

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ STD-ИЗМЕРЕНИЙ
В АНТАРКТИКЕ**

И.Ю.Шкворец

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
99000, г. Севастополь, ул.Капитанская, 2
E-mail: shkvor@bios.iuf.net

Введение

Современный международный уровень проведения океанографических исследований предъявляет высокие требования к точности измерения STD-параметров (относительная электрическая проводимость (практическая соленость), температура, гидростатическое давление) морской среды. Так, в соответствии с требованиями программы WOCE [5], стандартные отклонения погрешностей измерений должны быть на уровне:

- по температуре - 0.002°C ;
- по практической солености - 0.002;
- по гидростатическому давлению - 0.05% от диапазона измерений.

Столь высокий уровень требований, соизмеримый с погрешностями рабочих эталонов физических величин, выдвигает соответственно высокие требования к метрологическим характеристикам используемой при проведении измерений STD-системы, методики выполнения измерений и метрологического обеспечения прецизионных STD-измерений. Не случайно в требованиях по представлению данных и отчетов в рамках международных программ обязательно указание выполненных в рейсе метрологических работ (калибровка, корректировка градуировочных коэффициентов, результаты измерений практической солености проб воды на прецизионном солемере, используемые эталоны и т.д.). Кроме того, в технической документации на современные зарубежные прецизионные STD-системы обязательно требование контроля по-

грешности измерений и, при необходимости, калибровки и коррекции результатов STD-измерений. В отечественной практике океанографических измерений, проводимых в Морском гидрофизическом институте НАН Украины (МГИ НАНУ), вышеуказанные работы являются неотъемлемой частью метрологического обеспечения STD-измерений [2]. Метрологическое обеспечение океанографических измерений во время проведения 2-й Украинской морской антарктической экспедиции в 61-м рейсе НИСП "Эрнст Кренкель" (январь-май 1998г.) осуществлялось Метрологической службой МГИ НАНУ, и включало следующие виды работ:

-периодический контроль измерений практической солености STD-системой методом отбора проб кассетой батометров и измерений солености проб на прецизионном лабораторном солемере;

-определение фактических градуировочных коэффициентов измерительных каналов (ИК) относительной электрической проводимости (ОЭП) в реальных условиях проведения океанографических работ;

-контроль и корректировка градуировочных коэффициентов ИК температуры, ОЭП, гидростатического давления в случае их значительных уходов;

-градуировку (калибровку) ИК в случае их ремонта или замены датчиков;

-оценку фактических значений погрешности измерений океанографических параметров в экспедиционном рейсе.

Методика и средства метрологического обеспечения STD-измерений

При проведении работ по метрологическому обеспечению STD-измерений в лабораторных и судовых условиях использовалась следующая разработанная Метрологической службой МГИ и ут-

вержденная в органах Госстандарта нормативно-техническая документация:

- "ГСИ. Измерительные каналы температуры океанографических измерительных систем. Инструкция по поверке" МИ 851-91;

- "ГСИ. Измерительные каналы гидростатического давления океанографических измерительных систем. Инструкция по поверке" МИ 535-91;

- "ГСИ. Измерительные каналы относительной электрической проводимости океанографических систем. Инструкция по поверке" МИ 952-91.

Образцовые средства измерений температуры, ОЭП (практической солености) и гидростатического давления служат для передачи размера единиц физических величин от исходных эталонов к рабочим средствам измерений океанографических параметров. Подробное описание и метрологические характеристики образцовых средств, используемых при метрологическом обеспечении прецизионных STD-измерений, изложены в работе [2]. При проведении работ по метрологическому обеспечению океанографических измерений в экспедиционном рейсе использовались следующие образцовые средства измерений:

- образцовый лабораторный солемер МГИ4602 (СОКОЛ) №03, прошедший метрологическую аттестацию в декабре 1997г. и имеющий среднеквадратическую погрешность измерений практической солености не более 0.002;

- нормальная вода серии С152 (К15=1.00008) производства ИО РАН и аттестованная перед рейсом по стандартной морской воде IAPSO производства "Ocean Scientific Int." (Великобритания);

- стандартная морская вода С30 практической соленостью 30.033, служащая для контроля линейности солемера;

- образцовые кварцевые измерители температуры ПДТ N3 и ИТ N8, откалиб-

рованные перед рейсом по рабочему эталону температуры в соответствии с МТШ-90 и имеющие среднеквадратическую погрешность не более 0.003°C.

