

Глава 2.

2.1. Методика исследования рельефа дна океана

(Добролюбова К.О., Абрамова А.С., Барамыков Ю.Е., Зарайская Ю.А. Пономарев А.С.)

2.1.1 Краткое описание эхолотов и их технических возможностей.

На НИС «Академик Николай Страхов» в конце 2005 г. была установлена и введёна в эксплуатацию гидроакустическая система картирования океанского дна фирмы Resson, прошедшая испытания в 23 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (январь-апрель 2006 г.).

В январе 2006 г. в рамках проведения приемных испытаний эхолотов в условиях тихой погоды и максимального отключения посторонних акустических излучателей, а также судовых механизмов и агрегатов был измерен уровень шумов (данные приведены в таблице 2.1.1).



Табл. 2.1.1

Уровень шумов НИС «Академик Николай Страхов»

Скорость (узлы)	SeaBat 8111 (100kHz) Уровень шума [dB re 1μPa//1m]	SeaBat 8150 (12kHz) Уровень шума [dB re 1μPa//1m]
0	0.35	0.20
2	0.80	1.00
4	1.00	0.70
6	1.00	1.30
8	1.80	1.30
10	2.20	2.00
12	2.30	2.50

По итогам измерения судно признано акустически пригодным для работы с гидроакустическими системами картирования океанского дна. Наиболее благоприятным для проведения съемки признан режим работы в диапазоне скоростей от 2 до 8 узлов.

Система картирования океанского дна включает в себя:

- программно-аппаратный комплекс SeaBat 81xx, включающий в себя многолучевые эхолоты SeaBat 8111 (мелководный) и SeaBat 8150 (глубоководный);
- GPS, сенсоры движения и гирокомпас, объединенные в приборе OCTANS;
- датчик скорости звука у антенн эхолотов SVP-70;

- программного пакета сбора и обработки данных — PDS 2000;
- внешний датчик для измерения скорости звука в водной толще — SVP-30 (диапазон измерений до глубины 2000 м.)

Программно-аппаратный комплекс картирования океанского дна SeaBat 81xx состоит из следующих стандартных компонентов:

- гидролокаторный процессор;
- приемная и передающая антенны;
- приемопередающий блок;
- соединительный кабель от процессора к приёмопередатчику;
- цветной монитор;
- трекбол (шаровой манипулятор).

Управление работой эхолотов осуществляется с гидролокаторных процессоров, управление записью поступающих данных координируется с помощью компьютера с установленным пакетом сбора данных PDS2000.

Гидролокаторные процессоры смонтированы на стойке в рабочем помещении и являются источником мощного сигнала для приемопередающего блока и головки гидролокатора. Головка гидролокатора состоит из двух перпендикулярных пьезокерамических решеток, объединенных в Т-образную конфигурацию, где передающая решетка (излучатель) расположена вдоль оси, а приемная (гидрофон) — поперек оси судна. Отраженный акустический сигнал с головки гидролокатора после усиления поступает в гидролокаторный процессор, где проводится подстройка фазы и амплитуды, формирование луча и обработка сигнала. Здесь генерируется видеосигнал, отображаемый на мониторе, а также цифровой выходной сигнал, который используется во внешней системе сбора и обработки данных.

Система SeaBat 8111 представляет собой многолучевую эхолокаторную систему диапазона 100 кГц, измеряющую относительные глубины по широкому (до 150°) сектору обзора перпендикулярно направлению движения судна. Расстояние до дна является функцией времени прихода отраженного сигнала и скорости звука в воде. Оцифровка отраженного сигнала происходит с высокой частотой, обеспечивающей высокое разрешение по дальности. Максимальный диапазон по дальности составляет 1400 м. Система SeaBat 8111 освещает сектор морского дна в 150° вкрест движения судна и 1,5° вдоль. Сектор состоит из 101 луча размером 1,5°x1,5° каждый при разрешении по детальности при определении дна равном 3,7 см. Ширина луча вдоль трассы может быть дискретно изменена от 1,5° до 6° с шагом 1,5°. Излучающая и гидрофонная секции головки гидролокатора установлены в днище судна (рис. 2.1.1).

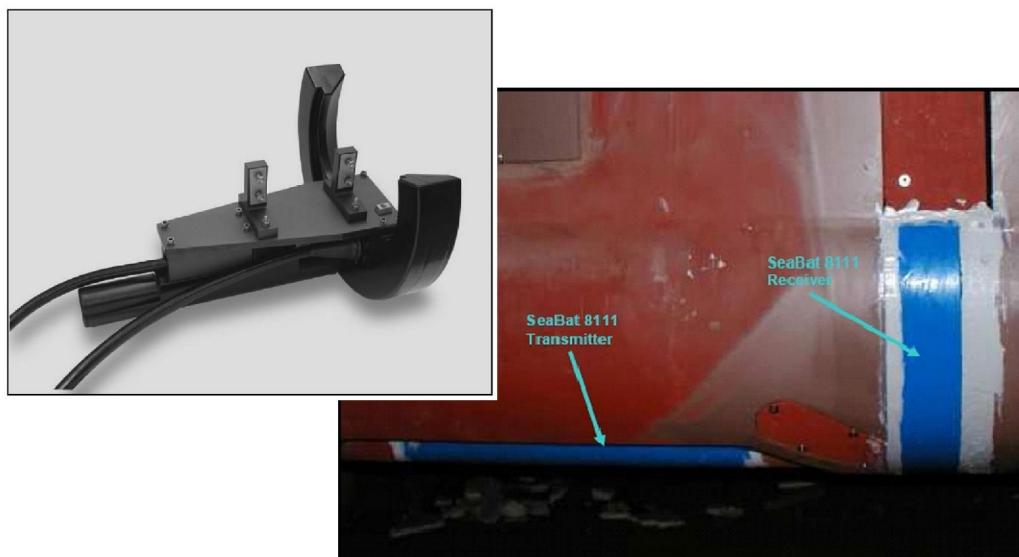


Рис. 2.1.1. Приёмная и передающая секции мелководного эхолота.

Настройки системы (мощность излучаемого сигнала, длина импульса излучения – пинга, количество пингов в секунду, килевая и бортовая стабилизация луча) контролируются оператором через гидролокаторный процессор. Информация о работе системы выводится в реальном времени на экран цветного монитора. Часть параметров, например, усиление принятого сигнала, может устанавливаться оператором как в автоматическом, так и в ручном режиме. На рисунке 2.1.2 приведен пример внешнего вида двух рабочих экранов системы визуализации. По умолчанию для контроля за основными параметрами сигнала используется главный экран (на рисунке справа). Экран Встроенного Текстового Режима (Built-In Test Environment — BITE) отображает диагностическую и конфигурационную информацию.

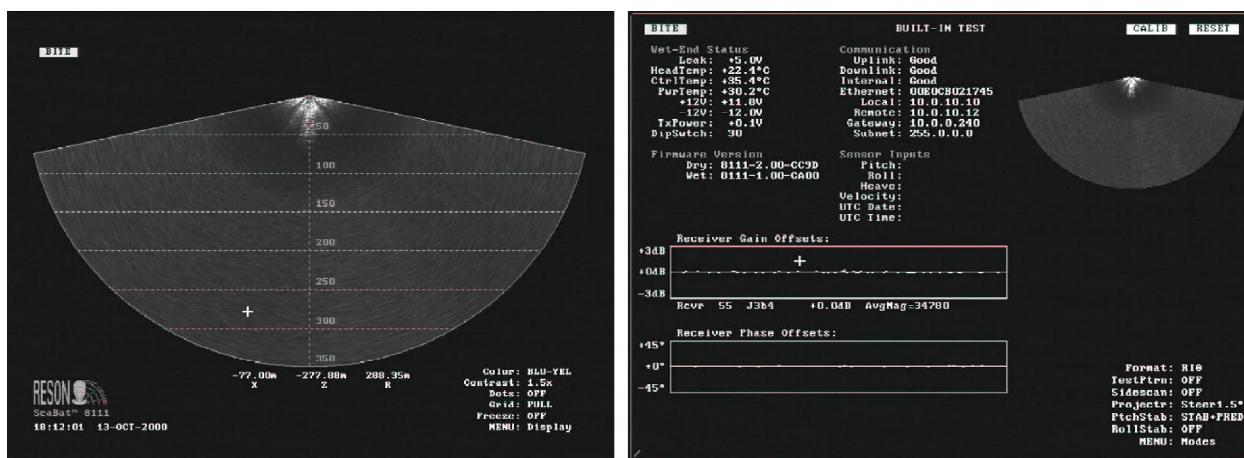


Рис. 2.1.2. Главный экран системы SeaBat (слева), экран BITE (справа).

Заявленные технические характеристики:

Табл. 2.1.2.

Эхолот SeaBat 8111, характеристики приема-передачи

Рабочая частота гидролокатора	100 кГц
Ширина луча поперек трассы	1.5° центральный луч
Ширина луча вдоль трассы	1.5°, 3.0°, 4.5° или 6.0° (выбирается оператором)
Килевая стабилизация луча	остается вертикальным для килевой качки ±15°
Число горизонтальных лучей	101
Разрешение по дальности	3.7 см (на всех диапазонах дальности)
Полоса охвата	150°

Табл. 2.1.3.

Эхолот SeaBat 8111, Полоса обзора дна

Глубина дна в метрах	Ширина полосы обзора в метрах
от 0.5 до 150	до 1110 (7.4 x глубины)
200	840 (4.2 x глубины)
300	810 (2.7 x глубины)
400	800 (2.0 x глубины)
500	500 (1.0 x глубины)
600	300 (0.5 x глубины)

Система SeaBat 8150 — глубоководный многолучевой эхолот излучает акустический сигнал диапазона 12 кГц в широком секторе (150°) перпендикулярно направлению движения судна. Приемная и передающая антенны гидролокатора расположены Т-образно в гондоле, приваренной к корпусу судна. Антенны собираются из отдельных модулей, обеспечивающих разную ширину луча эхолота. На НИС «Академик Николай Страхов» установлены антенны из 6 передающих и 6 приемных модулей, обеспечивающие ширину луча 2° (рис. 2.1.2)



Рис. 2.1.3. Передающие модули глубоководного эхолота 8150

Заявленные технические характеристики:

Табл. 2.1.4.

SeaBat 8150, характеристики приема-передачи

Рабочая частота гидролокатора	12 кГц	
Ширина луча поперек трассы	2° при 12 кГц в матрице 6x6	
Ширина луча вдоль трассы	1.5°, 3.0°, 4.5° или 6.0° (выбирается оператором)	
Бортовая стабилизация луча	остается вертикальным для бортовой качки ±20°	
Килевая стабилизация луча	остается вертикальным для килевой качки ±10°	
Число горизонтальных лучей	234	
Разрешение по дальности	Разрешение	Дальность
Полоса охвата	150°	

Табл. 2.1.5.

Эхолот SeaBat 8150, Полоса обзора дна

Глубина дна в метрах	Ширина полосы обзора в метрах
500	2700 (5.4 x глубины)
1000	4600 (4.6 x глубины)
2000	7100 (3.5 x глубины)
3000	7500 (2.5 x глубины)
5000	15000 (3.0 x глубины)

Для расчета глубин и их положения в пространстве система использует данные внешних датчиков: GPS, датчиков движения судна, данные о скорости звука у антенн эхолотов и в водной толще. Положение этих датчиков и антенн эхолота относятся к единой референц-точке, и расстояния между ними измеряются геодезическими приборами с высокой точностью. Эти измерения являются характеристикой судна, учитывающейся при проведении батиметрической съемки. На НИС «Академик Николай Страхов» референц-точка совпадает с точкой установки датчика OCTANS, установленного на уровне ватерлинии и максимально близко к продольной оси судна. Схема положения датчика и их смещения приведены ниже:

Табл. 2.1.6

Смещение датчиков.

No	Датчик	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	Octans	0.00	0.00	0.00
2	Антenna Trimble GPS	0.97	5.40	19.58
3	SeaBat 8150	1.60	2.36	-5.78
4	SeaBat 8111	1.60	6.62	-5.46
5	Edgetech SBP	1.60	-0.87	-5.73

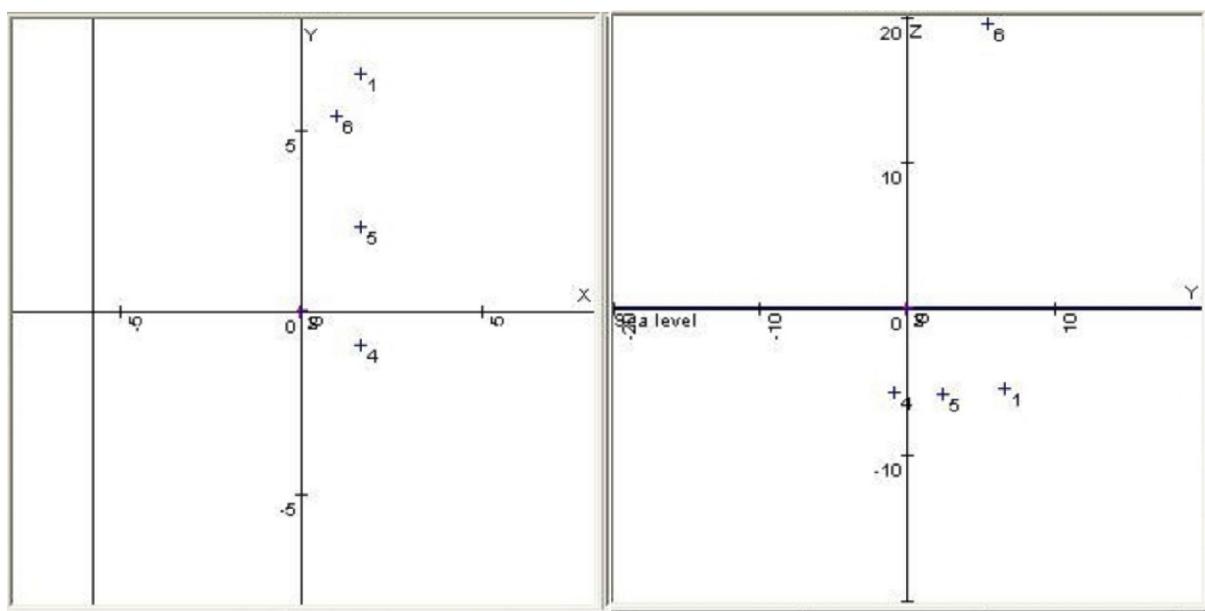


Рис. 2.1.4. Положение датчиков в плане вид сверху (слева), вид справа (справа).
Ось X – ширина корабля, Ось Y – длина корабля,
Ось Z – высота корабля, 0 – уровень моря.



Рис. 2.1.5 Антенна GPS.



Рис. 2.1.6 Сенсоры движения и гирокомпас, объединенные в приборе OCTANS.

SVP-70

Датчик SVP-70 (RESON Sound Velocity Probe) предназначен для измерения скорости звука через местную воду у антенн эхолота в режиме реального времени. Полученные значения используются гидролокаторным процессором для расчета отклонения луча эхолота в водной среде и коррекции выходных данных.

