры осуществляют измерения из космоса, а также от земли. Как инструмент дистанционного зондирования, они предназначены для работы непрерывно и автономно, нередко в сочетании с другими атмосферными удаленными датчиками, как например облако радары и лидары. Они позволяют получить важные метеорологические величины, такие как вертикальная температуры и влажности профиль, столбчатый водяного пара количество, или столбчатый жидкой воды путь с высоким временным разрешением порядка нескольких секунд до минут под почти все погодные условия.

Выводы

Рассмотрены основные виды гидрофизических характеристик, которые включают в себя температуру, соленость и давление. Благодаря всем этим данным мы можем рассчитать распределение скорости звука по глубине и выявить глубину на которой находится подводный звуковой канал, позволяющий свехдальние передачи звуковых сигналов.

Так же мы рассмотрели датчики, используемые в системе «Argo» для измерения гидрофизических характеристик и в данный момент используется комплекты датчиков SBE-41, RBRargo, ранее также использовался комплект датчиков FSI. Мы провели сравнение актуальных комплектов датчиков, которое можно рассмотреть в таблице 2.1.

Анализ рассмотренных ранее сведений и составленной таблицы показал, что оба вида комплекта датчиков имеют свои характерные плюсы, но по значениям погрешности SBE-41 является наиболее выгодным вариантом.

В данном разделе мы так же рассмотрели техническое оснащение спутниковой системы для получения данных. И выяснили что на данный момент существует множество систем позволяющих сканировать(снимать)

поверхность мирового океана и суши, список полей мирового океана, которые могут быть получены с помощью систем спутников показаны в таблице 2.2.

Мы выяснили что из множества систем которые расположены на спутниках, существуют две ,а именно ИК-радиометры и СВЧ-радиометры позволяющие после программной обработки получать достаточно точные снимки распределения температуры и соленость на поверхностях океана, в дальнейшем эти снимки используются в разных сферах, как пример прогнозирование появлений штормов и их силу за счет распределение температур на поверхности морей и океанов.

3.ПРИВЕДЕНИЕ ПРИМЕРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

3.1 Основные профили гидрофизических характеристик и их построение в системе «Argo»

Профиль температуры.

Поле температуры до глубины 50-100 м приблизительно совпадает с полем на поверхности Мирового океана, а глубже изменяется в зависимости от особенностей перемещения глубинных вод. На глубине 200 м, рядом с границей поверхностной структурной зоны, оно становится уже совсем другим. На этой глубине практически везде, не включая полярные области, обычно останавливается резкое снижение температуры.

Термоклин

Термоклин-это переходный слой между теплой смешанной водой на поверхности океана и прохладной глубокой водой внизу.



Рисунок 3.1 – Пример типичного профиля температуры морской воды

Красной линией на рисунке 3.1 показан типичный профиль температуры морской воды. В термоклине, температура падает быстро из смешанного верхнего слоя океана в ,значительно холоднее , глубинные воды. Ниже 1000 метров глубиной примерно до 4000 метров, температура воды остается постоянной. На глубинах ниже 13,100 ног, температура колеблется от околонулевой температуры чуть выше точки замерзания воды.

Водоемы состоят из слоев, определенной температуры. Верхний поверхностный слой называют **эпипелагической зоной**. Этот слой взаимодействует с ветром и волнами, которые смешивают воду и распределяет тепло. У основания этого слоя - термоклин. Термоклины-это переходный слой между теплой смешанной водой на поверхности и холодными глубокими водами ниже. Это относительно легко сказать, когда вы достигли термоклина в водоеме, потому что есть внезапное изменение в температуре. В термоклине, температура быстро понижается от температуры слоя в очень холодной глубокой температуры воды.

В океане, глубина и сила термоклина варьироваться от сезона до сезона и года к году. Это полупостоянная в тропиках, переменная в регионах с умеренным климатом (часто глубокое течение лета), и неглубоко, чтобы не существовало в полярных регионах, где под толщей холодной воды от поверхности до дна.

Термоклины также играют роль в метеорологических прогнозов. Например, ураган синоптики должны учитывать не только температуру

поверхности океана (температура поверхности моря), но и глубину теплой воды выше термоклина. Водяной пар испаряется из океана является основной подпиткой урагана. Глубина термоклина-это мера Размер "топливного бака" и помогает прогнозировать риск возникновения ураганов.

В свою очередь система буев «Argo» позволяет рассчитать термоклин в разных океанах мира (в которых расположены буи) , система уже на своих серверах сама строит график зависимости температуры от глубины и дает в общий доступ сразу несколько графиков , таких как распределение солёности по глубине, выше названной - температуры по глубине и график зависимости солёности от температуры (рисунок 3.2).