Обработка результатов измерений производилась с помощью пакета программ МЕТРОЛОГ, позволяющего рассчитывать образцовые значения контролируемых океанографических величин, сравнивать их с показаниями STD-системы, вычислять градуировочные коэффициенты ИК, оценивать фактические значения погрешностей измерений.

Результаты метрологического обеспечения STD-измерений

За время рейса фактически все океанографические зондирования выполнялись с помощью STD-системы ИСТОК-7 (ОЛС) N 04. Данная прецизионная 16-разрядная STD-система [1], разработанная в МГИ НАНУ, за время эксплуатации с 1991г. показала высокие метрологические свойства, что подтвердили результаты периодических поверок, метрологического обеспечения в рейсах, интеркалибрации результатов STD-измерений во время международных программ [3],[4].

В декабре 1997г. ИСТОК-7 N04 прошел предрейсовую поверку в Лаборатории гидрофизической метрологии Метрологической службы МГИ НАНУ. Оценки основных погрешностей за межповерочный интервал 6 месяцев составили:

- по температуре - не более 0.003 °C;

- по ОЭП - не более 0.00032;

- по давлению - не более 0.012 МПа (0.06% от диапазона измерений).

По результатам градуировки (калибровки) был выполнен расчет новых градуировочных коэффициентов. Среднее квадратическое отклонение (СКО) погрешности аппроксимации градуировочных характеристик ИК составило:

- по температуре - 0.001 °C;

- по ОЭП - 0.00005;

-по давлению - 0.001 МПа (0.005% от диапазона измерений).

Кроме того, было выполнено исследование влияния окружающей температуры на показания ИК температуры. Дополнительная погрешность данного влияния при окружающей температуре 0°C не превышает 0.006 °C. Функция данного влияния была учтена при расчете градуировочной характеристики ИК температуры.

В рейсе контроль погрешности STD-измерений осуществлялся методом отбора проб воды кассетой батометров на различных горизонтах, измерениях практической солености проб на прецизионном солемере СОКОЛ и сравнения ее с результатами измерения практической солености STD-системой ИСТОК-7. В соответствии со Шкалой практической солености (ШПС-78), океанографический параметр "практическая соленость" является функцией ОЭП, температуры и гидростатического давления *in situ*, что позволяет использовать практическую соленость как интегральный параметр метрологического контроля STD-измерений. Так как в районе проведения океанографических работ практическая соленость изменяется от 32 до 35, то для повышения точности выполнения измерений на солемере СОКОЛ, кроме калибровки по нормальной воде практической соленостью 35, контролировалась погрешность измерений в точке диапазона с практической соленостью 30 по стандартной морской воде С30.

На начальном этапе работ по результатам обработки 20 проб с 5 станций была выполнена корректировка градуировочных коэффициентов ИК ОЭП. Практически по всем пробам ИСТОК-7 показывал занижение значений практической солености, вычисленной по лабораторным градуировочным коэффициентам на систематическое значение - 0.030. Данная погрешность объясняется невозможностью в лабораторных условиях смоделировать реальные условия

при выполнении океанографических работ (ограниченный объем градуировочного бака, солевой состав градуировочного раствора и др.) Для исключения систематической погрешности был скорректирован градуировочный коэффициент ИК ОЭП: $COB=-1E-4$. При этом коэффициенты температурно-барической коррекции использовались те же, что были экспериментально определены для STD-системы ИСТОК-7 N4: $CRT=-8.2E-5$; $CRP=4E-5$. В дальнейшем результаты контроля измерений практической солености за весь период работ подтвердили корректность определения данных градуировочных коэффициентов. В таблице 1 приведены результаты метрологического контроля измерений практической солености STD-системой ИСТОК-7 на глубоководной океанографической станции №72, выполненной у Южных Оркнейских островов 8 апреля 1998г.

