

гл. асистент Надежда Николаева Вълчева

**КАЧЕСТВЕН КОНТРОЛ НА ОКЕАНОГРАФСКИ
ДАНИИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

Област на висше образование: **шифър 4.** „Природни науки,
математика и информатика“

Професионално направление: „Науки за земята“, **шифър 4.4.**

Научна специалност: **шифър 01.08.07** „Океанология“

Научен ръководител:

проф. д-р инж. Атанас В. Палазов

София

2014 г.



Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен семинар на секция „Океански технологии“ към Института по океанология „Ф. Нансен” – Българска Академия на науките, състоял се на 25 февруари 2014 г.

Авторката е подготвила дисертацията като задочен докторант и главен асистент в секция „Океански технологии“ към Института по океанология „Ф. Нансен” - БАН с научен ръководител проф. д-р инж. Атанас В. Палазов.

Представеният дисертационен труд е в обем от 175 страници. Съдържа увод, четири глави, обобщение и изводи и претенции за приноси. Представени са 59 фигури и 12 таблици. Списъкът на цитираната литература включва 111 заглавия, от които 6 на кирилица и 105 на латиница.

Защитата на дисертационният труд ще се състои на 11.07.2014 г. от 14.00 ч. в Конферентната зала на Института по океанология „Ф. Нансен” - БАН на бул. „Първи май” № 40 на открито заседание на петчленно Научно жури в състав:

1. Проф. д-р инж. Атанас Василев Палазов - ИО-БАН, Варна
2. Проф. д-р Димитър Иванов Трухчев - ИО-БАН, Варна
3. Проф. д-р инж. Никола Рашков Лютов - ВСУ „Черноризец Храбър“, Варна
4. Доц. д-р Николай Хараланов Рачев - СУ „Св. Климент Охридски“, София
5. Доц. д-р Елисавета Лазарова Пенева - СУ „Св. Климент Охридски“, София

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по океанология „Ф. Нансен” - БАН, гр. Варна.

Заглавие на дисертацията: Качествен контрол на океанографски данни

Автор: гл. ас. Надежда Николаева Вълчева
гр. Варна, 9003
бул. „Първи май” № 40, п.к. 152
Институт по океанология „Ф. Нансен” – БАН
Секция „Океански технологии”
Тел.: (052) 370 486 (119)
E-mail: valcheva@io-bas.bg

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва благодарност на научния си ръководител проф. д-р инж. Атанас Палазов за вниманието в процеса на подготовка на дисертационния труда и организационното съдействие; на д-р Джузепе Мандзела, координатор по оперативна океанография в Италианската Национална Агенция за нови технологии, енергия и устойчиво икономическо развитие (ENEA), за помощта и съветите, свързани с обработката и качествения контрол на ХВТ данни; на научния и техническия колектив от ИО-БАН, извършил измерванията на температурата и солеността със CTD и ХВТ сонди.

УВОД

“Качеството е безплатно – то не два даром, но е безплатно. Това което струва пари, са некачествените неща – всички действия, които са извършени не навреме.

Качеството е и честен – към всички – източник на печалба.”

Филип Кросби

„Качеството е безплатно”, 1979 г.

1. Актуалност на дисертационния труд

Качеството се дефинира като съвкупността от особености и характеристики на даден продукт, които са обвързани с неговата способност да задоволи определени нужди. Както подчертава Филип Кросби в своите трактати, посветени на качеството: то е съобразяване с изискванията (както на продукта, така и на клиента); системата за контрол на качеството означава превенция на неблагоприятните ефекти, произтичащи от съмнителното качество на продукта върху клиента; мерната единица за качество е цената на несъобразяването със стандартите (Crosby, 1979).

Независимо дали изучават ролята на океаните като част от климатичната система на Земята, провеждат биологични изследвания или управляват природните ресурси, учените и мениджърите зависят от наблюденията на моретата и океаните, за да изпълняват задачите си. Увеличаващото се признание за ролята на океана в глобалната климатична система през последните няколко десетилетия постави още по-голям акцент на метеорологичните и океанографски наблюдателни системи. Това доведе до усъвършенстването на техниката и технологията на измерванията, а с това и до нарастване на изискванията към качеството на данните. Натрупването на данни за океанските и морски акватории прави необходим техния анализ и извеждането на общите закономерности на разпределението на ключови океански параметри, които са в услуга на редица дейности и потребители. Проверката на качеството от друга страна изисква наличието на надеждни климатични анализи, които да служат като референтни стойности и граници на изменение при високото ниво на качествен контрол.

Така, събирането на данни, контролът на тяхното качество и анализът им се оказват взаимосвързани компоненти от изключително значение за дейности, чието извършване зависи от получаването на данни за околната среда, като асимилацията на данни, прогнозирането на краткосрочните изменения на морската среда или оценката на влиянието на океана върху климатичните промени. Всички те по своята природа представляват различни нива на анализ на данните.

Всичко това идва да покаже, че качественият контрол или валидацията на състоятелността на данните е неделима част от управлението им и е изключително важен за по-нататъшното им използване за различни цели. Това се осъществява основно чрез обмена на данни между световните и регионални центрове, който е невъзможен без надеждно документиране, качествен контрол, анализ и съхранение на океанографските данни. В този по-късен етап на предаване и повторно използване, идеята за качествения контрол на данни е изключително актуална. Качественият контрол на данните е от съществена важност и предвид нарастващия брой на голямо-машабни програми за океанографски изследвания в Европа и света. Без него, данни от различни източници не могат да бъдат комбинирани с цел да се съберат дълги времеви серии, които да бъдат използвани многократно.

Опитът, придобит от комплексни изследователски програми, показва, че стандартизацията и документирането на процедурите за качествен контрол на данни са жизнено важни за оцеляването им. Това води до създаване на стандартен набор от

процедури за качествен контрол, чието прилагане и анализ са обект на настоящия дисертационен труд.

Актуалността на дисертационния труд се определя и от следните празноти, които съществуват на регионално и национално ниво по отношение на събирането и използването на данни, идентифицирани в резултат на прегледа на съвременното състояние на качествения контрол на океанографски данни:

- ✓ *Недостатъчност или ниско ниво на качествен контрол на океанографски данни;*
- ✓ *Не са внедрени утвърдените световни стандарти за качествен контрол на данни;*
- ✓ *Някои от използваните досега стандарти не отчитат спецификата на басейна; налице е нуждата от въвеждане на специфични прагови стойности, които да се използват като референтни при различните тестове в рамките на качествения контрол;*
- ✓ *Недостатъчна резолюция или непълно покритие (крайбрежните зони) на съществуващите климатологични оценки на полетата на температурата и солеността в западната част на Черно море за целите на специализирания качествен контрол;*
- ✓ *Липса на оценка на факторите, оказващи влияние върху качеството на ХВТ данните, в условията на Черно море;*
- ✓ *Липса на специфично за западната част на Черно море уравнение скорост-време при ХВТ сондите.*

2. Цели и задачи на дисертационния труд

Практическата дейност на човека, свързана с морето, постоянно поставя проблема за коректното измерване и интерпретация на океанографските данни при решаването на редица приложни и научни задачи. Така от една страна, качественият контрол гарантира състоятелността на данните в рамките на един набор или на една база данни и прави така, че качеството на данните и грешките да са очевидни за потребителя, а от друга дава възможност за провеждане на прецизен анализ, който на свой ред се явява референтен за бъдещите оценки на качеството на данните.

Взаимната обвързаност на тези два компонента определя главните цели на настоящата дисертация:

- 1. Валидация на качеството на набор от данни за температурата и солеността, измерени със съвременни системи (CTD и ХВТ) в периода 1995-2010 г.г. чрез адаптация и прилагане на утвърдени световни стандарти за качествен контрол.**
- 2. Анализ на съвкупността от тези данни и получаване на климатични вертикални и хоризонтални полета на температурата и солеността за летния и зимния сезон с висока резолюция за западната част на Черно море**

Във връзка с това са поставени следните *специфични задачи*:

- 1) Усвояване, адаптация и прилагане на методите за качествен контрол на данни за температурата и солеността;
- 2) Компилиране на набор от данни с контролирано качество, който да послужи за основа на висококачествени аналитични продукти, както и оценка на приноса на грешките за общата неточност;
- 3) Оценка на несъответствията между ХВТ и CTD профилите, възникващи поради грешки в изчислената дълбочина на ХВТ сондите;

- 4) Намиране на нови коефициенти в уравнението за скоростта на потъване на ХВТ сондите за западната част на Черно море;
- 5) Обективен анализ на набора с данни за температурата и солеността;
- 6) Изчисляване и построяване на летни и зимни климатични вертикални и хоризонтални полета на температурата и солеността с висока резолюция;
- 7) Термо-халинен анализ на водните маси в района на изследване.

3. Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд е структуриран в: увод, четири глави, обобщение и изводи, претенции за приноси, списък на използваната литература и списък на публикациите по дисертацията.

В *Глава 1* е направен преглед на съвременното състояние на разглежданата проблематика и изискванията за качествен контрол на океанографски данни. Идентифицирани са основните празноти и са дефинирани целите на дисертационния труд.

Глава 2 започва с кратко описание на района изследване, използваните CTD и ХВТ данни, географското разположение на измервателните станции, системите за събиране и обработка на данни. След това вниманието е съсредоточено върху използваните методи за качествен контрол и анализ на данните. Това включва: флагове за качество; методи за първична обработка на данните; етапи, процедури и тестове за качествен контрол на данни за температурата и солеността; уравнение за скоростта на ХВТ сондата в морска вода; специфични процедури за качествен контрол на ХВТ данни.

Разглеждането на използваните методи завършва с описание и обосновка на използваната мрежа за анализ на данните за температурата и солеността, схемата за обективен анализ на хетерогенно разположени в пространството данни от измервания и методите за анализ на водните маси.

В *Глава 3* е описано приложението на процедурите за качествен контрол на CTD данни с примери и резултати. Вниманието е съсредоточено върху елиминирането на екстремални стойности, елиминирането на клинове, изследването на температурните и халинни градиенти, корекцията на инверсии в плътността, сравняването с налични климатологични оценки. Определена е обвивката на температурните и халинни профили като функция на дълбочината и допустимия размах на стандартното отклонение на тези параметри. Анализирани са грешките в CTD измерванията. Изследвано е качеството на ХВТ измерванията, като акцентът е поставен върху оценката на несъответствият между дълбочините на термалните структури, измерени едновременно със CTD и ХВТ сонди. Анализирани са причините за това и са предложени нови коефициенти в уравнението за скоростта на ХВТ сондата в Черно море.

