РГГМУ

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 системы «Argo» для освещения гидроакустических условий Мирового океана»

Исполнитель: Полушина Екатерина Сергеевна

Руководитель: кандидат технических наук, доцент

Попов Николай Николаевич

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

«14» 06 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

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 системы «Argo» для освещения гидроакустических условий Мирового океана»

Исполнитель: Полушина Екатерина Сергеевна

Руководитель: кандидат технических наук, доцент

Попов Николай Николаевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой: _____

доцент

Фокичева Анна Алексеевна

«__»_____20__г.

Санкт-Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ……...	4
1	ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «ARGO»…….....	6
1.1	Общие сведения о проекте «Argo»……...	6
1.2	Описание цикла работы буя……..	14
1.3	Сравнение используемых буёв-измерителей, а также их основные характеристики …….	18
	Выводы..……..	22
2	ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА……..	25
2.1	Основные виды гидрофизических характеристик……..	25
2.2	Датчики, используемые в системе«Argo» для измерения гидрофизических характеристик …….....	33
	Выводы..……..	37
3	ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫСИСТЕМЫ «ARGO» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК……	38
3.1	Основные профили гидрофизических характеристик и их построение в системе «Argo»……	38

3.2 Построение среднестатистического скорости звука для заданной точки по измеренным данным……..... 46

Выводы…… 51

ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…… 54

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……..…… 60

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Потоки информации являются неотъемлемой частью науки, на основе которых выполняются важнейшие управленческие решения. В настоящее время все чаще используются автономные системы сбора гидрофизических данных, благодаря которым можно получить сведения о состоянии изучаемой среды без подключения полномасштабных экспедиций. Одной из таких систем является «Argo» – сеть дрейфующих буёв, производящих наблюдения и передающих сведения о них в единую базу данных, используя спутниковую связь.

Объектисследований гидрофизические характеристики Мирового океана

Предмет исследований гидроакустические условия Мирового океана

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

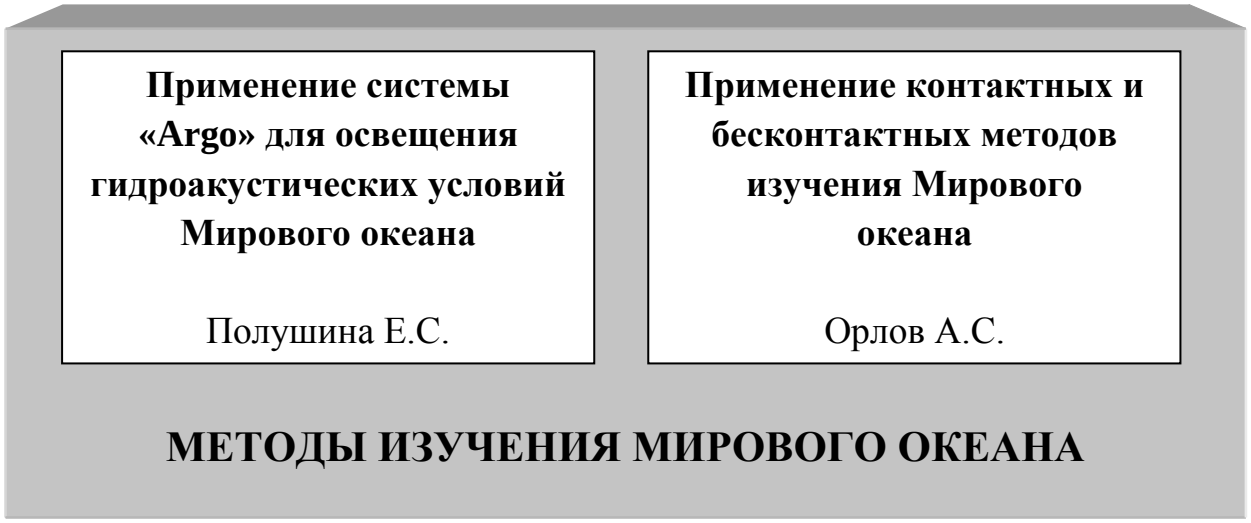


Рисунок 1- Структура выпускной квалификационной работы

Целью выпускной квалификационной работы является исследование применимости системы «Argo» для освещения гидроакустических условий мирового океана.

В ходе её достижения будут решены **следующие задачи**:

- Обзор технических характеристик системы «Argo»;
- Примеры использования системы «Argo» для освещения гидрофизических характеристик;
- Применение данных зондирования водной среды для построения профилей гидрофизических характеристик

Используя данные, полученные при помощи систем «Argo», на различных глубинах возможносоставление прогноза состояния океана, временные ряды характеристик теплового состояния океана и морской воды, параметры состояния промежуточной и глубинной водных масс и многие другие важнейшие оценки состояния Мирового океана, используемых в таких науках как океанология, акустика, гидробиология и.т.д.

1 ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «ARGO»

1.1 Общие сведения о системе «Argo»

Система«Argo» - это глобальная сеть, постоянно действующих океанографических станций, осуществляющаяся при помощи дрейфующих буёв-измерителей. Данные, получаемые с этой сети полезны, как для прогноза погоды и климата, так и для прогноза состояния океана.

Управление проектом осуществляется ежегодными собраниями Комитета по данным и Научного Комитета. На собраниях комитетов рассматривают состояние сети станций, потребности и возможности распределения буев, качество буев и данных, проблемы распространения данных.

Целью системы«Argo» является создание и поддержание глобальной сети из 4000 буев-измерителей.

Задачами системы являются:

-размещение в Мировом океане около 4000 буев;

-создание национальных центров «Argo»;

- обеспечение свободного доступа к данным;

- передача в Глобальную сеть данных в течение 24 часов (требуемых на первичный контроль качества) с момента поступления.

На рисунке 1.0 представлено расположение буёв-измерителей, которые предоставили данные в течении последних 30 дней.

Основной задачей «Argo» является наблюдение изменений Мирового океана, связанных с изменением климата, включающих в себя региональные и глобальные изменения температуры и содержания тепла в океане, солености и

содержания пресной воды, пространственной высоты поверхности моря по отношению к общему уровню моря и крупномасштабной циркуляции океана.

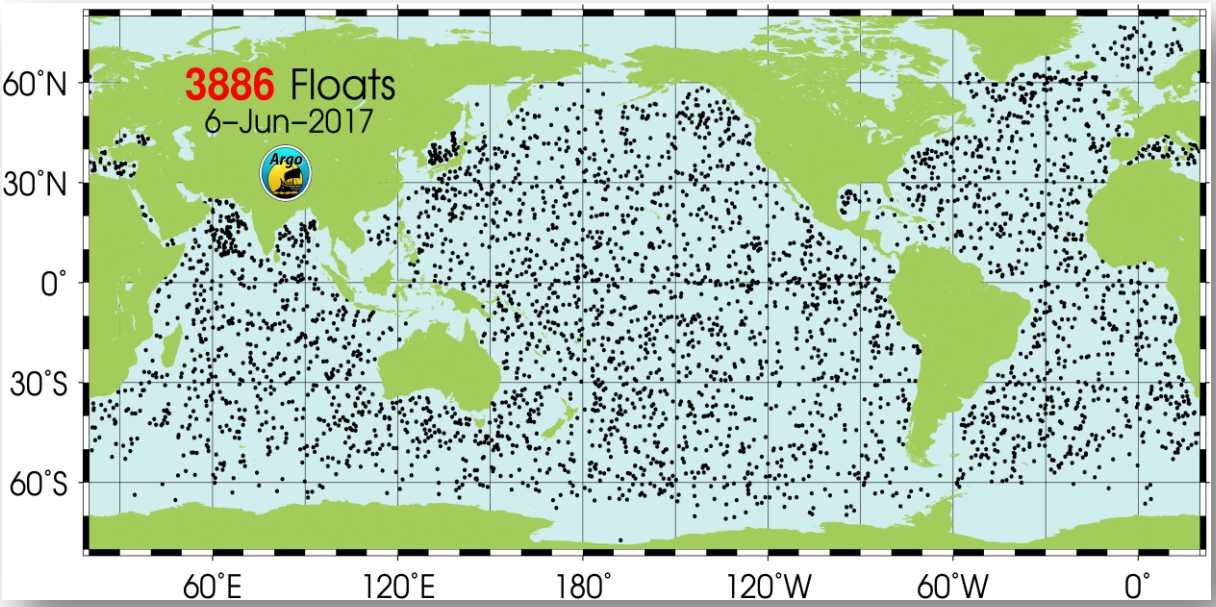


Рисунок 1.0 – Расположение буёв «Argo» в мировом океане 6 июня 2017 года

Система«Argo»позволяет получать данные измерений температуры и солености (электропроводности), кроме того дрейфующие буи обеспечивают также и данные о течениях на двух горизонтах (заданной глубине дрейфа и поверхности). Стоит отметить, что буи нового поколения по сигналус берега могут изменять глубину дрейфа. Полученные данные позволяют определить характеристики течения от поверхности до горизонта дрейфа.

Большой объем расходов по проекту разделяется между странами-участницами. Каждая из них на свой счет закупает и размещает в океане количество буев, которое считает нужным, а также производит прием и распространение информации, полученной с них. В проекте в настоящее время принимают участие такие страны как США, Канаду, Австралию, Новую Зеландию, Японию, Южную Корею, Индию, страны Европейского союза совокупно и раздельно (Франция, Германия, Великобритания, Дания, Испания).

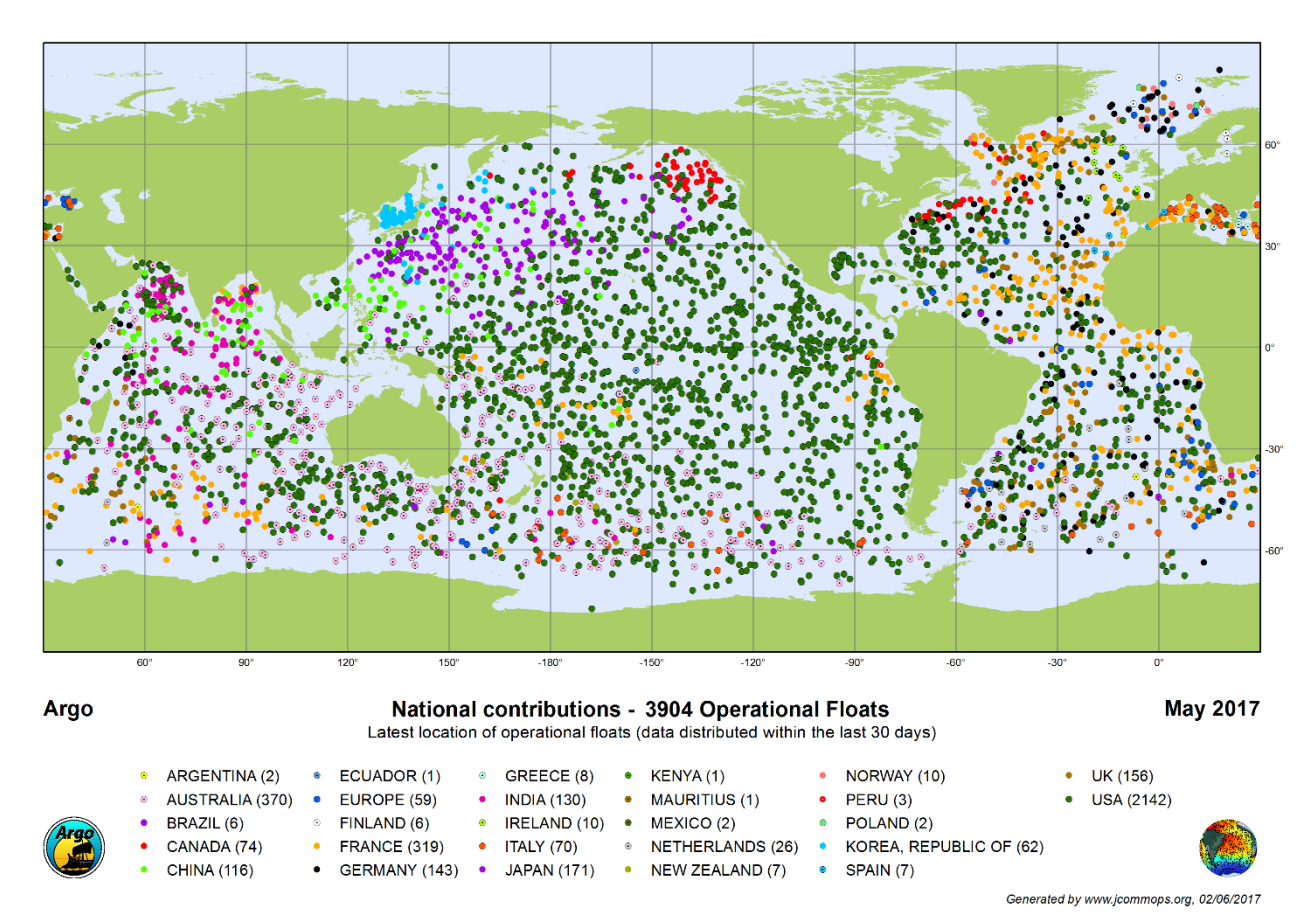


Рисунок 1.1 – Расположение буёв различных стран-участниц в мае 2017 года

По рисунку 1.1 видно, что лидером запуска буёв являются США (2142), Австралия (370), Великобритания (156) и Германия (143).

Несмотря на то, что система проводится совместными усилиями многих организаций многих стран, управление системой такого масштаба впервые проводится без бюрократической надстройки. Система управляется ежегодными собраниями Научного Комитета и Комитета по данным. Комитеты ежегодно собираются на территории основных стран-участниц. Научный комитет собирался США (1999); Саутгемптоне, Великобритания (2000); Сиднее, Канада (2001); Австралия (2002), Бресте, Франция (2003); Саутгемптоне (2004).

Собрания комитетов рассматривают состояние сети станций, потребности и возможности распределения буев, качество буев и данных, проблемы распространения данных.

Первая научная конференция по системе «Argo» состоялась в Токио с 12 по 14 ноября 2003 года, на которой было представлено 85 докладов по различным аспектам использования данных буев, включая изучение тропических циклонов, прогнозировании явлений ЭНСО (EI Nino Southern Oscillation— это множество взаимодействующих частей одной глобальной системы океано-атмосферных климатических флуктуации, которые происходят как последовательность океанических и атмосферных циркуляции. ENSO — это наиболее известный в мире источник между годичной изменчивости погоды и климата (от 3 до 8 лет) имеющий сигнатуры в Тихом, Атлантическом и Индийском Океанах.) изучении муссонов, изучении циркуляции и характеристик промежуточных холодных вод в средних широтах, изучении циркуляции океана. 12 оперативных аналитических и прогностических центров используют в своей работе данные «Argo» и в рамках Глобального эксперимента по усвоению океанических данных, для составления регулярных анализов и прогнозов состояния океана. На Семинаре было представлены доклады по улучшению качества морских прогнозов на основе усвоения данных «Argo».