Всего за время экспедиции было отобрано и измерено на солемере СОКОЛ 112 проб на соленость, при этом контроль измерений практической солености STD-системой ИСТОК-7 осуществлялся на 38 океанографических станциях (более 60% всего количества). Следует отметить, что гидрологические условия на ряде станций (значительная изменчивость поля солености, малые глубины зондирования и т.п.) не позволяли на достаточно высоком уровне точности производить контроль STD-измерений. На рис.1 представлены результаты контроля измерений практической солености STD-системой ИСТОК-7 N4 за весь период экспедиционных работ. Как видно из рис. 1, в верхнем деятельном слое океана наблюдается увеличение дисперсии погрешности измерений практической солености по сравнению с глубинными слоями. Вероятнее всего это обусловлено не столько качеством STD-измерений, сколько сложностью прецизионного отбора проб в слоях с большей измен-

чивостью поля солености. Также немаловажный вклад в это вносит значительная насыщенность органикой и растворенным кислородом деятельного слоя Антарктических вод. Перенасыщенность растворенным кислородом проб (результаты гидрохимического анализа показали наличие в пробе с суточной выдержкой наличие 130% насыщения растворенным кислородом), приводит к образованию пузырьков на стенках измерительной ячейки солемера и не позволяет производить прецизионные измерения. Для уменьшения концентрации растворенного кислорода в пробах необходимо заполнять склянку для пробы не более 2/3 своего объема и при выдержке пробы в лаборатории до выравнивания температуры пробы кратковременно приоткрывать крышку пробы для уменьшения давления выделяющегося кислорода. В целом оптимальным для выполнения контроля измерений практической солености является отбор проб с глубин более 1000м, что и подтверждается дисперсией погрешности на этих глубинах. К сожалению, основные океанографические зондирования выполнялись до глубины 1000м, что не позволило набрать достаточного статистического материала на глубоководных горизонтах.

5 апреля 1998г. во время захода на станцию Акад. Вернадский была выполнена поверка (калибровка) ИК температуры STD-системы ИСТОК-7 №4. Для повышения достоверности результатов поверки в качестве образцового средства измерения температуры использовались два различных кварцевых измерителя температуры ПДТ №3 и ИТ №8, аттестованных перед рейсом по рабочему эталону температуры в соответствии с Международной практической температурной шкалой 1990г. Поверка выполнялась в жидкостном термостате в тех же контрольных точках, что и при пре-рейсовой поверке (калибровке) в диапазоне реальных температур Антарктиче-

ских вод. Результаты поверки представлены в таблице 2.

Статистические оценки погрешности измерений практической солености и температуры STD-системой ИСТОК-7 №4 в течение рейса составили:

-математическое ожидание погрешности $M[\Delta S] = 0.0001$;

-математическое ожидание погрешности $M[\Delta T] = -0.0001$ °C;

-СКО случайной погрешности $b[\Delta S] = 0.0029$;

-СКО случайной погрешности $b[\Delta T] = 0.0016$ °C.

Как видно из полученных статистических оценок систематическая составляющая (математическое ожидание) погрешности измерений практической солености и температуры за период рейса практически равна нулю, что свидетельствует о высокой стабильности градуировочных характеристик STD-системы ИСТОК-7 N4. Величина оценки СКО случайной погрешности измерений практической солености определяется суммарным влиянием как собственно инструментальной погрешности STD-системы, так и методическими погрешностями качества отбора проб, вычисления практической солености по ШПС-78, погрешностью образцового солемера, исходных стандартов морской воды и т.п. Полученная оценка СКО случайной погрешности измерений практической солености и температуры может служить оценкой качества полученной в рейсе океанографической информации и фактически соответствует уровню современных международных требований.

Выводы

1. Полученная в 61-м экспедиционном рейсе НИС "Эрнст Кренкель" океанографическая информация имеет высокое метрологическое качество. Оценки среднеквадратических погреш-

Таблица 1.

Сравнение результатов измерений практической солености
STD-системой ИСТОК-7 N4 и солемером СОКОЛ N3 на ст. N72.