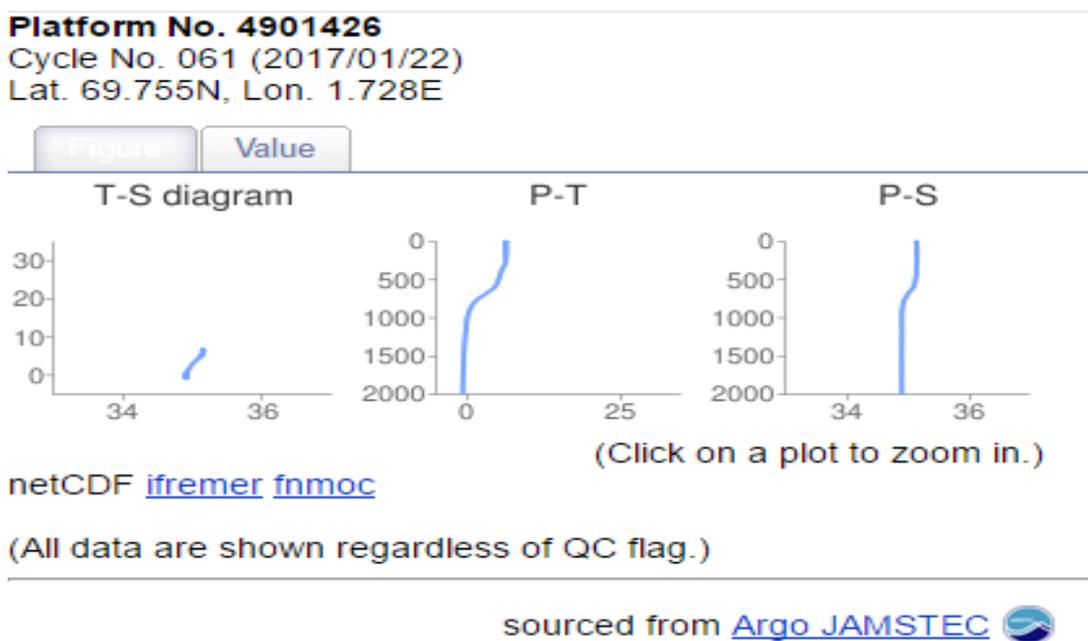


Рисунок 3.2 –Графики зависимости поставляемые системой «Argo»

Профиль солёности.

Галоклин — слой воды, в котором происходит интенсивное изменение солёности с увеличением глубины (наблюдается большой вертикальный градиент солёности). Он является одним из видов хемоклина, так как солёность напрямую влияет на изменение плотности воды. Галоклин играет важную роль в вертикальной стратификации плотности (расслоении плотности). Увеличение

солёности на 1 кг/м^3 приводит к повышению плотности морской воды приблизительно на $0,7 \text{ кг/м}^3$.

В средних широтах превышение испарения над осадками приводит к тому, что поверхностные воды становятся более солеными, чем глубинные. Если их солёность достаточно велика, они могут начать погружение (но этому препятствует более высокая температура, уменьшающаяся плотность). В этом случае возможно наблюдать явление, называемое «солевые пальцы», при котором солёность на поверхности больше солёности при увеличении глубины. Таким образом, в этих регионах стратификация воды поддерживается температурным градиентом, а влияние солёности может, напротив, способствовать смешиванию слоев.

На рисунке 3.3 заметим, что при первом измерении наблюдаются скачки солёности, что говорит о возможном ледообразовании, так как в данном слое у поверхности находится более опресненный слой, кроме того ранее рассмотренный рисунок 3.2 показывает, что в приповерхностном слое температура ниже чем в более нижних слоях.

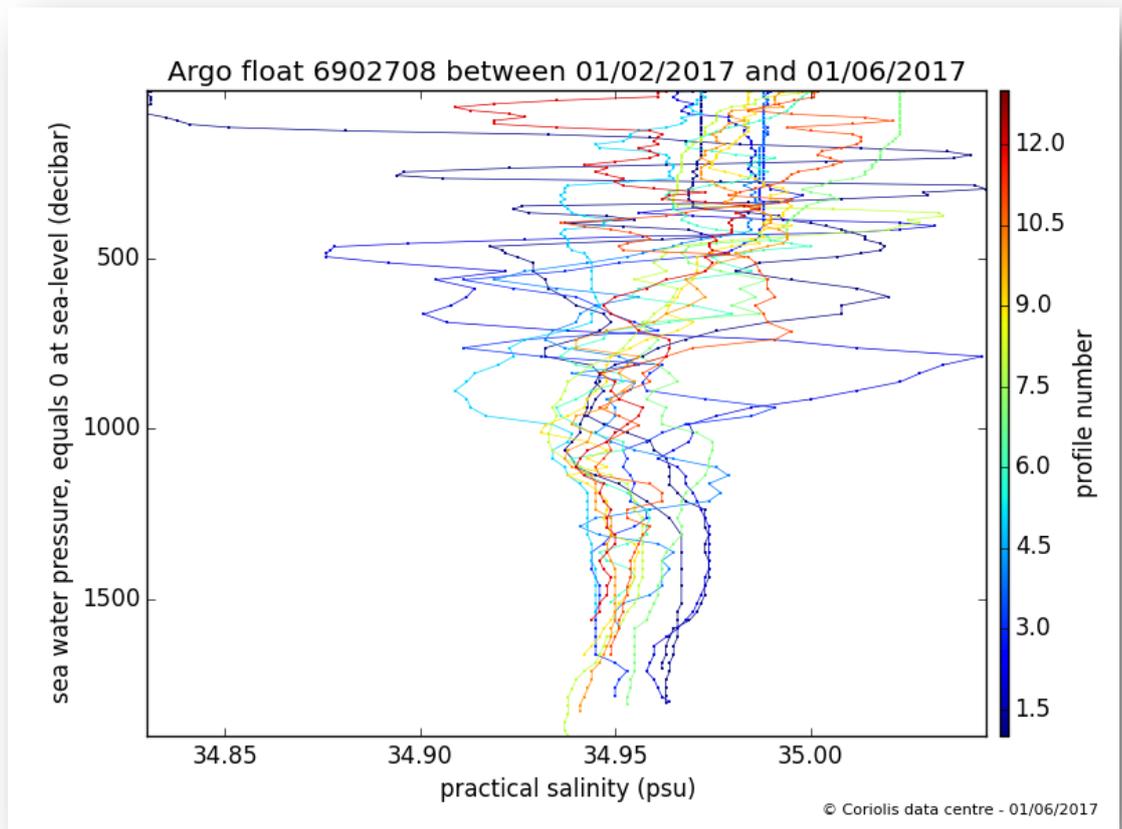


Рисунок 3.3- Все профили солёности, построенные буём за время его работы

Профиль скорости звука

Звук проходит около 1500 метров в секунду в морской воде. Звук распространяется гораздо медленнее в воздухе около 340 метров в секунду.