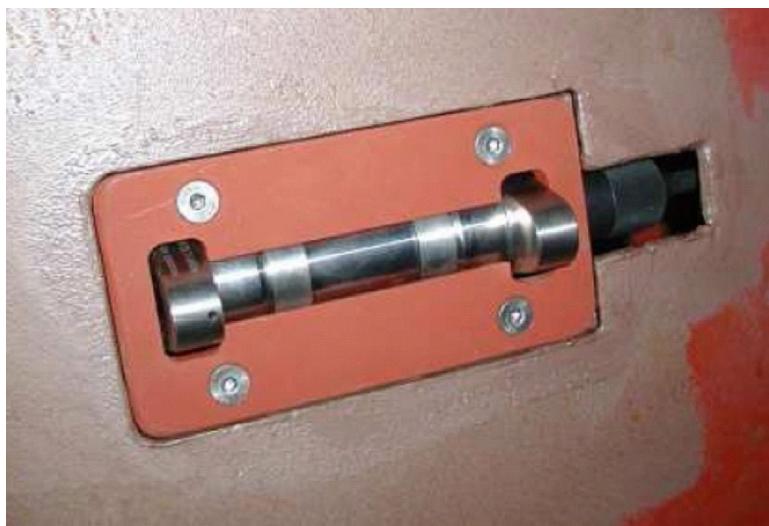


Рис. 2.1.7 Датчик скорости звука SVP-70 .

Табл. 2.7.

Технические. характеристики зонда SVP-70

Профиль звука	Диапазон	1,350-1,600 м/с
	Разрешение	0.1 м/с
	Погрешность	± 0.25 м/с
Глубина	Диапазон	2.000 м. (шаг 1м.)
	Погрешность	± 0.5 м/с + 0.2% от глубины
	Измерение	Сенсор давления

2.1.2 Измерение профиля скорости звука и его результаты.

Измерение профиля скорости звука в водной толще производится для расчета поправок к измеренным глубинам. Для этого используются зонды, опускаемые при станционных работах. Рекомендуется измерять профиль скорости звука в районе съемки при начале работ, до калибровки датчиков эхолота. Скорость звука для коррекции профиля при длительных работах должна измеряться и в конце съемки, а также при изменении физических свойств воды, что обычно проявляется в виде появления вогнутого или выпуклого профиля при плоском дне.



Рис. 2.1.8 Датчик скорости звука SVP-30 .



Табл. 2.1.8

Технические характеристики зонда SVP-30.

Профиль звука	Диапазон	1,350-1,600 м/с
	Разрешение	0.1 м/с
	Погрешность	±0.25 м/с
Глубина	Диапазон	2.000 м. (шаг 1м.)
	Погрешность	±0.5 м/с + 0.2% от глубины
	Измерение	Сенсор давления

2.1.3 Методика и результаты калибровки

Обязательным этапом до начала съемки является проведение калибровки датчиков движения судна. Калибровка – это процедура поиска значений поправок, т.е. установка места нуля датчиков движения судна, которое может меняться, например, в зависимости от заполнения танков и пр. условий. Поэтому калибровку рекомендуется проводить при начале каждой съемки, а если съемка длилась достаточно долго, то и в её конце. Полученные значения позволяют улучшить качество интерпретации принимаемого сигнала. Калибровка проводится по четырём параметрам: запаздывание, бортовая качка, килевая качка, и рысканье (latency, roll, pitch, yaw). Для вычисления каждого из этих параметров нужно соблюдать некоторые специфические условия съемки (см. табл. 2.1.9.)

Табл. 2.1.9

Условия съемки при проведении калибровки

Расчет величин	Условия
Запаздывание	Склон или характерные черты Те же линии Разная скорость Тот же курс (разница менее 90 гр.)
Бортовая качка	Плоское дно Те же линии Те же скорости Встречные галсы (желательно - более 90 гр.)
Килевая качка	Склон или характерные черты Те же линии Те же скорости Встречные галсы (желательно - более 90 гр.)
Рыскание	Склон или характерные черты Промежуток между галсами Те же скорости

Во время работ в 24 рейсе были проведены две калибровки многолучевых эхолотов. Первая калибровка была проведена в точке (N77°52', E09°50'). В результате калибровки были получены следующие значения:

Табл. 2.1.10**Результаты калибровок мелководного и глубоководного эхолотов.**

	запаздывание	бортовая качка	килевая качка	рысканье
8111	0.0	0.17	-1.53	-0.2
8150	0.0	0.3	-1.27	0.9

Вторая калибровка была проведена в точке ($N77^{\circ}42' E06^{\circ}00'$). В результате калибровки были получены следующие значения:

Табл. 2.1.11**Результаты калибровок мелководного и глубоководного эхолотов.**

	запаздывание	бортовая качка	килевая качка	рысканье
8111	0.0	-0.15	-1.13	0.7
8150	0.0	0.49	-0.79	0.46

Измерение фактического покрытия происходило на протяжении всего рейса. Следует отметить, что данные приведенные выше (см. табл. 2.1.10 и 2.1.11) соответствуют заявленным в методике проведения морских испытаний. Тем не менее наблюдается некоторое несоответствие техническим возможностям эхолота, поскольку имеет место корреляция качества определения дна со способом определения дна (см. рис. 2.1.9), а также не используются данные, краевых лучей из-за их плохого качества (до 30% количества лучей) (см. рис. 2.1.10).

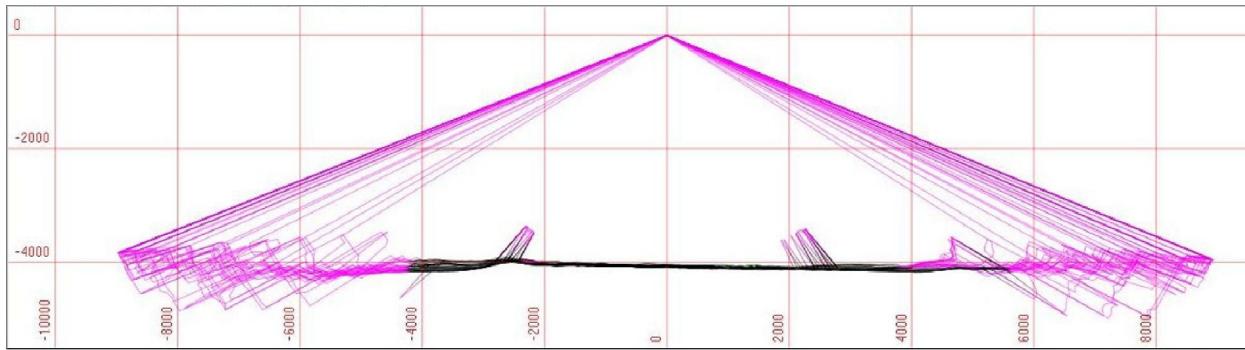


Рис. 2.1.9 Корреляция качества данных 8150 со способом определения дна.

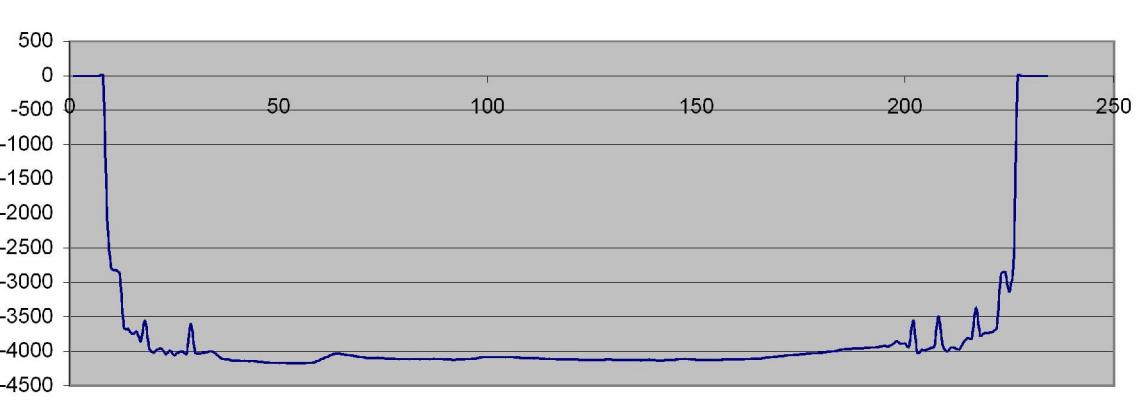


Рис. 2.1.10 Образец данных 8150 с количеством использованных лучей

Табл. 2.1.12

Дополнение к рисунку 2.1.10

Плохие лучи слева	32
Плохие лучи справа	36
Общее количество плохих лучей	68
Процент хороших лучей	70,94

2.1.4. Профили скорости звука на полигоне западнее о. Шпицберген и их интерпретация.

Во время работ на полигоне западнее о. Шпицберген было выполнено шесть станций, на которых проводились измерения профиля скорости звука. (таб. 2.1.13., рис. 2.1.11.)

Станции измерения скорости звука в воде.
24 рейс НИС "Академик Николай Страхов"

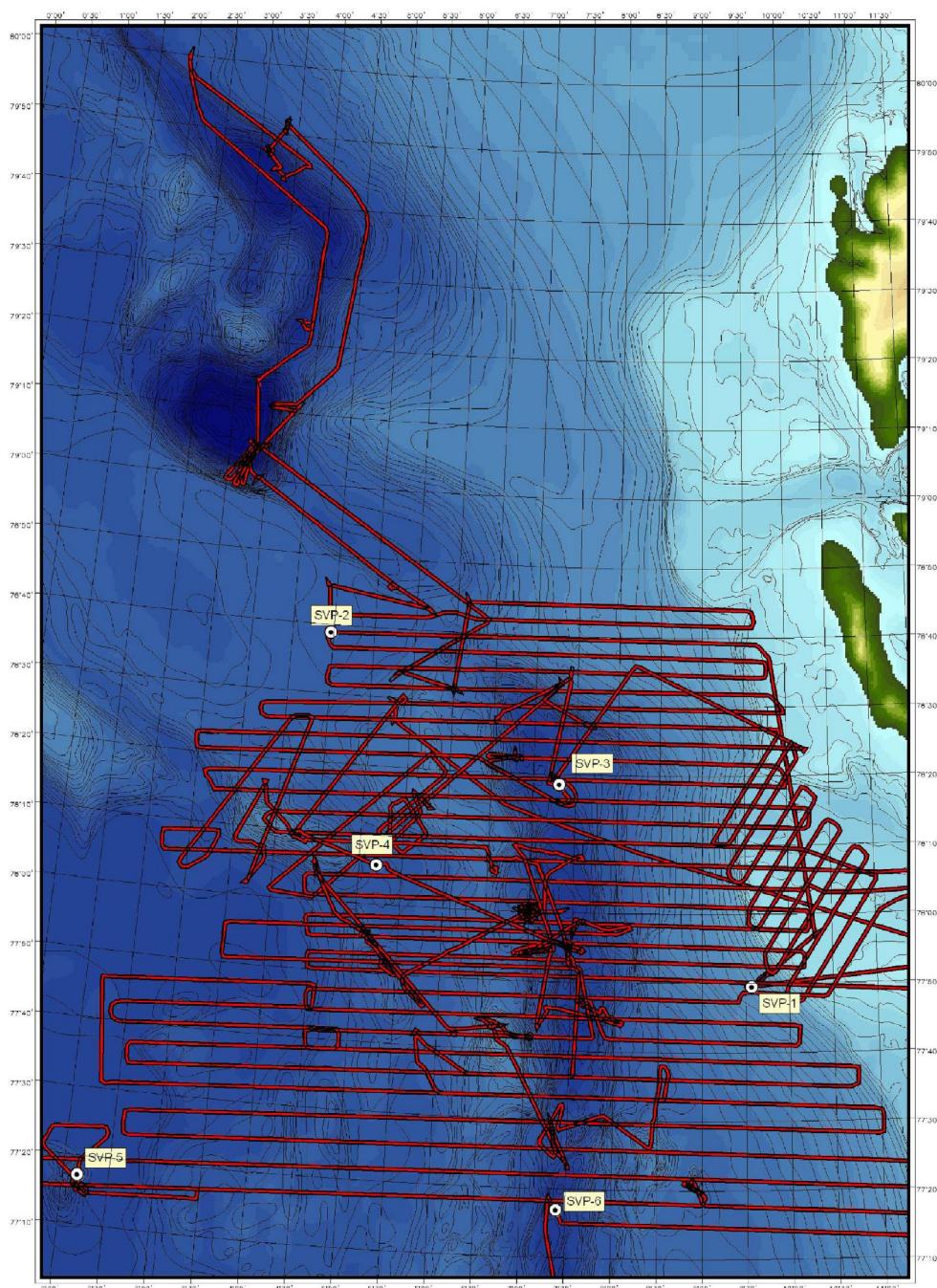


Рис.2.1.11. Положение станций измерения скорости звука в водной толще

Табл. 2.1.13

Координаты станций.

No.	Дата измерения	Широта	Долгота	Зонд
1	31.08.2006	77.8242	9.5680	SVP-25
2	01.09.2006	78.6467	4.4712	SVP-25
3	16.09.2006	78.3082	7.3150	SVP-25
4	24.09.2006	78.0945	5.2067	SVP-25
5	03.10.2006	77.2852	2.1638	SVP-25
6	07.10.2006	77.2817	7.4017	SVP-25

Измерения профилей скорости звука проводились с помощью зонда SVP-25 (RESON Sound Velocity Probe). Измерения скорости звука на поверхности воды в режиме on-line проводились с помощью датчика SVP-70, установленного на корпусе судна.

Проба №. 1 была сделана на границе шельфа и континентального склона, поэтому при обработке в шельфовой зоне применялись данные только этой пробы. Проба №. 4 представляет собой наиболее общий случай, то есть она отражает общую обстановку в данном районе. На рисунке видно что она применяется к центральной части полигона, краевые части полигона обрабатывались с использованием локальных данных.

Проба №. 5 была неудачной (интервал полученных значений от 0 до 140 м.), и не использовалась при обработке данных, в интервале полученных значений не наблюдается зона скачка. На рисунке 2.1.12 указаны границы районов для которых применялись осреднённые профили скорости звука.

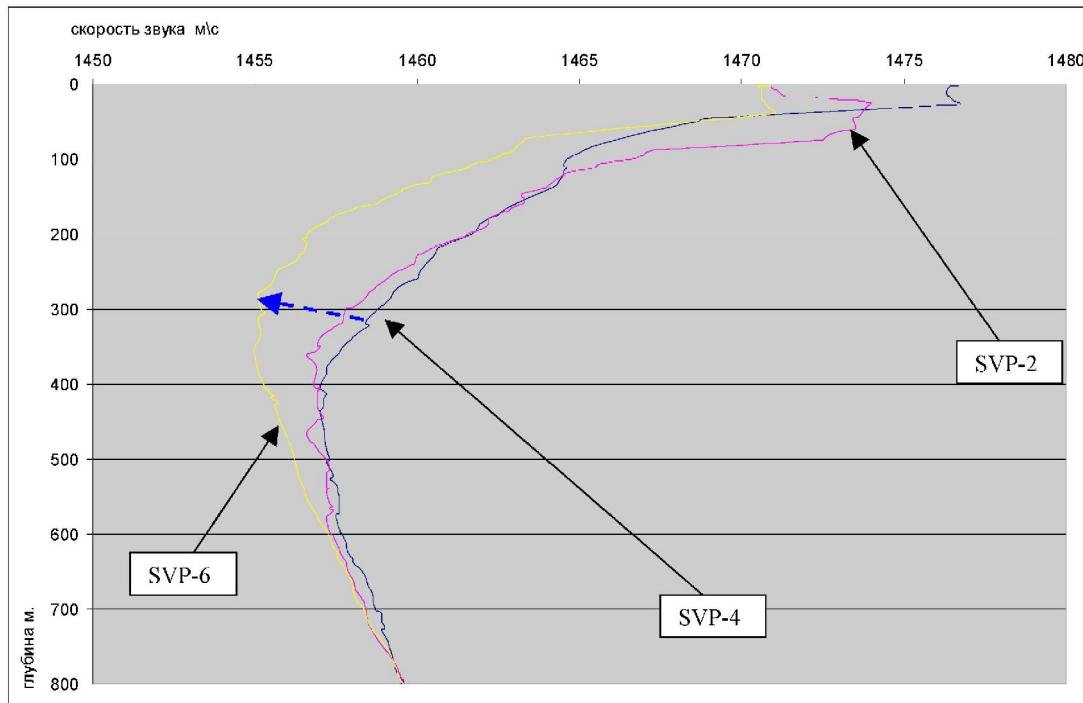


Рис. . 2.1.12. Сравнение профелей с севера на юго-восток

На рисунке 2.1.12. стрелкой показано направление перемещения зоны скачка. Средние значения скорости звука уменьшаются с юга на север. Скорость звука на поверхности воды также уменьшается с юга на север.