В *Глава 4* са представени резултатите от анализа на данните за температурата и солеността. Обсъдени са получените летни и зимни климатични вертикални и хоризонтални полета и са анализирани водните маси. Изведени са най-ярките особености на вертикалното и хоризонталното разпределение на температурата и солеността. В резултат са определени меридионално разположените подзони със специфичен термо-халинен режим и тяхното взаимодействие в рамките на изследваната акватория.

В заключителната част са обобщени изводите от проведените изследвания и са представени претенциите за приноси на автора.

ОСНОВНО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Глава 1. ПРЕГЛЕД НА СЪВРЕМЕННОТО СЪСТОЯНИЕ НА КАЧЕСТВЕНИЯ КОНТРОЛ НА ОКЕАНОГРАФСКИ ДАННИ

В тази глава са описани са основните характеристики на морската вода, които са обект на изследване – температура, соленост и плътност, както и валидните съвременни системи за измерване. След това вниманието е съсредоточено върху методите и уредите, използвани за тяхното измерване и по-специално CTD и ХВТ сонди и обвързаните с тях системи за събиране, първична обработка, записване и визуализиране на термо-халинните профили.

Посочена е същността и е проследено развитието на основните програми за събиране на океанографски данни на световно и регионално ниво, в рамките на които са създадени стандартите за качествен контрол. Особено внимание е обърнато на системата от доброволни корабни наблюдения и в частност в Средиземно и Черно море, както и на голямомасштабните изследователски експерименти в Черно море. Като следващо ниво на използване на данните за създаване на научни продукти, е направен кратък обзор на световните и регионални бази данни и климатологии. Обзорът завършва с разглеждане на особености на вертикалната и хоризонталната термо-халинната структурата, общите черти на циркулацията и водните маси в Черно море.

От прегледа може да се заключи, че в световен мащаб е постигнат голям напредък в познаване на физичните характеристики на морската вода, в методите за тяхното измерване, контролиране на качеството на измерванията, анализа на данните и получаваните продукти, които се използват за различни нужди на крайните потребители на океанографска информация. Черноморският регион успешно се включва в този процес чрез участието на научно-изследователските институции в съвместни програми (ODIN BlackSea, BlackSea GOOS и др.) и проекти (ARENA, ASCABOS, SeaDataNet, MyOcean).

Изучеността на термо-халинната структурата на Черно море е на високо ниво, но въпреки това са недостатъчни познанията за динамиката на основните характеристики на морската вода в шелфовите и крайбрежните акватории, което е възможно чрез анализа на регионални и национални набори от данни, подобни на този – обект на изследване в настоящия труд.

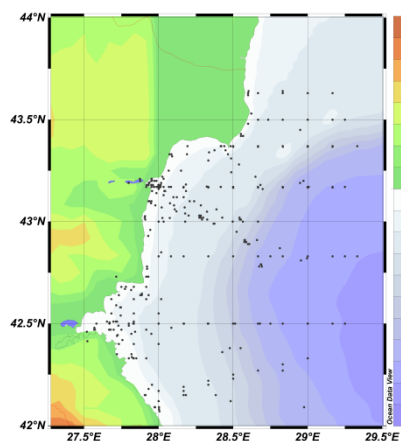
Глава 2. ДАННИ И МЕТОДИ

2.1. Район на изследване

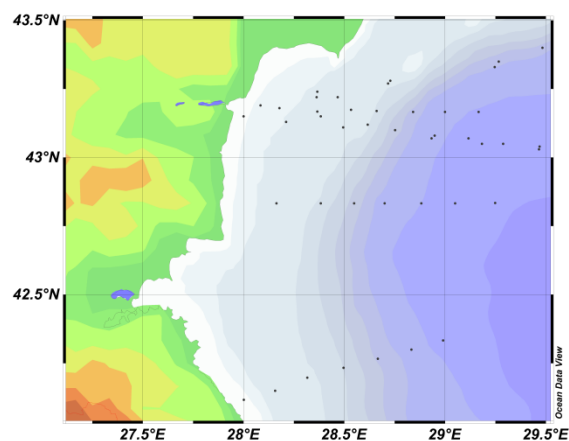
Районът на изследване се намира в западната част на Черно море и се простира $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ по географска дължина и ширина. Той обхваща българското крайбрежие, западния шелф и континенталния склон до дълбочини 1500 m.

2.2. Описание на използваните данни

Данните са събрани с профилиращата CTD система Sea-Bird 911*plus* по време на експедиции на НИК "Академик" в западната част на Черно море. Експедициите са проведени в периода 1995-2010 г.г. Пространственият обхват на наблюденията най-общо е в съответствие с мониторинговата схема на Института по океанология, но данните са събрани не само по време на мониторингови изследвания. Географският обхват е между 27.5° и 29.5° и. д. и между 42.0° и 44.0° с.ш. На Фиг. 2.2 е представен географският обхват и мрежата от измервателни станции, изследвани в периода 1995-2010 г.г. Тя включва 320 станции, а измерените профили са 1230.



Фиг. 2.2. Пространствено разположение на станциите, изследвани със CTD системата Sea-Bird 911plus



Фиг. 2.3. Пространствено разположение на станциите, в които са извършвани измервания с T-6 и T-10 XBT сонди

Вторият набор с данни, разгледан в настоящия труд, представлява температурни профили, измерени с еднократни батитермографи (ХВТ) със системата МК-21. Те са събрани в рамките на проекта ASCABOS, финансиран по 6^{та} РП на ЕК. Измерванията са извършени през 2007 и 2008 г.г. като са използвани T-6 и T-10 ХВТ сонди, произведени от Sippican Inc. Географският обхват на измерванията е между 27.5° и 29.5°и.д. и между 42° и 43.2°с.ш. (Фиг. 2.3). През месец август 2007 г. от борда на НИК „Академик“бяха изстреляни единадесет T-6 и девет T-10 ХВТ сонди, като едновременно с това бяха извършени измервания на водния стълб със CTD сонда. Сондите T-10 са изстреляни в плитководните акватории, а T-6 – в открито море.

Температурните профили, измерени през август 2007 г., представляват основния набор от данни, който позволява да се определят грешките при измерванията с ХВТ, тъй като е прието, че CTD данните представляват истинската температурна стойност и грешките е възможно да се открият само при директно сравнение на ХВТ със CTD профили. Измерванията бяха проведени от неподвижен кораб по време на спускането на CTD сондата. Позицията на изстрелване беше 2.5 m над морското ниво, както е препоръчано от производителя. По време на получаването на данните в софтуера бяха заложени коефициентите в уравнението на скоростта, предложени от IGOOS и производителя.

През месец юли 2008 г. са проведени измервания на още 23 T-6 и 8 T-10 профили, а по-късно същата година през октомври са изстреляни 7 T-6 и 9 T-10 сонди. Тези три групи от профили представляват набора от ХВТ измервания, който е подложен на качествен контрол, корекция на дълбочината и е включен към общия набор от температурни данни, анализиран в настоящия труд.

2.3. Методи за качествен контрол на CTD и ХВТ данни

2.3.1. Процедури за качествен контрол на данни за температурата и солеността

Качественият контрол следва набор от процедури, установени от съвместната работна група на Международната Океанографска Комисия (IOC) и Международния Обмен на Океанографски данни и информация (IODE) (IOC/MG/22, 1990) и тяхната последна редакция (IOC/MG/22Rev., 2010), както и разработките в рамките на проекта MEDAR-MEDATLAS (MEDAR-MEDATLAS Protocol, 2001). Тези процедури се отнасят за данни за температурата и солеността, събирани с различни платформи като профилиращи CTD сонди, термисторни вериги, термосалинографи, както и ХВТ.

CTD данните са в напълно документиран ASCII формат. За всяка станция се използва един файл. Заглавна информация (метаданни) се съдържа във всеки файл заедно с измерените стойности на параметрите – налягане, температура, електропроводимост, както и други параметри. Използвани са само данните, събрани по време на спускането на прибора.

Флагове за качество. Флаговете се използват, за да се категоризира предполагаемото качество на данните. Те показват тяхната надеждност и целите, за които даден набор може да се използва. Флаговете за качество представляват цифри или символи, които се присвояват на всяко наблюдение. За целите на настоящия труд е използвана системата от флагове, разработена в рамките на проекта *SeaDataNet*, която от своя страна се основава на флаговете за качество на IGOSS/UOT/GTSPP & Argo (IOC/2013/MG/54-3, 2013). Същата се използва и от Националния Център за Океанографски Данни към Института по океанология - БАН. Тя се състои от девет флага за качество, както следва:

- 0 = на стойността не е приложен качествен контрол
- 1 = добра (вярна) стойността
- 2 = вероятно добра стойност
- 3 = вероятно грешна стойност
- 4 = грешна стойност
- 5 = стойността е променена
- 6 = стойността е твърде ниска (извън измервателния лимит на уреда)
- 7 = стойността е твърде висока (извън измервателния лимит на уреда)
- 8 = интерполирана стойност
- 9 = липсваща стойност

Първична обработка на CTD данните. Преди прилагането на същинските тестове за качествен контрол на данните е задължително те да преминат предварителна обработка. Първичната обработка на CTD данните се състои от няколко модула, които се базират на познанията за основните физични процеси и океанографски характеристики, за да приложи специфични корекции за всеки индивидуален тип грешки. За тази цел е използван фирменият софтуер на Sea-Bird Electronics, Inc. SEASOFT-Win32 (SEASOFT-Win32 User's Manual, 2004).

Представени са основните модули за обработка на данните, които могат да се обобщят в няколко категории, най-важните от които са:

1. Конвертиране на суровите данни.
2. Обработка на данните – филтриране, подравняване, редактиране на траекторията на инструмента и на съмнителните колебания, изчисляване на производните параметри, усредняване на предварително зададени от ползвателя интервали, най-често 1 m.
3. Управление на файловете.

Тестове за качествен контрол на данните. Тестовите за качествен контрол на данните са условно разделени на пет етапа, които се прилагат последователно.