Все данные измерений системы «Argo»должны быть общедоступны., в странах, которые участвуют в проекте. Первичный (оперативный) поток данных поступает в глобальную метеорологическую сеть после первичного контроля (в течение 24 часов после передачи на спутник).

Данные измерений одной станции изначально передаются на систему спутников (АРГОС), проходящих через место всплытия буя. Если сеанс связи пропущен (нет спутника или поверхность недоступна из-за льда или вода более низкой, чем предполагалось, плотности)- данные пропадают.

Полученные через спутник данные перекодируются (с шестнадцатеричного в десятеричный код), проверяются их координаты и точность и в течение суток- передаются в глобальную метеосеть, то

естьстановятся доступными для всех стран. После более детального контроля качества данных (занимающего несколько месяцев), они передаются в два глобальных центра «Argo».

Как уже отмечалось, первые буи «Argo» были выпущены в 1999 году. К концу 2003 г. их число составило порядка 1000, в мае 2004 г. - 1171, в ноябре 2004 г. - 1500, в декабре 2005 г. - 2156 и в январе 2006 г. - 2301 буй.

Изначально планировалось создание глобальной системы из 3000 буев к 2006 году, которая позволит ежегодно получать 100 000 профилей вертикального распределения температуры и солености (на данный момент количество запущенных буёв составляет порядка 3800, естественно количество профилей увеличилось в разы).Ежегодно с судов осуществляется от 1500 до 2000 измерений вертикального распределения температуры и солености до глубин 2000 метров и около 5000 измерений до глубины 1000 метров.При сравнении этих цифр неоспоримо видна эффективность системы «Argo» по сравнению с измерениями, получаемыми с научных экспедиций.

Конечная цель проекта обеспечить расположениебуев океанического района на расстоянии 3 градуса по широте на 3 градуса по долготе, что позволит составить масштабированную карту изменчивости основных характеристик Мирового океана, которая позволит в дальнейшем составлять точные прогнозы состояния океана на основе точных статистических данных.

Участие России в проекте «Argo».

Первые буи-измерители (PALACE производства компании Webb) были поставлены российскими учеными в мае 1999 года в совместной российско (ДВНИГМИ- Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт)-японской (JAERI) экспедиции по изучению радиоактивного загрязнения Японского моря. Один из буев с самого начала остался плавать на поверхности моря и через 6 месяцев был вынесен в Тихий океан. Его дрейф происходил только на поверхности. Вторая пара буев-измерителей была выставлена в рамках той же программы и имела аналогичную судьбу (один из буев остался на поверхности и через 6 месяцев прекратил

работу).Данные измерений двух буев (один из них прекратил работу в январе 2002 г.) передавались всем участникам системы «Argo».

С июля 1999 г. ДВНИГМИ было использовано около 30 буев для изучения глубинной циркуляции Японского моря. Анализ их дрейфа практически сразу же дал интересные результаты. Оказалось, что в Японской котловине (вдоль 41 с.ш.) расположен крупномасштабный циклонический круговорот(круговорот, образуемый течениями, направленный против часовой стрелки, примерно соответствующий климатическим минимумам атмосферного давления, т. е. областям, в которых в течение года преобладает циклоническая циркуляция). На его северной границе проходит сильное течение, переносящее теплые и соленые воды к побережью Приморья, а в его восточной части расположен стационарный циклонический вихрь (океанический вихрь с вертикальной или наклонной осью, вращающийся против часовой стрелки в Северном полушарии и по часовой стрелке в Южном, в центре которого происходит подъем с глубин холодных вод, богатых биогенными веществами).

В августе 2000 г. четыре, а в августе 2001 г.- семь буев были размещены в Охотском море. Их траектории, в общем, соответствовали траектория дрейфа поверхностных буев, размещенных в ДВНИГМИ ранее (1998 г.)

С 2002 г. два буя производят станции в районе северо-восточнее Курильских островов.

Поступающие данные проходят оперативный и задержанный контроль качества в центре «Argo» при ДВНИГМИ.

К сожалению, отсутствие государственной поддержки не позволяет считать участие РФ в проекте «Argo» полноценным.

Глобальный набор данных «Argo» еще недостаточнополный, чтобы наблюдать сигналы глобального изменения. Наибольший вклад «Argo» в наблюдение за мировым океаном еще предстоит, но его глобальный охват явно позволяет наблюдать изменения, связанные с климатом, по другим углом.

На данный момент запущено около 4000 буев-измерителей, которые позволяют охватывать большой объем морских территорий. Каждый из них

выполняет профилирование участка, в котором он находится, выводя такие важнейшие характеристики, как профили температуры, солёности до глубины 2000м. Кроме того дрейфующие буи обеспечивают также и данные о течениях на двух горизонтах (заданной глубине дрейфа и поверхности).

Кроме того, в настоящее время возможен мониторинг системы«Argo» в режиме реального времени с использованием программного обеспечения GoogleEarth (GE), как изображено на рисунке 1.2

Рисунок 1.2- Слой «Argo» для GoogleEarth, показывающий расположение всех активных буёв в реальном времени.

Этот слой «Argo» для GoogleEarth показывает позиции всех активных и неактивных буёв, содержит данные о выбранном количестве плавающих объектов и показывает, где будут находиться буи. Используя специальный веб-

интерфейс, можно узнать их траектории для определенной области и временного диапазона, как показано на рисунке 1.3.

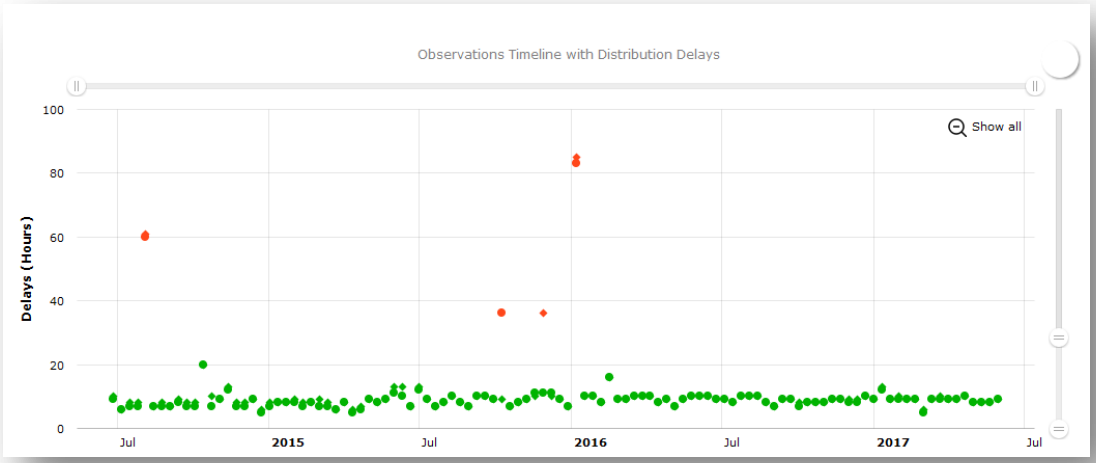


Рисунок 1.3- Временная шкала наблюдений

При нажатии на одну из точек, представленных на данной шкале, можно получить измеренные данные температуры, давления и солености, представленных в таблице значений, либо в виде зависимостей, представленных на рисунке 1.4.

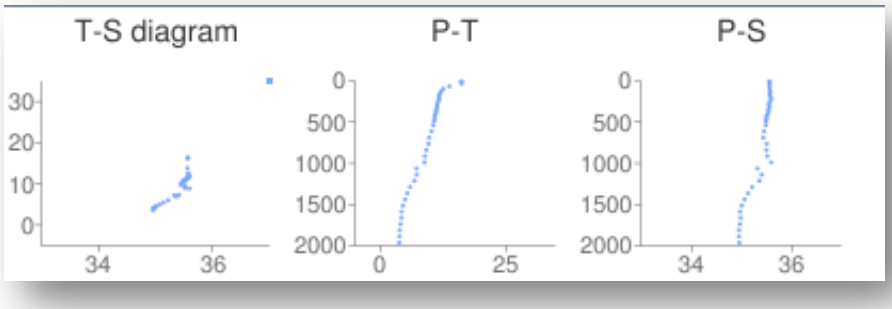


Рисунок 1.4- Зависимости T-S, P-T, P-S

Кроме того, при помощи данного слоя можно узнать, когда буй был запущен, его тип, длительность каждого цикла, координаты расположения, глубину дрейфа,используемые датчики, возможно получение данных о давлении, температуре и солености за каждый цикл и другие характеристики

Рассмотренные общие сведения о проекте «Argo» показали, что данные сети постоянных океанографических станций позволят при полной реализации проекта получить следующее:

-своевременные (в реальном времени) данные для прогноза состояния океана;

-данные для наладки, работы моделей состояния океана и парных моделей (допустим, океан-атмосфера);

-точные и качественные климатические 3Dсхемы состояния Мирового океана и параметры их временной изменчивости;

-временные ряды параметров теплового состояния Мирового океана и морской воды;

-параметры состояния промежуточной(заданная глубина дрейфа) и глубинной водных масс(на данный момент эта глубина составляет около2000м);

-характеристики течений в 2000-метровом слое океана;

-данные для объяснения глобальных феноменов в атмосфере и океане (Эль-Ниньо-колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, имеющее заметное влияние на климат);

-данные необходимые для определения абсолютного уровня Мирового океана.

Кроме этого были выявлены недостатки:

- негативное влияние на экологическое состояние Мирового океана;

-стоимость буёв**.**

1.2 Описание цикла работы буя

Каждый буй дрейфует в течение 10 суток (длительность дрейфа регулируется оператором) на заданной глубине, затем опускается на горизонт 2000 м. С горизонта 2000 м или с заданного горизонта дрейфа он всплывает на поверхность, измеряя температуру и соленость (электропроводность). Далее, в течение приблизительно 6 часов данные передаются на несколько спутников АРГОС, которые непрерывно пересылают их в два береговых центра АРГОС.

После этого буй погружается на глубину дрейфа и цикл продолжается до тех пор, пока не истощатся батареи (рабочий период составляет около 4 лет и более или примерно от 150 циклов).

Буй может закончить свою работу преждевременно (попав в рыбацкие сети или может быть выброшен на берег). Для возмещения этого предусматривается пополнение буев и их повторное использование. В перспективе предусматривается самостоятельное движение буев в конце цикла по команде и использование обратной связи для изменения параметров работы (например, глубины дрейфа).

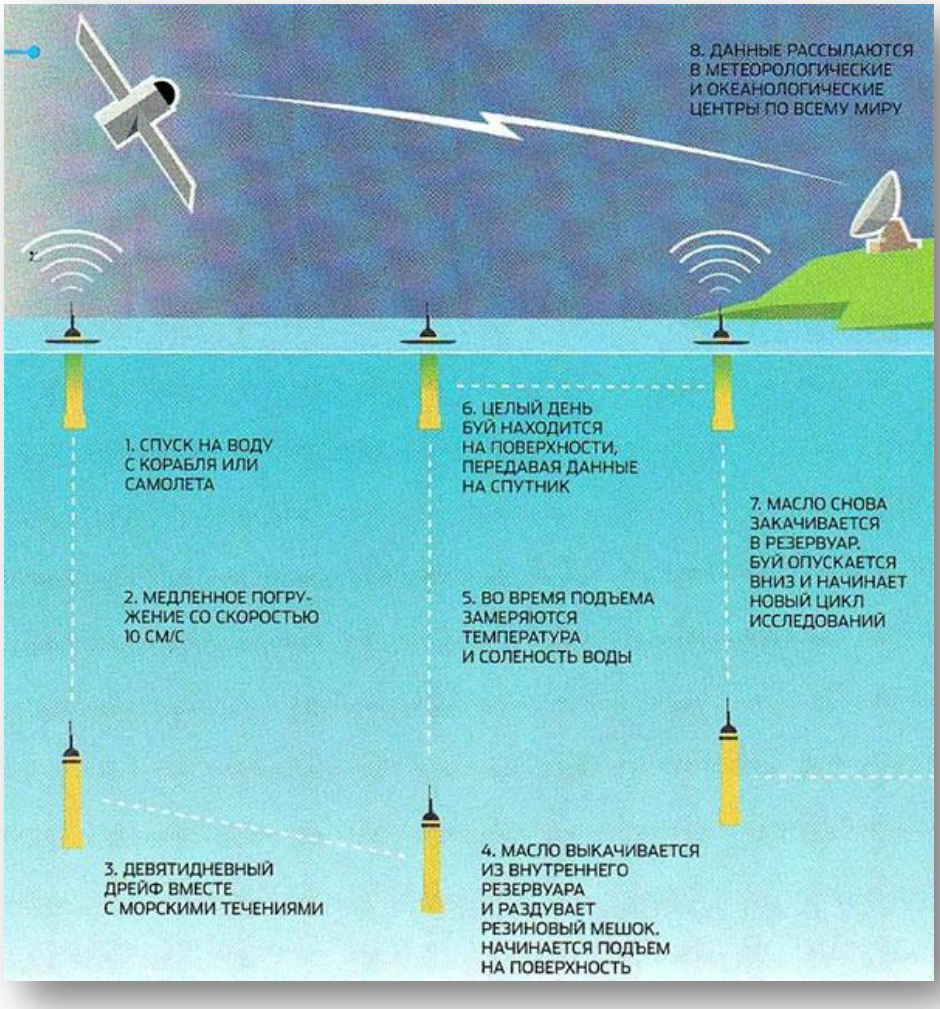


Рисунок 1.5 – Цикл работы буя

По окончании одного цикла, после обработки данных пользователи получают сведения о траектории буя, профили солёности и температуры, представленные на рисунке 1.7 и 1.8 соответственно.