2.1.5. Система сбора и хранение данных

Сбор, визуализация и обработка данных осуществляются в программе PDS2000. Пакет PDS2000 позволяет производить сбор данных и последующую их обработку «полного цикла», то есть из «сырых» данных можно получить на выходе готовую карту с полным оформлением, без использования программ сторонних производителей.

Программно-аппаратный комплекс на основе эхолотов серии 81xx, кроме выше перечисленного оборудования (см. табл. 2.1.6), включает в себя два персональных компьютера, один для сбора данных в реальном времени, другой для хранения и обработки ранее полученных данных (с соответствующими ключами программы – on-line и off-line). Для того чтобы поддерживать удовлетворительный уровень получаемых данных необходимо присутствие оператора. Основной задачей оператора является контроль работоспособности системы, и контроль качества получаемых данных.

Полученные данные хранятся на жестком диске компьютера, используемого для обработки данных; кроме того, сразу после окончания полигона или перегонного участка производится архивация данных и копирование архивов на DVD-носитель в двух экземплярах. То есть, ведётся запись сырых данных еще не обработанных оператором. Объём данных в сутки в формате **pds** и **xtf**, составляет примерно 4Гб при непрерывной съёмке. Данные прекрасно архивируются, степень сжатия достигает 25% от исходного объёма.

Обработка данных может производиться как после окончания полигона, так и параллельно с работой на полигоне, для этого делается оффлайновая копия проекта, в которую данные подгружаются по мере поступления из онлайнового проекта. Данные могут обрабатываться на нескольких компьютерах.

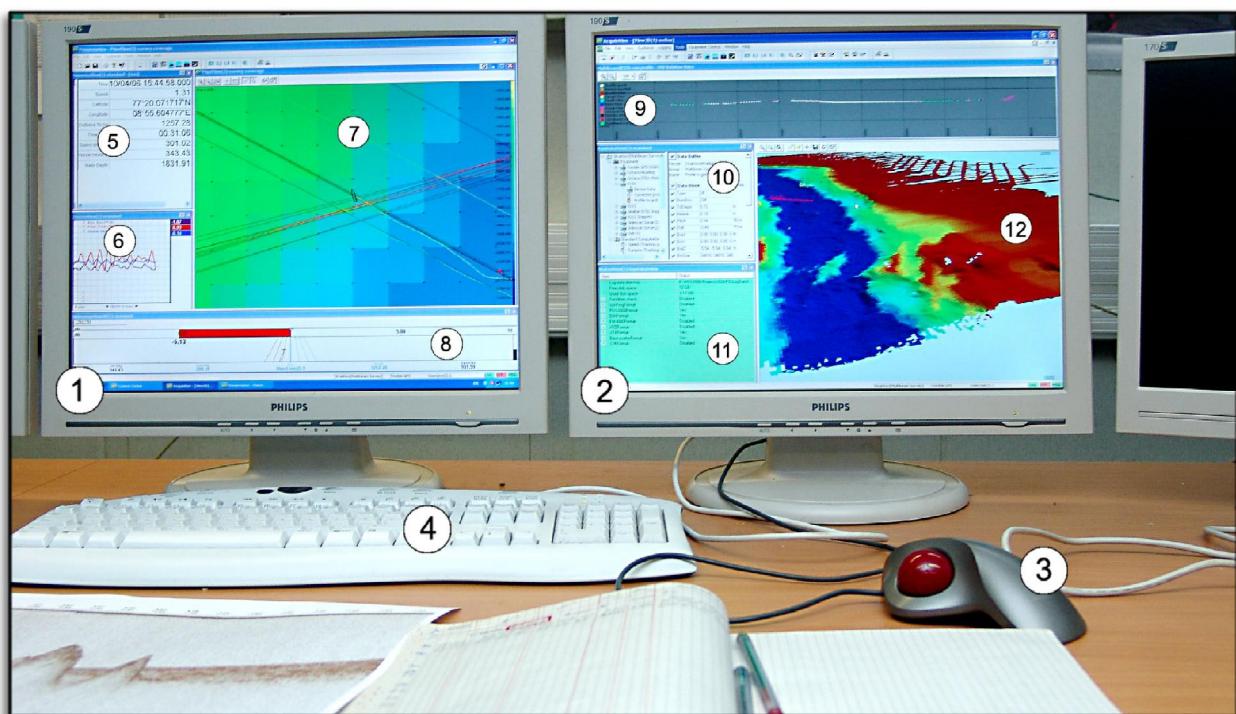


Рис. 2.1.13 Внешний вид программы PDS2000 в рабочем режиме.

Цифрами обозначены: 1 – рабочее окно Presentation; 2 – рабочее окно Acquisition; 3 – трекбол (шаровой манипулятор); 4 – клавиатура; 5 – окно NumericsView-standart (nav); 6 – окно TSeriesView-standart; 7 – окно PlanView-survey coverage; 8 – окно HelmsmanView-3D-standart; 9 – окно Raw Profile Quality Control; 10 – окно RawDataView; 11 – Окно StatusView; 12 – окно 3d-online.



Массивом записи и соответственно обработки данных является проект – папка, в которой хранятся все настройки и все получаемые данные, в частности в проекте содержится информация о положении датчиков (см. табл. 2.1.6) и т.д. Перед началом съемки необходимо создавать проект, учитывая особенности предстоящей съемки, то есть заранее подгрузить в проект нужные проекции, выбрать модель эллипсоида, выбрать формат измерения широты, долготы и расстояний и т.д.

Новый проект можно формировать с нуля или использовать предыдущий проект как шаблон, внося лишь некоторые изменения, но в целом сохраняя полную конфигурацию используемого оборудования. Необходимо обратить внимание на то, что во время работы с проектом в реальном времени, то есть при сборе данных (во время съемки) нельзя менять параметры заранее не внесенные в проект при его создании. Имеется в виду то, что при переходе например из зоны UTM Zone-27 (N) в зону UTM Zone-27 (S), программа автоматически выберет нужную проекцию, только в том случае, если на стадии создания проекта все необходимые проекции были подгружены. В противном же случае придется прервать съемку и подгрузить нужную проекцию, и только после этого продолжать работу.

Программа PDS2000 состоит из нескольких модулей, управление которыми осуществляется через «Контрольный Центр» (**Control Centre**). В нем создаются конфигурация проекта, находятся базы геодезических данных (проекции, эллипсоиды), профили скорости звука и т.д. Через контрольный центр запускается режим Real Time или Reply, из него же запускается режим сбора данных (**Acquisition**) и режим обработки (**Processing**). Далее приводится их краткое описание и функции.

- **Acquisition** обеспечивает организацию и контроль над сбором данных в реальном времени. В нем модуль **Guidance** обеспечивает навигационные задачи, т.е. планирование съемки и контроль за прохождением галсов. Состояние оборудования контролируется через **Equipment Control**, сбор данных - через модуль **Logging**.

Данные визуализируются в нескольких окнах по выбору оператора.

В окне RawDataView отображаются все данные поступающие в реальном времени от всех датчиков. Наличие значений в полях того или иного устройства, свидетельствует о том, что оно работает. По этим данным квалифицированный оператор может самостоятельно оценить правильно ли работает определённое устройство. Отсутствие значений в полях наблюдаемого устройства свидетельствует о том, что устройство отключено, или работает некорректно.

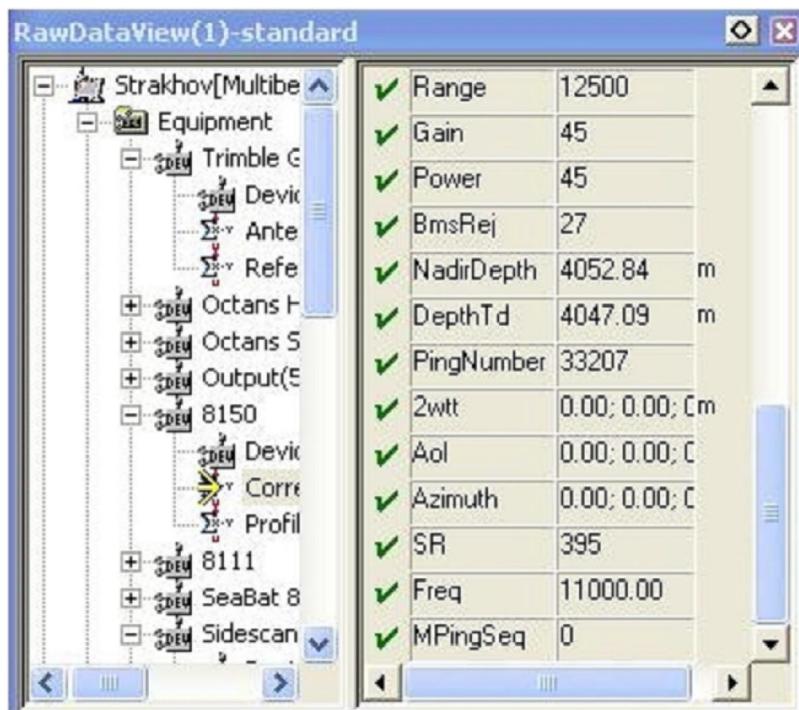


Рис. 2.1.14 Окно RawDataView.

StatusView(1)-logstatusview	
Item	Status
Log data directory	C:\PDS2000\Projects\01Strakh...
Free disk space	113 GB
Used disk space	3.25 GB
+ Condition check	Disabled
+ WinFrogFormat	Disabled
+ PDS2000Format	Yes
+ DtmFormat	Yes
+ EM3000Format	Disabled
+ XYZFormat	Disabled
- XTFFormat	Yes
Current file	Strakhov[Multibeam Survey].N...
Size	1.51 MB
Start time	19:12:57
Average log rate	9.38 KB
+ BackscatterFormat	Yes
+ S7KFormat	Disabled

Рис. 2.1.15 Окно StatusView.

В окне StatusView оператор может наблюдать в каком формате записываются данные в настоящий момент, и сколько свободного места осталось на жестком диске.

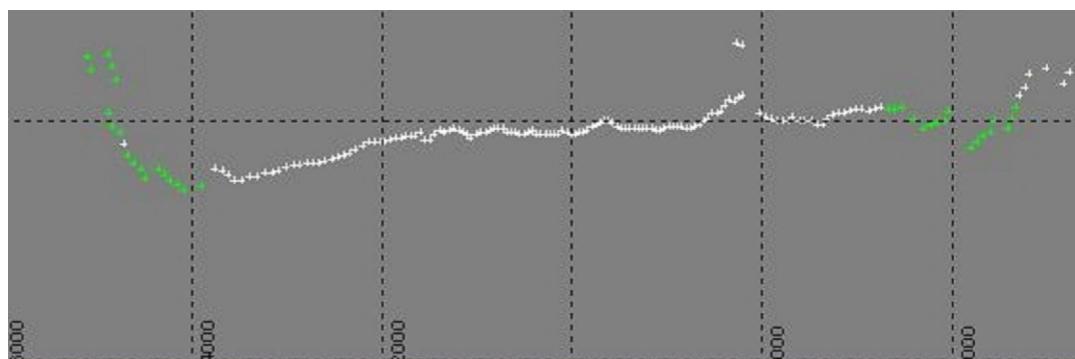


Рис. 2.1.16 Окно Raw Profile Quality Control, отражающее качество принимаемого сигнала.

Также есть возможность следить за областью покрытия в реальном времени на экране **Survey coverage** и на экране **3d-online**.

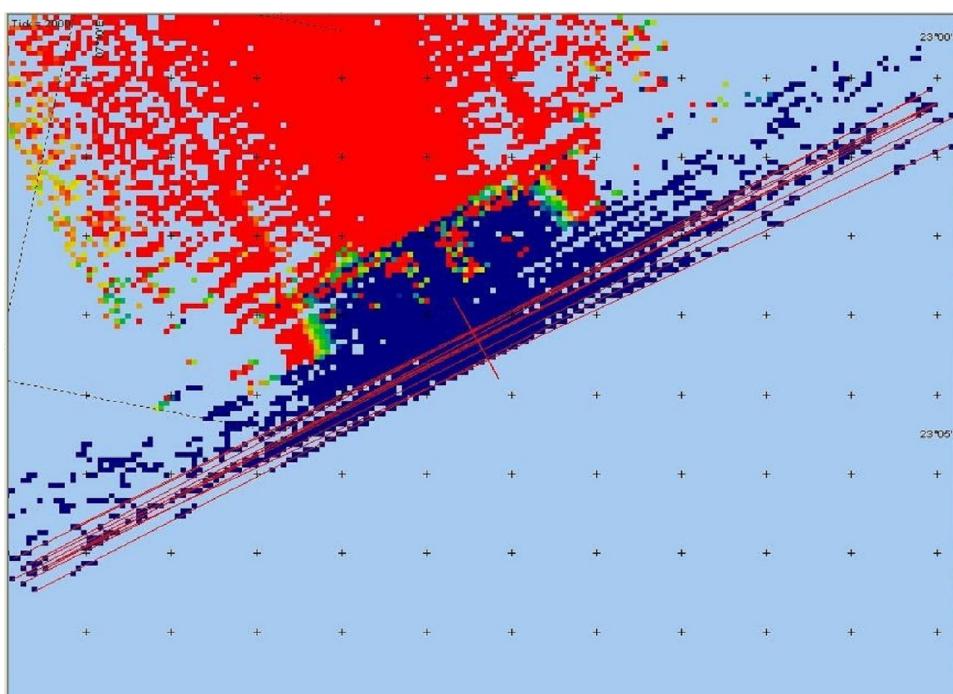


Рис. 2.1.17 Окно Survey coverage.

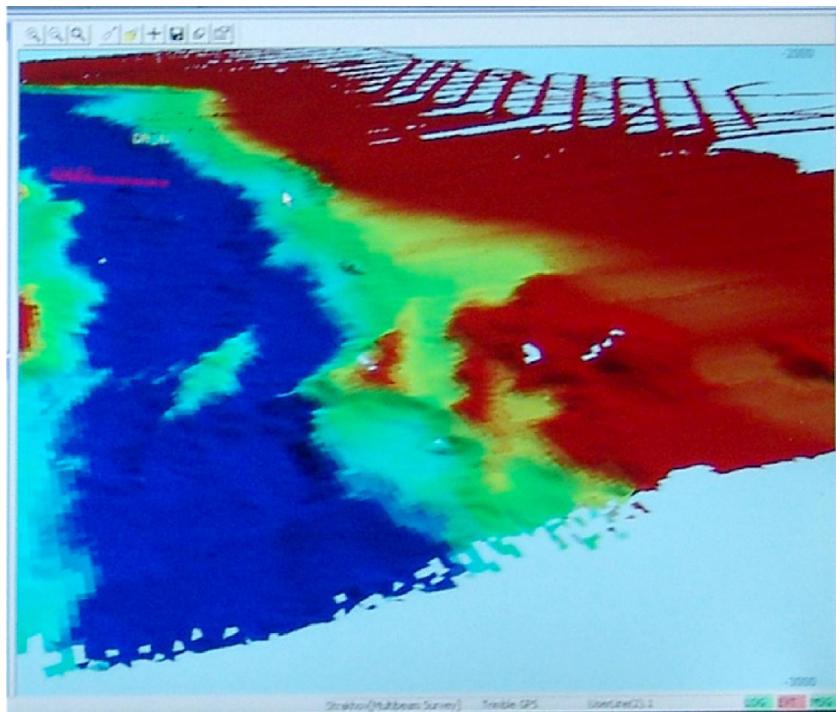


Рис. 2.1.18 Окно 3d-online.