Първият етап представлява проверка на метаданните за експедицията и станцията. Това включва валидация на началната (заглавна) информация (метаданните) на всеки файл с данни, като номер на станцията, дата и час, географско местоположение, тип инструмент, тип данни и т.н. По-конкретно се проверява платформата, от която са извършва измерването, дали датата и часа в началото и края на даден профил попадат в рамките на продължителността на експедицията, дали местоположението на профила е възможно, т.е. географската ширина е в рамките на района на наблюдение, включително, дали този профил не е разположен на сушата. Друг важен тест е проверката за дублирани профили.

Вторият етап включва проверка на физическата състоятелност на данните. По-конкретно се извършват проверки за невъзможни стойности на параметрите, съобразно световни и регионални прагови стойности, в т.ч. на конкретни хоризонти (слоеве) от водното тяло (обвивка на профила), откриване на спайкове и инверсии в плътността, проверка на градиентите на температурата и солеността.

Третият етап касае проверката доколко измерените данни се съгласуват със световни и регионални климатологии. Тестът се базира на сравнение на статистически оценки (най-често стандартното отклонение) на температурата и солеността.

2.3.2. Уравнение за скоростта на ХВТ сондата в морската вода

ХВТ сондите не са снабдени със сензор за налягането, което означава, че те не мерят пряко дълбочината. Необходимо е уравнение за изчисляване на дълбочината на всяка отделна точка от температурния профил. За целта се използва изминалото време от момента, в който сондата докосне морската повърхност. Уравнението за определяне на скоростта на ХВТ сондата в морската вода, което често се нарича „уравнение време-дълбочина“ или „уравнение за скоростта на потъване“, има следната форма (Reseghetti et al., 2007):

$$Z(t) = At - Bt^2 \quad (2.5)$$

където Z е дълбочината [m], а t е изминалото време [s] от момента, в който сондата докосне морската повърхност.

Коефициентът A [$m\ s^{-1}$] се определя от хидродинамичните характеристики на сондата и е равен на първоначалната ѝ скорост. Коефициентът B [$m\ s^{-2}$] е функция на промените в масата на сондата и на колебанията на характеристиките на морската среда, и по-специално зависимостта на плътността и вискозитета от дълбочината. И двата коефициента са положителни емпирични константи и зависят от типа на ХВТ сондата. Определят се от производителите, експертни групи или самостоятелни изследователски екипи за всеки отделен тип ХВТ сонда, която има различна форма и тегло във водата.

2.3.3. Фактори, оказващи влияние върху качеството на ХВТ данните

Най-общо факторите, оказващи влияние върху качеството на ХВТ данните, могат да се разделят на: външни – метеорологична обстановка, състояние на морската повърхност; фактори, свързани с начина на изстрелване – височина на изстрелване, вертикалност на сондата; и фактори, свързани с характеристиките на самата сонда – тегло на сондата, дължина на нишката, плътност на облицовката на нишката, грапавост на носа и др.

Събирането на качествени данни в повърхностните слоеве силно зависи от това, което става в първите секунди след като сондата докосне морската повърхност. Следователно, особеностите на изстрелването, като височина над морското ниво (H) и вертикалност на сондата спрямо морската повърхност, са особено важни. Препоръчаната от

производителите височина над морското ниво е $H \sim 2.5\text{m}$. Ако не влияят външни фактори, скоростта, с която сондата навлиза във водата, е 6.5 m s^{-1} .

Представени са накратко резултатите от няколко изследвания (напр. *Hallock and Teague*, 1992; *Reseghetti et al.*, 2007), които са противоречиви по отношение на степента на влияние на височината на изстрелване на сондата. Условия при изхвърляне, различни от стандартните, могат да намерят отражение в уравнението за скоростта чрез добавяне на свободен член. По отношение на теглото на сондата важни се оказват разликите между отделните партии.

2.3.4. Качествен контрол на ХВТ данни

Процедурите за качествен контрол на ХВТ данните са съгласувани с общите принципи, разработени за температурни океанографски данни, измерени с различни прибори (IOC/MG/26, 1992). В настоящия труд е възприет набор от процедури, които са приспособени към спецификата на измервателната апаратура и на самите данни. В основни линии те следват препоръките на работна група към МОК (*IOC Techn. Series 42*, 1994) и Австралийския център за океанографски данни (*AODC Techn. Manual 1*, 2001), но са съобразени и с разработките на *Manzella et al.* (2003) и *Reseghetti et al.* (2007), които на примера на Средиземно море модифицират общоприетите процедури с оглед характеристиките на затворени басейни със специфична динамика и воден баланс, какъвто е и Черно море. Тъй като голяма част от конкретните тестове са идентични с описаните по-горе, в този раздел се акцентира върху специфичните.

Качественият контрол на ХВТ данни включва няколко процедури: първоначален визуален преглед на профилите; проверка за невъзможни световни и регионални стойности на параметрите; премахване на съмнителни стойности в повърхностната част на профилите в резултат на прехода на сондата между газовата и течната фаза (т. нар. първоначален преход); елиминиране на клиновете; преизчисляване на температурата през интервал от 1 m; контрол на общата неизправност; сравняване с климатология; финален визуален преглед, потвърждаващ валидността на профила.

По време на спускането си сондата преминава през водни слоеве с различна плътност, но най-голямо влияние върху нея има т. нар. първоначален преход, при който се осъществява преминаването между две среди с коренно различни характеристики. В резултат на това възникват отклонения в повърхностната част на профила. За да се определи колко последователни стойности не отразяват действителната температура в тънкия повърхностен слой е приложена специална процедура, при която се изчислява **емпиричната времева константа (ЕВК)**. Тя се определя като необходимото време преди сондата да достигне стационарен режим в морската вода. Смята се, че режимът е стационарен, когато три последователни стойности се различават помежду си с по-малко от 0.1°C . За изследвания набор от ХВТ данни е намерено, че $\text{ЕВК} = 0.11 \pm 0.03\text{ s}$ за сондите Т-6, а $\text{ЕВК} = 0.13 \pm 0.1\text{ s}$ за Т-10, т.е. в рамките на **общата времева константа** на системата за събиране на данни (0.16 s). Това означава, че изследваните сонди достигат стационарен режим в първите 1-1.3 m. Следователно, температурните стойности, измерени в този времеви/дълбочинен интервал за всеки ХВТ профил, се считат за некачествени.

Преизчисляването на температурата през интервал от 1 m се извършва чрез полиномиална апроксимация. Тази процедура е съпроводена и с изглаждане на профила с Гаусов филтър, което позволява пълното елиминиране на високочестотния шум.

2.3.5. Досегашни изследвания, свързани с грешките при измерванията с ХВТ

През последните десетилетия са проведени многочислени ХВТ измервания. При анализа на точността им е необходимо те да се комбинират с данни, получени от други

инструменти, за предпочитане със CTD профили. Изследователите веднага са забелязали систематична разлика между дълбочините на изотермите, получени с ХВТ и CTD системи в един и същ воден обем. Поради това преди съвместното използване на ХВТ и CTD данни за аналитични цели се налага тези систематични разлики да се елиминират.

Отклоненията в измерените температури могат да се дължат на: 1) самия термистор; 2) нестабилността на сондата (сигнала) при прехода от въздушна към течна фаза в резултат на времевата константа на термистора (а вероятно и на други електронни компоненти) и термалната инерция на сондата; 3) промяната във волтажа (напрежението) в резултат на механична или електрична интерференция и при нарушаване на изолацията на сондата; и 4) процеса на дигитализацията на температурните данни от първичния сигнал.

В дисертационния труд е представено обобщение на изследванията в тази област за последните 40 години. Експериментите са правени преобладаващо в открития океан и не обхващат области, характеризиращи се с екстремни океански условия, като например Арктическият и Антарктическият океан, а също така регионални морета като Черно, Червено и Балтийско море. Използваните данни обхващат различни водни маси ($S = 34\div 37$ psu, $T = 5\div 30^{\circ}\text{C}$), за да може да се оцени влиянието на плътността и вискозитета върху скоростта на потъване на ХВТ сондите. Всички изследователи отбелязват наличието на случайни и систематични разлики в дълбочината на изотермите. Това предполага неточност на коефициентите в уравнението за скоростта, предложени от производителите.

Въпросът дали коефициентите в уравнението за скоростта са подходящи за всички части на Световния океан все още не е решен. *Seaver and Kuleshov* (1982) доказват, че грешката в дълбочината се дължи най-вече на ефекта на вискозитета на морската вода върху скоростта, с която сондата се придвижва във водното тяло. В труда е направен преглед на основните методи за коригиране дълбочината на ХВТ сондите.

Наблюденията върху скоростта на потъване в ниските (топли води) и по-високите ширини (студени води) подсказва съществуването на следните три океански зони, в зависимост от поведението на скоростта на сондите: 1) зони, където сондите потъват по-бързо от скоростта, определена от производителите, което води до отрицателна грешка в дълбочината и се налага корекция на дълбочината; 2) зони, в които сондата потъва в съответствие със скоростта на падане на производителите и не се изисква корекция в дълбочината; 3) зони, където сондата пада по-бавно от скоростта, определена от производителите, което предизвиква положителна грешка в дълбочината и се налага корекция на дълбочината.

2.4. Методи за анализ на данните

2.4.1. Пространствена мрежа, използвана за анализ на данните

Резолуцията на мрежата е ключов елемент за анализа на термо-халинната структура на дадена акватория. От гледна точка на надеждността на статистическата оценка са необходими по-голям обем данни, а от динамична гледна точка водещ е мащабът на процесите. Затова, резолуцията на мрежата би трябвало да е съобразена от една страна с гъстотата и броя на океанографските станции и количеството на данните, а от друга – с мезомащабните динамични процеси в района на изследване.

Тези съображения определят избора на нееднородна резолуция на пространствено-вената мрежа за анализ на данните. Тя е съставена от $11\ 1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$ и $10\ 1/2^{\circ} \times 1/2^{\circ}$ клетки. На Фиг.2.4 първите са означени с **арабски**, а вторите – с **римски** цифри. Клетките са номерирани в меридионално разположени полоси последователно от север на юг. Мрежовите клетки са класифицирани в **четири групи**, които обединяват меридионално разположени акватории със сходен термо-халинен режим. Първата **група А** се състои от

три $1/4^\circ$ мрежови клетки – **1, 2 и 3** – които представят условията в заливите по българското крайбрежие: 1 и 2 обхващат (големия) Бургаския залив, а 3 – акваторията на и в непосредствена близост до Варненския залив.