Скорость звука в морской воде не является постоянной величиной. Она изменяется на небольшую величину (несколько процентов) от места к месту, от сезона к сезону, с утра до вечера, и с глубиной. Хотя различия в скорости звука не очень большие, они имеют важные эффекты.

Скорость звука зависит от океанографических переменные температуры, солёности и давления. Здесь мы возвращаемся к давлению океана, из-за веса вышележащей воды (давление равновесия), а не связанные с давлением звуковой волны, которая гораздо меньше. Мы можем посмотреть на эффект каждой из этих переменных на скорость звука, сосредоточившись на одном месте в океане. Когда океанологи посмотреть на

изменения океанографических переменных глубины воды, они называют его профиль (Рисунок 3.4).

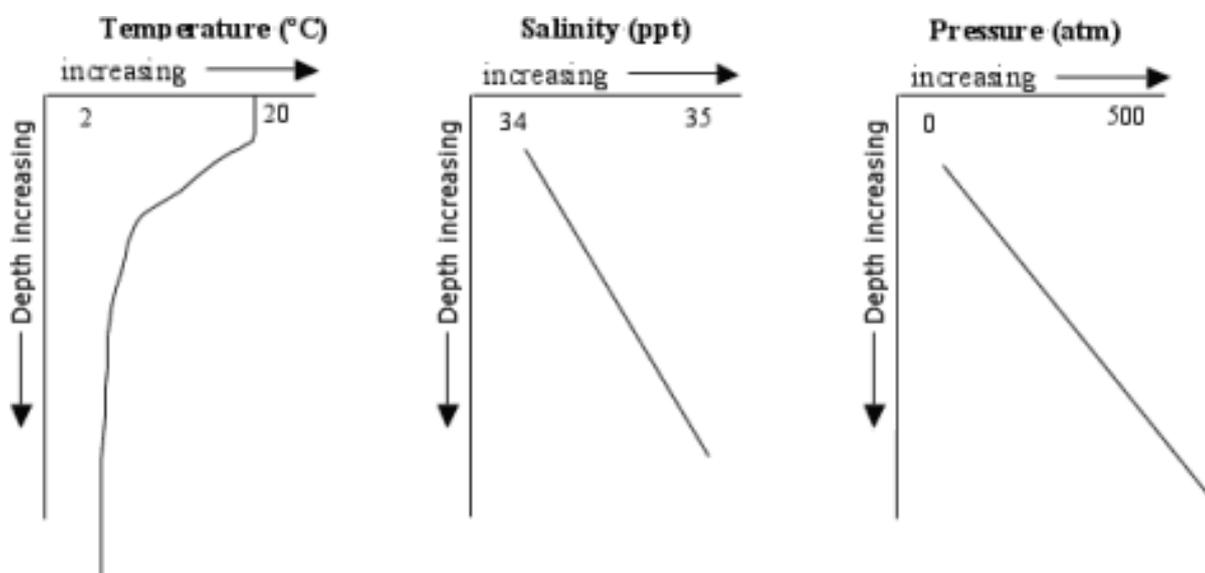


Рисунок 3.4 – Пример распределения температуры, солёности и давления с увеличением глубины

Из этих профилей, вы можете увидеть, что перепады температур большие суммы, уменьшающейся от 20 градусах Цельсия (°C) вблизи поверхности в средних широтах на 2 градуса Цельсия (°c) около дна океана. С другой стороны, изменения солёности только небольшое количество, примерно от 34 до 35 практическая солёность установок (ПГУ)[Глоссарий-добавить]. Наконец, увеличивается давление на большую сумму, от 0 на поверхности до 500 атмосфер (атм) в нижней части.

Скорость звука в воде возрастает с увеличением температуры воды, увеличивается минерализация и повышение давления (глубины).

Однако существует слой воды в морях и океанах, в котором возможно сверхдальнее распространение сигнала (звука) за счет рефракции звука под водой, такой пласт воды называют – **подводный звуковой канал (ПЗК)**

На рисунке 3.5 ярко выражено сильное изменение скорости звука на глубине около 750 метров, что показывает нам о том, что там находится **ПЗК**.