Кроме режимов **Acquisition** и **Processing**, через контрольный центр может быть запущен режим **Presentation**, который обеспечивает связь оператора и рулевого. В этом режиме на отдельном мониторе отображаются галсы, заданные оператором в режиме **Acquisition**, и другая информация, например курс и скорость судна, полезная рулевому. Для активированных оператором линий задается коридор, и рулевой может направлять корабль в нужном направлении, в заданном коридоре. На мостике стоит дублирующий монитор (см. рис. 2.1.19).

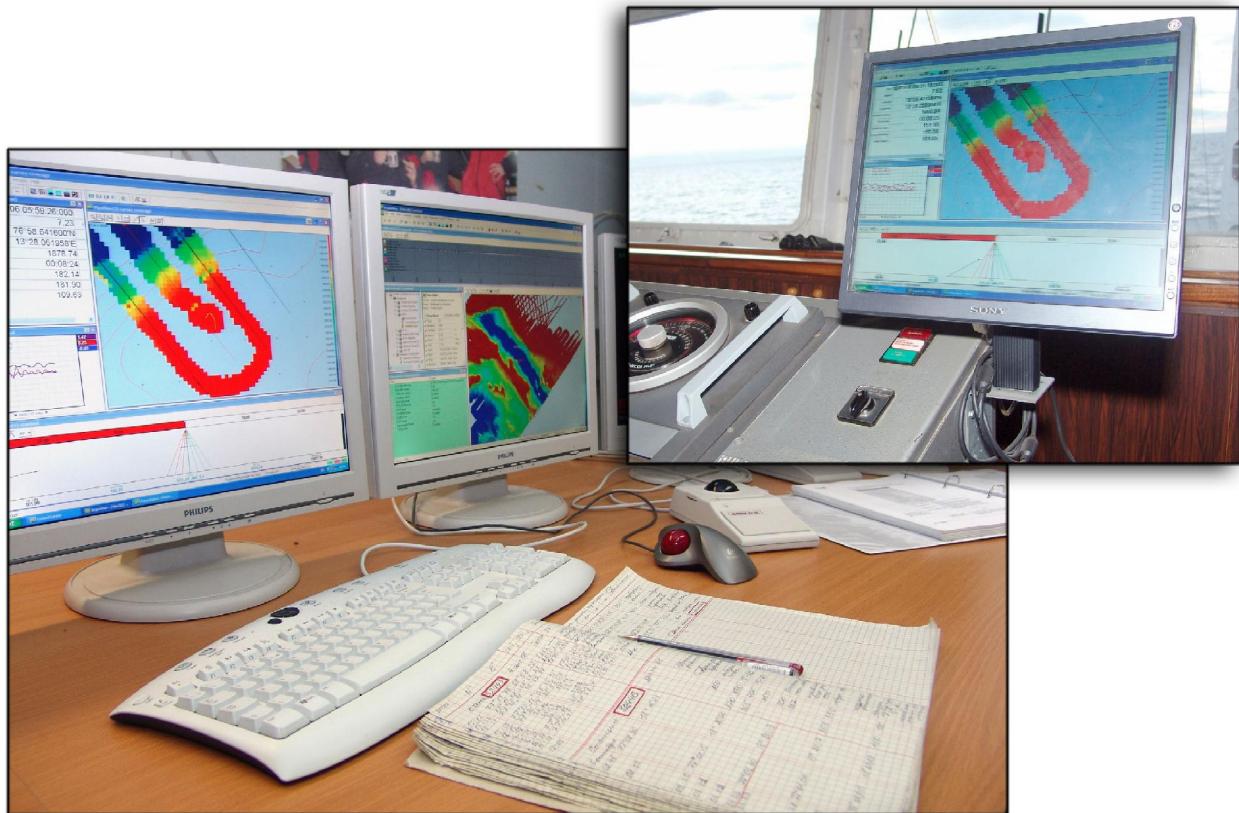


Рис. 2.1.19 Рабочее место оператора на ВЦ и дублирующий монитор на мостике.

2.1.6. Обработка батиметрических данных и построение цифровой модели рельефа.

Обработка батиметрических данных производится с помощью пакета программ PDS2000, в режиме Processing. Отдельные модули в этом режиме позволяют редактировать (Editing) данные навигации и батиметрической съемки, создавать цифровые модели рельефа, представлять их в виде различных карт и выводить на печать.

В модуле Editing для удобства редактирования данные могут быть рассмотрены в различном отображении.

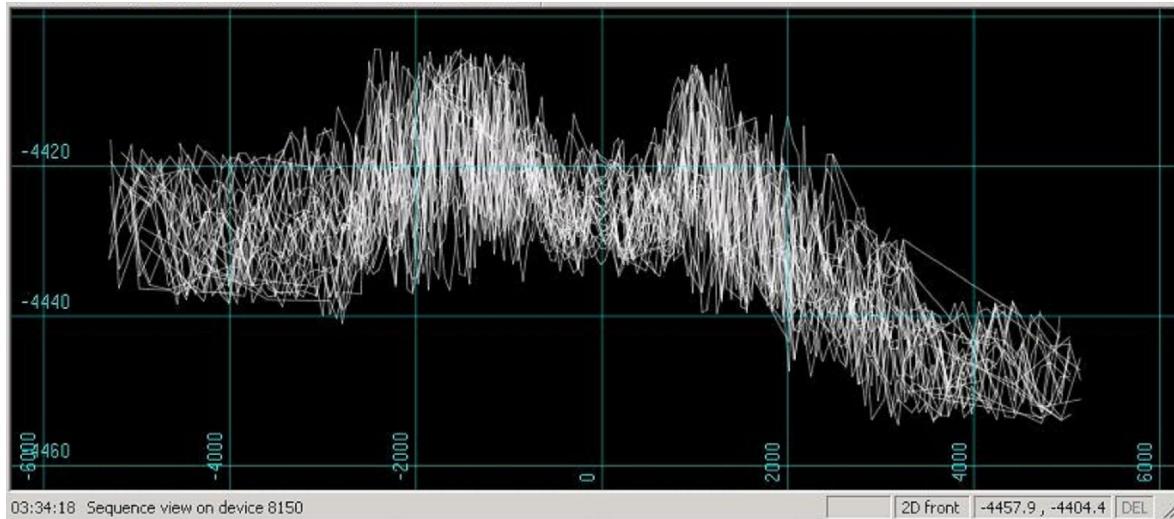


Рис. 2.1.20 2D view в режиме Editing .

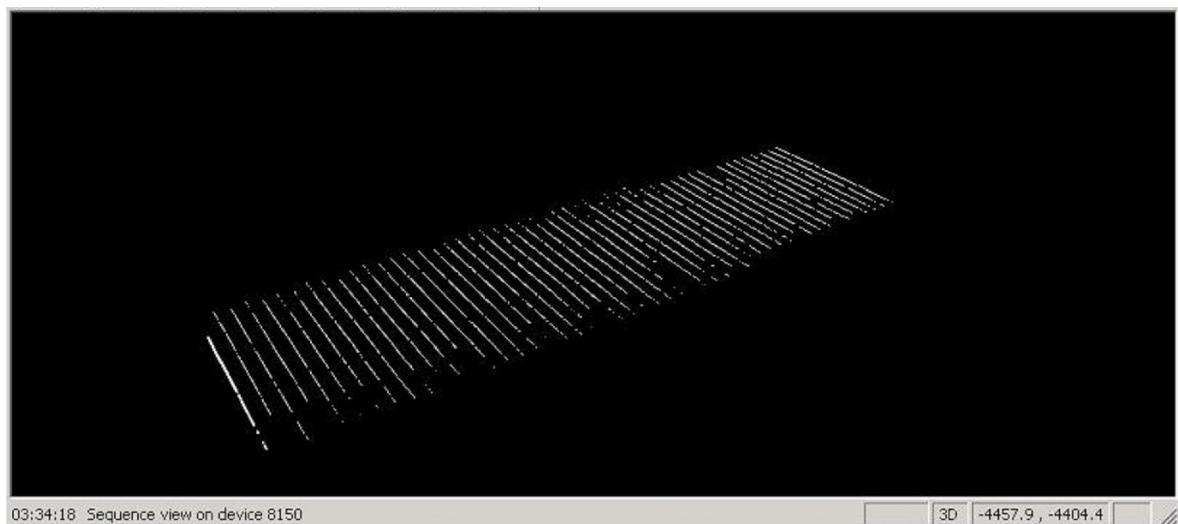


Рис. 2.1.21 3D view в режиме Editing

На приведенных рисунках представлены два режима отображения данных многолучевой съемки, 2D (рис. 2.1.20) и 3D (рис. 2.1.21). В основном оператор работает с 2D режимом, так как именно в нем можно удалять отскоки в массиве данных, в тоже время 3D режим необходим оператору для более четкого представления с какой формой рельефа он работает в данный момент.

Существует два способа редактирования, первый – чистка данных с помощью фильтров, второй – вручную. Чистка данных вручную позволяет получить больший процент кондиционных данных на выходе, но требует существенно больших затрат времени. Использование фильтров (см. рис. 2.1.22) существенно облегчает задачу оператора, но процент кондиционных данных на выходе сокращается примерно на 1/5.

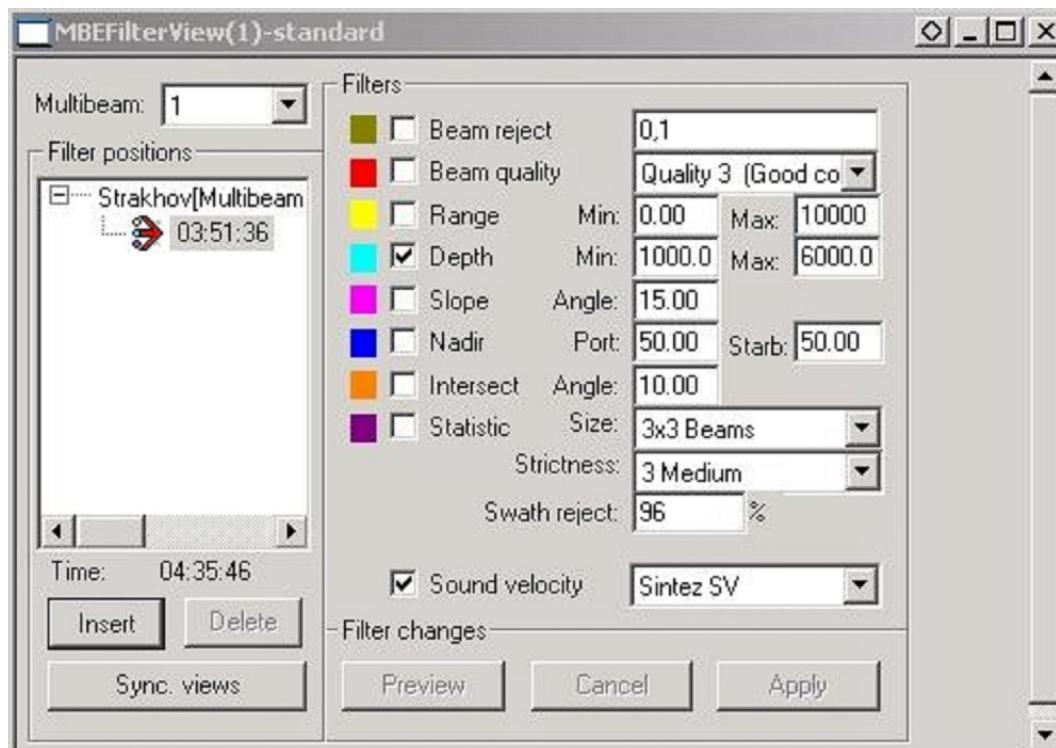


Рис. 2.1.22. Меню фильтрации в режиме Editing (применён фильтр по глубине и введена коррекция данных по профилю скорости звука).

Соответственно, для получения быстрых результатов желательно использование фильтров, что приведёт к относительно небольшой потере в площади покрытия. Полученные таким образом данные можно использовать для построения абриса или обзорной карты. При более детальной обработке данных желательно не пользоваться фильтрами или применять их только в тех случаях когда удаление отскоков вручную практически невозможно (в этом случае кондиционные данные наложены на явные отскоки и удаление последних приведёт к потере всех данных в редактируемой области). Для опытных операторов приемлема работа двумя способами, совмещая их на своё усмотрение.

Качество редактирования может быть проверено путем создания цифровой модели и рассмотрения ее в 3-хмерном изображении. После того как данные обработаны, проект архивируется и сохраняется на DVD-носитель в двух экземплярах.

Окончательный вариант карты и трехмерного изображения может быть сохранен и распечатан. Из отредактированного проекта можно экспортить также данные в «xyz-облако точек» и построить карту в программах сторонних разработчиков, или воспользоваться приложениями входящими в пакет PDS2000.

2.2. Аппаратура и методика геофизической съемки

(Соколов С.Ю., Ефимов В.Н., Зайончек А.В. Маликина Ю.Я, Мутовкин А.Д., Усов В.В., Черных А.А., Ямпольский К.П.)

2.2.1 Описание методики непрерывного сейсмического профилирования (НСП)

Метод непрерывного сейсмического одноканального профилирования (НСП) направлен на получение рекогносцировочной информации о строении верхней части осадочного чехла с высоким разрешением (от 10 до 30 м) при частотном диапазоне от 20 до 500 гц и проникновением в осадки в среднем около 1000 мсек при поступательном движении судна со скоростью 10-12 узлов. В зависимости от конкретной сейсмогеологической обстановки параметр проникновения может меняться в 2 раза как в сторону уменьшения так и увеличения. Бесперебойность съемки достигается благодаря полному независимому резервированию всех основных компонентов системы. Основной задачей НСП в районе срединного хребта, абиссальных котловин и поднятий является картирование мощности осадочного чехла, залегающего на базальтовом акустическом фундаменте, изучение его акустической стратификации и тектонической деформированности. Решение этих задач в полном объеме для континентального склона и шельфа средствами НСП недостижимо.

Съемка проводилась при скорости судна 10 узлов. Диапазон ожидаемых глубин в районе работ (от 50 до 4500 м) и эффективная длина сейсмограммы по осадкам позволили установить период подрыва источника равным 8 секундам. Это обеспечивает плотность данных по профилю приблизительно 40 метров на трассу. При воспроизведении в масштабе 1:200000 плотность трасс составляет 50 на 1 см. При основной частоте спектра излучения 75 гц и средней глубине дна 2000 метров диаметр первой зоны Френеля составляет около 300 метров. Это означает, средняя эффективная отражающая площадка от трассе к трассе имеет перекрытие около 87 %, что обеспечивает приемлемую коррелируемость разреза при наличии осадочного чехла.