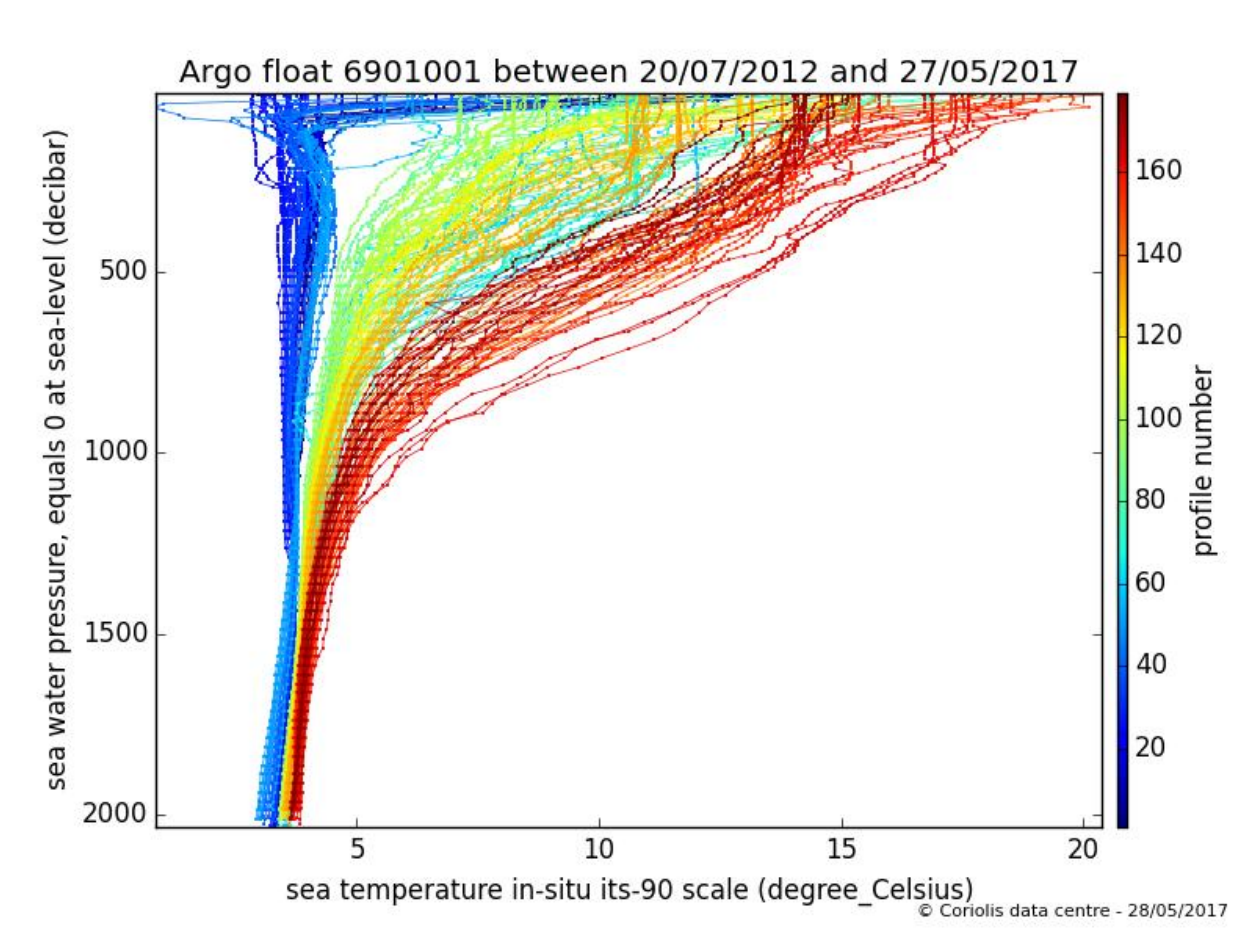


Рисунок 1.6 – Профили температуры, измеренные буем 6901001 с 20 июля 2012 года по 27 мая 2017.

Рисунок 1.6 показывает, что на протяжении измерений температуры с первого по 60 цикл наблюдалось резкое уменьшение температуры в слое 0-100 м, т.е. термоклин, затем наблюдается постепенное снижение температуры с глубиной, возможно расположение зоны тени и подводного звукового канала.

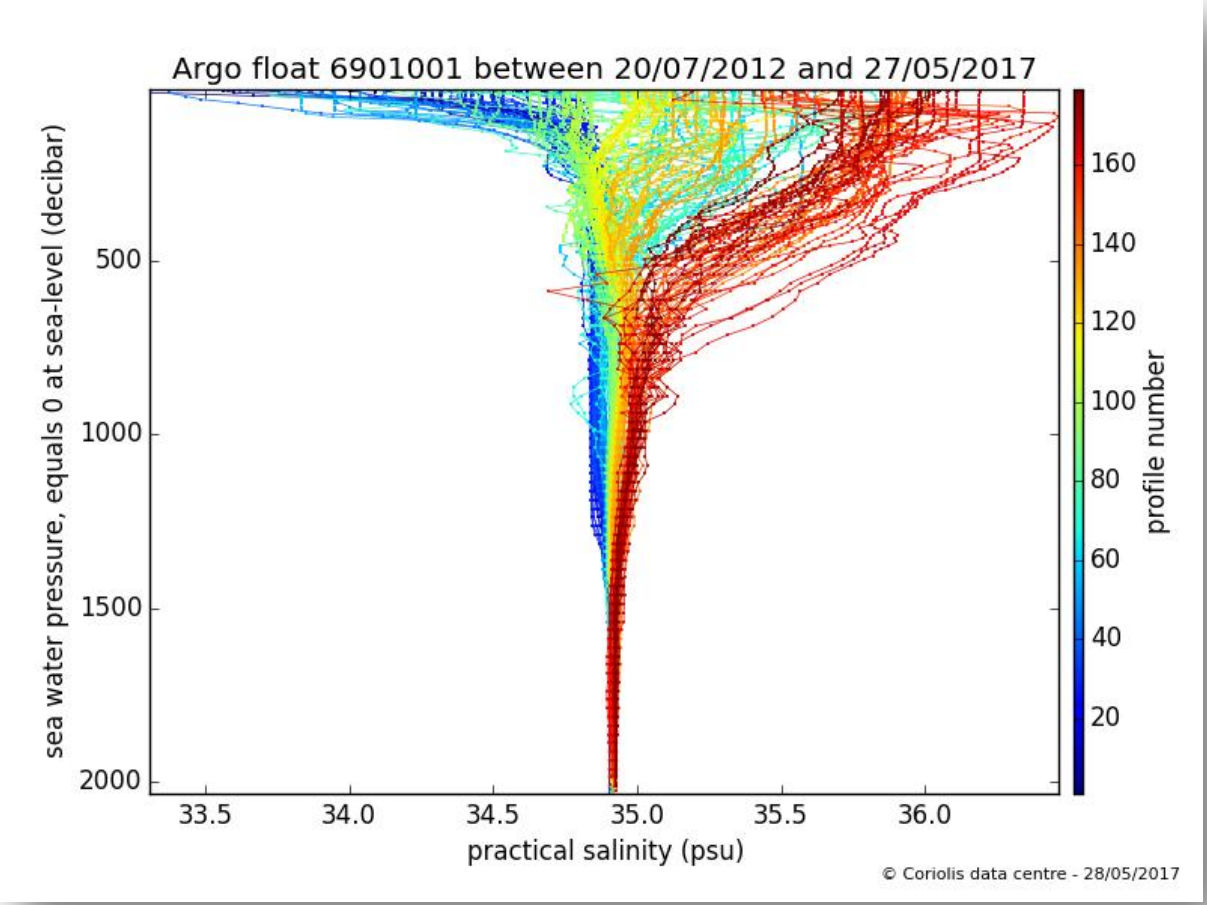


Рисунок 1.7– Профили солёности, измеренные буем 6901001 с 20 июля 2012 года по 27 мая 2017.

*Рисунок 1.7 показывает***,** что на протяжении измерений солености с первого по 60 цикл наблюдалось резкое увеличение солёности на глубине около 100м, т.е. галоклин, затем с 60 по 130 наблюдается постоянное значение солености близкое к 35 ‰, далее наблюдалось явление «соляные пальцы», повышенное значение солености на поверхности, относительно более глубоких слоёв.

После завершения цикла измеренные данные показывают изменение солености и температуры с увеличением глубины не только в численных значениях, но и в графическом представлении ввиде зависимостей температуры

от солёности, солености от давления, температуры от давления. Все измерения являются точными, так как измерение происходит контактным методом.

1.3. Сравнение используемых буёв-измерителей

В системе «Argo» существует множество моделей буёв-измерителей. Основными из них являются PROVOR и ARVOR, созданные NKE-INSTRUMENTATION во Франции в тесном сотрудничестве с IFREMER, буи APEX производства Teledyne Webb Research Corporation в США, NAVIS, созданные компанией Sea-Bird в США, и буй SOLO-II, созданный компанией MRV Systems в США, как этот показано на рисунке 1.8.

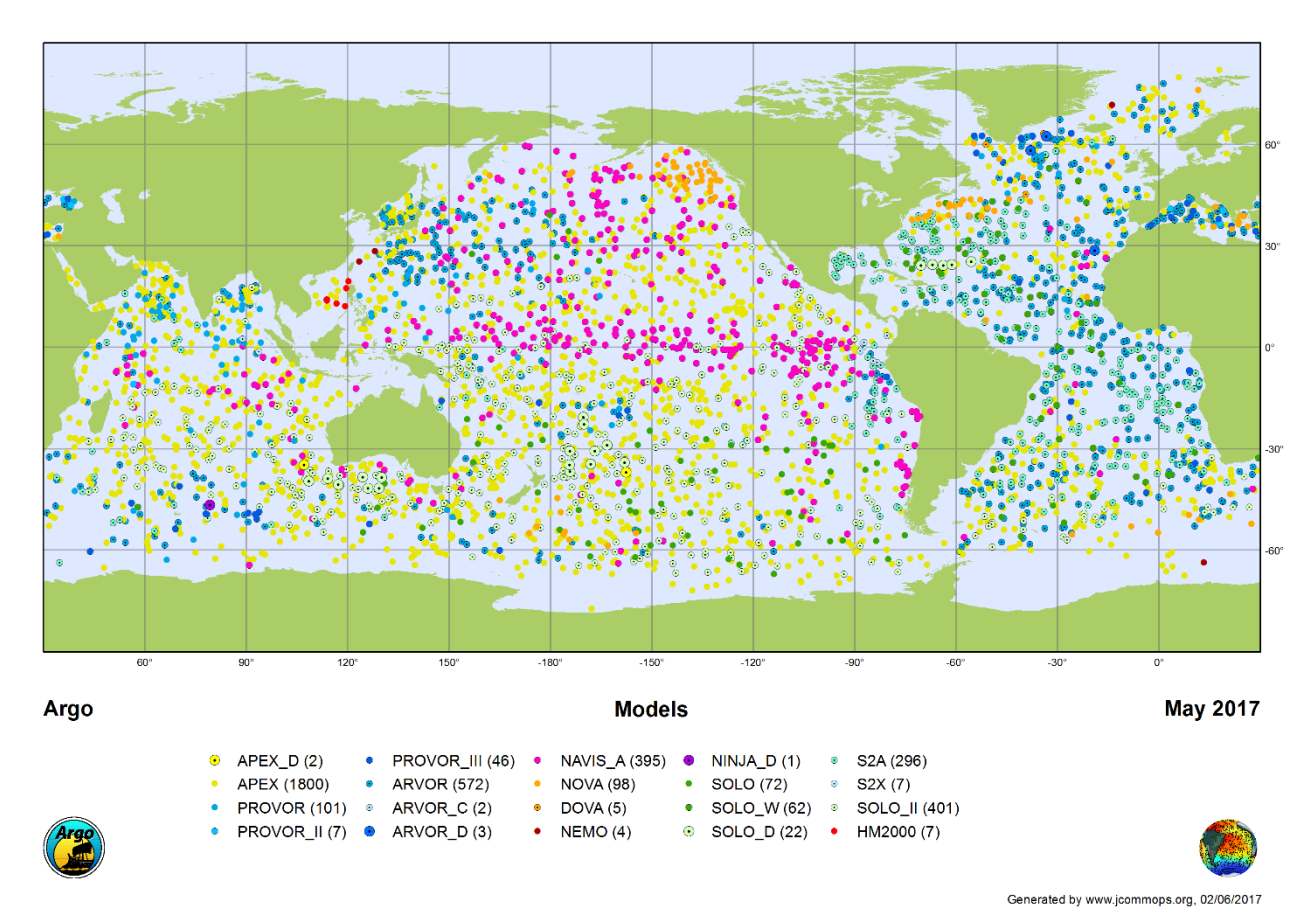


Рисунок 1.8 – Расположение различных видов буёв-измерителей в Мировом океане (май 2017 года)

На данный момент наиболее распространены буи APEX (1800), ARVOR (572), SOLO-II (401), NAVIS (395). Остановимся подробнее на буях APEX и ARVOR. Используем их основные характеристики для сравнения.

Стоит отметить, что каждый из этих буёв соответствует следующим установочным параметрам буев:

- нижний горизонт измерений- максимальный -2000 м, горизонт дрейфа задаётся оператором;

- дискретность измерений- 10 дней (может изменяться по сигналу);

- время нахождения на поверхности- около 6 часов.

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 от 150 циклов и более за весь период работы.

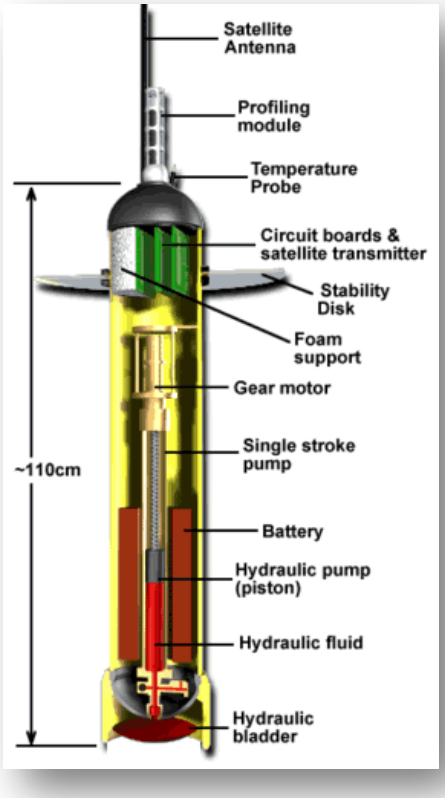


Рисунок 1.9 – Изображение стандартного буя-измерителя «Argo»

Стандартный буй 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

Далее в таблице 1.1 приведено *сравнение* наиболее распространенных буев в системе «Argo».

Таблица 1.1- Основные характеристики наиболее распространенных буев в 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 буёв в мае 2017г.	1800	572	401	395

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

По основным характеристика лидируют буи-измерители SOLO-II, способные производить около 325 рабочих циклов при использовании

дополнительного аккумулятора. Буи-измерители ARVOR и NAVIS идут практически вровень, производя порядка 300 рабочих циклов.