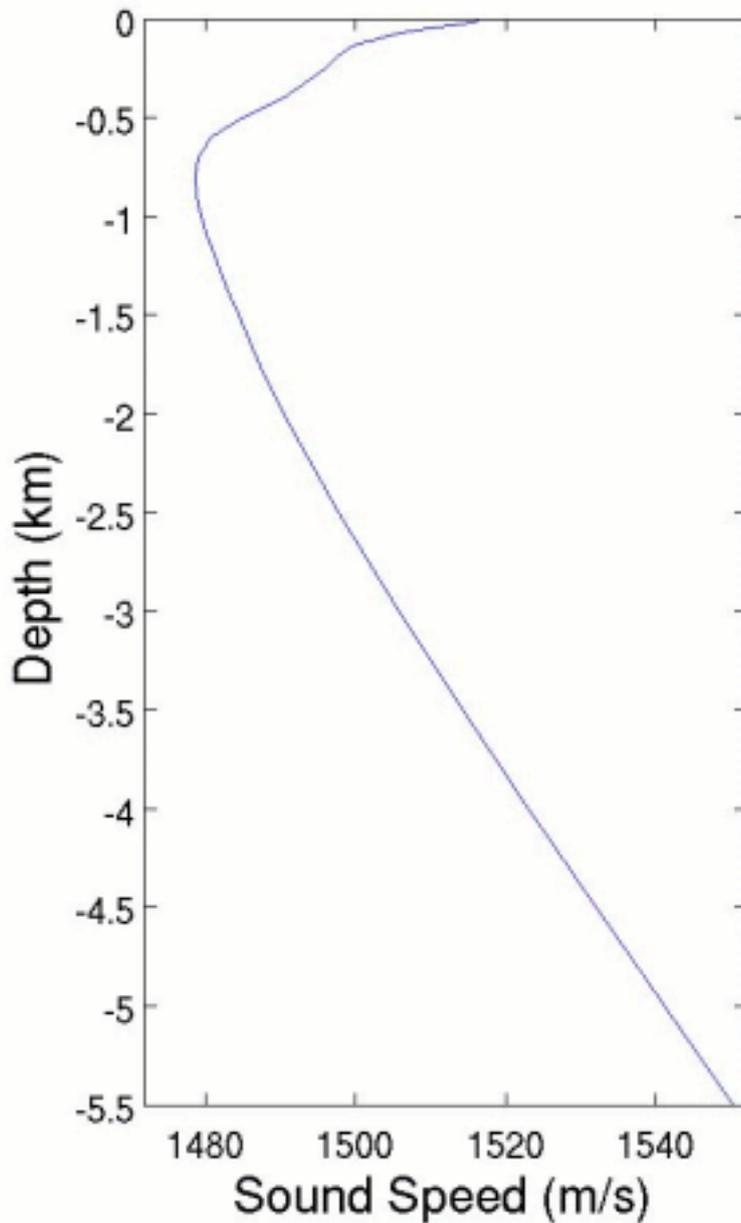


Рисунок 3.5– Диаграмма скорости звука по глубине в области к северу от Гавайских островов

Этот слой представляет собой своеобразный подводный звуковой канал (**ПЗК**). Луч, отклонившийся от оси канала вверх или вниз, вследствие рефракции всегда стремится попасть в него обратно.

- Если поместить источник и приёмник звука в этом слое, то даже звуки средней интенсивности (например, взрывы небольших зарядов в 1—2 кг) могут быть зарегистрированы на расстояниях в сотни и тысячи км.

- Если расположить источник и приёмник звука у поверхности, то в этом случае лучи, рефрагируя книзу, заходят в глубоководные слои, где они отклоняются кверху и выходят снова к поверхности на расстоянии в несколько десятков км от источника. Далее картина распространения лучей повторяется и в результате образуется последовательность вторичных освещённых зон, или зон сходимости, которые обычно прослеживаются до расстояний в несколько сотен км.

Явление сверхдальнего распространения звука в море было открыто независимо американскими учёными М. Ивингом и Дж. Ворцелем (1944) и советскими учёными Л. М. Бреховских и Л. Д. Розенбергом (1946).

3.2 Построение среднестатистической скорости звука для заданной области по измеренным данным.

При проектировании и эксплуатации гидроакустических каналов передачи информации, особенно в мелком море, необходимо учитывать сезонные, а иногда и суточные изменения профиля скорости, и вероятность возникновения неблагоприятных гидроакустических явлений. Сведения о гидроакустической обстановке можно получить в любой нужный момент вычислив скорость звука по значениям температуры, солёности и давления, измеренных системой Argo в различные периоды времени.

Алгоритм построения среднестатистического скорости звука для заданной области по измеренным данным.

1. Для расчета необходимо задать несколько данных, а именно координаты приблизительного места поиска ПЗК и радиус поиска, для которой необходимо рассчитать усредненное распределение поля скорости звука, а также месяц (принимается допущение, что усредненный профиль скорости звука для отдельного месяца в заданной точке подобен).

Радиус поиска задается в том случае, если искатель не знает о том, был ли в данной точке когда-либо буй системы «Argo», значение радиуса позволяет

найти в определенной области все буи и их данные, для того, чтобы вычислить среднестатистическую скорость звука на глубинах.