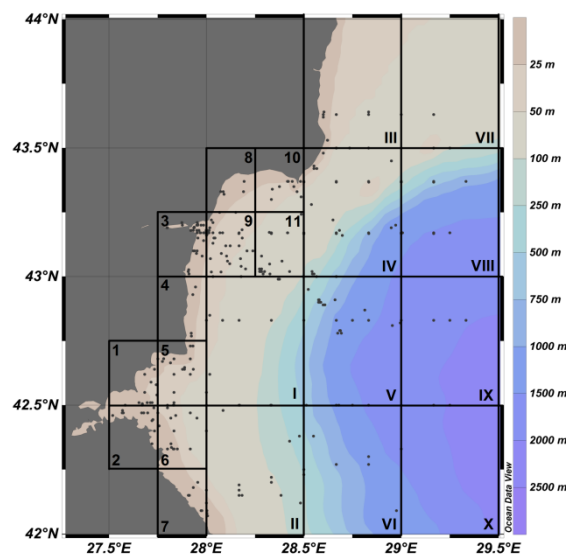
Втората **група Б** се състои от следващите седем $1/4^\circ$ мрежови клетки **4-10**. Клетки **4, 5, 6 и 7** също представляват крайбрежни акватории, но извън специфичното влияние на заливите, а по отношение на мезомасщабната циркулация се намират в региони с преобладаваща антициклонална завихреност. Клетки **8, 9 и 10** се намират в най-северната част на шелфовата акваторията. Третата **група В**, включваща една $1/4^\circ$ клетка **11**, и четири $1/2^\circ$ клетки **I, II, III и IV**. Условията са типични за шелфа и отразяват процесите на смесване между крайбрежните и откритоморските водни маси. Клетките в **група Г** – от **V до X** са откритоморски с вертикално разпределение, характерно за периферията на западния черноморски вихър.

Обосновка на резолюцията на избраната мрежа. Един от факторите, който играе важна роля в мезомасщабната динамика на Черно море, са вълните на Росби (*Stanev and Rachev, 1999; Korotaev et al., 2003*). Различните моди на вълните на Росби имат дължина от десетки до стотици километри. Мярка за това явление е т.нар радиус на деформация на Росби, L_R , който за всяка въртяща се система представлява дължината на линейния мащаб, при който се постига равновесие между гравитационните сили, стремящи се да запазят морската повърхност плоска, и ускорението на Кориолис, стремящо се да я деформира.

Дължината на бароклинния радиус на Росби за Черно море е $\sim 20-30$ km и вълните се разпространяват по-бързо отколкото в океана, където им отнема месеци и години, за да го прекосят. Вълните на Росби са признати като един от основните механизми за разпространението на колебанията на количеството топлина и соли в Черно море.

Следователно, пространствена резолюция на мрежата по-висока от $1/4^\circ$ би могла да удовлетвори едно от изискванията, а именно възможност да се разреши мезомасщабната термо-халинна динамика. От друга страна, пространственото разпределение на станциите е силно хетерогенно такава резолюция не винаги удовлетворява изискването за статистическа достоверност на извадката от данни, особено що се отнася до централната и южната част на шелфа и откритоморските акватории. Поради по-малкия брой станции там е разумно резолюцията на мрежата да бъде по-ниска.

Мрежовите клетки могат да се класифицират в три групи според броя и гъстотата на станциите: добре изследвани с над 30 станции и 100 профила, задоволително изследвани с 15-30 станции и 50-100 профила и слабо изследвани с по-малко от 10 станции и 50 профила. И трите типа станции се срещат както сред $1/4^\circ$ -вите, така и сред $1/2^\circ$ -вите клетки. Следователно, въпреки неравномерното пространствено разпределение на пробонаборните станции, изборът на мрежова резолюция осигурява относителен баланс, гарантиращ представителност на анализа. Това е предпоставка за състоятелността на получените в глава 4 климатични термо-халинни профили.



Фиг.2.4. Пространствена мрежа, използвана за анализ на данните

2.4.2. Метод на обективния анализ

Сезонните климатични полета на температурата и солеността са изчислени като се използва преминалия качествен контрол набор от данни чрез метода на обективния анализ на стандартни хоризонти от повърхността (5 m) до 1000 m. Анализирани са само данните за летния и зимния сезони, които се отличават със стабилна вертикална стратификация. Сезоните са дефинирани като тримесечни периоди като се отчита изоставането на океанските от атмосферните сезони: зимата включва месеците януари, февруари и март; а лятото – юли, август и септември.

Използвана е схемата за обективен анализ, предложена от Gressman (1959) и доразвита от Barnes (1973). Обективният анализ представлява оценка на климатичните средни стойности на температурата и солеността във всяка мрежова клетка, като се базира на кумулативната тегловна разлика между конкретните измервания и полето на първото приближение, определено от зададен ”радиус на влияние” около всеки мрежов възел или център на мрежова клетка. Тази схема предполага коригиране на полето на първото приближение посредством трикратно извършване на процедурата на итеративен принцип, всеки път с намаляващ радиус на влияние. Входните данни за анализа са средните стойности в 1°-ва мрежа на всички стандартни хоризонти, които се изчисляват, използвайки всички налични измервания, независимо от времевия период, в който са получени. Тези стойности представляват полето на първото приближение. Размерът на радиусите на влияние за всяка итерация са представени в Табл. 2.3.

Табл. 2.3 Радиуси на влияние при итеративните процедура в рамките на схемата на Барнс за 1/2°-ва и 1/4°-ва мрежа

Итерация	Радиус на влияние в 1/2° мрежа [km]	Радиус на влияние в 1/4° мрежа [km]
1	250	128
2	125	64
3	50	27

Както беше отбелязано по-горе, полето на първото приближение представлява средното климатично поле в 1°-ва мрежа. То се присвоява на шестнайсетте 1/4°-ви или на четирите 1/2°-ви мрежови клетки, съдържащи се в една 1°-ва клетка.

Корекцията на полето на първото приближение се определя като тегловно средно в зависимост от разстоянието от даден мрежов възел или център на мрежова клетка до всяка точка с данни, попадаща в радиуса на влияние. Получената от Barnes (1973) корекция се дава с израза:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{s=1}^n W_s Q_s}{\sum_{s=1}^n W_s} \quad (2.6)$$

където C_{ij} - корекционен фактор на мрежова точка с координати (ij) ; (ij) – координати на мрежова точка по географска дължина и ширина; n – брой на наблюденията, които попадат в областта около точката (ij) , определена от радиуса на влияние; Q_s – разликата между наблюдаваната стойност в S точката и първото приближение в областта на влияние;

$$W_s - \text{тегловна функция; } W_s = \begin{cases} \exp(-Er^2R^{-2}) & , \quad r < R \\ 0 & , \quad r > R \end{cases}$$

r – разстоянието от конкретна измерена стойност до мрежовата точка; R – радиус на влияние;

$$E = 4.$$

За всяка мрежова точка се изчислява стойността G_{ij} като сума от първото приближение F_{ij} и корекцията C_{ij} :

$$G_{ij} = F_{ij} + C_{ij} \quad (2.7)$$

Ако няма данни в рамките на определената чрез радиуса на влияние област, тогава корекцията е нула, първото приближение не се променя, а анализираната стойност е самото първото приближение. Тази корекция се прилага за всички мрежови точки, за да се създаде аналитично поле.

Интерполацията на хоризонталните полета на температурата и солеността е направена по метода „кригинг“ –признат като най-подходящ при интерполацията на океанографски данни. Резолуцията на аналитичните полета е ~ 4 km.

Глава 3. КАЧЕСТВЕН КОНТРОЛ НА ДАННИ ЗА ТЕМПЕРАТУРАТА И СОЛЕНОСТТА

В този раздел са представени и обсъдени примери, които илюстрират как са приложени процедурите за качествен контрол към наборите от CTD и ХВТ данни. Част от процедурите за контрол за качеството са извършени с помощта на специализирания софтуер Ocean Data View (Schlitzer, 2012).

3.1. Приложение на процедурите за качествен контрол на CTD данни

Първичната обработка на данните и проверката на метаданните са рутинни процедури, поради което те не се разглеждат подробно. В този раздел вниманието е съсредоточено главно върху резултатите от тестовите, включени във втория и третия етап от процедурите за качествен контрол.

Проверка за дублирани профили. В изследвания набор с данни дублираните профили в рамките на дадена експедиция се идентифицират сравнително лесно, тъй като данните са събрани с една и съща платформа - НИК „Академик“. Най-често дублиране на станции се открива в дълбоководните региони поради повторното пробонабиране за биологични и химични данни. В случай на повтарящи се профили, само най-пълния или последния е запазен и използван при анализа на данните.

Проверка на размаха на данните. Допустимият размах за температурата и солеността за Средиземно и Черно море са определени в MEDAR-MEDATLAS (MEDAR-MEDATLAS Protocol, 2001). Те са получени като комбинация от физични аргументи и действително измерените стойности в обобщения набор от исторически данни в двата басейна. В резултат са определени широки и тесни граници за отделните видове наблюдения. Този вид проверка може да се използва за откриване на големите отклонения, тъй като, ако допустимите гранични интервали са твърде тесни, това би могло да доведе до премахването на качествени данни.

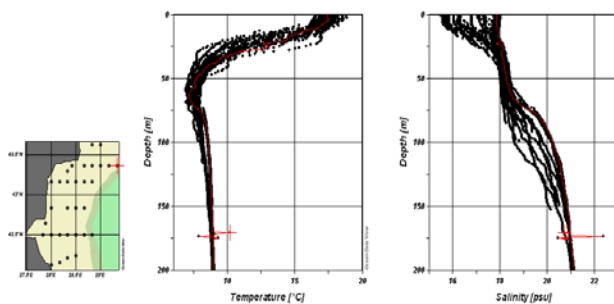
Според MEDAR-MEDATLAS широкият интервал за Черно море е между -1 и 29°C за температурата и между 0 и 24 psu за солеността. Допълнително, с цел по-точен анализ, басейнът е разделен на девет квази-хомогенни сектора. Тестът, при който се използват широките граници, елиминира данни, които са очевидно грешни. От целия набор с данни само няколко наблюдения бяха флагирани като некачествени в резултат на прилагане на тест 2.1 и бяха директно елиминирани. Въпреки че по-голямата част от наблюденията, които удовлетвори този тест, бяха счетени за приемливи, основният проблем беше да се разбере кои от стойностите са все пак грешни. Част от проблема се решава чрез прилагането на следващия тест, при който данните се проверяват дали попадат в тесния граничен интервал.