По выбранным характеристикам буи-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. Для уточнения было произведено сравнение количества запущенных буёв, данные о котором представлены на диаграмме 1.1

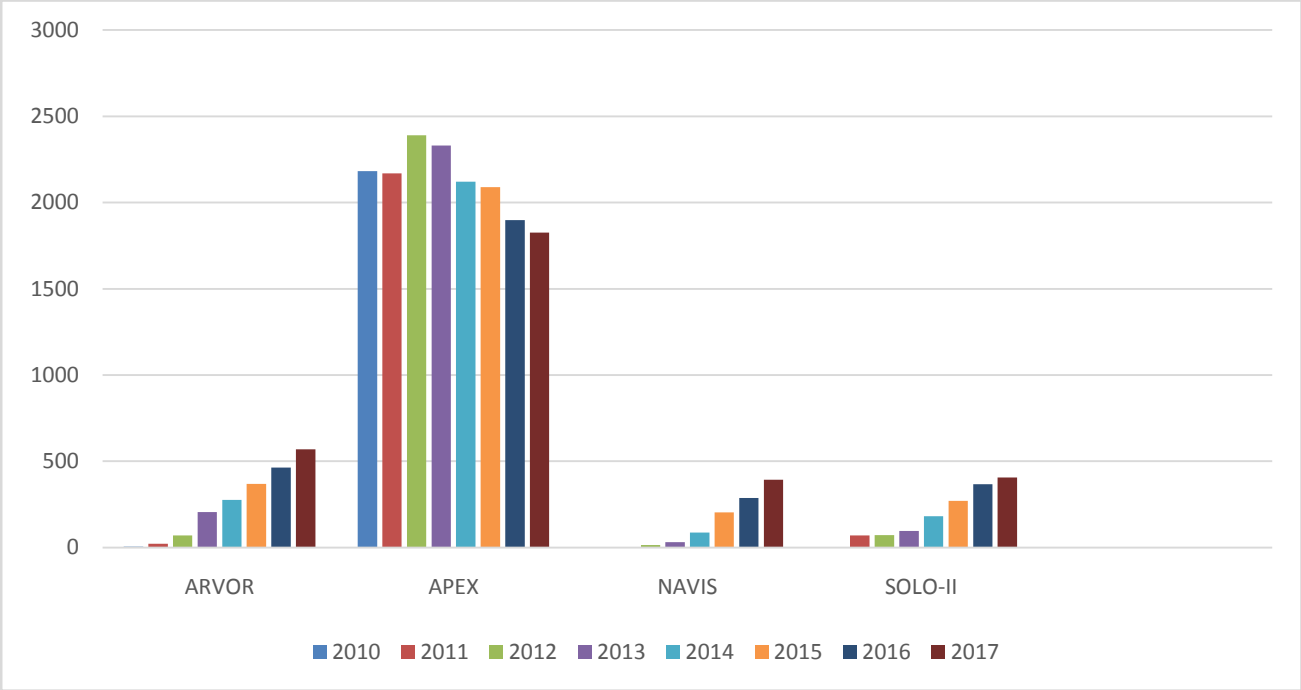


Диаграмма 1.1- Сравнение количества запуска различных видов буёв в период с 2010 по 2017 года

Анализ данной диаграммы показал, что буи-измерители APEX постепенно уходят на второй план по сравнению с буями ARVOR, NAVIS, SOLO-II, прибавивших в своем количестве за год 105, 105, 38 соответственно.

Выводы

Рассмотренные общие сведения о системе «Argo» показали, что на данный момент практически реализована цель «Argo», запущено 3886 буев-измерителей. Буи производят измерения температуры и солености (электропроводности), кроме того они обеспечивают также и данные о течениях на двух горизонтах (заданной глубине дрейфа и поверхности) в течении *работы цикла*, который в среднем составляет около 10 дней, позволяют вычислить плотность морской воды и скорость распространения звука в ней.

Было произведено *сравнение используемых буёв-измерителей, их основных характеристик*, данные о котором представлены в таблице 1.1 и диаграмме 1.1:

Таблица 1.1 - Основные характеристики наиболее распространенных буев в 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 буёв в мае 2017г.	1800	572	401	395

Наиболее эффективными являются буи NAVIS, SOLO-II, ARVOR, а наиболее распространенными буи APEX, использование которых постепенно уменьшается. Подтверждением уменьшения является диаграмма 1.1,

составленная на данных о количестве запуска каждого вида, представленных буёв за разные года.

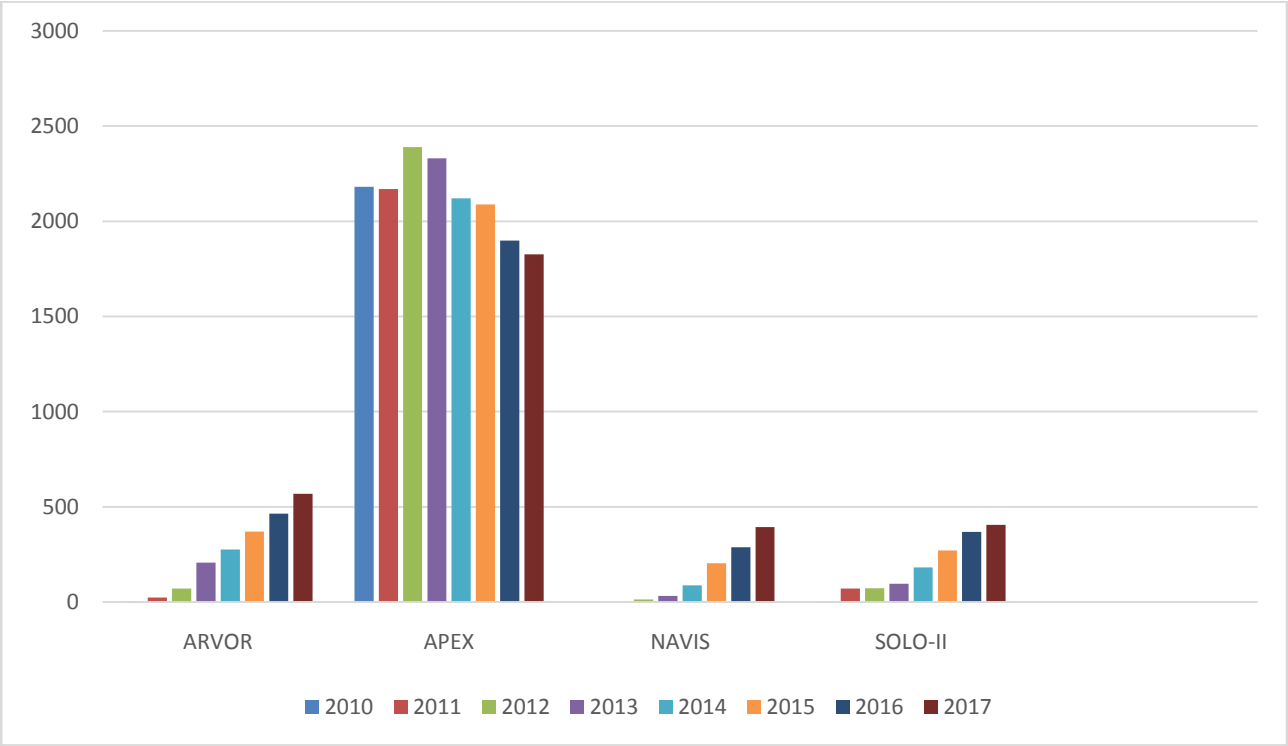


Диаграмма 1.1-Сравнение количества запуска различных видов буёв в период с 2010 по 2017 года

На основе вышеперечисленных данных можно сделать вывод о том, что при помощи системы «Argo»возможно получать:

- своевременные (в реальном времени) данные для прогноза состояния океана;

- данные для наладки, работы моделей состояния океана и парных моделей (допустим, океан-атмосфера);

- точные и качественные климатические 3D схемы состояния Мирового океана и параметры их временной изменчивости;

- временные ряды параметров теплового состояния Мирового океана и морской воды;

- параметры состояния промежуточной (заданная глубина дрейфа) и глубинной водных масс (на данный момент эта глубина составляет около2000м);

- характеристики течений в 2000-метровом слое океана;

- данные для объяснения глобальных феноменов в атмосфере и океане (Эль-Ниньо-колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, имеющее заметное влияние на климат);

- данные необходимые для определения абсолютного уровня Мирового океана.

Кроме этого были выявлены недостатки:

- негативное влияние на экологическое состояние Мирового океана;

-стоимость буёв.

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

2.1 Основные виды гидрофизических характеристик

Система «Argo» позволяет получать данные о *основных видах гидрофизических характеристик* Мирового океана: солености, давлении, температуре, при помощи которых можно вычислить плотность морской воды, но что более важно для данной работы скорость распространения звука в ней.

Соленость представляет собой общее количество твердых минералов в килограмме морской воды, выраженное в г. Все галогены должны быть заменены эквивалентным количеством Cl, карбонатные соли превращаются в окислы и органическое вещество сжигается. Соленость измеряется в промилле (‰), что соответствует 1 г минеральных веществ в 1 кг воды.

Процентное содержание солей представлено на рисунке 2.1.

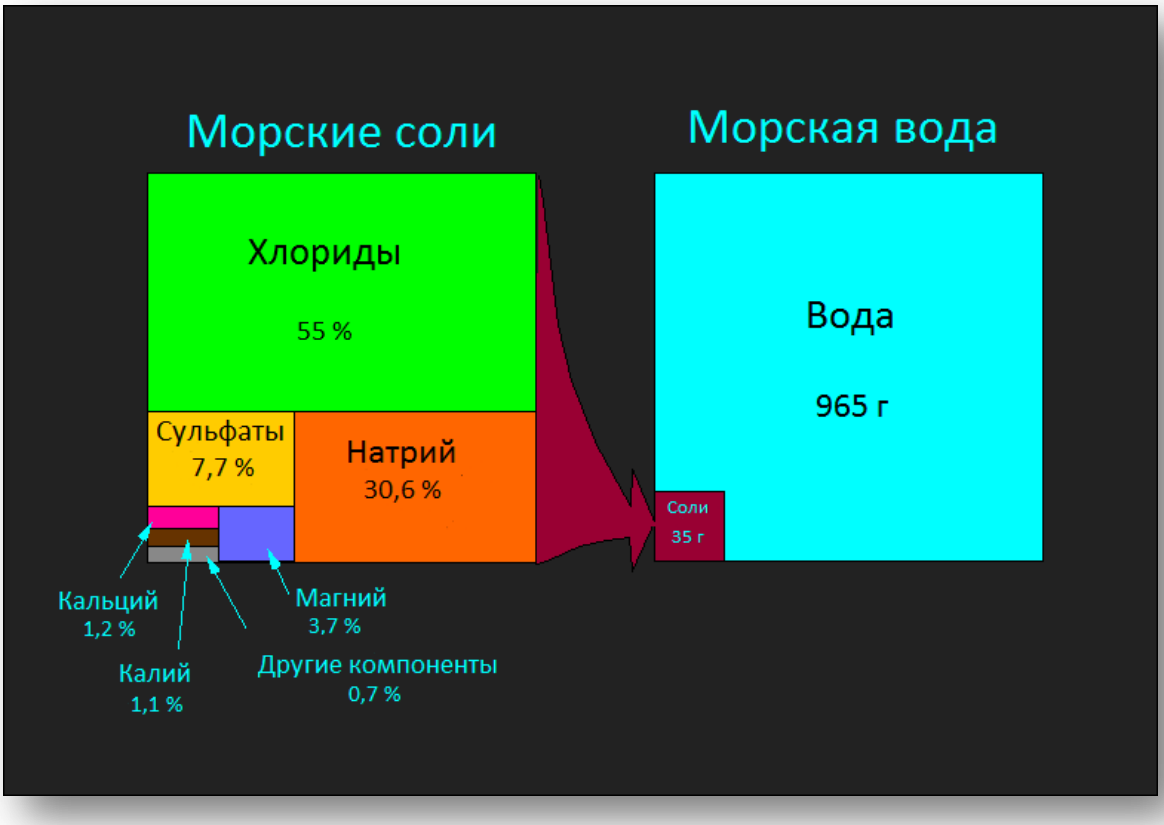


Рисунок 2.1 – Процентное содержание солей в морской воде.

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

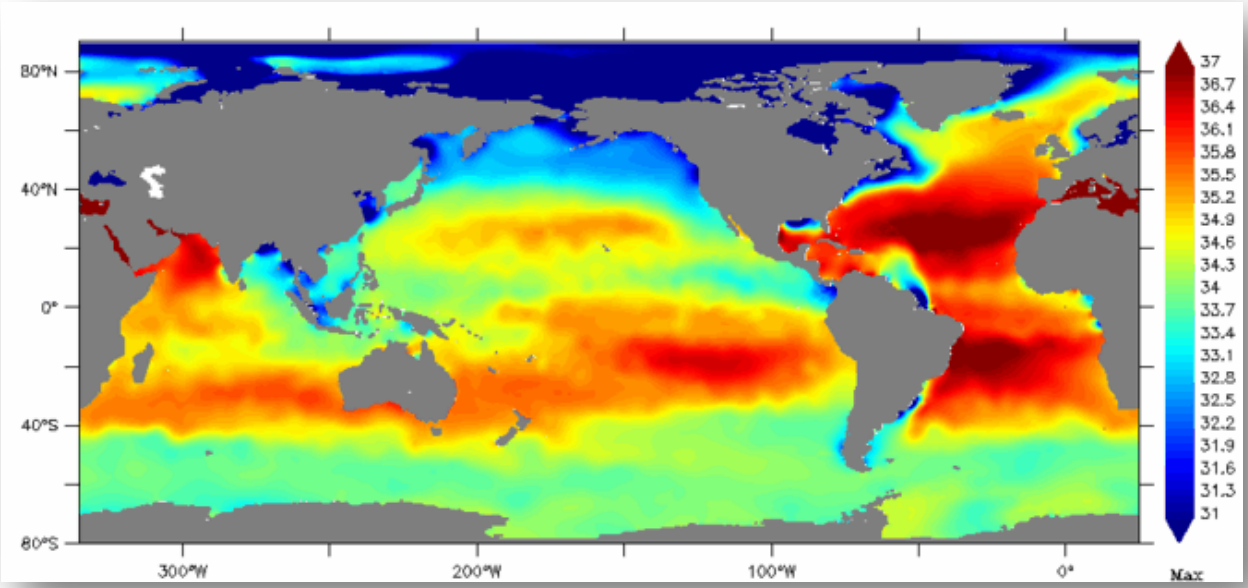


Рисунок 2.2- Соленость поверхности Мирового океана

Средняя соленость Мирового океана составляет 35 ‰. При максимальном испарении и наименьшем количестве осадков, наблюдается повышенное значение солёности. Понижение солености (менее 34 ‰) свойственно для приарктических и антарктических вод, под влиянием сильного опресняющего действия талых ледниковых вод. Зимой же в данных районах происходит увеличение солености из-за образования льда. От поверхности до дна океана солёность уменьшается. Донные воды от экватора до арктических широт имеют соленость 34,7-34,8‰.

В средних широтах избыток испарения над осадками приводит к тому, что поверхностные воды становятся более солеными, чем глубинные. Если их соленость достаточно велика, они могут начать погружение (но этому препятствует более высокая температура, уменьшающаяся плотность). В этом случае можно наблюдать явление, называемое «солевые пальцы». Таким образом, в этих регионах стратификация воды поддерживается температурным

градиентом, а влияние солености может, напротив, способствовать смешиванию слоев.