Погодные условия на протяжении экспедиции были разными. В 40 % съемочного времени ветер и волнение были менее 3 баллов, и благоприятными для безопасного проведения работ. В остальное время работы проводились в тяжелых условиях, что отразилось на соотношении сигнал\шум и привело к появлению сильных некогерентных помех. Спускоподъемные операции осуществлялись, как правило, без снижения скорости. Работа необходимых лебедок на кормовой палубе была обеспечена машинной командой, система подачи сжатого воздуха и накопления его в ресивер были наложены к моменту начала работ. Палубной командой были обеспечены необходимые работы по обустройству буксировочного такелажа (блоки, вращение кран-балок, распахнутый выстрел правого борта).

2.2.2 Описание аппаратуры НСП

Основной объем НСП выполнен с группой пневмоизлучателей (ПИ) ПСК-75 (Ефимов, 1992, 1998, 2002, 2003) с типоразмерами рабочих камер 0.5 л и 1 л, собранных в рабочее состояние на базе буксируемых стабилизаторов (см. Рис.2.2.1). Буксировались 2 идентичных ПИ: оба работающих или один работающий и один резервный с двух бортов судна с полностью автономной системой подачи сжатого воздуха и управления, что обеспечило практически полную непрерывность съемки (См.Рис.2.2.2). Глубина буксировки 5-7 м в зависимости от волнения моря, среднее рабочее давление 60 атм. Расстояние от излучателей до кормы судна - 4 метра за кормой, расстояние между излучателями - 15 метров. Все излучатели позволяют производить их безопасный ввод в эксплуатацию непосредственно под водой в рабочем положении.



Рис. 2.2.1. Пневмоситоник сейсмических волн, собранный на базе буксируемого стабилизатора (Фото - Соколов С.Ю., 2000)

На судне стационарно установлены 2 отечественных электрических компрессора ЭК-7.5-З производительностью 12.8 л/мин (200 атм.) и 2 английских электрических компрессора 4TH20A производительностью 4.5л/мин (150 атм). Все выходы компрессоров высокого давления объединены трубопроводами в систему, питающую 2 сферических ресивера высокого давления суммарным объемом 2000 л. из которой сжатый воздух может быть подан в лабораторию и или на кормовую палубу.

Для стабилизации рабочего давления применены редукционные клапаны высокого давления. При работе в условиях холодной погоды (высокие широты), для исключения замерзания конденсата, разработан и предложен нагреватель сжатого воздуха и изготовлены оригинальные соединения шлангов высокого давления без изменения их проходного сечения.

Управление возбуждением сейсмического сигнала ПИ осуществляется блоком управления БУП5 с регулируемой длительностью вскрытия управляющего элемента ПИ. Непосредственный запуск каждого ПИ осуществляется управляемыми пневмозатворами с компенсацией давления на основе изобретений (Ефимов 1998, 2000).



Рис. 2.2.2. Система подачи сжатого воздуха из ресивера (румпельное помещение) через кормовую лабораторию в камеры пневмоисточников. (Фото - Соколов С.Ю., 2006)

Основные параметры излучателя ПСК75:

- диаметр выхлопного окна - 75 мм;
- объемы сменных рабочих камер, л.: 0.125, 0.25, 0.5, 1.0;
- диапазон рабочих давлений: 30-200 атм.;
- задержка запуска: в пределах 9-12 мсек.
- разброс момента запуска: менее 0.4 мсек.;
- глубина буксирования 4-7 м.;

Кривая давление-время и амплитудный спектр для излучения одиночного пневмоизлучателя с объемом камеры 1 л. при давлении 60 атм. погруженного на глубину 6 м вместе с сигналом-спутником косы на той же глубине показан на рис.2.2.3.

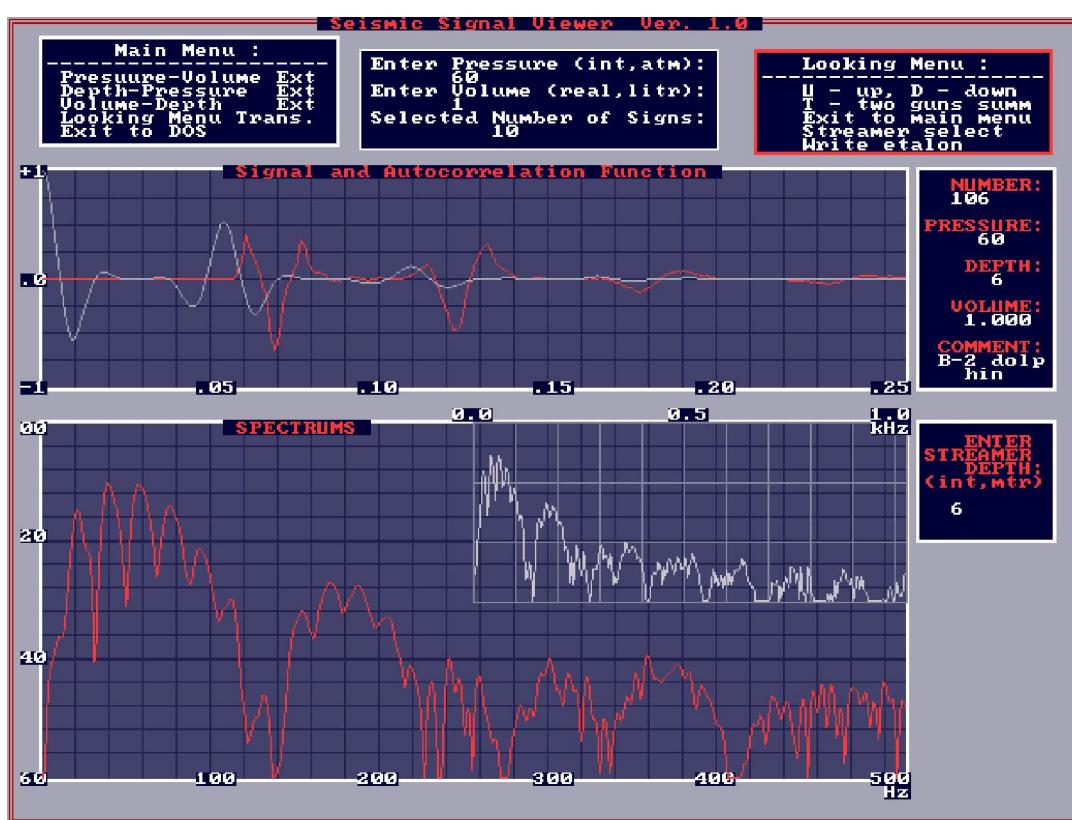


Рис. 2.2.3. Сигнал, функция автокорреляции и спектр ПИ при рабочих параметрах съемки.

Буксирование ПИ производится при помощи кабель-троса на оригинальном несущем устройстве (см. Рис.2.2.1), которое позволяет устойчиво удерживать ПИ на необходимой глубине на скоростях съемки 10 - 12 узлов.

Схема соединения и подвода коммуникаций к излучателям обеспечивает осуществление спуско-подъемных операций практически в любую погоду на полной скорости движения судна при работе 2-3 человек стационарной гидравлической или переносной ручной лебедками.

Спуск-подъем сейсмокосы осуществляется сейсмической гидравлической лебедкой, стационарно установленной на корме судна, с полным съемом несущего кабеля с барабана лебедки и подсоединением его к сейсмостанции в помещении лаборатории. Буксирование сейсмокосы осуществляется с выносом из кильватерной струи с помощью стационарных поворотных выстрелов правого или левого борта.

Прием сигналов осуществляется во время работ на вакуумную (Ефимов, 1993) или обычную косу с жидкостным заполнением с длиной приемной базы 30 метров на 51 приемник ПДС-21, помещенную в полихлорвиниловый шланг, заполненный соляром (см. рис.2.2.4).



Рис. 2.2.4. Сейсмическая коса, уложенная на корме перед намоткой на лебедку. (Фото - Соколов С.Ю., 2000)

Вакуумный амортизатор конструкции ГИН РАН – 10 м. Хвостовая водяная секция – 10м. Веревочное охвостье 20 м. Приемная система замыкается согласующей трансформаторной секцией. Сейсмическая коса буксировалась на кабель-тросе в 140-150 метрах от кормы судна. Расстояние от антенны GPS до середины установки взрыв-прибор составляло приблизительно 110 метров. Это расстояние также корректировалось по задержке прямой волны относительно момента запуска системы, являвшейся расстоянием от источника до начала приемной базы. Вариация длины отражает регулировку глубины погружения косы, которая составляла 5-7 метров, что было проверено путем согласования спутников сигнала, а также по минимумам спектра шума. Большая часть работ была выполнена при буксировке косы от кормы судна с выстrela правого борта.

Основные технические характеристики сейсмокосы:

- чувствительность канала 10 мкВ/бар;
- частотный диапазон 20-10000 Герц;
- согласующее устройство сменное: трансформатор или эмиттерный повторитель.

2.2.3 Цифровая регистрация данных НСП

Сигнал с косы поступает на дифференциальный вход усилителя сейсмостанции НСП2001/МЦ (Производство НГТУ) (См. Рис. 2.2.5). Подбор фильтрации составлял 60 - 800 Гц для цифровой записи и 60 - 500 Гц для вывода аналогового сигнала на электротермический самописец RayTheon LSR-1807M для экспресс-визуализации в 4-ти секундном окне. Значение нижнего среза частоты регистрации обусловлено тем, что до этого значения шумы обтекания сейсмокосы на скоростях 10-12 узлов весьма велики и данное значение является оптимумом, выявленным по многочисленным экспериментам.

Цифровая регистрация сигналов осуществлялась после аналоговой фильтрации и усиления на встроенный в станцию компьютер типа IP-III при помощи звуковой карты до 14 разрядного представления с фиксированной точкой в динамическом диапазоне 84 dB, с частотой квантования 2.2 kHz. При помощи программного модуля SNSP.EXE (см. Рис.2.2.6), поставляемого вместе со станцией, осуществлялась регистрация сигналов, запись их на жесткий диск компьютера (до 40 Gb) в формате SEGY (MSB, целые двухбайтовые последовательности) и визуализация на дисплее. Объем записи в течение суток составлял около 360 Mb. Синхронизация дан-

Рис. 2.2.5. Приборная стойка кормовой лаборатории, включенная в сеть Now Break, оснащенная двумя станциями НСП2001/МЦ, монитором, сетевым концентратором для связи с локальной судовой вычислительной сетью, блоком управления магнитометра, блоками управления пневмоизлучателями, блоком усиления и фильтрации для подачи сигнала на аналоговый самописец. (Фото - Соколов С.Ю., 2006)



ных с координатным промером (с последующей дозаписью данных GPS в TraceHeader) осуществлялась через привязку станции к Гринвичскому времени. Программа обладает широкими возможностями для параллельной визуализации сейсмических трасс в реальном времени на дисплее компьютера в заданном временном окне.

Основные параметры аналогового тракта цифровой станции НСП:

- максимальный коэффициент усиления: 1000000;
- фильтры: Баттерворт 4 порядка;
- крутизна срезов: 45 дБ/окт
- полоса пропускания: левые срезы: 20, 60, 120, 230, 300, Гц; правые срезы: 400, 800, 1000, 1500, 2800, Гц;
- предусмотрены вход и выход сигналов TTL для внутренней или внешней синхронизации.



Рис. 2.2.6. Скриншот монитора сейсмостанции во время работы. (Фото - Соколов С.Ю., 2006)

Регистрация в программе SNSP происходит по тем параметрам, которые задаются на аналоговом блоке станции. Регулировки усиления и фильтрации, изменяемые на дисплее, отражают только дисплейный вывод и не сказываются на параметрах записи.



Список литературы

Ефимов В.Н. Сейсмический пневмоизлучатель. Патент РФ № 2204848. 20 мая 2003 г.
(Приоритет от 06 Августа 2001 г.)

Ефимов В.Н. Сейсмический пневмоизлучатель. Патент РФ № 2204845. 20 мая 2003 г.
(Приоритет от 19 Ноября 2001 г.)

Ефимов В.Н., Чиликов А.М. Управляемый пневмозатвор источников сейсмических сигналов. Патент РФ № 2174241. 27 Сентября 2001 г. (Приоритет от 25 февраля 2000 г.)

Ефимов В.Н. Сейсмический пневмоизлучатель. Патент РФ № 2109310. 20 Апреля 1998 г.
(Приоритет от 23 Ноября 1992 г.)

Ефимов В.Н. Управляемый пневмозатвор источников сейсмических сигналов. Патент РФ № 2109309. 20 Апреля 1998 г. (Приоритет от 23 Ноября 1992 г.)

Ефимов В.Н. Сейсмическое морское буксируемое приемное устройство. Патент РФ № 2111513. 20 Мая 1998 г. (Приоритет от 12 Октября 1993 г.)

2.3. Методика изучения верхней части осадочного чехла по данным акустического профилирования

(Соколов С.Ю.)

2.3.1 Общее описание профилографа и его технические характеристики

В рамках контракта №18127 по установке системы картирования океанского дна на борт НИС «Академик Николай Страхов» был установлен непараметрический профилограф EdgeTech 3300 (США) (далее ПР), предназначенный для картирования строения верхней части осадочного чехла (50-100 метров) с высоким разрешением (от 1 до 0.1 метра). ПР был поставлен в модификации, жестко монтируемой в гондолу (Hull Mounted), привариваемую к днищу судна и содержащую остальное акустическое оборудование (См. Рис. 2.3.1)



Рис. 2.3.1. Гондола, несущая забортное акустическое оборудование, приваренная к днищу НИС «Академик Николай Страхов» (Фото - Барамыков Ю.Е., 2005)

ПР был поставлен в максимальной апертурной модификации приемно-излучающей матрицы: 5x5, обеспечивающей на частоте 4.5 кГц эффективную ширину диаграммы направленности около 20°. (См. Рис.2.3.2)



Рис. 2.3.2. Основная часть приемно-излучающей матрицы 5x5 датчиков в упаковочном ящике (Фото - Барамыков Ю.Е., 2005)

Управление работой ПР полностью осуществляется с управляемого наборного компьютера и силового блока: включение системы осуществляется одной кнопкой. (См. Рис.2.3.3)



Рис. 2.3.3. Рабочая стойка с управляющим компьютером и силовой частью EdgeTech 3300. Рядом справа – дисплейный массив SeaBat 8111/8150/7111/7150. (Фото - Соколов С.Ю., 2005)

Заявленные технические характеристики ПР выглядят следующим образом:

Frequency Range	2-16 kHz		
Pulses (user selected)	2-16 kHz, 2-12 kHz, 2-10 kHz		
Vertical Resolution (depends on pulse selected)	6-10 cm		
Penetration (typical)			
In coarse calcareous sand	80 meters		
In clay	6 meters		
Beam Width	Array Size	4.5 kHz Center Frequency	6 kHz Center Frequency
	2 x 2	40°	33°
	3 x 3	30°	25°
	4 x 4	24°	20°
	5 x 5	20°	17°
Calibration Options	A system can be calibrated for reflection coefficient measurements 4 kW amplifier, lower frequency arrays		
	<small>Specifications subject to change without notice.</small>		

Профилирование и получение детальных разрезов осадков в условиях океанских глубин 4000-5000 метров требует использования максимальной мощности сигнала и как можно более узкой диаграммы направленности, чтобы при фиксированном эффективном угле получать приемлемое горизонтальное разрешение, в связи с чем прибор был приобретен с максимальной апертурной модификацией 5x5. Параметрические ПР обеспечивают эффективные углы диаграммы направленности до 1.5°, но стоят в 3-4 раза дороже, приближаясь по цене к эхолоту. Для обеспечения максимальной глубины проникновения для работы в 24 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» был выбран вариант работы с частотно-модулированным сигналом от 2 до 5 кГц (центральная частота 3.5 кГц) именуемым в данной системе CHIRP и длительностью 100 милисекунд, подлежащий внутри процессора корреляционной обработке. Другие варианты работы ПР не использовались. Единственным переключением было опробовано на плоском дне с развитым осадочным чехлом изменение частот до максимальных (12 кГц, длительность 20 милисекунд), при котором наблюдалось троекратное падение проникновения сигналов вглубь осадков (до 30 метров) и вертикальное разрешение около 0.3 метра. Параметры

разрешения и проникновения, заявленные в таблице не реализуются одновременно: максимальное проникновение и максимальное разрешение достигаются для разных частотных диапазонов излучений. За недостатком времени в рейсе не было проведено полное сравнение всех режимов работы ПР, поскольку большая часть из них предназначена для сугубо мелководных и других задач.