Подобен, но още по-детайлен е тестът, който проверява *обвивката на профилите*. При този тест се задава допустим интервал за всеки (стандартен) хоризонт (слой) от водния стълб. За целите на качествения контрол е подготвен набор от допустими прагови

стойности за стандартните хоризонти в западната част на Черно море, основавайки се на резултатите от публикувани изследвания, разгледани в глава 1.6.

Елиминирание на клинове.

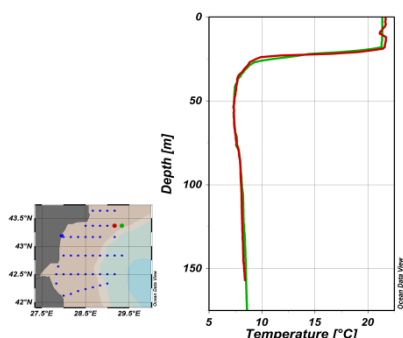
Отнася за откриване на големи отклонения между съседните стойности на температурата и солеността. Наличието на клинове в изследвания набор с данни е илюстрирано с профили, получени по време на няколко експедиции. Клиновете се откриват в различни части от профила, като са представени примери за клинове в СМС и постоянния пикноклин (Фиг.3.3).



Фиг. 3.3. Примери за клинове - юни 2004 г.

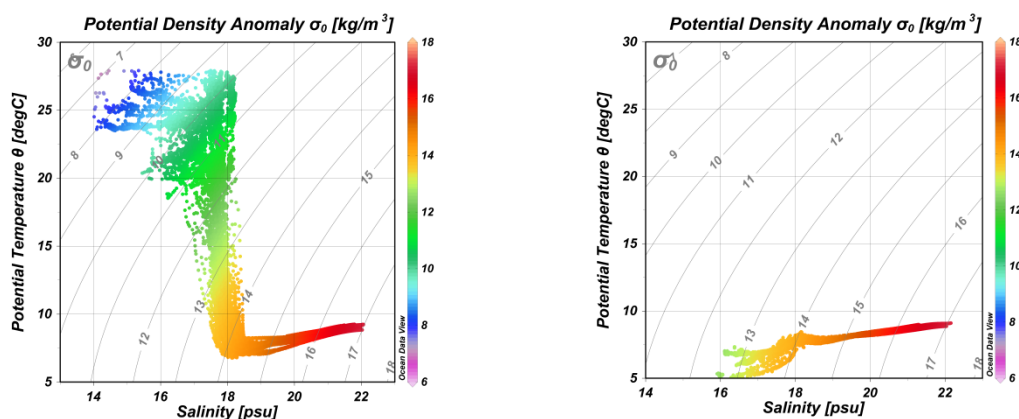
В повечето случаи клиновете се наблюдават едновременно в профилите на температурата и солеността, но не е изключено да бъдат открити само в единия или само в другия профил. Друг тип клинове, дължащи се най-често на инструментални грешки в началото и/или края на профила са клиновете на повърхността и дъното. В изследваната база данни те не са често срещано явление. Стойностите, определени като клинове, са флажирани и елиминирани при анализа.

Градиенти на температурата и солеността. Проверката касае вертикалните градиенти на температурата и солеността в характерни водни слоеве. Данните се считат за грешни в случаи, когато градиентът сменя знака си в слоеве със стабилна стратификация, например, става положителен в слоя на сезонния термоклин или отрицателен в слоя на постоянния хало-термо-клин; както и необосновано повишаване на температурата и/или съответно намаляване на солеността в повърхностния размесен слой (или обратно) (Фиг. 3.6).



Фиг. 3.6. Примери за инверсия на градиента на температурата и солеността в халоклина

В тези случаи възниква съмнение, че картина, различаваща се от стабилната стратификация, се дължи на действителни процеси. Грешката обикновено се разпространява в слоеве с дебелина няколко пъти по-голяма отколкото тези, в които се наблюдават клиновете. Тяхната структура в някои случаи напомня тази на клиновете, но по-често изглежда като „изпъкналост“ на профила. За доказване на тези грешки се изследват и съседни профили за наличието на подобни отклонения в термохалинната структура.



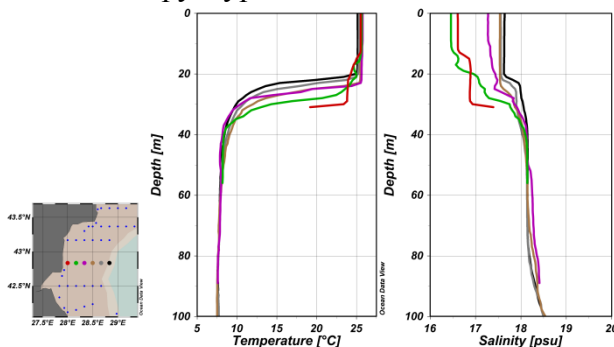
Фиг. 3.8. Сезонни T-S диаграми, разположени върху изопикните: лято (вляво), зима (вдясно)

Инверсии в плътността. Този тест проверява дали съществуват инверсии в плътността с увеличаване на дълбочината. Стойностите на плътността се изчисляват от тези на температурата и солеността при едно и също налягане.

На Фиг. 3.8 са представени сезонни диаграми на потенциалната температура и солеността (T-S крива), разположени върху изопикните. Пресмятането на стабилността не показва плътностни инверсии. Това е постигнато чрез елиминиране на всички съмнителни данни, свързани с инверсии в плътността.

Съвместимост на профилите. Съвместимостта на профилите се проверява чрез каскадното им представяне, което помага да се определи дали съществува съгласуваност както между отделните профили, така и по отношение на характерното климатично пространствено разпределение на термо-халинните структури.

По този начин е възможно да се прецени дали съмнителна част от даден профила намира потвърждение в съседните му профили, което би било индикация за (не)състоятелността му. На Фиг. 3.9 за показани примери за каскадно представяне на профили на температурата и солеността. В този случай то помага да се идентифицира вида и обхвата на грешките, които да бъдат флажирани като съмнителни.



Фиг. 3.9. Примери за каскадно представяне на профили на температурата и солеността

Сравняване с климатология. Използването на статистически данни, за да се установят необичайни или съмнителни профили е основно средство за качествен контрол. Принципът на качествения контрол в този случай се състои в сравнение на наблюденията на даден параметър с наличните статистически оценки за този параметър.

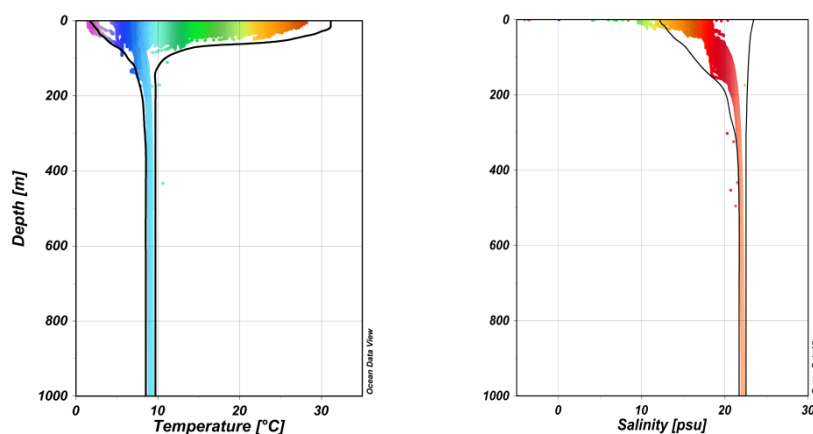
Вертикалните профили от изследвания набор с данни са сравнени с профилите от извадка от MEDAR-MEDATLAS за западната част на Черно море, състояща се от 28 експедиции, проведени през 1977-1995 г.г., когато са извършени 33 200 спускания на 443 станции. Стандартните отклонения на температурата и солеността са изчислени за данни, попадащи в клетките на правоъгълна мрежа с резолюция $1/4^\circ$ на няколко стандартни хоризонта в слоя 5 – 500 m. Стандартните отклонения през лятото показват по-големи колебания от тези през зимата. Стандартните отклонения, получени за изследвания набор от данни, са по-малки от публикуваните в MEDAR-MEDATLAS на всички стандартни хоризонти, което определя доброто качество на данните след приложението на процедурите за контрол на качеството.

Обвивка на профилите. В резултат на прилагането на процедурите за качествен контрол е компилиран набор от CTD данни с високо качество. Това направи възможно построяването на обвивка на температурните и халинните профили, които фиксират размаха на допустимите стойности на тези характеристики на всеки стандартен хоризонт.

Обвивката е построена като полиномиална функция от дълбочината D и допустимите стойности на стандартното отклонение σ на температурата и солеността в повърхностния, междинния и дълбоководния слой (3.1):

$$E_{TS} = f(D, k\sigma_{TS}) \quad (3.1)$$

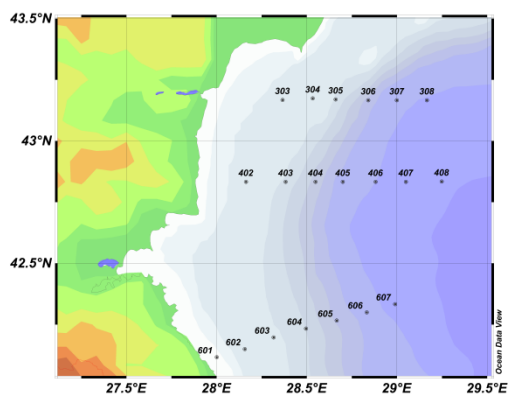
където k е фактор, който варира $3 \div 6$ в зависимост от стандартния хоризонт и намалява с отдалечаване от слоевете с най-голяма изменчивост. На Фиг. 3.13 са представени обвивките на профилите на температурата и солеността на фона на всички данни в набора без значение от флага им за качество.