В более высоких широтах водоемы (такие как Северный Ледовитый океан, Берингово море и Южный океан) поверхностные воды могут быть, напротив, более холодными, чем глубинные. В этом случае стратификация воды стабилизируется только ростом солености с глубиной, а галоклин изолирует поверхностные воды от глубинных. Это способствует появлению льда. Галоклин также хорошо выражен во фьордах и эстуариях со слабым движением воды, где пресная вода с материка распространяется по поверхности океана.

Температура

Благодаря большой поверхности (71% или 362млн.км^2) Мировой океан получает от Солнца больше тепла, чем суша. Кроме того, вода имеет большую теплоемкость, поэтому в океане накапливается огромное количество тепла. Только в верхнем 10-метровом слое океанической воды содержится тепла больше, чем во всей атмосфере. На глубину тепло попадает в результате постоянного перемешивания воды.

Следует отметить, что температура воды снижается с глубиной, сначала скачкообразно, а потом плавно. На глубине температура воды практически однородна, так как глубина океанов в основном заполнена водами одинакового происхождения, которые формируются в полярных областях Земли. На глубине более 3-4 тысяч метров температура колеблется от + 2 до 0 °С.

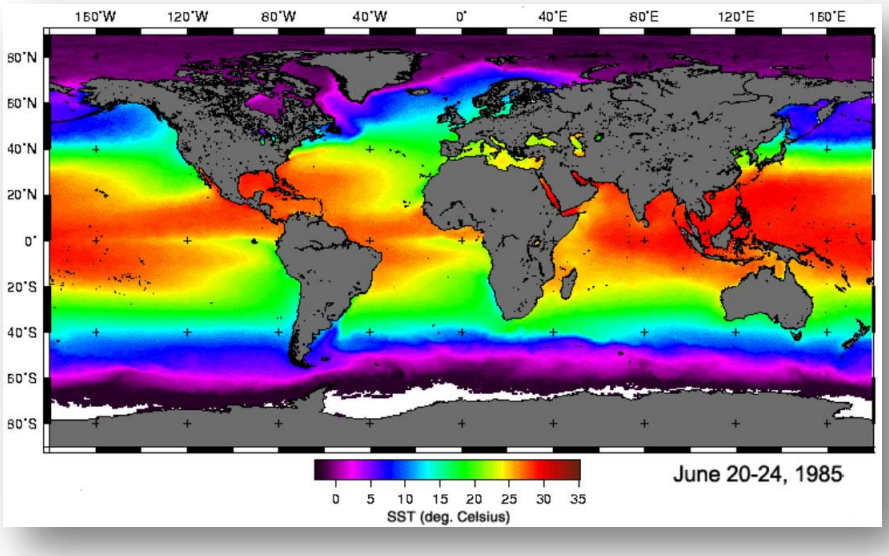


Рисунок 2.3- Распределение температуры поверхности Мирового океана

Температура Мирового океана зависит от широты и распределяется на ее поверхности зонально. Наибольшая средняя температура находится около экватора и составляет 27- 28 °С. Так как Земля имеет форму эллипсоида, при увеличении широты уменьшается угол падения солнечных лучей, попадание солнечной радиации уменьшается, и температура вод Мирового океана уменьшается. Из-за близости холодной Антарктиды скорость понижения температуры на юге происходит быстрее, чем на севере.

На температуру морской воды большое влияние оказывает климат окружающих территорий: к примеру, температура воды Красного моря, окруженного пустынями, достигает 34°С. В умеренных широтах температура морской воды во многом зависит от времени года и даже времени суток. Кроме того, на температуру океанических вод оказывают сильное влияние и течения: теплые течения переносят воды от экватора в умеренные широты, а холодные течения — от полярных областей. Подобное перемешивание вод способствует более равномерному распределению температур в водных массах.

Средняя температура поверхностного слоя Мирового океана достигает 17,5 °С. С глубиной происходит её снижение, однако, температура воды в горячих источниках на дне океана составляет 400 °С. Наибольшая

средняятемпература у поверхности воды в Тихом океане равна 19°С, в Индийском — 17°С, в Атлантическом океане — 16°С, в Северном Ледовитом океане — 1°С.

Давление

В результате того, что вода намного плотнее воздуха, изменение давления с глубиной происходит быстрее, чем в атмосфере. Давление в морях и океанах увеличивается на каждые 100 м глубины на 1 МПа или на 1 атм. (1 бар) на каждые 10 м глубины. Его значение зависит от плотности воды. Под воздействием давления вышележащих слоев удельного объема морской воды уменьшается, то есть она сжимается. Сжимаемость морской воды незначительна: при нормальной солености (35‰) и t_o = 15 ^oC она равна 0,0000442. В случае абсолютной несжимаемости воды объем Мирового океана увеличился бы на 11 миллионов км^3, и его уровень повысился бы на 30 м.

Данные о перечисленных выше свойствах морской воды получают в системе «Argo» автоматически, контактным методом, следовательно, погрешность измерения очень мала. После каждого всплытия данные о измерениях попадают в базу данных «Argo», а затем после их обработки выкладываются на GoogleEarth.

Кликнув мышью на изображении выбранного буя в слое «Argo» GoogleEarth можно получить всю информацию о нём.

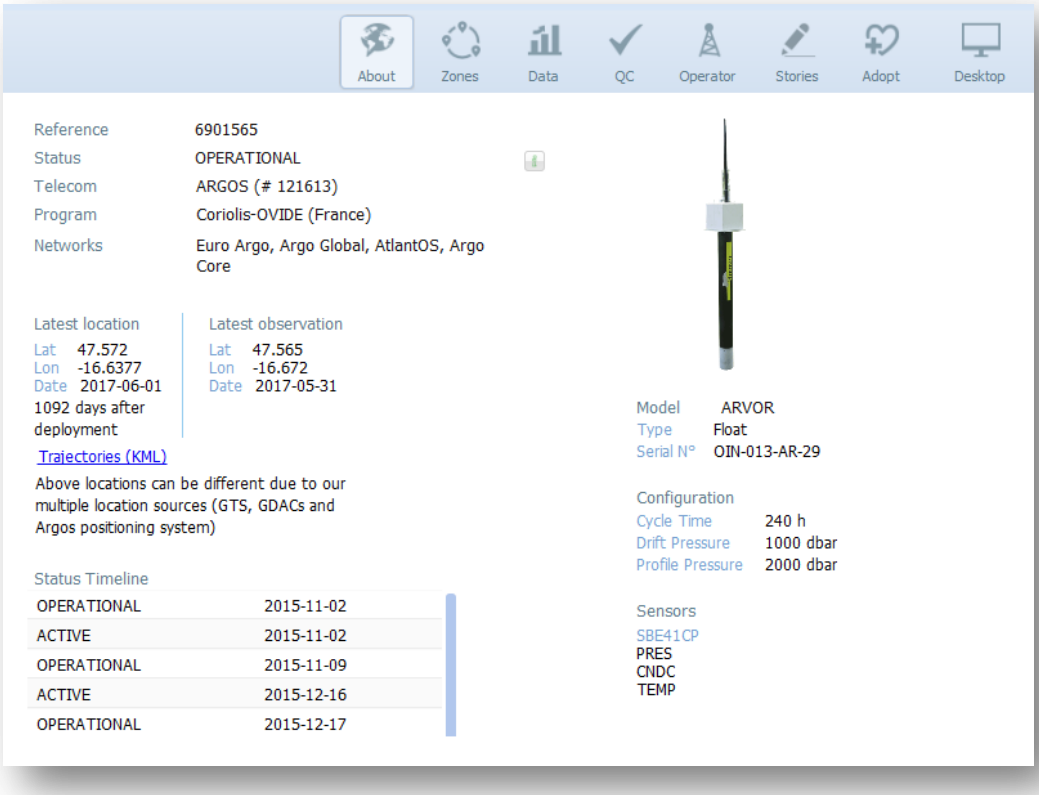


Рисунок 2.4- Пример данных о буях системы «Argo»

На рисунке 2.4 показано, когда буй был запущен, его тип, длительность цикла, координаты расположения, глубину дрейфа, используемые датчики и другие характеристики. Кроме того, возможно получение данных о давлении, температуре и солености (ранее было раскрыто в пункте 1.1).

При помощи полученных данных можно рассчитать такие важнейшие параметры как плотность и скорость звука.

Плотность –скалярная физическая величина, равная отношению массы тела к занимаемому этим телом объёму.

Температура и соленость — главные факторы, влияющие на плотность воды.

При уменьшении температуры морской воды и повышении её солёности, увеличивается плотность воды (рис. 2.5). Например, при значениях солености 35 ‰ и температуре 0 °C плотность морской воды составляет 1,02813 г/см^3 (масса каждого кубического метра такой морской воды на 28,13 кг больше, чем такого

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

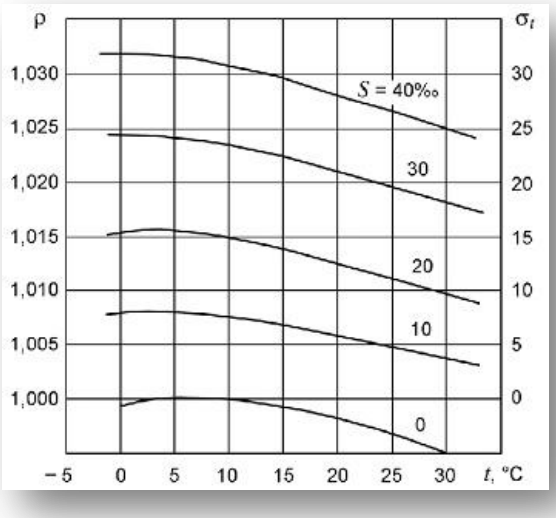


Рисунок 2.5- Связь плотности морской воды с соленостью и температурой

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

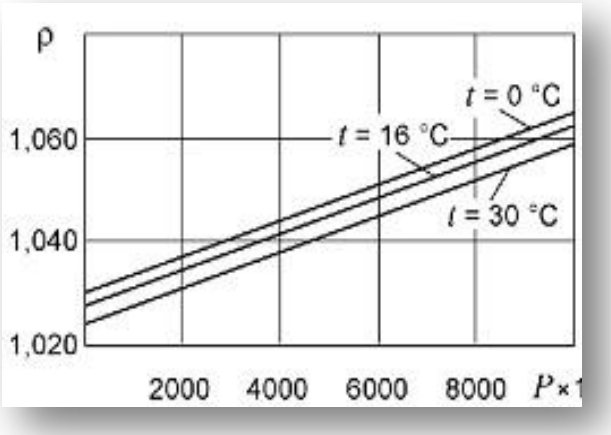


Рисунок 2.5- Зависимость плотности морской воды (S=35 ‰) от давления при различных температурах

Поле плотности воды Мирового океана в основном подобно полю температуры. Только в полярных областях и некоторых морях в основном зависит от солености. 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 соленость, плотность вод повсеместно растет с увеличением глубины.

Скорость звука

В отличие от воздуха, вода слабо поглощает энергию звуковых волн, звук в морской воде, может простираться на очень большие расстояния (порядка тысячи километров). Скорость звука не зависит от ее частоты. Например, высокочастотный свист дельфина распространяется с той же скоростью, что и низкочастотная «песня» горбатого кита. Радиоволны, напротив, очень сильно поглощаются водой, и они не могут использоваться для подводного изучения океана. Благодаря вышеуказанным особенностям распространения звука в морской воде, его используют для подводной связи, навигации, обнаружения различных объектов и многих других практических и научных целей. Особое значение имеют ультразвуковые волны (с более чем 20 тысячами герц), которые могут направляться излучателями направленным образом.

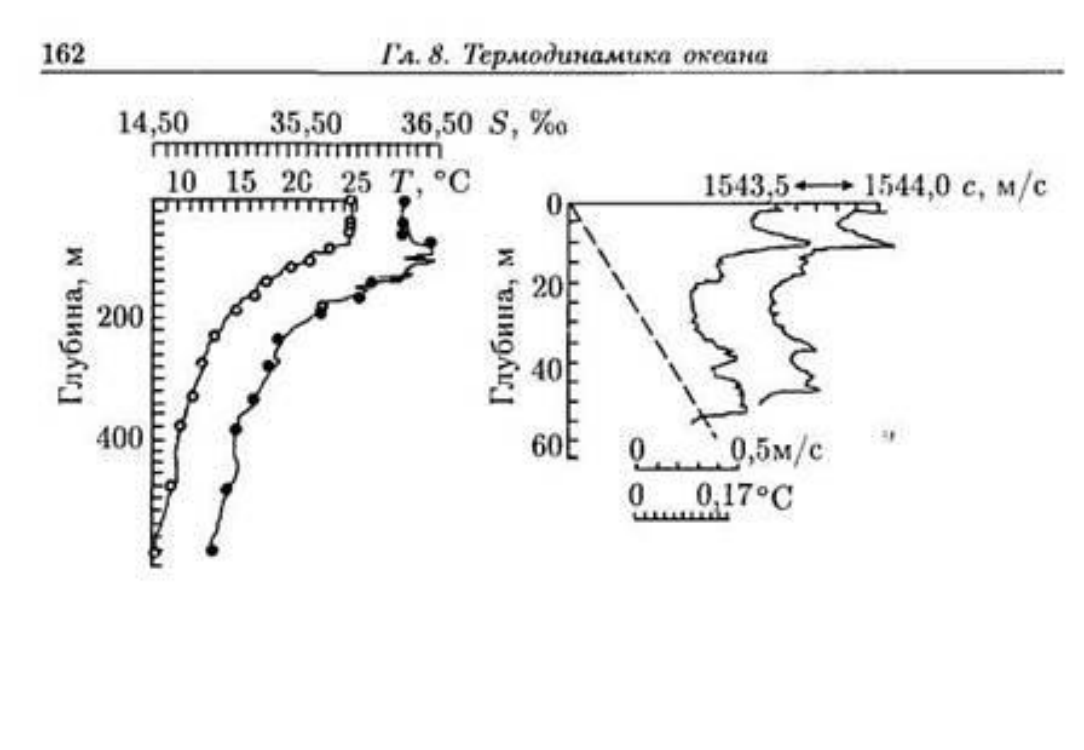


Рисунок 2.6- Зависимость распространения скорости звука от температуры давления и солености.

Диапазон скорости звука в морской воде составляет от 1400 до 1550 м/с. Её средняя скорость приблизительно равна 1500 м/с, что в 4-5 раз выше скорости звука в атмосфере. С увеличением температуры, солености и давления (глубины) происходит её возрастание, причем наибольшее влияние оказывает температура. Так, при изменении температуры на 1°С скорость звука в морской воде увеличивается на 4,4 м/с, при увеличении солености на 1 ‰ -на 1,2 м/с и при возрастании глубины на 100 м - на 1,75 м/с.

К явлениям, связанным с распространением звука в морской воде связаны реверберация, рефракция, подводный звуковой канал.