На рисунке 2.3.4 показан образец записи с вертикальным разрешением (плотностью) около 12 отражений на 10 м, что соответствует разрешению около 80 см. Поскольку в таблице характеристик разрешение указано только для максимально высокочастотного диапазона и минимальной длительности импульса, которые мы не использовали при съемке, мы можем сравнить это значение с заявленным только поделив его на два (за счет отличающейся в два раза центральной частоты сигнала) и поделив его на 5 (итого в 10 раз) за счет разной длительности сигнала. Получается цифра 8 см, что соответствует заявленному значению для высокочастотных диапазонов. Поскольку для нашей рабочей частоты разрешение не заявлено, будем считать, что оно такое, какое должно быть исходя из общих физических соображений.

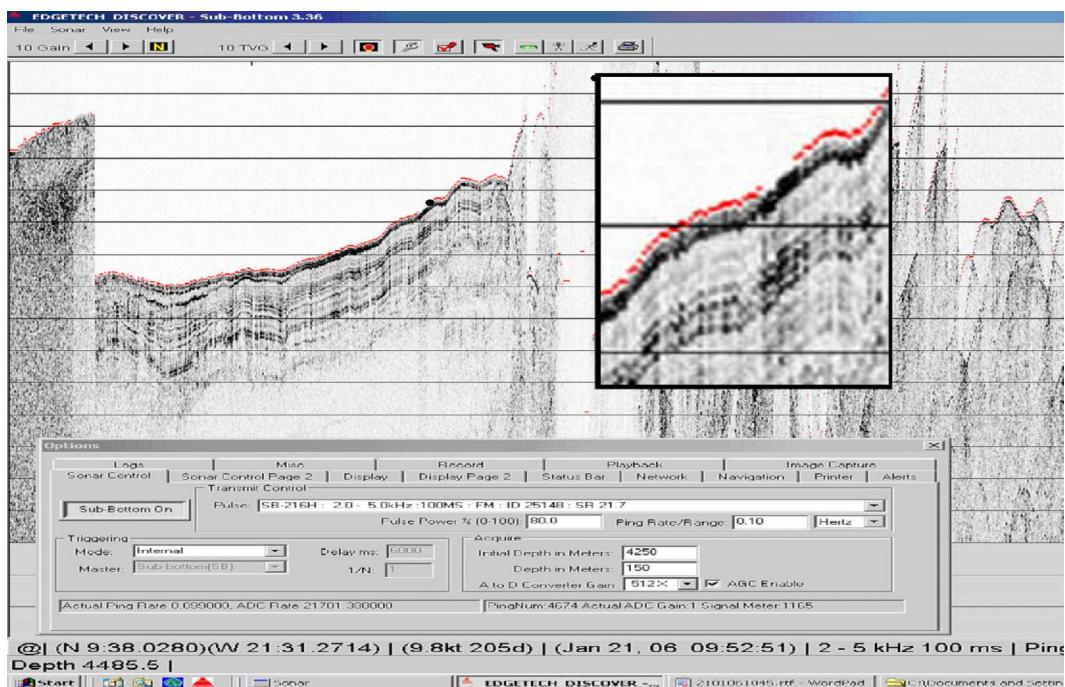


Рис. 2.3.4. Образец записи, демонстрирующий реальное вертикальное разрешение ПР при работе в режиме 2-5 кГц. Цена деления вертикальной шкалы – 10м.

Зарегистрированное волновое поле визуализируется на дисплее в виде огибающей (преобразование Гильберта) но в файл данных записывается полное знакопеременное поле. Это создает возможность в будущем использовать данные ПР в сейсморазведочных программах и применять к ним имеющиеся в арсенале сейсмообработки методы сжатия импульсов. Программная среда EdgeTech имеет возможность записывать и конвертировать данные в сейсмический промышленный формат SEGY, но делает это с ошибками (о чем было указано в протоколе морских испытаний). После рейса в Лаборатории Геоморфологии и тектоники дна океанов будет написана программа для соответствующей конвертации. Поэтому полученные параметры вертикального разрешения нельзя считать окончательными.

Фактическое горизонтальное разрешение по данным 24 рейса получается 150-200 метров при средних глубинах около 4500 метров. На приводимых выше примерах видно статистически значимое выделение положительных форм, представленных 3-4 трассами при расстоянии между трассами 50 метров.

Применение ПР с эффективной направленности 20° приводит к появлению дифрагированных волн-спутников от неоднородностей акустического фундамента и делает запись менее четкой при картировании дна без осадочного чехла. Но, как мы надеемся, после

перевода данных в сейсмический формат это положение можно будет исправить за счет процедур сейсмической миграции. Кроме того, неузкая диаграмма имеет некоторое преимущество по сравнению с параметрическими ПР – она собирает большую часть сигнала в приемник и фиксирует как рассеянные волны, способные нести дополнительную информацию о среде, так и обеспечивает лучшую коррелируемость осадочных горизонтов.

Рассмотрим фактическую характеристику ПР по проникновению в осадочный чехол.

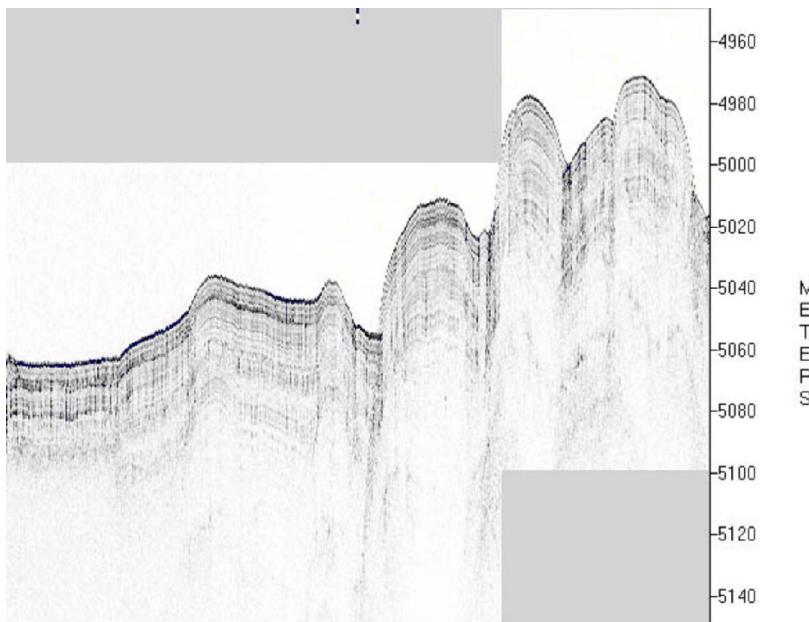


Рис. 2.3.5. Образец записи, демонстрирующий реальное проникновение ПР по осадкам при работе в режиме 2-5 кГц.

Из рис.2.3.5 видно что заявленные 80 метров достигаются, а местами при благоприятных литологических условиях проникновение достигает 120 метров при глубинах воды 5000 метров.

Таким образом реальные характеристики ПР соответствуют заявленным, и позволяют получать кондиционный материал для интерпретации процессов осадконакопления в глубоко-водных условиях при скоростях работы судна 10-12 узлов.

2.3.2 Методика работы оператора и подготовка данных для интерпретации

Как уже было указано, включение системы осуществляется одной кнопкой, которой активизируется силовой блок и управляющий компьютер. После загрузки компьютера необходимо убедится в правильности сетевых настроек. IP адреса компьютеров интегрированной системы RESON AS должны выглядеть следующим образом:

Сетевые настройки основных компьютеров системы RESON AS:

EdgeTech: 10.0.10.100 255.0.0.0

Navi-PC2: 10.0.10.2 255.0.0.0 2-ая сетевая: 192.168.100.55 255.255.255.0

Navi-PC1: 10.0.10.1 255.255.255.0 2-ая сетевая: 169.254.1.1 255.255.0.0

При данных параметрах осуществляется взаимодействие компьютера ПР с информационным потоком GPS, OCTANS и запуском эхолотной системы. ПР зависит от потока времени, координат, датчиков движения судна и импульсов запуска эхолота в случае внешней синхронизации. Если все параметры соответствуют этим настройкам можно активизировать сбор.

После включения системы но перед запуском управляющего ПО необходимо синхронизировать системный таймер по GMT, поскольку ПО пишет время не по GPS, а по таймеру и могут возникать проблемы при стыковке с другими данными. Сделать это можно вручную вызвав из системного трэя окно часов или с помощью программы Велинского В.В. Navigation, имеющей опцию синхронизации системного таймера по времени GPS, имеющемся в сети.

Начало работы осуществляется с активизации программного модуля **SONAR.EXE**, который инициализирует силовую часть и приводит ее в состояние готовности. После чего осуществляется запуск программы **Discover-Sub-Bottom.exe**. В открывшемся окне необходимо нажать кнопку с подсказкой **PING SB+-**. После этого программа готова к старту профилирования с опциями задаваемыми оператором. Опции оператора доступны как окно с закладками, живущее поверх текущего окна визуализации и все изменения, сделанные оператором через один цикл излучения делаются активными. Окно с опциями может быть и в спрятанном виде. Вызывается оно кнопкой с подсказкой **CONTROL PANEL OPTIONS** (См. Рис.2.3.6).

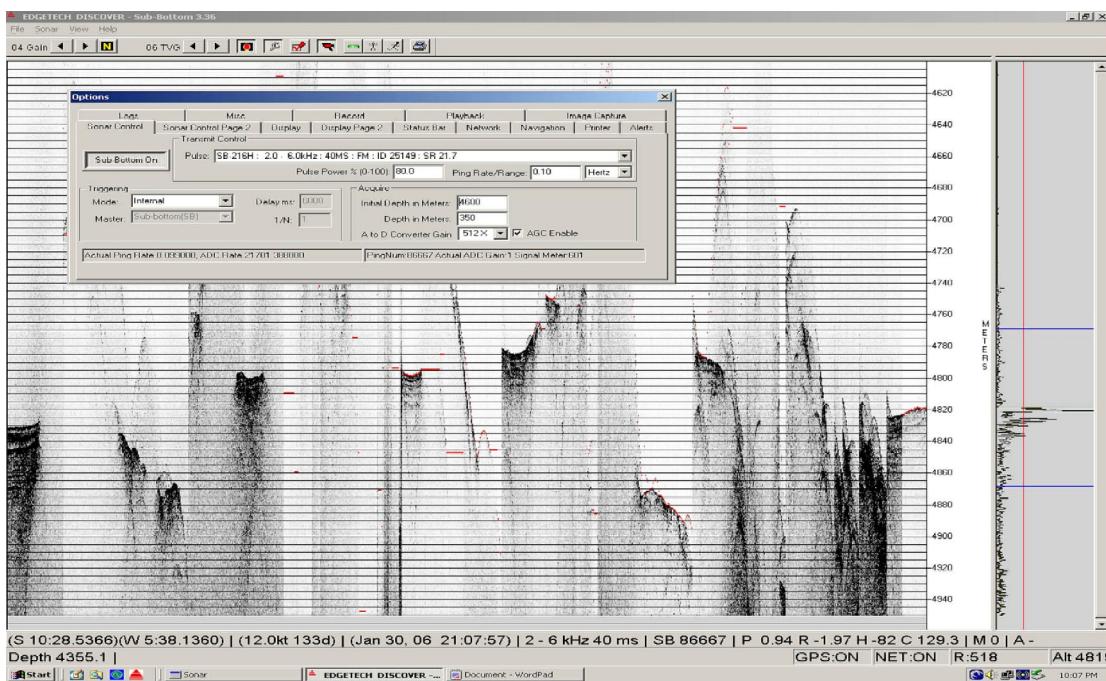


Рис.2.3.6. Общий вид интерфейса регистрирующей программы ПР.

Вверху расположены основные инструменты запуска и контроля упомянутые выше. Внизу расположена статусная строка, показывающая основные параметры ПР и навигации. Основное поле занято воспроизведимым профилем в реальном времени без коррекции его за сдвиг окна. Справа расположена вертикальная шкала и осциллограмма с уровнем детекции дна. Окно опций расположено поверх всего.

В дальнейшем здесь будет рассказано об основных параметрах влияющих на режим профилирования. Остальные опции подробно описаны в руководстве в распечатанной и электронной формах. Условно опции можно подразделить на те, которые влияют на режим работы профилографа и те, которые влияют на экранное воспроизведение данных.

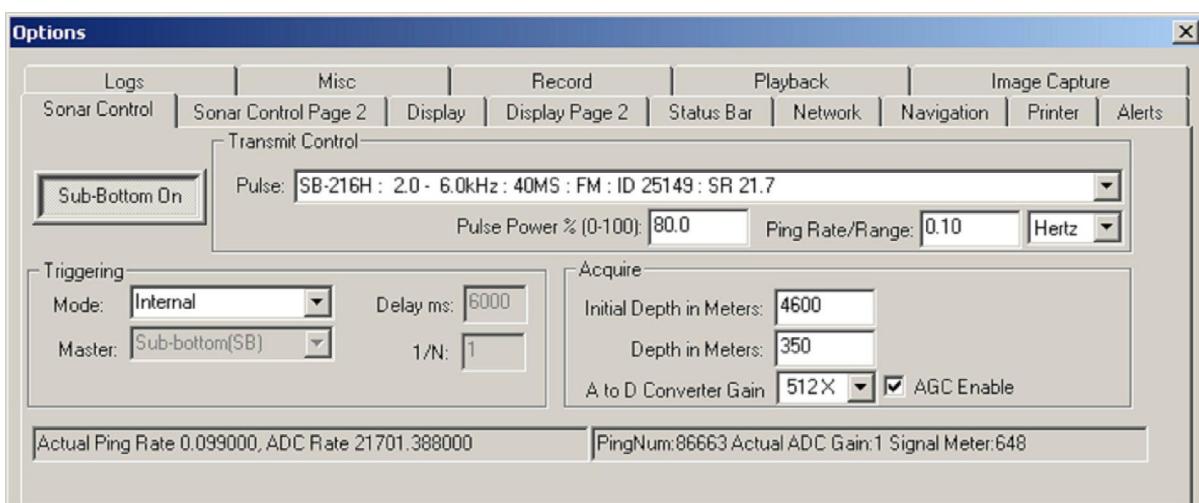


Рис.2.3.7. Sonar Control Page 1. Главное окно контроля ПР.