Фиг. 3.13. Обвивка на температурните и халинните профили, построена като функция на стандартното отклонение

Анализът показва, че в измерените температурни стойности се установяват повече грешки в сравнение с тези на солеността. И при двете характеристики грешките са съсредоточени в горните слоеве и намаляват с увеличаване на дълбочината. Освен това, те се проявяват най-вече като несъответствия в градиента и наличие на клинове. Докато грешките, дължащи се на инверсия на плътността, са рядкост, особено при данните за солеността, то броят грешките в размаха на температурните данни е значително по-голям в сравнение с тези на солеността.

3.2. Оценка на несъответствията между ХВТ и СТД профилите



Фиг. 3.15. Местоположение на пробо-наборните станции по време на експедицията през август 2008 г.

ХВТ данните, предмет на анализ в тази глава, са измерени по време на експедиция с НИК „Академик“, проведена през август 2007 г. Бяха изстреляни единадесет Т-6 и девет Т-10 ХВТ сонди, произведени от Sippican Inc. Едновременно с това бяха извършени измервания на водния стълб със СТД сонда. Сондите Т-10 са изстреляни в по-плитководните акватории, а Т-6 – в открито море. Положението на станциите е показано на Фиг. 3.15.

Дълбочината се определя от уравнението за скоростта (2.5), в което ключово значение имат коефициентите A и B . Стойностите на използваните коефициентите в (2.5) са показани в Табл. 3.3.

Табл. 3.5. Стойности на коефициентите в уравнението за скоростта (2.5)

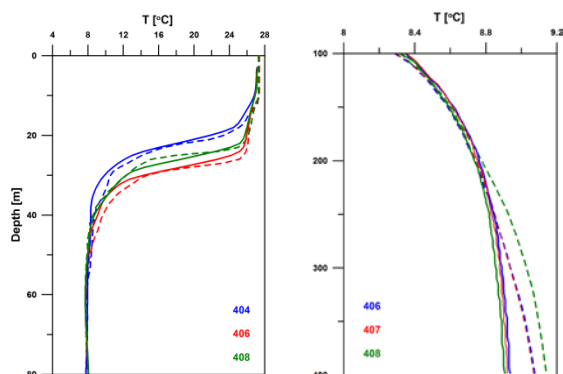
Автор	$A [m s^{-1}]$	$B [m s^{-2}]$
IGOOS/ Sippican T-6	6.472	0.00216
Sippican T-10	6.301	0.00216

Анализът на ХВТ данните, след предварителната им обработка и качествен контрол, се състои в детайлно сравняване на профилите, измерени с ХВТ и СТД, за да се идентифицират термалните структури и дълбочината им. В допълнение, съгласно свободния от температурни грешки метод (Hanawa et al., 1995), по-достоверна информация дават профилите на температурните градиенти dT/dz , както и профилът на температурната разлика $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$. Докато изследването на градиентите дава възможност да се оцени способността на ХВТ сондите да измерват температурните вариации,

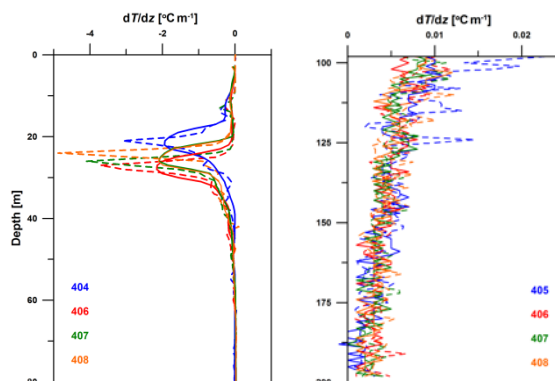
температурната разлика отразява точността на ХВТ измерванията. Изследването на тези две характеристики позволява по-точно да се определи разликата в дълбочината на термалните структури и елиминирането на евентуалните грешки.

Съвместното изследване на ХВТ и CTD профилите показва, че получените данни описват добре термалната структура на Черно море, но се проявяват някои несъответствия, свързани с дълбочината им. Това особено добре проличава в слоя на сезонния термоклин, повърхностната и дълбоководната части на профила (Фиг. 3.16). Най-критичните несъответствия се наблюдават в слоя на сезонния термоклин, докато тези в повърхностния размесен слой са по-малко значими.

T-6 и T-10 профилите показват температура по-ниска от тази измерена със CTD. Затова може да се заключи, че дълбочината на термоклина, съгласно ХВТ данните, е преобладаващо разположена над дълбочината, измерена със CTD. В повърхностния размесен слой, чиято дебелина е 15-20 m, както и в слоя, обхващащ долната част на постоянния термоклин до номиналната дълбочина, ХВТ температурата е винаги по-ниска от CTD. Температурните градиенти $dT_{\text{ХВТ}}/dz$ и dT_{CTD}/dz показват също най-големи изменения в слоя между 15-20 m и 30-40 m дълбочина, както и в повърхностния слой (Фиг. 3.18). Под 40-50 m дълбочина колебанията значително намаляват и при двете сонди T-6 и T-10. Логично, дълбочината на максималния градиент се локализира в слоя на сезонния термоклин (20-30 m). В повечето случаи дълбочината на максимума на $dT_{\text{ХВТ}}/dz$ е по-малка от тази на dT_{CTD}/dz . Тази разлика – 2-4 m – е по-малка в сравнение с публикуваните за Средиземно море (Reseghetti et al., 2007). На дълбочини, близки до номиналната, градиентите клонят към нула (Фиг. 3.18). В тези дълбоководни региони на Черно море няма подходяща термална структура, която да позволи коректна идентификация на разликата в дълбочината.



Фиг. 3.16. Отклонение на температурните профили, получени с T-6 ХВТ



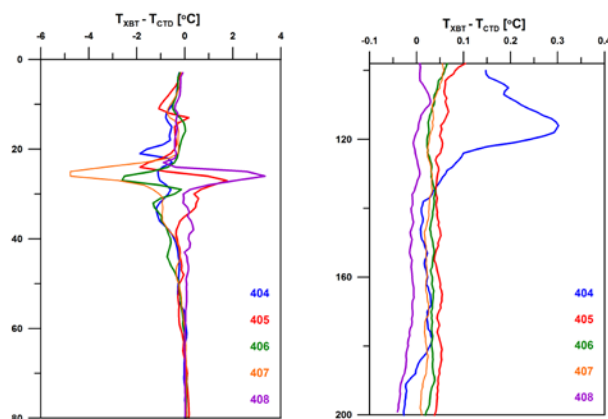
Фиг. 3.18. Профил на температурните градиенти при съвместни T-6 ХВТ и CTD

Максималните отрицателни градиенти на CTD температурата варират в интервала $3.82 \div 4.88^\circ\text{C m}^{-1}$, докато тези на ХВТ температурата са два пъти по-ниски. Градиентите при T-6 сондите са по-високи в сравнение с T-10 – изменят се в интервала $1.82 \div 2.16^\circ\text{C m}^{-1}$ и $1.45 \div 2.11^\circ\text{C m}^{-1}$; при средно 2.05 и $1.80^\circ\text{C m}^{-1}$, съответно. За сравнение, средният температурен градиент за CTD е 3.4°C m^{-1} . На дълбочини по-големи от 150-200 m, dT_{CTD}/dz са винаги по-ниски от $0.005^\circ\text{C m}^{-1}$.

Подобно на разгледаните вече индикатори, най-голяма разлика $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{CTD}}$ се наблюдава в слоя на термоклина (Фиг. 3.20). Разликата $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{CTD}}$ приема отрицателни стойности в активния 50 m слой, както и в дълбоководните части на профила, където тя е с порядък по-малка. Отрицателните разлики се отнасят за случаи, в които ХВТ се намира над CTD профила, т.е. на по-малка дълбочина.

Разликата в повърхностния размесен слой не превишава 0.6°C за T-10 и 0.52°C за T-6. В слоя на сезонния термоклин максималните разлики при T-6 сондите са в интервала -

$5.37 \div 3.33^{\circ}\text{C}$. Максималната отрицателна разлика е винаги по-голяма от 0.6°C , а средната е 2.5°C . Съответните стойности за T-10 сондите са: $-4.51 \div 3.60^{\circ}\text{C}$, 0.33°C и 2.13°C .



Фиг. 3.20. Профил на температурната разлика $T_{\text{XBT}} - T_{\text{CTD}}$ за съвместни T-6 XBT и CTD:
А) слой 0-80 m; Б) слой 100-200 m.

Под слоя на сезонния термоклин стойностите на температурната разлика се колебаят около нулата, като XBT рядко превишава CTD. В студения междинен слой и горната част на постоянния термоклин XBT и CTD се съгласуват много добре. На дълбочини от 100-150 m до номиналната разликата приема отрицателни стойности, като се увеличава монотонно до $0.20\text{-}0.30^{\circ}\text{C}$. Профилите видимо се разклоняват.

3.3. Определяне на нови коефициенти в уравнението за скоростта за западната част на Черно море

Температурната стратификация на водите в Черно море е специфична и се различава от тази в Световния океан, където стойностите намаляват само с няколко градуса в дълбочина. Освен това температурните профили не са монотонно намаляваща с дълбочината функция. Друга важна особеност е, че солеността на черноморските водите в активния слой е два пъти по-ниска от тази в Световния океан. Тези предпоставки водят до по-нисък вискозитет на морската среда в сравнение с регионите, за които са определени коефициентите в уравнението за скоростта. Фактът, че дълбочината на слоя на термоклина при XBT е по-малка, отколкото при CTD данните, показва, че те са неподходящи, защото не отчитат специфичното за Черно море влияние на вискозитета върху скоростта, а именно по-бързото потъване на сондата. Влияние вероятно оказва и сравнително малката дебелина на повърхностния размесен слой. Несъответствията в близкия до повърхността слой не могат да се дължат на коефициента В – изменението му би трябвало да предизвиква незначителна разлика в дълбочината, от една страна, поради хомогенността му, а от друга, тъй като изтеклият период от време е твърде кратък, за да се акумулира забележима грешка. Затова може да се предположи, че основно влияние тук има коефициентът А, който, съгласно изложените доводи, трябва да бъде по-висок от предложения от IGOOS, за да се изравни дълбочината на термоклина при двете измервателни системи.