Рефракция в морской воде - это кривизна траектории звукового луча, наблюдаемая при распространении звуковых волн в акустически неоднородной среде. Характер преломления определяется знаком и величиной градиента скорости звука. Наибольшие градиенты скорости звука в море наблюдаются в

вертикальной плоскости, поэтому в этой плоскости присутствует и наибольшая рефракция.

Звуковой канал-слой морской среды, в котором звуковые волны благодаря рефракции распространяются, не выходя за пределы слоя, с малыми потерями при отражении от поверхности моря и дна. Благодаря чему звук может преодолевать огромные расстояния-сотни и даже тысячи км.

Реверберация - это постепенное убывание по силе звукового сигнала из-за его рассеяния ил по-другому многократного отражения волн от неоднородностей окружающей среды.Неоднородностями в толще воды являются воздушные пузырьки, взвешенные частицы, неровности поверхности моря и дна, живые организмы.

Каждая из основных гидрофизических характеристик Мирового океана зависит друг от друга, так при увеличении солености и понижениитемпературы возрастает плотность, а при увеличении плотности с глубиной погружения увеличивается скорость звука.

2.2 Датчики, используемые в системе «Argo» для измерения гидрофизических характеристик

Рассмотрим датчики измерения температуры, солёности и давления, используемые системой арго. 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 буем под названием ALACE (автономный лагранжевский циркуляционный проводник) (Davis, et al., 1992).

Рисунок 2.7 – Sea-BirdCTDмодуль

В настоящее время Sea-Bird производит около 1000 SBD 41 / 41CP CTD в год, обеспечивая более 90% годовых требований к системе«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.

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

Насос SBE 41 обеспечивает расход 40 мл / с в 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 "Richards Brancker Research Ltd", Канадская фирма RBR, основанная в 1986 г. и известная ранее как "Data Loggers", 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- RBRargomодуль

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-41представлены в таблице 2.1.

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

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

*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.

Выводы

Во второй главе были рассмотрены основные виды гидрофизических характеристик, которые возможно измерить при помощи системы«Argo», к ним относятся соленость(электропроводность), температура и давление, используя эти данные можно вычислить плотность морской воды, но что более важно для данной работы скорость распространения звука в ней

Все измерения производится в основном комплектами датчиков SBE-41, RBRargo, а ранее FSI. Данные сравнения характеристик представлены в таблице 1.2.

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

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

При анализе таблицы было выявлено, лучшим вариантом по показателям погрешностей на данный момент является комплект SBE-41. Если требуется более глубокое погружение в пределах 6000 м используется RBRargo.

Применение системы «Argo»для освещения гидрофизических характеристик в ближайшем будущем позволит составить базу данных о данных характеристиках, которая позволит делать прогнозы состояния Мирового океана. А по полученной базе данных возможно определить скорость распространения звука в морской воде, а также явления, сопровождающие её изменение, от которых будет зависеть работа гидроакустической аппаратуры, практически в любом районе Мирового океана.

3 ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫСИСТЕМЫ «ARGO» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1Основные 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 границейповерхностной структурной зоны, оно становится уже совсем другим. На этой глубине практически везде, не включая полярные области, обычно останавливается резкое снижение температуры.

Термоклин, или слой резкого изменения температуры, представляет собой слой воды, в котором температурный градиент отличается от градиентов выше и нижележащих слоев. Появляется при наличии несмешивающихся слоев воды с разными температурами. Термоклин может иметь размер от нескольких метров до десятков метров.

Термоклины подразделяют на сезонные и глубоководные. Возникновение и разрушение сезонного термоклина происходит в следствии изменения температуры в течении года в зависимости от сезона. Ярким примером являетсяего изменение при таянии льда или увеличении потока теплой воды в море. Обычно находится на глубинах не более 200 метров. Глубоководный термоклинсуществует постоянно, отражая толщину воды до 2000 метров.

Рефракция звука в термоклине довольно сильно изменяет свой характер. Довольно часто следствием термоклина является резкое увеличение скорости на определенной глубине, тогда выше термоклина рефракция положительна, и звуковые лучи отклоняются к поверхности, а ниже его напротив отрицательна, и звуковые лучи отклоняются ко дну. При данной рефракции возможно возникновении зоны тени. Сам слой при этом может отражать звук, пропуская

лишь его малую часть, и таким образом экранировать шумящие объекты (источники звука).

Ранее упомянутое свойство часто используется в подводных лодках и противолодочных силах. Подводная лодка может затаиться под термоклином в зоне тени.С другой стороны, противолодочные силы могут использовать средства обнаружения, опускаемые под термоклин.

В системе «Argo» после всплытия буя и передачи данных, строится профиль изменения температуры.

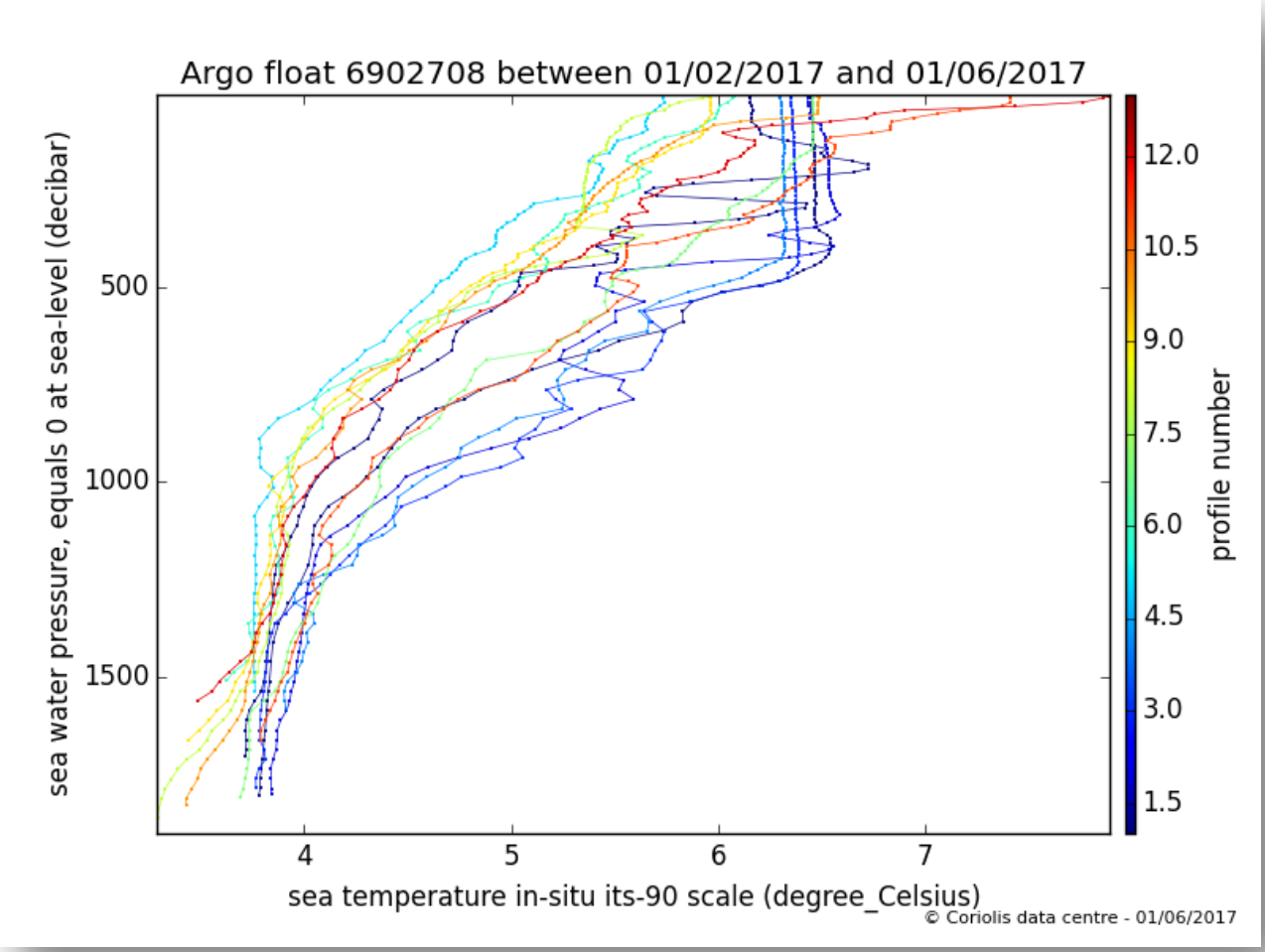


Рисунок 3.1- Все профили температуры, построенные буём за время его работы

На рисунке 3.1 заметим, что резкого изменения температуры не наблюдается, за исключением изменения температуры на практически на 2,5 C^0 в приповерхностном слое.

Профиль солености.

Галоклин — слой воды, в котором происходит интенсивное изменение солености 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 кг/$м^3$.

В средних широтах превышение испарения над осадками приводит к тому, что поверхностные воды становятся более солеными, чем глубинные. Если их соленость 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 солености при увеличении глубины. Таким образом, в этих регионах стратификация воды поддерживается температурным градиентом, а влияние солености может, напротив, способствовать смешиваниюслоев.

На рисунке 3.2 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.

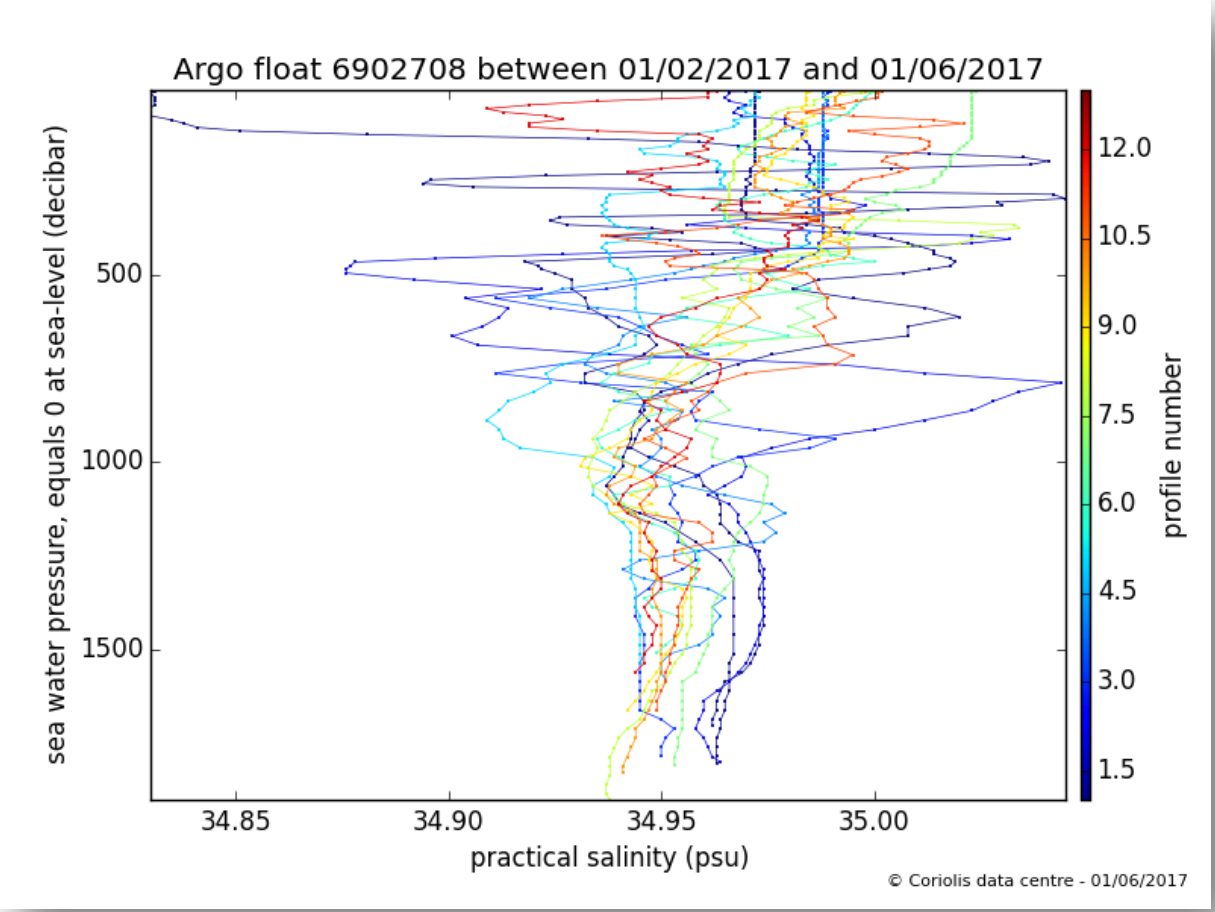


Рисунок 3.2- Все профили солёности, построенные буём за время его работы

Профиль распространения скорости звука.

Профиль скорости звука оказывает достаточно сильно влияет на его распространение. При одном профиле дальность распространения звука может достигать сотен и даже тысяч километров, а при другом профиле звук с тем же значением частоты имеет дальность распространения в разы меньше, порядка десятков или единиц километров.

При распространении звуковых волн в акустически неоднородной среде, происходит искажение траектории звукового луча или его еще называют рефракцией. Её характер определяется величиной и знаком градиента скорости звука. Лучше всего градиенты скорости звука в морской воде наблюдаются в вертикальной плоскости, поэтому в этой плоскости находится наибольшее преломление(рефракция).

Звуковой луч, падающий на линию раздела двух сред с разными значениями скорости звука, частично отражается от поверхности раздела и преломляется, проникая во вторую среду. Границы раздела могут располагаться между водой и воздухом, водой и дном, между слоями воды с различной плотностью.

Рефракцию (преломление) нужно учитывать при определении дальности распространения звука. При увеличении стратификации моря, происходит большее искривление звукового луча, иуменьшение дальности распространения звука.

В зависимости от наблюдаемого в море вертикального изменения скорости звука (то есть его градиента) различают четыре типа рефракции:

- положительная, наблюдается при возрастаниискорости звука с глубиной (положительный градиент скорости звука);

- отрицательная, наблюдается при понижении скорости звука с глубиной (отрицательный градиент скорости звука);

-изменение положительной рефракции в поверхностном слое (до 200 м), в котором происходит увеличение скорости звука с глубиной, на отрицательную в нижележащих слоях, в которых скорость звука уменьшается с глубиной (переход от положительного градиента скорости звука к отрицательному);

- подводный звуковой канал, возможно наблюдать при снижении скорости звука в верхнем слое и его возрастании в нижнем (переход от отрицательного градиента скорости звука к положительному).

При увеличении скорости звука с глубиной (градиент скорости звука положительный) наблюдается положительная рефракция –появляется искривление звуковых лучей в сторону поверхности моря (рисунок 3.4.).