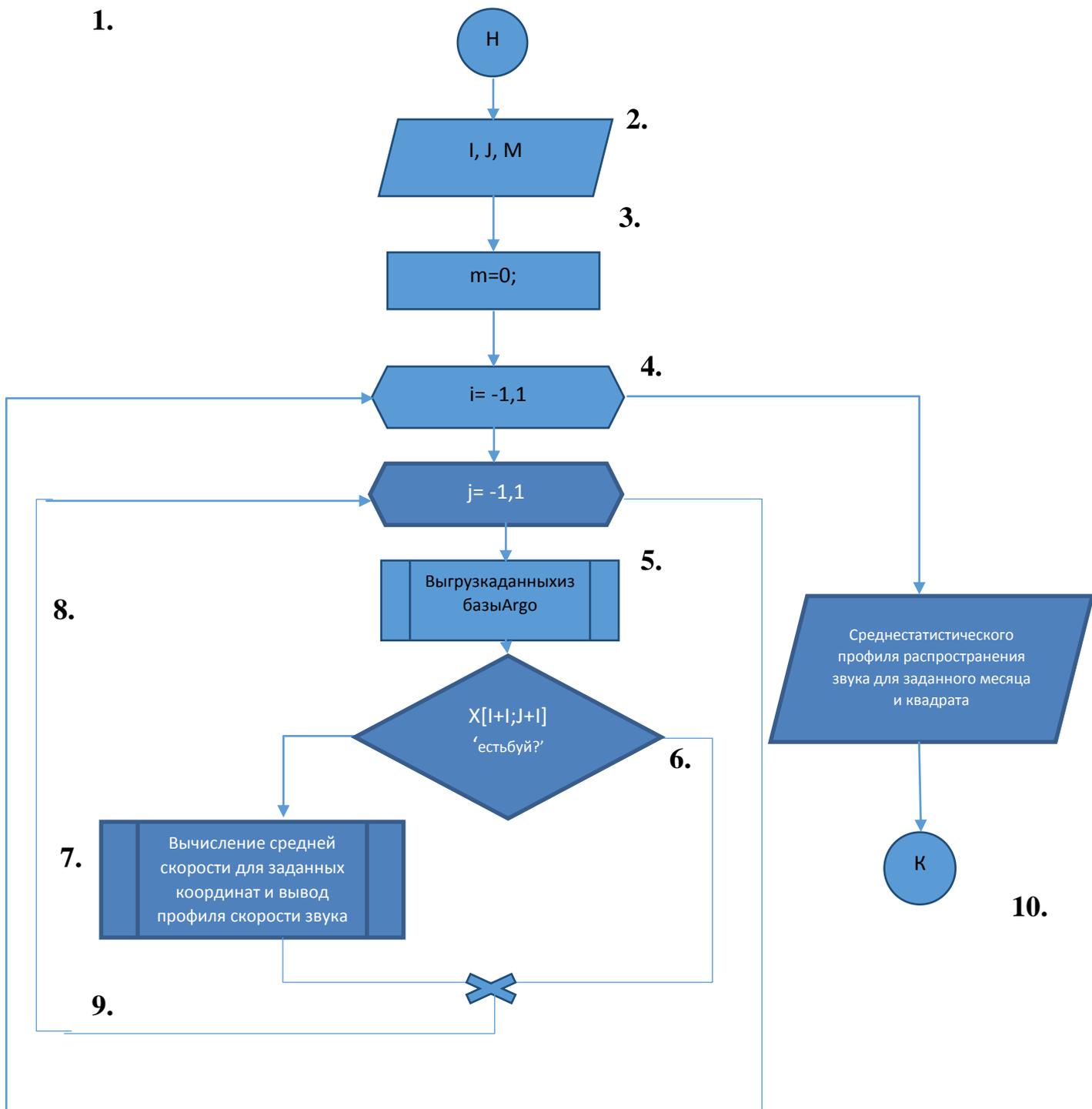
2. На основе полученной информации программа выбирает из базы данных Argo все профили, соответствующие заданным условиям. В зависимости от кучности и количества профилей, система покрывает заданную область более или менее плотной сеткой (grid), для каждой ячейки которой будет рассчитан усредненный профиль скорости звука;

3. На основе выгруженных профилей происходит расчет скорости звука с помощью формулы Лероя:

$$c = 1492.9 + 3(T-10) - 0.006(T-10)^2 - 0.04(T-18)^2 + \\ + 1.2(S-35) - 0.01(T-18)(S-35) + Z/61 \quad (1)$$

Далее проводится анализ каждого рассчитанного профиля, выявляется горизонт перегиба и ось подводного звукового канала.

Блок-схема алгоритма построения среднестатистического профиля распространения скорости звука для заданной области по измеренным данным



Описание блок-схемы алгоритма построения среднестатистического профиля распространения скорости звука для заданной области по измеренным данным:

1. Начало(запуск) программы;
2. Ввод данных – координаты (I-широта, J- долгота), номер месяца, за который нужно построить среднестатистический профиль распространения скорости звука;
3. Присвоение переменной m нулевого значения для дальнейшего подсчета количества всех буев в получившемся квадрате, используемого для расчета среднестатистической скорости звука;
4. Увеличение радиуса поиска за счет прибавления нескольких дополнительных зон поиска буев, благодаря чему увеличится шанс поиска какой-либо информации о распределении скорости звука по глубине в данном регионе, так как не всегда есть буи в заданных координатах и не всегда есть данные за определенные месяцы.
5. Запуск двух счетчиков, благодаря которым будут в дальнейшем рассмотрены буи, находящиеся в квадрате, расположенном вокруг заданной координаты, для более полного освещения обстановки;
6. Запускается подпрограмма, считывающая измерения P, S, T из базы данных проекта «Argo»;
7. Выполняется условие, в ходе которого выясняется присутствует ли буй в данной координате или же нет;
8. в случае если условие из 6-го пункта оказалось истинным, выполняется подпрограмма вычисления средней скорости звука для заданного месяца, для одной из координат квадрата по формуле Лероя и построение среднестатистического профиля распространения скорости для заданного месяца, если же нет происходит возвращение к счетчикам, происходит изменение координаты;

9. Вывод среднестатистического профиля распространения скорости звука для заданного месяца и квадрата нахождения буёв по данным, измеренным системой «Argo»;

10. Завершение программы.

В данной работе была реализована весь алгоритм описанный выше, данная программа включает в себя часть алгоритма моей коллеги, а так же позволяет рассчитать скорость распространения звука под водой на большой территории.

Часть алгоритма, заключенная в блоках 5-7, которая позволяет рассчитать и построить среднестатистический профиль распространения скорости звука для заданного месяца была рассмотрена моей коллегой в своей части комплексного диплома.