В этом окне устанавливается тип излучаемого импульса – в данном случае от 2 до 6 кГц и длительностью 40 милисекунд. Это основной параметр и выбирается исходя из геологических задач. Чем выше частота и меньше длительность – тем меньше проникновение и больше разрешение. И соответственно наоборот. Оптимум одновременно по разрешение и проникновению не достигается. Рекомендуется для смены излучения отжимать и потом опять нажимать кнопку Sub-Bottom ON/OFF – именно она является последней после которой начинает работать излучение, акустический сигнал которого слышен в помещении эхолота как чириканье. Pulse power рекомендуется не разгонять на 100%, чтобы не вырабатывать ресурс на максимальной мощности – где 80 % это нормально, а разница по амплитуде сигнала очень небольшая. Ping Rate/Range- частота стрельбы в герцах: 0.1 означает один пинг в 10 секунд. Этой опцией достигается ручной контроль над плотностью наблюдений (перекрывается в Multiping Mode местными опциями) который выбирается из общих соображений – при скорости движения судна 10 узлов это будет около 1 точки на 50 метров по профилю. Можно плотность при ручном контроле на океанских глубинах увеличивать до 0.2 Гц. Triggering – запуск как правило рекомендуется внутренний. Внешний только в случае наблюдаемого влияния ПР на эхолот. Тогда ставится внешний запуск и устанавливается задержка срабатывания ПР относительно внешнего события. В этом случае ни о какой равномерной плотности данных по профилю речи не идет. Initial depth – начальная глубина окна регистрации, Depth – окно регистрации. В Multiping Mode эти опции почему-то игнорируются. Это было указано в замечаниях к протоколу по результатам морских испытаний. Предварительное усиление перед АЦП трогать не обязательно.

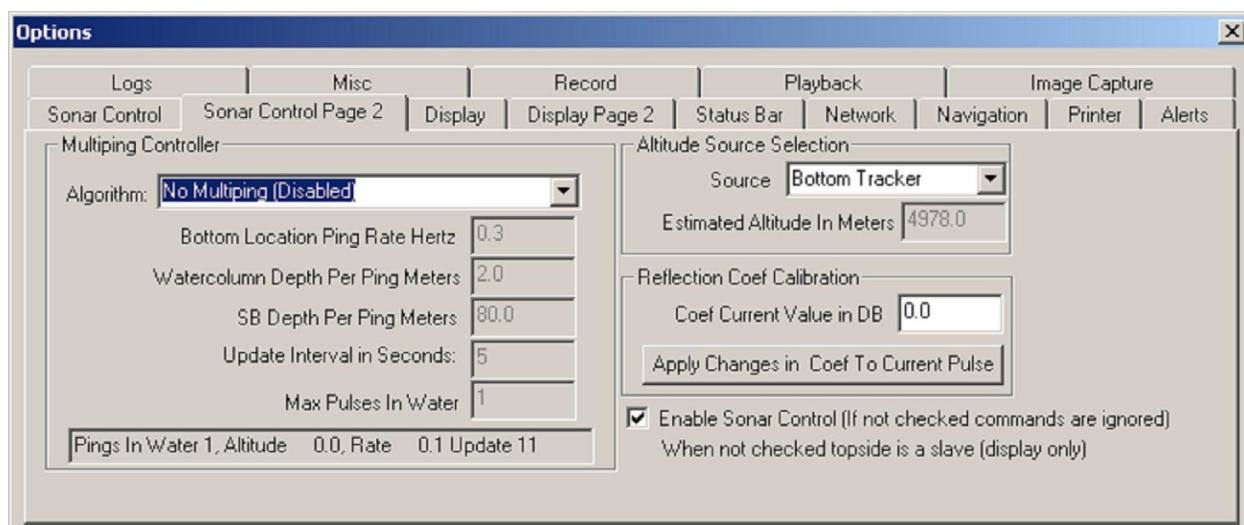


Рис.2.3.8. Sonar Control Page 2. Окно 2 контроля ПР.

В окне Sonar Control Page 2 (см. Рис.2.3.8) устанавливается режим профилирования Multiping Mode и No Multiping Mode. В режиме Multiping Mode задаются частота локации дна и связанный с ней параметр количества импульсов, циркулирующих по воде одновременно. Вразумительного объяснения как эти параметры друг друга ограничивают в руководстве обнаружено не было. Water column Depth и Sub Bottom depth при этом устанавливаются правильно (глубина данных под детектированным дном и колонна воды над ним) но ПР все время показывает колонну воды в 7-8 раз большую чем суммарная глубина на запись и пишет эти данные в выходной файл, чего отменить никак не удалось. Складывается ощущение что программы имеет много незадокументированных особенностей регистрации, разбираясь в которых приходится на ощупь. При регистрации в режиме Multiping довольно эффективно работает детектор дна (Bottom Tracker) и сдвигает окно регистрации в след за дном. Но запись в этом режиме получается около 10 мб в минуту, что выходит за любые разумные пределы. Поэтому был выбран режим No Multiping, в котором Bottom Tracker работает только на детекцию дна и запись линии дна в файл в виде числа, а автоматический сдвиг окна не осуществляется. По этому эффективным способом записи для оператора является установка на предыдущей странице

опций начальной глубины с каким-нибудь кратным дискретом (например через 50 метров или 100 или 200) и окна регистрации, например 200 метров для плоского дна и 400 или даже 500 метров для расчлененного рельефа. Это обеспечит достаточно редкую необходимость менять начальную глубину и необходимую целостность разреза при воспроизведении. В ходе рейса представителю фирмы неоднократно задавался вопрос – как обеспечить автоматическое отслеживание начальной глубины по Bottom Tracker в режиме No Multiping, на который ответа получено не было. Необходимость работы автоматического отслеживания начальной глубины в данном режиме очевидна и является явной недоработкой разработчиков ПО для ПР. Установки окна регистрации в режиме Multiping просто игнорируются.

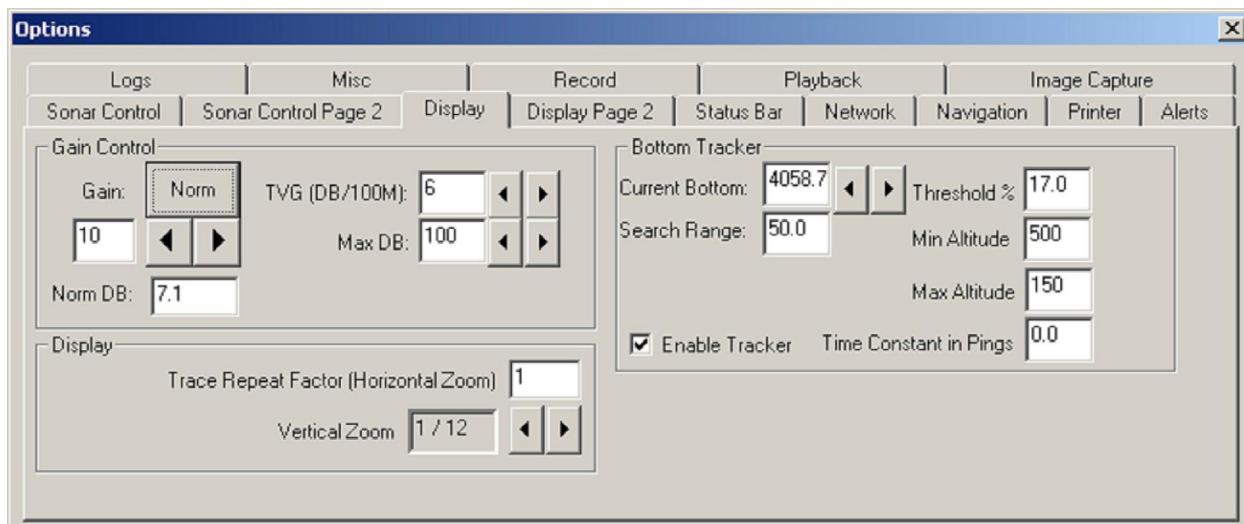


Рис.2.3.9. Display Page 1. Окно настроек дисплея ПР.

В окне Display Page устанавливаются дисплейные настройки, которые не влияют на запись данных в файл. Это параметры усиления (Gain) и переменного усиления (TVG), горизонтальный и вертикальный параметры масштаба, параметры Bottom Tracker – текущее дно, получаемое первично щелчком мыши по области дна на осциллографме справа и интервал для поиска дна относительно заданной глубины, порог отсечения и область действия Bottom Tracker.

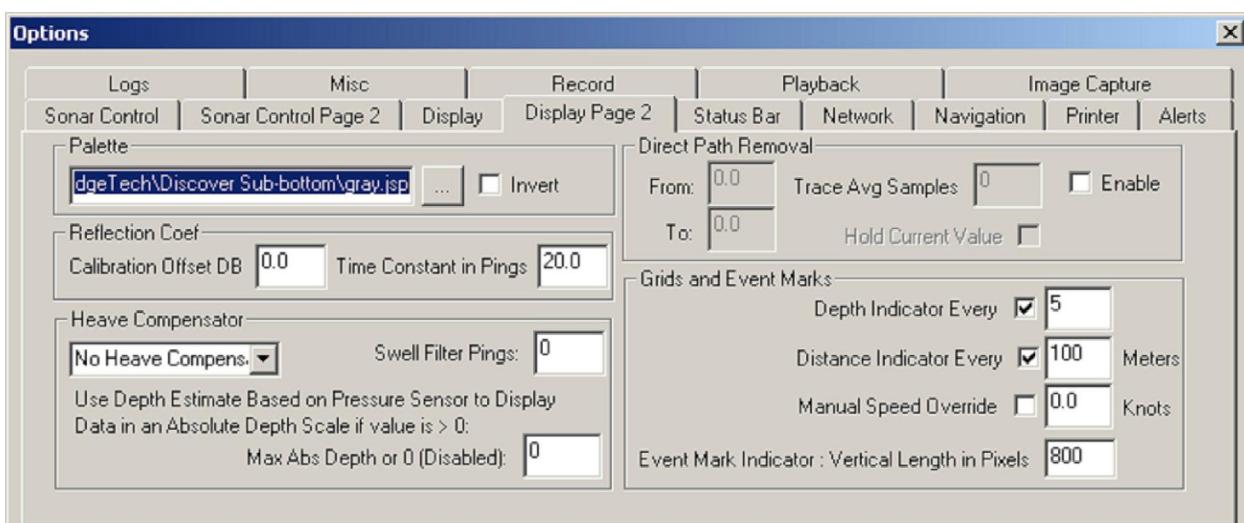


Рис.2.3.10. Display Page 2. Окно 2 настроек дисплея ПР.

В окне Display Page 2 устанавливаются дисплейные настройки типа дискрета меток, пределов окна, компенсации за качку (Heave). Последнее рекомендуется отключать так как работает некорректно и не столько компенсирует сколько усиливает ее. В закладке MISC находятся настройки единиц измерения вертикальной шкалы и задание скорости пересчета из времени в глубину.

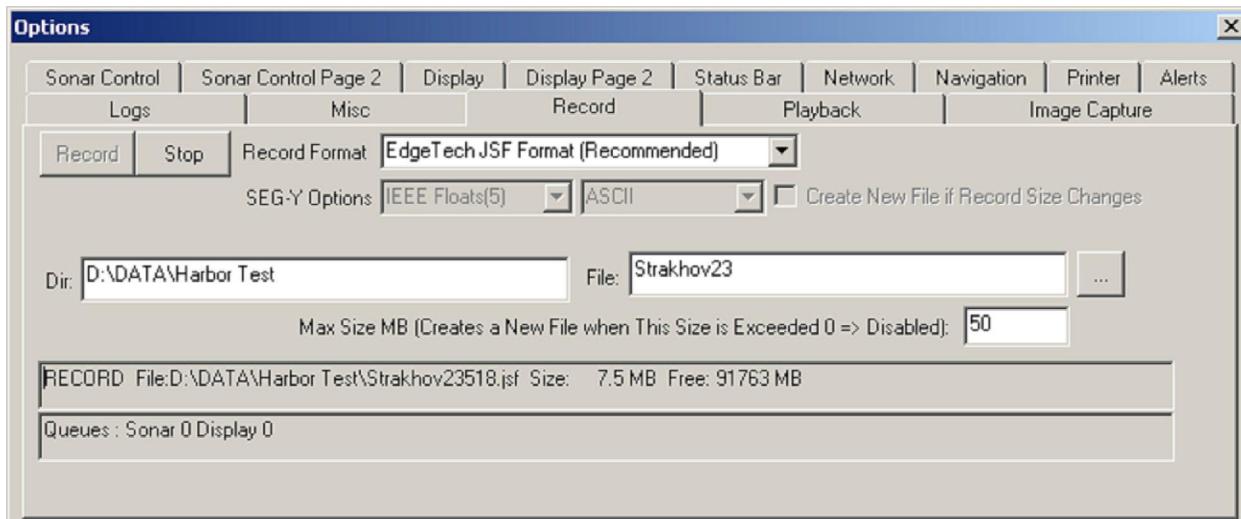


Рис.2.3.11. Record Page. Окно записи файлов ПР.

В окне записи файлов устанавливается имя файла, к которому потом будет добавляться суффикс 001, 002 и так далее при превышении размера файла заданного порога. Система удобная и позволяет не думать об этой стороне вопроса. Формат действительно рекомендуется использовать JSF, но только потому, что запись в SEGY сделана с огромным количеством ошибок. Описание самого JSF в руководстве приводится исчерпывающее, что позволит потом осуществить конвертацию. Для автономной работы без эхолота рекомендуется также в закладке Navigation подключать параллельной создание текстовых навигационных файлов и файлов с результатами детекции дна. Также рекомендуется активировать запись ЛОГов. В этом случае будет сформирован набор файлов исчерпывающие обеспечивающий нужды обработки без данных эхолота.

Как было установлено Велинским В.В. в выходной файл пишется приблизительно в 10 раз больше информации чем содержится в сонарных выборках. Сонарные выборки в выходном файле идентифицируются как Message Type 80 и занимают около 10% объема на один пинг. Остальное пространство занимают Message Type 2020 (Roll/Pitch) и 2090 (SAS), которые совершенно не нужны для обработки данных по существу. Найти где запись этой информации в файл отключается не удалось. В связи с этим Велинским В.В. была написана программа JSF_Cleaner, которая осуществляет перезапись JSF файлов с удалением ненужной информации и делает объемы регистрируемых данных вполне приемлемыми – около 1.5 Гб в месяц. Была проведена проверка воспроизведения переписанных файлов, которая показала их полную адекватность. Поэтому исходный размер файла для первичной записи в связи с последующей чисткой можно устанавливать равным 200 мб.

В связи с вышесказанным, рекомендуется следующий режим сбора данных ПР. Запуск и установки параметров осуществлять в соответствии с вышеописанными рекомендациями. Периодически проводить сброс данных на сервер (в случае непрерывной работы в реальном времени) и делать их «зачистку» программой JSF_Cleaner, после чего они еще могут быть скжаты архивированием на 30 %. Записывать файлы на DVD диски не менее чем в 2-ух экземплярах в целях «нехранения всех яиц в одной корзине». Для камеральной обработки иметь программное обеспечение на домашнем компьютере который в отсутствие аппаратного ключа позволяет работать с готовыми файлами в режиме воспроизведения.



2.4. Опробование рыхлых осадков

(Лаврушин В.Ю., Летягина Е.А.)

2.4.1. Методика отбора проб рыхлых осадков

Отбор проб рыхлых осадков осуществлялся прямоточной гравитационной трубкой длиной 6 м. В качестве внутреннего вкладыша применялся армированный полиэтилен, что позволяло в большинстве случаев извлекать керн вручную - без подключения гидранта.

После зачистки поверхности керна колонка разделялась на две равные части. Керн описывался и фотографировался на цифровую камеру.

Затем одна из половин керна разрезалась вдоль. Одна из половин (1/4 керна) бороздовым методом (сплошной отбор без перерывов по глубинам) упаковывалась в герметичные полиэтиленовые пакеты по интервалам длиной 10-25 см. (эталонный образец). Вторая четверть керна (образец) также отбиралась целиком, но разрезалась с интервалом 2-4 см, и предназначалась для дальнейших исследований в лабораторных условиях.