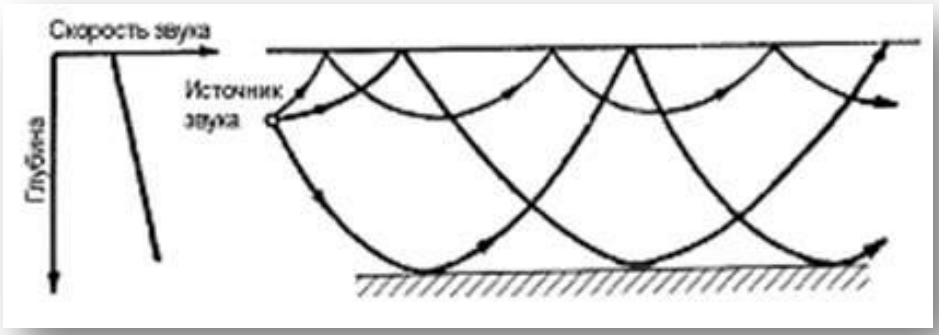


Рисунок 3.4 -

Рефракция звуковых лучей при увеличении скорости звука с глубиной (положительная рефракция).

Распространение звука сопровождается многократными отражениями от поверхности моря, с малымипотерями звуковой энергии.При данных условиях возникает приповерхностный звуковой канал. Звуковые лучи при положительной рефракции «образуют кружево, подвешенное к поверхности моря».

При понижении скорости звука с глубиной (отрицательный градиент скорости звука) появляется отрицательная рефракция –искривление звуковых лучей в направлении дна (рисунок 3.5).

Звуковые лучи отражаются от дна и при каждом отражении теряя часть звуковой энергии, переходящей в грунт, что довольно сильноуменьшает дальность распространения звука.

Рисунок 3.5 - Рефракция звуковых лучей при уменьшении скорости звука с глубиной (отрицательная рефракция).

Помимо этого, между предельным лучом, который выходит из источника звука, и поверхностью моря образуются зоны, куда не попадают звуковые лучи, независимо от мощности, направленности и ориентации излучателя. Они называются зонами акустической тени в отличие от зон, в которых происходит распространение звуковых лучей- освещенныхзон. Наличие зон акустической тени неблагоприятно для работы гидроакустических приборов. Приемники, находящиеся в зоне тени, либо совсем не принимают сигналы излучателя, либо принимают их сильно ослабленными.

При повышении скорости звука в поверхностном слое и ее уменьшении от нижней границы этого слоя до дна (изменение положительного градиента скорости звука на отрицательный) наблюдается изменение положительной рефракции в верхнем слое на отрицательную в нижележащих слоях (рисунок 3.6).

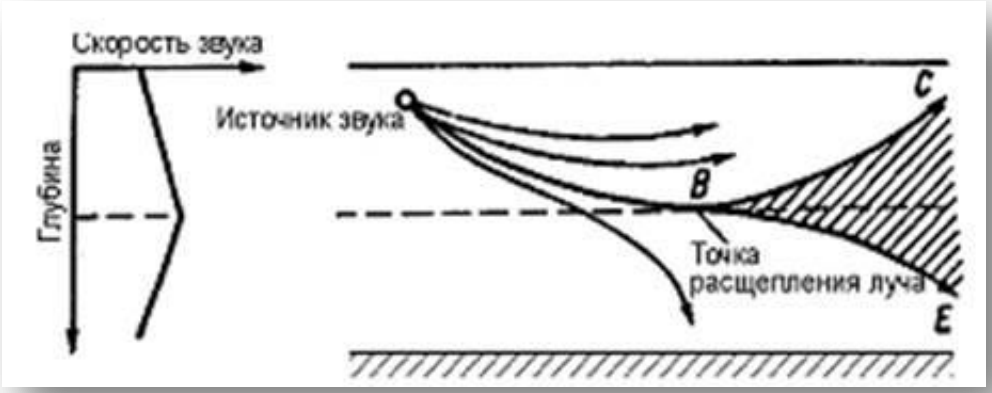


Рисунок 3.6- Рефракция звуковых лучей при увеличении скорости звука в поверхностном слое и ее убывании ко дну (изменение положительной рефракции в верхнем слое на отрицательную в нижележащих слоях).

В рассмотренном случае наблюдается расщепление звукового луча (точка В) на два, один из которых (ВС) после полного внутреннего отражения отклоняется к поверхности моря, а другой (ВЕ) проникает в нижележащие слои

и отклоняется кдну. Между этими лучами создается зона акустической тени, что значительно снижает дальность действия гидроакустической аппаратуры.

Подводный звуковой канал определяется как слой в толще воды, в котором скорость звука минимальна, звуковые лучи распространяются, испытывая многократное внутреннее отражение с сопровождением концентрации звуковой энергии вдоль оси подводного звукового канала, что создает условия сверхдальнего распространения звука.

Для появления подводного звукового канала необходимо, чтобы на некоторой глубине находился минимум скорости звука. Выше этой глубины скорость звука возрастает из-за увеличения температуры, а ниже она возрастает вследствие повышения гидростатического давления. Слой с минимальной скоростью звука называется осью подводного звукового канала.

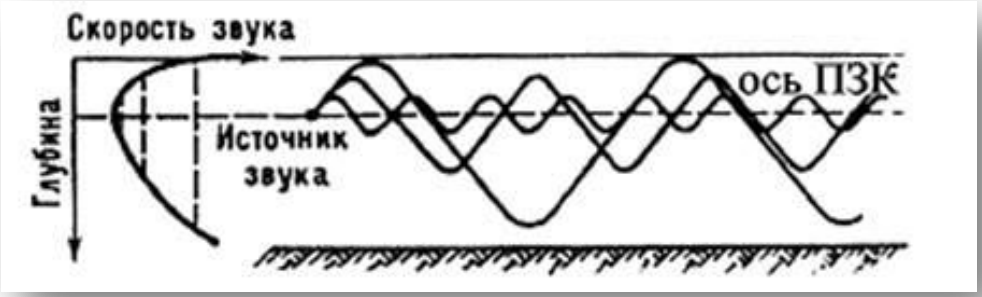


Рисунок 3.7 - Подводный звуковой канал

В случае если излучатель находится на оси звукового канала, звуковой луч, вышедший из излучателя в сторону поверхности моря, будет описывать параболическую кривую, направленную своей выпуклостью к поверхности (уменьшение скорости с глубиной - отрицательная рефракция). Испытав полное внутреннее отражение, луч достигнет оси канала, ниже которой закон изменения скорости с глубиной обратный (скорость с глубиной возрастает - положительная рефракция). Траектория звукового луча изогнется выпуклостью ко дну, и луч, вновь испытав полное внутреннее отражение, достигнет оси канала. Звуковой

луч, отклонившийся от оси канала вверх или вниз, вследствие рефракции всегда стремится попасть в него обратно.

Обычно дальность распространения звука в океане составляет десятки или сотни километров. В зоне подводного звукового канала происходит сверхдальнее распространение звука. Если поместить излучатель и приемник звука на оси канала, то даже звуки средней интенсивности могут быть зарегистрированы на расстоянии в сотни и тысячи км.

Пределы дальности распространения подводных звуков учитываются, шумы, возникающие от проплывающих подводных и надводных кораблей, шумы-сигналы- не являющиеся полезными, реверберация, собственные шумы моря, имеющие двоякое происхождение, часть шумов, возникающая от ударов волн на поверхности воды, от морского прибоя, от шума перекатываемой гальки и т.п. Другая часть, связанная с морской фауной (к ней относятся звуки, производимые рыбами и некоторыми морскими животными).

При проектировании и эксплуатации гидроакустических каналов передачи информации, а такжедля проектирования системы помощи принятия решений при мониторинге затопленных объектов, кроме тогонеобходимо учитывать сезонные и вероятность возникновения неблагоприятных гидроакустических явлений.

При использовании данных полученных системой «Argo» был составлен программный комплекс, который позволяет оценивать распределение скорости звука практически любого района Мирового Океана, выявлять глубину залегания оси подводного звукового канала и горизонт перегиба, а значит освещать гидроакустическую обстановку Мирового океана.

3.2. Построение среднестатистического скорости звука для заданной точки 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, солености и давления, измеренных системойArgo в различные периоды времени.

Алгоритмпостроения среднестатистического скорости звука для заданной точки по измеренным данным.

1. Для расчета необходимо задать координаты прямоугольной области, 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);

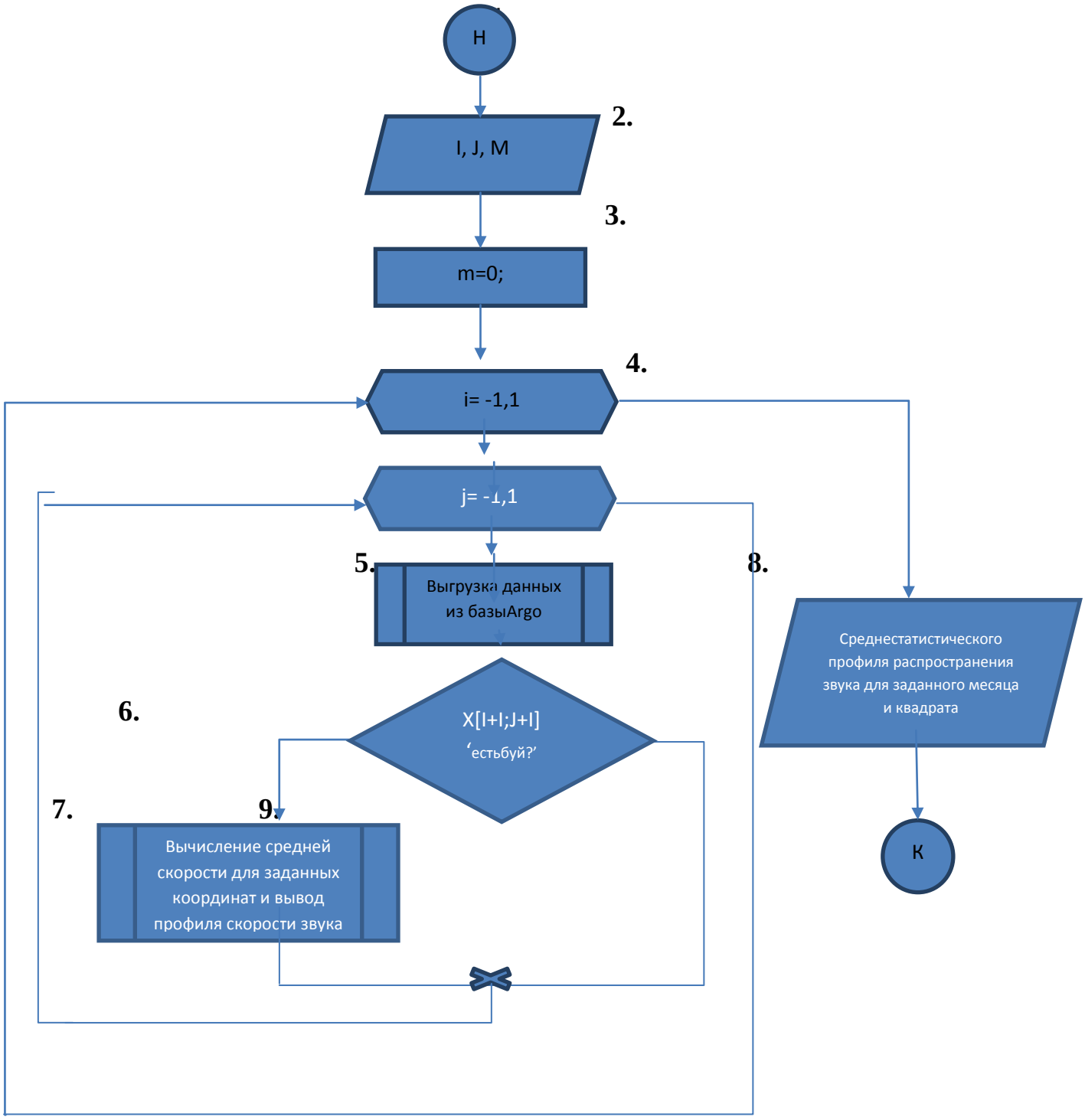
2. На основе полученной информации программа выбирает из базы данных Argo все профили, соответствующие заданным условиям. В зависимости от кучности и количества профилей, система покрывает заданную область более или менее плотной сеткой (grid), для каждой ячейки которой будет рассчитан усредненный профиль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

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

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

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

Блок-схемаалгоритма построения среднестатистического профиля распространения скорости звука для заданной точки по измеренным данным



Описание блок-схемы алгоритмапостроения среднестатистического профиля распространения скорости звука для заданной точки по измеренным данным:

1. Начало(запуск) программы;
2. Ввод данных – координаты (I-широта,J- долгота), номер месяца, за который нужно построитьсреднестатистический профиль распространения скорости звука;
3. Присвоение переменной mнулевого значения для дальнейшего подсчета количества всех буев в получившемся квадрате, используемого для расчета среднестатистической скорости звука;
4. Запуск двух счетчиков, благодаря которым будут в дальнейшем рассмотрены буи, находящиеся в квадрате, расположенном вокруг заданной координаты, для более полного освещения обстановки;
5. Запускается подпрограмма, считывающая измерения P, S, Тиз базы данных проекта «Argo»;
6. Выполняется условие, в ходе которого выясняется присутствует ли буй в данной координате или же нет;
7. вслучае 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 квадратанахождения буёв по данным, измеренным системой «Argo»;
10. Завершение программы.

В данной работе была реализована часть алгоритма, заключенная в блоках 5-7, которая позволяет рассчитать и построить среднестатистический профиль распространения скорости звука для заданного месяца. Остальная часть программы будет реализована во второй части комплексного диплома.

В реализованной части происходит обращение к базе данных «Argo», для того чтобы узнать, сколько циклов совершил буй в заданном месяце и произвести выгрузку нужных данных, 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.