В сделанной работе происходит обращение к базе данных «Argo», для того чтобы узнать, сколько буев за все время находились в данном квадрате, далее идет отсеивание нужного месяца и части данных полученных с буев за это время. Далее запускается цикл, в котором происходит расчет скорости звука и построение профиля распространения скорости звука для каждого цикла. Потом происходит расчет средней скорости распространения звука на всех глубинах и вывод профиля среднестатистической скорости звука для заданного месяца.

Для написания программы был выбран язык программирования MATLAB.

Результат работы программы на рисунке 3.6

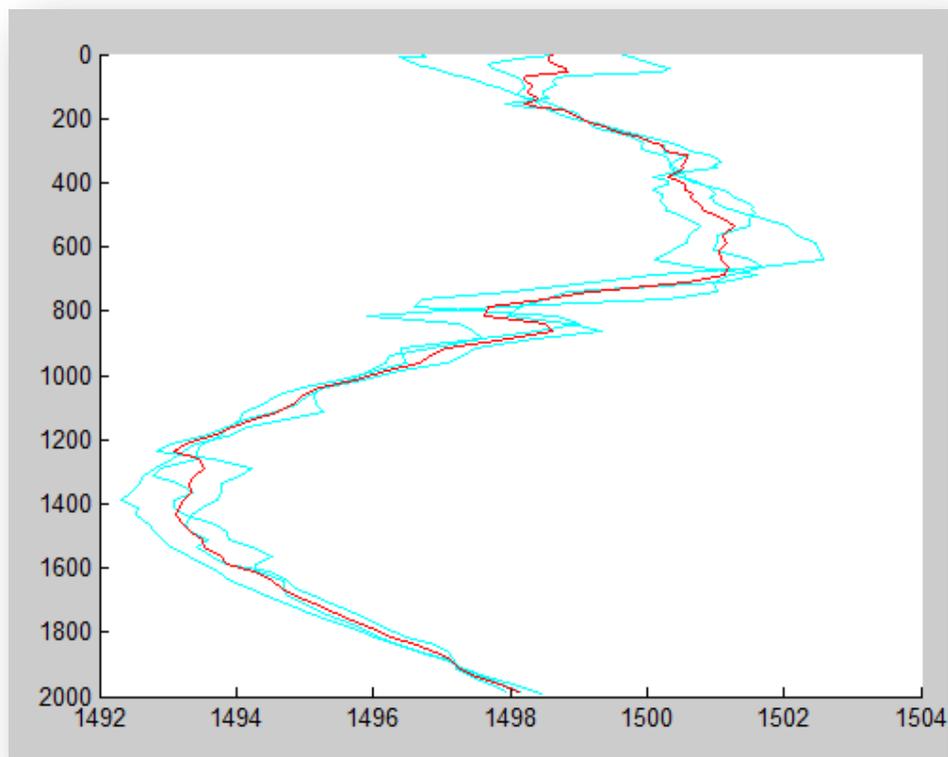


Рисунок 3.6 - Профиль распространения скорости звука в апреле 2017 года

На рисунке 3.6 изображены голубым цветом профили распространения скорости звука за 1 апреля, 11 апреля и 21 апреля 2017 года, красным цветом показан среднестатистический профиль распространения скорости звука за апрель 2017 года. Для расчета были использованы данные, измеренные буём 6901565, который находится в Атлантическом океане с координатами 48° с. ш. 16° з. д. Только данные с этого буя подошли под заданные параметры, все остальные прозодящие там буи и снятые ими показания были в другие месяцы.

Данные были собраны только с точки которую задал искатель, так как в прилегающих координатах, которые учитывала программа не было данных за искомый месяц.

По рисунку видно, что профиль распространения скорости звука в течении месяца практически не изменялся. От поверхности до 600м наблюдается увеличение скорости с глубиной, что говорит о положительной рефракции, а значит, дальше происходит уменьшение скорости звука до глубины 1400м, потом снова происходит нарастание скорости звука.

В рассмотренном случае будет наблюдаться приповерхностный звуковой канал и глубинный, между которыми будет располагаться неблагоприятная для гидроакустической аппаратуры зона тени.

Выводы

В данной части работы были рассмотрены **основные профили гидрофизических характеристик и их построение в системе «Argo»**. Основными профилями являются:

- Профиль температуры;
- Профиль солёности;
- Профиль распространения скорости звука.

Профиль температуры показывает зависимость распределения температуры от глубины. Изменение температуры воды напрямую влияет на скорость звука в воде. Мы рассмотрели такие понятия как **ПЗК** и **термоклин**, узнали что рефракция звука в термоклине довольно сильно меняет свой характер.

Профиль солёности показывает зависимость распределения солёности от глубины, этот показатель так же напрямую влияет на распространения звуковых волн в воде. При сильном (резком) изменении солёности возникает **галоклин**.

Профиль распространения скорости звука имеет большой вес в функционировании гидроакустической аппаратуры, в этот профиль имеет зависимость от множества факторов, а именно от распределения по глубине температуры, солёности и давления, расположение термоклина и галоклина и их следствие – рефракцию звука. В связи с тем, что так много данных надо

рассчитать и учесть, система «Argo» не строит автоматически графики зависимости и распределения скорости звука от давления.

При использовании полученных данных с буй-исследователей было произведено **построение среднестатистической скорости звука для заданной области по измеренным данным.** В ходе работы по построению среднестатистической был разработан алгоритм, который был в последствии применен в разработке программы для построения графика зависимости скорости звука от давления.

Алгоритм построения среднестатистической скорости звука для заданной области.