Глубина, м	Температура °C	Код ОЭП NR	Соленость ИСТОК-7,S1	Соленость СОКОЛ,S2	Погрешность S1 - S2
4	-0.7343	18926	33.3723	33.3764	-0.0041
499	0.2999	20355	34.6484	34.6433	0.0051
749	0.3351	20465	34.6650	34.6639	0.0011
751	0.3345	20465	34.6648	34.6649	-0.0001
999	0.2440	20486	34.6573	34.6596	-0.0023
1001	0.2434	20487	34.6590	34.6622	-0.0032
1250	0.1481	20505	34.6533	34.6538	-0.0005
1497	0.0697	20531	34.6474	34.6448	0.0026
1498	0.0697	20532	34.6492	34.6479	0.0013
1748	0.0248	20580	34.6473	34.6478	-0.0005
1749	0.0230	20580	34.6490	34.6509	-0.0019
1998	-0.0202	20626	34.6447	34.6442	0.0005
2038	-0.0402	20626	34.6447	34.6446	0.0001

Таблица 2.

Результаты поверки ИК температуры STD-системы ИСТОК-7 N4.

N п/п	Код ИКТ	T исток, °C	T пдт, °C	T ит, °C	T исток-Tпдт, °C	T исток-Tит, °C
1	3732	0.1098	0.1101	0.1103	-0.0003	-0.0005
2	3730	0.1086	0.1090	0.1090	-0.0004	-0.0004
3	3729	0.1080	0.1078	0.1083	0.0002	-0.0003
4	3725	0.1056	0.1044	0.1057	0.0012	-0.0001
5	5383	1.1125	1.1118	1.1083	0.0007	0.0042
6	5381	1.1113	1.1095	1.1076	0.0018	0.0037
7	5379	1.1101	1.1083	1.1056	0.0018	0.0045
8	5378	1.1095	1.1072	1.1049	0.0023	0.0046
9	16526	7.8832	7.8865	7.8862	-0.0033	-0.0030
10	16523	7.8814	7.8854	7.8842	-0.0040	-0.0028
11	16520	7.8796	7.8831	7.8829	-0.0035	-0.0033
12	16517	7.8777	7.8808	7.8789	-0.0031	-0.0012

ностей STD-измерений за период рейса составили:

- по температуре - 0.002°C;
- по практической солености - 0.003.

2. Применение в практике экспедиционных рейсов метрологического обеспечения океанографических работ с использованием современных прецизионных образцовых средств и методик позволяет значительно повысить точность STD-измерений и выполнять океанографическую съемку на современном международном уровне.

3. При выполнении океанографических работ в рейсе использовалась STD-система ИСТОК-7 и прецизионные образцовые средства отечественной разработки и изготовления (МГИ НАН Украины), что свидетельствует о высоком уровне океанографического приборостроения на Украине. В то же время следует отметить, что данные средства измерений изготовлены в начале 90-х годов и в настоящее время нуждаются в модернизации по ряду технических и метрологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайский В.А., Забурдаев В.И., Иванов А.Ф. 1992. Стандартный гидролого-гидрохимический автоматизированный комплекс для морских экологических исследований. Школа "Автоматизация гидрологических исследований" // Тезисы докладов.- Севастополь, МГИ АН Украины, С.43-45.
2. Калашников П.А., Шкворец И.Ю., Егоров Ю.А. 1997. Метрологическое обеспечение прецизионных измерений солености, температуры и давления STD-системами / Морской гидрофизический журнал. №1. С.73-79.
3. Joyce T., Bacon S., Kalashnikov P. et al. 1992. Results of an oxygen / salinity comparison cruise on the R/V Vernadsky // WHP Office Rep. WHP0 92-3. WOCE Rep. N93/92.-Woods Hole, Mass. USA.
4. Oguz T., Besiktepe S., Ivanov L. et al. 1993. Physical and Chemical Intercalibration Workshop/ IOC Workshop Report. - N98 -P.86.
5. WOCE Report N67/91.-July1991.-Rev.1.-Woods Hole,Mass.,USA.

Рисунок 1.

Распределение погрешности измерения солености по глубине