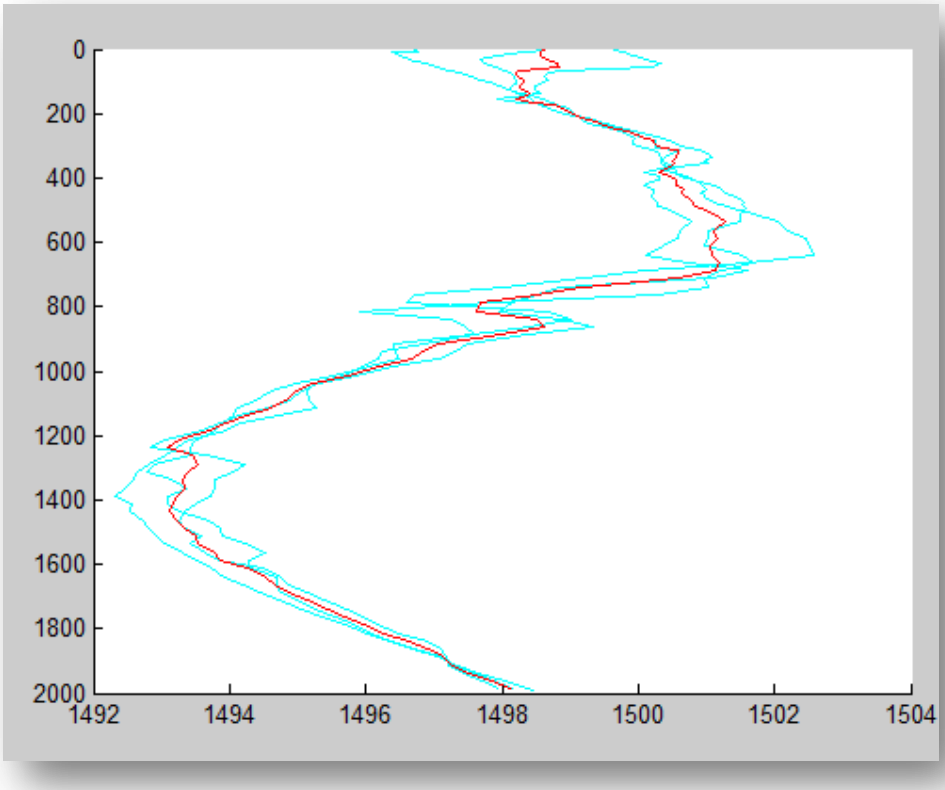


Рисунок 3.8 -Профиль распространения скорости звука в апреле 2017 года

На рисунке 3.8 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.

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

Основными профилями гидрофизических характеристик являются профили солёности, температуры и скорости звука.

Профиль температуры показывает распределение температуры с глубиной. От изменения температуры во много зависит распространение скорости звука в морской воде, особенно в приповерхностном слое. Термоклин – резкое изменение температуры при нёмпоявляется при наличии несмешивающихся слоев воды с разными температурами. Рефракция звука в термоклине довольно сильно изменяет свой характер. Часто следствием термоклина является резкое увеличение скорости на определенной глубине

Профиль солености показывает распределение солёности с глубиной. При резком изменении этой гидрофизической характеристики возникает галоклин.Галоклин играет важную роль в вертикальной стратификации

плотности (расслоении плотности).«Солевые пальцы» явление, сопровождающееся более высоким значением солёности на поверхности и пониженным в более глубоких слоях.

*Профиль распространения скорости звука*играет важную роль в работе гидроакустической аппаратуры. Этот профиль сопровождается следующими явлениями: положительная и отрицательная рефракция, подводный звуковой канал, приповерхностный звуковой канал, зона тени и др. Построения данного профиля в системе «Argo» не производится.

При использовании данных полученных системой «Argo»был составлен алгоритм,который позволяют оценивать распределение скорости звука практически любого района Мирового Океана.

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

1. Для расчета необходимо задать координаты прямоугольной области, 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);

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

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

В ходе работы была реализована *часть алгоритма*,которая позволяет рассчитать и построить среднестатистический профиль распространения скорости звука для заданного месяца. Было проведено тестирование этой части, его результат представлен на рисунке 3.8, на котором 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.

Данные, получаемые в результате выполнения данной части программы, необходимы для проектирования системы помощи принятия решений при мониторинге затопленных объектов, а также 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является исследование применимости системы «Argo» для освещения гидроакустических условий мирового океана.

В процессе достижения цели были получены следующие результаты:

Результат1. Выполнен обзор технических характеристик системы «Argo».

Рассмотренные *общие сведения о системе «Argo»*показали, что на данный момент практически реализована цель «Argo», запущено 3886 буев-измерителей. Буи производят измерения температуры и солености (электропроводности), кроме того они обеспечивают также и данные о течениях на двух горизонтах (заданной глубине дрейфа и поверхности) в течении *работы цикла*, который в среднем составляет около 10 дней, позволяют вычислить плотность морской воды и скорость распространения звука в ней.

Было произведено *сравнение используемых буёв-измерителей, их основных характеристик*, данные о котором представлены в таблице 1.1 и диаграмме 1.1:

Таблица 1.1 - Основные характеристики наиболее распространенных буев в 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 буёв в мае 2017г.	1800	572	401	395

Наиболее эффективными являются буи NAVIS, SOLO-II, ARVOR, а наиболее распространенными буи APEX, использование которых постепенно уменьшается. Подтверждением уменьшения является диаграмма 1.1, составленная на данных о количестве запуска каждого вида, представленных буёв за разные года.

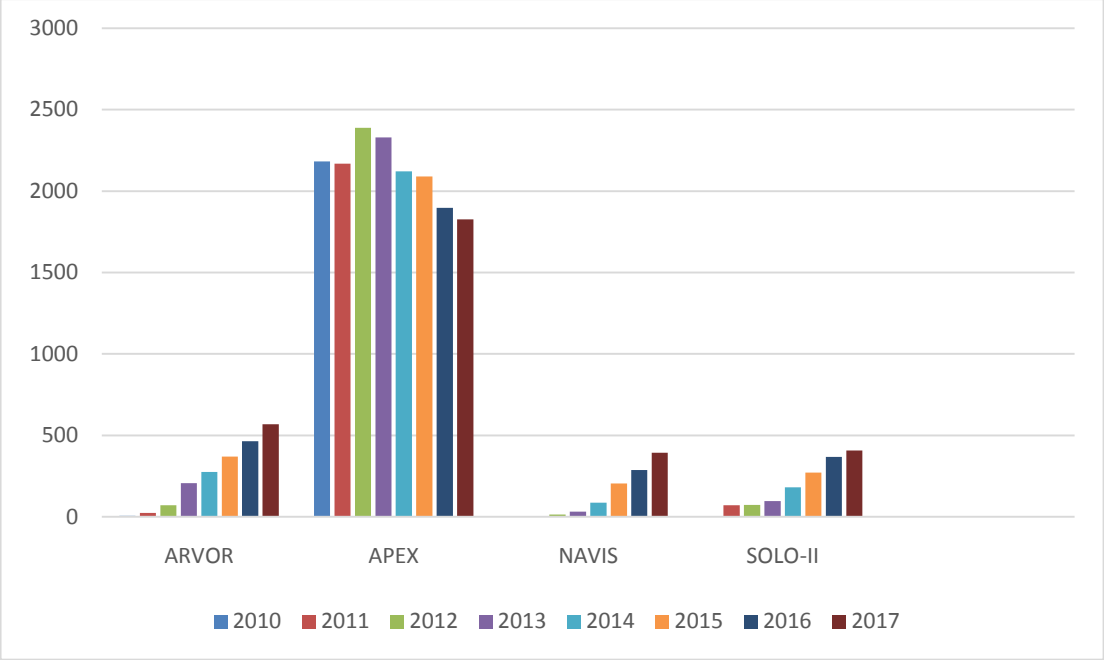


Диаграмма 1.1-Сравнение количества запуска различных видов буёв в период с 2010 по 2017 года

На основе вышеперечисленных данных можно сделать вывод о том, что при помощи системы «Argo»возможно получать:

- своевременные (в реальном времени) данные для прогноза состояния океана;

- данные для наладки, работы моделей состояния океана и парных моделей (допустим, океан-атмосфера);

- точные и качественные климатические 3D схемы состояния Мирового океана и параметры их временной изменчивости;

- временные ряды параметров теплового состояния Мирового океана и морской воды;

- параметры состояния промежуточной (заданная глубина дрейфа) и глубинной водных масс (на данный момент эта глубина составляет около2000м);

- характеристики течений в 2000-метровом слое океана;

- данные для объяснения глобальных феноменов в атмосфере и океане (Эль-Ниньо-колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, имеющее заметное влияние на климат);

- данные необходимые для определения абсолютного уровня Мирового океана.

Кроме этого были выявлены недостатки:

- негативное влияние на экологическое состояние Мирового океана;

-стоимость буёв.

*Результат 2.*Проведен анализ применения данных зондирования водной среды для освещения гидрофизических условий мирового океана.

Были рассмотрены основные виды гидрофизических характеристик, которые возможно измерить при помощи системы«Argo», к ним относятся соленость(электропроводность), температура и давление, используя эти данные можно вычислить плотность морской воды, но что более важно для данной работы скорость распространения звука в ней

Все измерения производится в основном комплектами датчиков SBE-41, RBRargo, а ранее FSI. Данные сравнения характеристик представлены в таблице 1.2.

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

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

При анализе таблицы было выявлено, лучшим вариантом по показателям погрешностей на данный момент является комплект SBE-41. Если требуется более глубокое погружение в пределах 6000 м используется RBRargo.

Применение системы «Argo»для освещения гидрофизических характеристик в ближайшем будущем позволит составить базу данных о данных характеристиках, которая позволит делать прогнозы состояния Мирового океана. А по полученной базе данных возможно определить скорость распространения звука в морской воде, а также явления, сопровождающие её изменение, от которых будет зависеть работа гидроакустической аппаратуры, практически в любом районе Мирового океана.

*Результат 3.*Был проведен обзор применения данных зондирования водной среды для построения профилей гидрофизических характеристик.

Рассмотрены основные профили гидрофизических характеристик являются профили солёности, температуры и скорости звука.

Профиль температуры показывает распределение температуры с глубиной. От изменения температуры во много зависит распространение скорости звука в морской воде, особенно в приповерхностном слое. Термоклин – резкое изменение температуры при нём появляется при наличии несмешивающихся слоев воды с разными температурами. Рефракция звука в термоклине довольно сильно изменяет свой характер. Часто следствием термоклина является резкое увеличение скорости на определенной глубине.

Профиль солености показывает распределение солёности с глубиной. При резком изменении этой гидрофизической характеристики возникает галоклин.Галоклин играет важную роль в вертикальной стратификации плотности (расслоении плотности).«Солевые пальцы» явление, сопровождающееся более высоким значением солёности на поверхности и пониженным в более глубоких слоях.

*Профиль распространения скорости звука*играет важную роль в работе гидроакустической аппаратуры. Этот профиль сопровождается следующими

явлениями: положительная и отрицательная рефракция, подводный звуковой канал, приповерхностный звуковой канал, зона тени и др. Построения данного профиля в системе «Argo» не производится.

При использовании данных полученных системой «Argo»был составлен алгоритм, который позволяют оценивать распределение скорости звука практически любого района Мирового Океана.

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

1. Для расчета необходимо задать координаты прямоугольной области, 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);

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.

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

В ходе работы была реализована *часть алгоритма*,которая позволяет рассчитать и построить среднестатистический профиль распространения скорости звука для заданного месяца. Было проведено тестирование этой части, результата представлен на рисунке 3.8, на котором 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.

Данные, получаемые в результате выполнения данной части программы, необходимы для проектирования системы помощи принятия решений при мониторинге затопленных объектов, а также 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 совокупности данных получаемых системой «Argo»и написанным программным комплексом можно сделать вывод о том, что при помощи системы Argo можно составить довольно точную картину гидроакустического состояния практически любого района Мирового Океана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Официальный сайт «Argo»– [http://www.argo.net/] Дата обращения: 20.03.2017;
2. Официальный сайт продукции «Teledyne Marine» (буи APEX) [http://www.teledynemarine.com] Дата обращения: 20.02.2017;
3. Информационный сайт проекта «Argo»- [http://www.argo.ucsd.edu/]Дата обращения: 17.02.2017;
4. Данные о проекте «Argo» в России- [Проект АРГО в России] Дата обращения: 15.02.17;
5. Л.А. Жуков. Общая океанология. / Под редакцией проф., д-ра физ.-мат. наук Ю.П. Доронина; сост. В. Г. Кожевников. – Ленинград: Гидрометиздат, 1976г. - 376 с.;
6. Официальный сайт продукции «Sea-BirdScientific» (описание буя NAVIS и датчиков SBE)-[http://www.seabird.com/] Дата обращения: 20.02.2017;
7. Официальный сайт продукции«MRVsystems» (описание буя SOLLO-II) - [http://mrvsys.com/our-products/] Дата обращения: 20.02.2017;
8. Официальный сайт продукции «"Richards Brancker Research Ltd"»- [https://rbr-global.com/] Дата обращения: 3.04.2017
9. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика. - СПб.: Судостроение, 1990— 320 с;
10. Данные о проекте «Argo»- [http://www.jcommops.org/] Дата обращения: 20.05.2017;
11. Официальный сайт продукции «nke-instrumentation» (описание буёв ARVOR и PROVOR)- [http://www.nke-instrumentation.com/] Дата обращения: 20.02.2017;
12. Официальный сайт продукции «Falmouth Scientific, Inc.»- [http://www.falmouth.com/] Дата обращения: 3.04.2017;

13. GoogleEarth- [https://www.google.ru/intl/ru/earth/] Дата обращения: 8.05.2017
14. Общие сведения о системе «Argo» в Wikipedia- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Арго] Дата обращения: 7.03.2017
15. Морские исследования России- [http://ocean.extech.ru/ioc/programs/argo.php] Дата обращения:
16. Данные АРГО от Кариолиса –[http://coriolis.eu.org/cdc/argo.htm]
17. Данные АРГО из проекта США ГОДАЭ – [http://www.usgodae.org/argo/argo.html] Дата обращения:16.02.2017;
18. Описание стандартного буя «Argo»- [http://www.argo.ucsd.edu/float_design.html] Дата обращения:17.02.2017;
19. Описание буя NAVIS- [http://www.seabird.com/navis-autonomous-profiling-float] Дата обращения:20.03.2017
20. Описание цикла работы буя-[http://www.argo.ucsd.edu/traj_cyc_timing.html] Дата обращения:30.04.2017
21. Сайт управления «Argo»- [http://www.argos-system.org/] Дата обращения:30.04.2017
22. АО Концерн ОКЕАНПРИБОР- [http://www.oceanpribor.ru/text/1.htm] Дата обращения:3.03.2017;
23. CLUB-FISH- [http://club-fish.ru/poleznye-sovety/termoklin-po-vremenam-goda.html] Дата обращения: 27.03.2017
24. Букатый В.М. Промысловая гидроакустика и рыболокация: Учебник для вузов. - Москва: Мир- 469с.
25. Виды профилей Морской воды- [http://furnicarium.ru/blog/lepra/585.html] Дата обращения: 20.04.2017;
26. Энциклопедия Физики и техники- [http://femto.com.ua/articles/part_1/0766.html] Дата обращения:21.04.2017;

27. Студопедия-[http://studopedia.info/1-36636.html] Дата обращения:20.02.2017;
28. Корабел.ру-[https://www.korabel.ru/dictionary/detail/556.html]
29. Данные о акустической тени-[http://wiki.wargaming.net/ru/Nav] Дата обращения:6.06.2017;
30. Особенности распространения звука в воде-[http://collectedpapers.com.ua/ru/bioacoustics-of-fishes/osoblivosti-poshirennya-ta-viprominyuvannya-zvuku-u-vodi] Дата обращения:5.03.2017.