В долната част на профила също се очаква сондата да потъва с по-висока скорост. С натрупването на тази грешка дълбочината на XBT би трябвало да е по-голяма, отколкото при CTD. В действителност се наблюдава точно това, тъй като в дълбоководния слой под 150 m измерената от XBT температурата е винаги по-ниска от тази, измерена със CTD. Големината на тази грешка, обаче, е трудно да се установи, тъй като в тези слоеве няма характерна структура, която би могла да послужи за количествената ѝ оценка. Картината може допълнително да е повлияна от посоченото в някои изследвания монотонно увеличаване на температурните отклонения в дълбоководието от порядъка на 0.1°C на 100 m, които биха могли изцяло да маскират истинската грешка в дълбочината. Следователно, корекцията на скоростта в долните части на XBT профила би трябвало да се изразява в увеличаване на коефициента В, но поради наслагването на няколко фактора не е ясно дали този подход би имал желания ефект. Затова, от новите коефициенти се очаква повишаване на съгласуваността най-вече в повърхностния слой и термоклина,

както и на по-големи дълбочини, тъй като в студения междинен слой наблюдаваните отклонения са минимални.

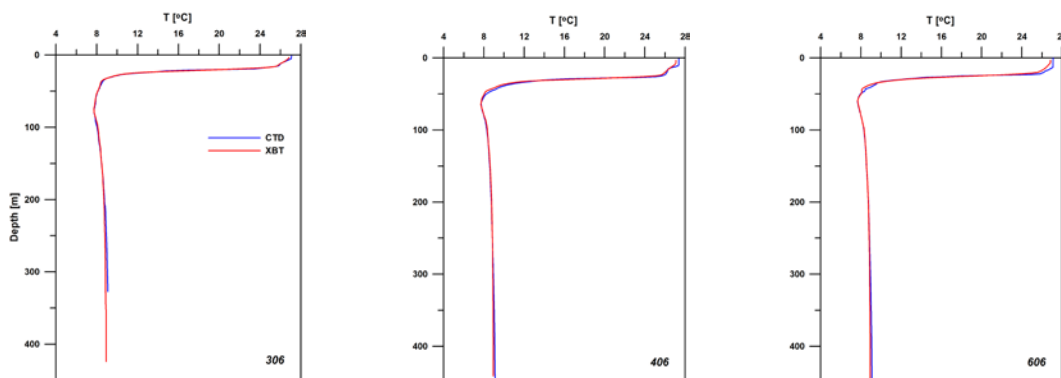
В настоящото изследване е възприет подходът на *Reseghetti et al.* (2007) за определяне на нови коефициенти в уравнението на скоростта. За целта е съставена е матрица от 61 стойности на коефициента A и 9 на коефициента B . В резултат за всяка T-6/T-10 сонда са изчислени (61×9) профила чрез промяна на стойностите на коефициентите в рамките на следните интервали: $6.500 \leq A \leq 6.800 \text{ m s}^{-1}$; $0.00200 \leq B \leq 0.00240 \text{ m s}^{-2}$.

Табл. 3.7. Нови коефициенти в уравнението за скоростта (2.5)

Сонда	$A [\text{m s}^{-1}]$	$B [\text{m s}^{-2}]$
T-6	6.642 ± 0.23	$0.00236 \pm 0.5 \times 10^{-5}$
T-10	6.595 ± 0.15	$0.00231 \pm 0.5 \times 10^{-5}$

За всеки CTD профил са определени шест референтни точки: по три в дълбочинните интервали $0 \div 50 \text{ m}$ и $100 \text{ m} \div$ номинална дълбочина. Температурната разлика $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$ в съответните точки е изчислена за всяка двойка коефициенти. Минималната стойност на сумата на квадратите на разликите за всички точки показва най-добрата двойка за анализираната сонда. Окончателните стойности на коефициентите в уравнението за скоростта за всеки тип ХВТ сонда са представен в Табл. 3.5.

Достоверността на намерените коефициенти се определя от използваните в експеримента типове сонди и ограничения брой както на ХВТ данните, така и на CTD профилите, с които могат да бъдат сравнени. Новите коефициенти A водят до по-добри резултати в повърхностната част на профила ($50\text{-}100 \text{ m}$), докато с коефициентите B не бяха постигнати толкова задоволителни резултати. В частност, не беше възможно да се намери абсолютния минимум на разликата $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$ в дълбоководния слой. Наблюдаваше се монотонно ѝ намаляване, съпроводено обаче с прогресивно намаляване и на дълбочината на профила като цяло. Намирането на новите коефициенти B беше възможно при търсене на компромис между максимално възможното намаляване на разликата $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$, като при това ХВТ профилите се скъсяват с не повече от $20\text{-}25 \text{ m}$.



Фиг. 3.22. Температурни профили, получени с новите коефициенти за ХВТ сондите T-6, съпоставени със съответните CTD профили

На Фиг. 3.22 са показани T-6 ХВТ и CTD профилите след въвеждане на поправките в дълбочината на ХВТ данните като резултат от прилагането на новите коефициенти в уравнението за скоростта на сондите. Основният ефект от комбинираното въвеждане на ЕВК, обработката на данните и въвеждането на новите коефициенти се изразява в съществено редуциране на несъответствието в горните слоеве, особено в дълбочината на термоклина, която сега се различава с около $1\text{-}2 \text{ m}$, а в много случаи в зоната на абсолютния максимум на температурните градиенти е нулева. Наблюдаваните максимални разлики $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$ са около 3-4 пъти по-малки, а средната разлика е по-симетрична по отношение на нулевата стойност. Отклоненията в повърхностния размесен

слой, също се повлияха добре, макар че все още съществуват неголеми различия. Частично бяха компенсирани и неточностите в дълбоководната част на профила. Изчислената максимална дълбочина за сондите T-10/T-6 е винаги по-малка от дълбочината, изчислена с коефициентите на IGOSS (средната разлика в дълбочината е 15 ± 1 m). На практика това означава, че отклонението на XBT от STD профилите започва на по-голяма дълбочина.

Глава 4. АНАЛИЗ НА ДАННИТЕ. СЕЗОННИ КЛИМАТИЧНИ ПОЛЕТА НА ТЕМПЕРАТУРАТА И СОЛЕНОСТТА

В тази глава са разгледани особеностите на средното многогодишно пространствено разпределение на основните скаларни хидрологични характеристики – температура и соленост - в разглеждания регион на Черно море, както и на производната характеристика – плътност. Това е направено за два от годишните сезони – лято и зима – които разкриват контраста в годишните колебания на пространствената динамика на термо-халинната структура. От друга страна, тези два сезона се характеризират със стабилна термо-халинна стратификация и сравнително еднородна динамика на водните маси. Доколкото водните маси запазват характеристиките си в процеса на тяхното движение и смесване, резултатите дават индикации и за характерните мезомасабни циркуляционни образувания.

Акцентът е поставен върху горния активен 200-метров слой, тъй като там протичат основните изменения, които контролират жизненоважните физико-химични и биологични процеси в морето. За целта са построени и анализирани следните сезонни климатични характеристики на температурата и солеността:

- **вертикални профили** (в центъра на всяка от клетките на избраната пространствена мрежа);
- **хоризонтални полета** (на представителни стандартни хоризонти);
- **вертикални разрези** (зонални).

В допълнение са изследвани T-S криви, съответстващи на двойката климатични вертикални профили температура-соленост и са фиксирани границите между водните маси и тяхната степен на смесване.

4.1. Вертикално разпределение на температурата, солеността и плътността

Вертикалното разпределение на температурата, солеността и плътността е представено във вид на сезонни климатични профили, получени в резултат на обективен анализ на данните в мрежа с променлива резолюция – $1/4^\circ$ в крайбрежните акватории и вътрешния шелф и $1/2^\circ$ във външната (югозападна) част на шелфа и откритоморските акватории. Това се налага поради хетерогенното разпределение на мрежата от пробонаборни станции и количеството на данните. Както беше описано в раздел 3.3.1, мрежовите клетки са разделени на 4 групи в зависимост от резолюцията на мрежата; зоната, за която са представителни; дълбочината на дъното и др. За всяка от тези клетки е построен климатичен профил.

Структурата на водните маси през **лято** се характеризира с разлика между циклоналните и антициклоналните региони, която се проявява най-вече в горния 200 m слой с намаляващ контраст в долулежащите слоеве. В тънкия 15-20 m изотермален и изохалинен повърхностен слой разликата в температурите е 2°C , а разликите в солеността и плътността са 0.8-1.0 psu и $0.8\text{-}1.0\text{ kg m}^{-3}$, съответно.

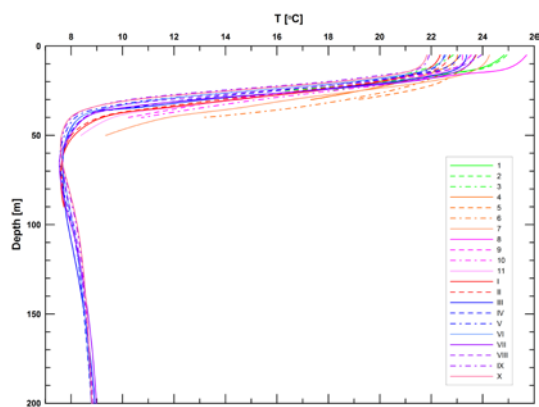
Под повърхностния размесен слой с относително еднородни характеристики на около 18 m в предзаливните, 15 m в циклоналните и 20 m в антициклоналните райони заляга

слоят с рязко променящи се условия, свързани с високи градиенти на сезонната термо-пикно-клинна система. Тази преходна зона има дебелина от 25-35 m. По протежение на тази част от водното тяло средната плътност се променя от 11.5 до 14.0 kg m⁻³, солеността се увеличава с около 0.5 psu, а температурата спада с 12-14°C.

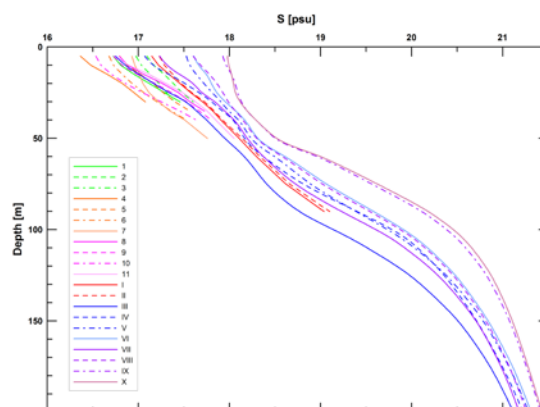
Под сезонния термо-пикноклин се намира друг слой със силна температурна стратификация – студеният междинен слой. Той се идентифицира с температури по-ниски от 8°C и започва веднага след сезонния термоклин, простирайки се до дълбочина 100m. Осреднената за целия изследван период температура в ядрото на СМС – абсолютният минимум по вертикала – е 7.6°C. Ядрото се намира на дълбочина 60-70 m, съответстващо на изопикнични повърхности 14.5-14.8 kg m⁻³. Слой на минимум на температурата е съпътстван от почти линейно нарастване на солеността и плътността до около 19.5-20.3 psu и 15.6 kg m⁻³ на долната му граница.