Из материала другой половины керна отбирались образцы на следующие виды анализов: определение химического состава поровых газов, химического состава поровых вод, микропалеонтологические исследования, геохимические исследования (химического состава осадка), определение влажности и карбонатности, проведение гранулометрического анализа, также образцы с ненарушенной структурой керна на петрографические шлифы. Отдельно из керна были отобраны гальки. Весь оставшийся материал использовался для отмывок. В свежем керне (сразу после его зачистки) проводилось измерение величин pH и Eh.

Для определения химического состава газов иловых вод отбирался фрагмент керна с не нарушенной структурой весом около 0.5 кг и длинной до 10-15 см (примерно 1/4 часть от диаметра керна). Шаг опробования в среднем составлял 30-50 см (в среднем из колонки 3 м отбиралось 6-8 обр. – с учетом особенностей литологического строения колонки).

Пробы для микропалеонтологических исследований отбирались с интервалом 3-10 см, редко до 15 см. Объем образца примерно был равен 1-2 столовых ложки. При этом обязательным являлся отбор из самой верхней и самой нижней частей каждого слоя. Пробы упаковывались в герметичные полиэтиленовые пакеты.

Для определения влажности, карбонатности и геохимических исследований отбирался общий образец, объемом около одной столовой ложки, весом не менее 15-20 г, с шагом 10-20 см, в некоторых случаях от 5 см, в зависимости от литологии разреза. Дополнительно на геохимические исследования были отобраны образцы из наиболее интересных включений, в слоистых интервалах – из слоев различного цвета. До начала измерений пробы хранились в герметичных пакетах. Сначала производились измерения влажности (см. раздел 2.4.2.), после чего высушенный материал истирался, и проводилось определение карбонатности осадка. Оставшийся измельченный материал будет использован для геохимических исследований.

На шлифы отбирались образцы размером 2-3 на 3-4 см. Шаг отбора составлял 2 – 12 см, с учетом литологических особенностей керна. С тем чтобы сохранить естественную структуру образца во время транспортировки и хранения образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре ~ 120 °C.

Для проведения гранулометрического анализа отобраны пробы весом 200-300 г. Образцы отбирались на бумагу, и высушивались в сушильном шкафу при температуре 50-60 °C. Невысокая температура необходима для избежания изменений в глинистых минералах.

2.4.2. Измерение физико-химических свойств осадка (влажности, карбонатности, pH и Eh)

Определение влажности проводилось весовым методом. Для взвешивания образцов использовались аптекарские весы со стандартным набором разновесов. Все отобранные образцы до начала проведения измерений хранились в герметичных полиэтиленовых пакетах. Частота



отбора материала зависела от степени неоднородности керна, поэтому шаг опробования варьировал от 2-3 до 10-20 (редко более) см.

Для измерения влажности образец сначала взвешивался в свежем состоянии. Делалась навеска, составляющая не менее 15-20 грамм. Затем высушивался в сушильном шкафу при температуре 110°C. Время нахождения материала в сушильном шкафу составляло не менее суток.

После высушивания проводилось повторное взвешивание образца и вычислялось процентное содержание воды, ушедшей из осадка по формуле:

$$\text{Вл} (\%) = 100 - (\text{Vs}/\text{Vv}) * 100$$

Где Вл – влажность образца в %; Vs – вес образца после просушки; Vv – вес влажного образца (до просушки).

Всего было произведено 212 измерений влажности осадка. По полученным данным построены графики распределения влажности по разрезам колонок.

Определение карбонатности

В процессе описания керна проводилось качественное определение карбонатов путем прокапывая 10% HCl. По характеру взаимодействия с кислотой илы подразделялись на 3 группы: бескарбонатные (нет реакции), слабокарбонатные (слабая реакция) и карбонатные – сильно карбонатные (бурная реакция с HCl).

Количественное определение карбонатности проводилось объемным методом на борту судна, по предварительно перетертym образцам, высушенным при измерении влажности.

Для определения использовался кальциметр заводского изготовления. Определение содержания карбонатов проводилось путем разложения навески образца (1 г) 10%-й HCl в замкнутой колбе. Колба подключалась через систему шлангов к мерной бюретке. В процессе проведения анализа фиксировался объем выделившегося газа (CO₂). Полученные значения за тем пересчитывались с учетом данных калибровки. Калибровка прибора проводилась по навескам (0.5 и 1 г) карбонатного стандарта (содержание CaCO₃ составляет 85,4%) перед и после каждой серии замеров. Результаты калибровок усреднялись, и полученное значение использовалось для расчета карбонатности в образцах.

Погрешность определения составляла примерно 5 %, чувствительность прибора – 0.4 % (в пересчете на CaCO₃).

Измерение на кальциметре концентрации CaCO₃ в образцах со слабой реакцией с HCl (при прокапывании керна) показало, что карбонатность в них не превышает 7 %. Соответственно, образцы с большей карбонатностью при первичном описании керна качественно характеризовались как карбонатные или сильно-карбонатные.

Всего определение карбонатности было выполнено в 250 образцах.

Определение величин pH (кислотности) и Eh (окислительно-восстановительного потенциала) производилось в свежих илах.

Опробование колонки производилось сразу после ее извлечения из грунтовой трубы и зачистки (снятия верхнего слоя). В одном случае (ст 2429) из-за большого объема кернового материала замеры производились через 10 часов после поступления колонки на борт судна. До этого времени колонка хранилась в полиэтиленовой оболочке на палубе при температуре -1 - +4 oC.

Измерения проводились приборами серии «Экотест» с помощью стеклянного (pH) и платинового (Eh) ионно-селективных электродов. Электроды внедрялись в вязко-пластичный ил и выдерживались в нем до момента стабилизации показаний приборов. Замеры производились с шагом 15-25 см. с учетом литологического строения керна.

Электрод для измерения pH перед каждой серией измерений калибровался по стандартным pH-растворам (pH 4,01; 6,86 и 9,18).

Приборы позволяли измерять pH с относительной точностью 0,001 единицы pH. Однако реальная точность замеров могла составлять 0,02-0,03 единицы pH (на точность измерения влияли: класс стандартов, используемых для калибровки приборов, консистенция илов (диффузионные эффекты на электроде сравнения), присутствие органических веществ и тд).

Приборная точность измерения Eh составляла 0,1 мВ. Реальная же точность замеров была, по-видимому, хуже и могла достигать 2-5 мВ. Проблема заключалась в том, что объектами исследования были пелагические илы, в которых процессы биогенной сульфат-редукции часто были совсем не выражены или выражены слабо (весь сероводород связан соединениями железа). В этом случае потенциал задающими системами в поровых водах чаще всего были разновалентные ионы железа и марганца или связанные в комплексные частицы разновалентные соединения серы. Из-за их малых концентраций стабилизация значений Eh происходила в течение довольно продолжительного времени - 10-30 мин. Поэтому реальная точность измерений Eh особенно в слабо окисленных и восстановленных илах могла составлять 5-20 мВ (с тенденцией к отклонению в область отрицательных значений). Кроме того, как и в случае с pH на значения Eh могли влиять диффузионные эффекты, возникающие на электроде сравнения при измерениях в тонкодисперстных средах.

Таким образом, приводимые значения Eh прежде всего характеризуют общий тип окислительно-восстановительной обстановки в илах (окислительную $>+50$; слабо окислительную $+50-0$; слабо восстановительную $0 - -50$; восстановительную <-50 и до -200 мВ), нежели устанавлившиеся на приборе значения Eh. Результаты замеров Eh приводятся в мВ без пересчета на стандартный водородный электрод.

Всего в семи колонках было выполнено 100 замеров pH и Eh.

Полученные результаты использовались для характеристики активности диагенетических процессов, протекающих в осадке.

2.4.3. Дегазация образцов илов (пробоподготовка к химическому анализу газового состава поровых вод)

Для дегазации отбирался фрагмент керна с ненарушенной структурой весом около 0.5-1 кг и длинной до 10-15 см (примерно 1/4 часть от диаметра керна). Отбор проб осадка производился с учетом литологического состава керна. До начала дегазации пробы упаковывалась в полиэтиленовые мешки и хранилась в холодильнике при температуре 4-7°C. Время хранения образцов в холодильнике составляло от нескольких часов до 5 суток.

Извлечение газа из керна производилось методом термической дегазации (при температуре 70-80 °C). Образец, отобранный для дегазации, помещался в стеклянную емкость объемом 0,75 л, не плотно закрывающейся металлической крышкой (для сброса избыточного давления).

Емкость для дегазации сначала полностью заливалась дегазированной (горячей) водой. За тем в нее помещался фрагмент керна. С тем, чтобы избежать попадания воздуха контейнер с осадком закрывался крышкой под водой (в ведре с водой), переворачивался вверх дном (при этом контролировалось отсутствие пузырей воздуха) и в таком виде помещался на водянную баню. Время дегазации составляло около 3 часов.

После дегазации образца контейнер вскрывался под водой, а выделившийся свободный газ переводился в пробирку, предварительно заполненную водой (заполнение газом методом вытеснения). После этого пробирка закрывалась под водой пробкой и до отправки в лабораторию хранилась в холодильнике. Химический анализ образцов будет выполняться в Москве.

Надо заметить, что после хранения проб в холодильнике и при таком способе дегазации существует потенциальная возможность заражения полученной пробы газа атмосферным воздухом. Однако степень такого заражения, по-видимому, невелика и, как показывает опыт дегазации проб в рейсах НИС «Академик Сергей Вавилов» и «Академик Йоффе», обычно не превышает 1-2% по кислороду.

2.4.4. Исследование иловых вод

Геохимические исследования рыхлых осадков включали в себя также определение химического и изотопного состава (δD и $\delta^{18}O$) иловых вод. Для этого из свежезачищенного керна



отбиралась серия образцов (примерно 1/4 часть керна) длинной 8-10 см. Образцы упаковывались в полиэтиленовые пакеты и до извлечения из них поровых растворов хранились в холодильнике при температуре 4-7 °C (обычно не более 3-6 суток).

Для отжима поровых вод использовалась пресс-форма из нержавеющей стали. В нее помешался образец, из которого под давлением отфильтровывались иловые воды. Пресс-форма помещалась в специальный штатив. Давление в ней создавалось гидравлическим домкратом. В зависимости от консистенции и влажности илов время отжима иловых вод варьировало от 2-3 до 6-7 часов.

Сбор иловых вод производился в пластиковые пробирки (типа Vacutener) объемом 9 мл, закрываемые резиновыми пробками. Пробка в пробирке протыкалась 2 медицинскими иглами, к одной из которых присоединялся шланг для отвода иловых вод из пресс-формы. Вторая игла предназначалась для удаления воздуха, вытесняемого из пробирки водой. Таким образом, условия хранения проб (в полиэтиленовых пакетах в холодильнике) и способ их отбора в пробирки исключал возможность испарения воды до их передачи в лабораторию. Консервация проб воды после отжима не производилась.

Всего из каждого образца ила объемом ~150-200 мл³ водой наполнялось 3 пробирки (по 9 мл каждая). Пробирки предназначались для разного вида анализа: изотопного (δD и $\delta^{18}O$), микроанализа (ICP-MS и ICP-AES) и предварительного химического анализа - определения концентраций Cl, Na, K. Последние определения выполнялись на борту судна. Остальные виды анализов предполагается выполнить в Москве.

Всего было отжато и проанализировано 51 пробы воды. Результаты приводятся в разделе «Литолого-геохимические исследования рыхлых осадков»

2.4.5. Предварительное определение химического состава иловых вод

На борту судна из отжатой воды выполнялось определение концентраций Cl, Na, K и HCO₃.

Определения Cl, Na и K производилось с помощью соответствующих ионно-селективных электродов на 4-х-канальных иономерах серии «Эконикс-эксперт».

Поскольку при измерениях в электроде сравнения солевой мостик, заполненный нейтральным электролитом (не содержащий ионов Cl и K) не использовался, то для работы выбирался электрод сравнения с минимальным истечением электролита (KCl).

Измерения Na, K и Cl проводились единовременно (сразу по 3-м каналам). Время измерения составляло не более 1-5 мин (до стабилизации показаний прибора по всем каналам). Это позволяло минимизировать загрязнение измеряемой пробы ионами K и Cl, поступающими из электрода сравнения. О минимальном загрязнении пробы этими ионами в ходе измерений также свидетельствовали стабильные показания прибора, по крайней мере, в течение 20-30 мин.

Перед каждой серией замеров приборы калибровались по стандартным растворам NaCl и KCl с концентрациями 0,1, 0,01 и 0,001 Н. 0,1 Н растворы приготавливались из соответствующих фиксаналов NaCl и KCl. Растворы с меньшей концентрацией (0,01 и 0,001 Н) приготавливались путем последовательного 10-ти кратного разбавления 0,1 Н и 0,01 Н растворов. Результаты калибровки запоминались в памяти прибора.

Приготовление стандартных растворов и измерение концентраций ионов проводилось без использования буферного раствора, стабилизирующего ионную силу. Поэтому полученные результаты замеров представляют собой, так называемые «активные концентрации» ионов, равные истинной концентрации иона, умноженной на его коэффициент активности (a). Значение последнего зависит от ионной силы раствора (от концентрации солей). Значения активных концентраций приводятся в величинах pX (-Ln(C_i)) и в мг/л.

Активные концентрации ионов в стандартных растворах 0,1, 0,01 и 0,001 Н были равны 1,05, 2,02 и 3,01 Н, соответственно. Эти значения и использовались для калибровки прибора.

Перед измерениями образцы воды разбавлялись дистиллированной водой – 2 мл иловой воды смешивалось с 25 мл дистиллята. Активные концентрации за тем пересчитывались на неразбавленную пробу воды.



Поскольку соленость исходной океанической воды варьирует незначительно, а степень разбавления всегда была постоянной, то коэффициенты активности измеряемых ионов в разных пробах были также примерно одинаковы. Это позволяло напрямую сравнивать между собой как активные, так и расчетные (в мг/л) концентрации ионов, полученные в различных частях керна.

В графических построениях использование значений рХ применительно к концентрации ионов не очень удобно из-за разницы в знаках величин рХ и концентрации в мг/л (снижение значения рХ соответствует увеличению концентрации иона). Поэтому мы предпочитали использовать концентрации в мг/л, рассчитанные, по коэффициентам активности ионов, полученным методом подбора. Мы предполагали, что воды верхнего слоя менее всего преобразованы при диагенезе осадков, поэтому концентрации соответствующих ионов в верхах колонок примерно такие же, как и в морской воде. Полученные таким образом абсолютные концентрации (в мг/л) могут содержать некоторую систематическую ошибку. Однако при этом они довольно точно должны отражать относительные изменения концентраций ионов.

Определение концентрации HCO_3 производились после замеров концентраций других ионов. Определение выполнялось путем титрования пробы 0.1 Н раствором HCl с использованием комбинированного pH электрода. Конечная точка титрования определялась по величине $\text{pH} = 4.0$.

Зная объем исходной пробы воды (с учетом разбавления) и объем пошедшей на титрование 0.1Н раствора HCl , производился расчет концентрации HCO_3 в исходной пробе. Титрование фоновой пробы – дистиллированной воды – показало, что концентрация HCO_3 в ней на порядок ниже, чем в растворе разбавленной пробы иловой воды, что позволяет использовать полученные концентрации HCO_3 для характеристики химического состава вод без каких-либо поправок на содержание HCO_3 в дистиллированной воде.

Результаты химических замеров приводятся в разделе, посвященном исследованию рыхлых осадков.