1. Для расчета нужны координаты квадратной области, в которой планируются производятся расчеты скорости звука. Так же надо будет указать месяц за который мы хотим узнать среднюю скорости звука.

2. На основе заданной информации, система ищет в базах данных «Argo» все данные по температуре и солености за заданный период и в заданных координатах.

3. С помощью формулы Лероя (1) и используя данные выгруженные из базы данных «Argo» делаются расчеты скорости звука.

4. После полученных нескольких профилей скорости звука выводится их среднее значение для этого месяца.

В ходе работы была реализована вся программа с учетом смежного диплома и полученных данных у коллеги.

Данные, получаемые в результате выполнения данной части программы, необходимы для проектирования системы помощи принятия решений при проектировании и эксплуатации гидроакустических каналов передачи информации, для которых нужно учитывать изменения профиля скорости звука. То есть данный программный комплекс позволяет оценивать гидроакустическую обстановку практически любой точки Мирового океана в которой когда либо проплывал буй системы «Argo».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является исследование различных контактных и бесконтактных систем изучения Мирового океана.

В процессе достижения цели были получены следующие результаты:

Результат 1. Был произведен обзор автоматических систем зондирования контактным и бесконтактным методом.

Рассмотрена автоматическая система контактного метода зондирования океана и оказалось что системой ,которая может называться автоматической можно назвать только одну – это система автоматических буев «Argo».

На данный момент запущено около 3886 буев – измерителей ,которые могут измерять соленость(электропроводность) и температуру морской воды до 2000 метров. Эта система является первой ,позволяющей мониторить температуру и соленость на обширной территории за счет большого массива буев, при этом передавая данные на сервера в автоматическом режиме, которые потом ,после обработки , попадают в открытый доступ и используются во многих направлениях.

Учитывая ,что развертывание системы «Argo»началась в 2000 году, а к ноябрю 2007 года уже миллионный профиль был собран и сейчас почти 4000 дорогостоящих автоматических буй-измерителя плавают в разных морях и океанах, можно говорить о том, что через пару лет такие буи будут находиться во всех акваториях мировых океанов и морей.

Были рассмотрены и технические характеристики системы «Argo»и можно утверждать, что каждый из буев системы соответствует основным установочным параметрам,таким как:

1. Дискретность измерений до 10 дней;
2. Время нахождения на поверхности – 6 часов;
3. Нижний горизонт измерений – 2000 метров.

Все эти параметры должны будут оставаться неизменными в течение срока службы буя, а именно 3-4 года, если он не будет выловлен.

Так же надо учитывать, что сразу несколько компаний занимаются производством буюв для системы «Argo» и их параметры несколько отличаются, это наглядно видно на таблице 1.1.

Так же была рассмотрена система бесконтактного метода зондирования океана, которая позволяет снимать разного рода данные благодаря программной обработке снимков со спутников.

Эти данные включают в себя построение распределения температуры и солености на поверхностях морей и океанов с небольшой погрешностью, которой можно пренебречь если использовать данные не для точных расчетов, так же снимки изменения уровней морей и океанов, движение косяков рыб, расположения коралловых рифов и т.д..

Полученные данные используются в разных направлениях научных исследований, начиная с метеорологии и заканчивая экологией.

Результат 2. Применены данные зондирования водной среды для освещения гидрофизических условий мирового океана.

Рассмотрены основные виды гидрофизических характеристик, которые включают в себя температуру, соленость и давление. Благодаря всем этим данным мы можем рассчитать распределение скорости звука по глубине и выявить глубину на которой находится подводный звуковой канал, позволяющий свехдальние передачи звуковых сигналов.

Так же мы рассмотрели датчики, используемые в системе «Argo» для измерения гидрофизических характеристик и в данный момент используется комплекты датчиков SBE-41, RBRargo, ранее также использовался комплект датчиков FSI. Мы провели сравнение актуальных комплектов датчиков, которое можно рассмотреть в таблице 2.1.

Анализ рассмотренных ранее сведений и составленной таблицы показал, что оба вида комплекта датчиков имеют свои характерные плюсы, но по значениям погрешности SBE-41 является наиболее выгодным вариантом.

В данном разделе мы так же рассмотрели техническое оснащение спутниковой системы для получения данных. И выяснили что на данный момент существует множество систем позволяющих сканировать (снимать) поверхность мирового океана и суши, список полей мирового океана, которые могут быть получены с помощью систем спутников показаны в таблице 2.2.

Мы выяснили что из множества систем которые расположены на спутниках, существуют две ,а именно ИК-радиометры и СВЧ-радиометры позволяющие после программной обработки получать достаточно точные снимки распределения температуры и соленость на поверхностях океана, в дальнейшем эти снимки используются в разных сферах, как пример прогнозирование появлений штормов и их силу за счет распределение температур на поверхности морей и океанов.

Результат 3. Приведены примеры использования данных для построения гидрофизических полей.

В данной части работы были рассмотрены **основные профили гидрофизических характеристик и их построение в системе «Argo»**. Основными профилями являются:

- Профиль температуры;
- Профиль солености;
- Профиль распространения скорости звука.

Профиль температуры показывает зависимость распределения температуры от глубины. Изменение температуры воды напрямую влияет на скорость звука в воде. Мы рассмотрели такие понятия как **ПЗК** и **термоклин**, узнали что рефракция звука в термоклине довольно сильно меняет свой характер.

Профиль солености показывает зависимость распределения солености от глубины, этот показатель так же напрямую влияет на распространения звуковых волн в воде. При сильном (резком) изменении солености возникает **галоклин**.

Профиль распространения скорости звука имеет большой вес в функционировании гидроакустической аппаратуры, в этот профиль имеет зависимость от множества факторов, а именно от распределения по глубине температуры, солёности и давления, расположение термоклина и галоклина и их следствие – рефракцию звука. В связи с тем, что так много данных надо рассчитать и учесть, система «Argo» не строит автоматически графики зависимости и распределения скорости звука от давления.

При использовании полученных данных с буев-исследователей было произведено **построение среднестатистической скорости звука для заданной области по измеренным данным.** В ходе работы по построению среднестатистической был разработан алгоритм, который был в последствии применен в разработке программы для построения графика зависимости скорости звука от давления.

Алгоритм построения среднестатистической скорости звука для заданной области.

5. Для расчета нужны координаты квадратной области, в которой планируются производиться расчеты скорости звука. Так же надо будет указать месяц за который мы хотим узнать среднюю скорости звука.

6. На основе заданной информации, система ищет в базах данных «Argo» все данные по температуре и солёности за заданный период и в заданных координатах.

7. С помощью формулы Лероя (1) и используя данные выгруженные из базы данных «Argo» делаются расчеты скорости звука.

8. После полученных нескольких профилей скорости звука выводится их среднее значение для этого месяца.

В ходе работы была реализована вся программа с учетом смежного диплома и полученных данных у коллеги.

Данные, получаемые в результате выполнения данной части программы, необходимы для проектирования системы помощи принятия решений при проектировании и эксплуатации гидроакустических каналов передачи

информации, для которых нужно учитывать изменения профиля скорости звука. То есть данный программный комплекс позволяет оценивать гидроакустическую обстановку практически любой точки Мирового океана в которой когда либо проплывал буй системы «Argo».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Климова. В.* Радиоволна сообщает о болезни. Журнал “Техника молодежи” № 4 -Л: 1985.-32 с.
2. *Глущенко Н.К.* Нас понимают и слушаются нас. Журнал “Техника молодежи” № 8 -Л: 1983. -18 с.
3. *Малаев А.А.* Акустика. Журнал “Техника молодежи” № 2 -Л: 1982. -27с.
4. *Юша Ю.В.* Загадка горы Кинмей. Журнал “Техника молодежи” № 2 -Л: 1980. -7с.
5. *Родиков В.А.* Свет и звук в природных волноводах. Журнал “Техника молодежи” № 6 -Л: 1979. -41с.
6. *Букатый В.М.* Промысловая гидроакустика и рыболокация: Учебник для вузов-М: 1998. -142с.
7. *Свердлин Г.М.* Прикладная гидроакустика. - СПб.: Судостроение-М, 1990. -320 с;
8. *Л.А. Жуков.* Общая океанология. / Под редакцией проф., д-ра физ.-мат. наук *Ю.П. Доронина*; сост. *В. Г. Кожевников.* -Л: 1976. -89с.

9. *Хромов С.П., Петросянц М.А.* Метеорология и климатология ,МГУ 7-е издание -М,2006. -215с.
10. *Келлер Н.Б.* Глубоководные склерактиниевые кораллы -Л: 2012. -76с.
11. *Большаков А.А.* Космические методы в океанологии-М: 1982. -14с.
12. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* Космические системы дистанционного зондирования Земли. Издательство А и Б-М. 1997. -62с.
13. *Океанографическая энциклопедия.* Гидрометеиздат- Мурманск: 1974. -431.
14. *Арманд Н.А., Воронков В.Н., Никитский В.П., Панченко В.А. и др.* Перспективы исследований в области дистанционного зондирования Земли и экологического мониторинга // Радиотехника и электроника - Л:1998. -81с.
15. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Портрет Земли из космоса. Глобальное радиотепловое поле // Природа. 2006. 12с.
16. *Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н.* Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука. 1973. 415 с.

17. Горный В.И., Шилин Б.В., Ясинский Г.И. Тепловая аэрокосмическая съёмка. М.: 1993. -112с.

18. Мирнова А.В., Перцева Т.Г. Теплопотери и тепловое загрязнение. Москва. //Атлас Космические методы геоэкологии, М.: Географический ф-т МГУ, 1998. -92с.

19. Ершова Т.В., Кудашев Е.Б., Мясников В.П., Сюттюренко О.В., Хохлов Ю.Е. Аэрокосмический экологический мониторинг мегаполисов с использованием новейших ИКТ в контексте формирования информационного общества // Информационное общество -М: 2001. -64с.

20. Иглин С.П. Теория вероятностей и математическая статистика на базе MATLAB. Издательство НТУ "ХПИ"-СПб: 2006. -39с.

21. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель. Издательство: Вильямс. 2005. -22с.

22. Беховых Л.А. Макарычев С.В. Шорина И.В. Основы гидрофизики -СПб: 2008. -55с.

23. Алексеевский Н. И. Гидрофизика -М:2006. -69с.

24. Большая советская энциклопедия

25. АО Концерн ОКЕАНПРИБОР-
[<http://www.oceanpribor.ru/text/1.htm>] Дата обращения: 3.03.2017

26. Описание стандартного буя «Argo»-
[http://www.argo.ucsd.edu/float_design.html] Дата обращения: 17.02.2017

27. Описание буя NAVIS- [<http://www.seabird.com/navis-autonomous-profiling-float>] Дата обращения: 20.03.2017

28. GoogleEarth- [<https://www.google.ru/intl/ru/earth/>] Дата
обращения: 8.05.2017

29. NOAA – [<http://www.noaa.gov/>] Дата обращения: 23.04.2017

30. NASA – [<https://www.nasa.gov>] Дата обращения: 05.05.2017