Водите в СМС са относително по-пресни (0.3°psu) и с по-ниска плътност (0.5 kg m⁻³), но по-студени в антициклоналните райони в сравнение с циклоналните, където горната граница на слоя се намира на около 40-45 m, а дебелината му е 50 m. Тук слой на термоклина също е ограничен до по-малки дълбочини. В антициклоналните райони горната граница на СМС се намира на дълбочина 55 m при дебелина 55 m. Плътността на горната и долната граница на СМС се определя от изопикнични повърхности 14.2 и 15.4 kg m⁻³, съответно.

Под СМС, в слоя, формиращ основата на постоянния пикноклин, солеността, температурата и плътността нарастват почти линейно до 20.8 psu, 8.5°C и 16.2 kg m⁻³, съответно, до дълбочина 150 m. Под слоя на постоянния пикноклин се намират междинния и дълбоководния слой, които се характеризират с постепенно и еднородно нарастване на температурата и солеността.



Фиг. 4.2. Вертикални климатични профили на температурата в активния 200 m слой за летния сезон

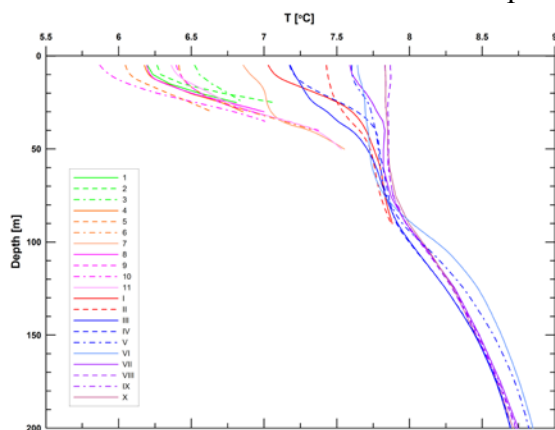


Фиг. 4.3. Вертикални климатични профили на солеността в активния 200 m слой за летния сезон

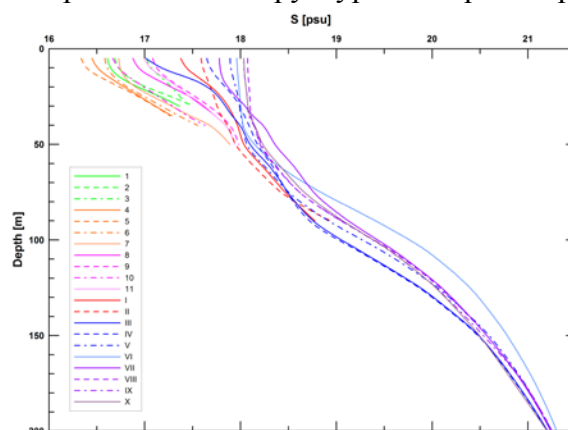
Термалната структурата на водните маси през **зимата** се характеризира с отсъствие на сезонен термоклин и по-малки разлики между циклоналните и антициклоналните региони, в сравнение с наблюдаваното през летния сезон. В резултат на конвективния вертикален обмен повърхностния размесен слой и слоя на сезонния термоклина се разрушават и заместват от квази-изотермален слой с абсолютен минимум на температурата на повърхността: от 6.3°C в крайбрежните райони и вътрешната част на шелфа до 7.5°C в периферията на циклоналните черноморски образувания. В горния 5 m слой солеността се променя от 16.7-17.7 psu, а плътността – от 13 до 14 kg m⁻³. Това определя присъствието на по-солени и по-плътни води в сравнение с летния сезон. Средно през зимата солеността в повърхностния слой е по-висока с 0.3 psu, а плътността – с 3.2 kg m⁻³.

Слой на изотермия се простира до дълбочина 50-60 m, а температурата надвишава 8°C едва на дълбочини по-големи от 90 m. Следователно, студеният междинен слой не може

да се проследи като обособена термална структура. Вертикалната стратификация през зимния сезон се поддържа от термо-хало-пикно-клин системата, където температурата, солеността и плътността нарастват до 8.8°C , 21 psu и 16.3 kg m^{-3} , съответно, до дълбочина $\sim 200 \text{ m}$. Под слоя на постоянния пикноклин междинния и дълбоководния слой се характеризират с постепенно и еднородно нарастване на температурата и солеността. Максималната годишна амплитуда на плътността се наблюдава в повърхностния слой. Това е свързано със сезонните колебания на температурата. Тази амплитуда затихва в дълбочина, достигайки своя минимум в областта на ядрото студения междинен слой, т.е. той се явява пасивен елемент на повърхностната термо-халинна структура на Черно море.



Фиг. 4.6. Вертикални климатични профили на температурата в активния 200 m слой за зимния сезон



Фиг. 4.7. Вертикални климатични профили на солеността в активния 200 m слой за зимния сезон

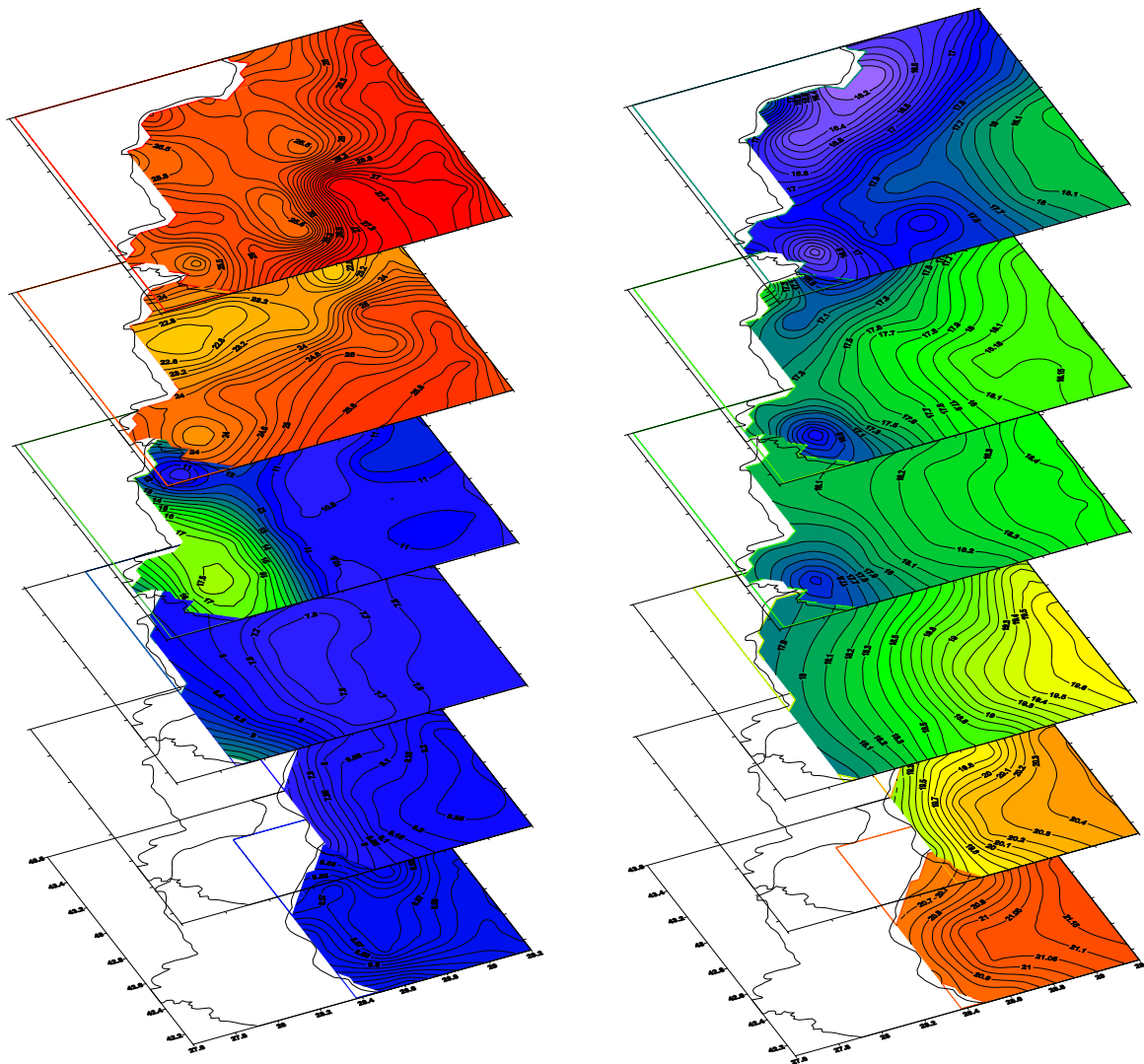
Характерните маркери на зимната стратификация на водните маси, като дълбочина на залягане и дебелина на слоя на постоянния халоклин (около 120 m и 185-195 m, съответно) изпитват слаби зонални вариации – в рамките на 5-10 m, но в сравнение с лятото се намират на по-малка дълбочина поради обострянето на куполообразната структура на залягане на стратифицираните слоеве. Средната соленост в слоя нараства от 19.55 psu до 20.25 psu, а максималният положителен вертикален градиент, който се регистрира отново в горната част на халоклина, е $0.04 - 0.06 \text{ psu m}^{-1}$. Под халоклина солеността нараства монотонно до дъното.

4.2. Хоризонтално разпределение на полетата на температурата и солеността

В този раздел са разгледани климатичните сезонни (летни и зимни) хоризонтални полета на температурата и солеността за ключови слоеве, като повърхностния размесен слой, сезонния термоклин, студения междинен слой и постоянния пикноклин.

Хоризонталните полета на температурата и солеността на хоризонти 5 m и 15 m разкриват пространственото разпределение на термо-халинните характеристики на повърхността и в размесения слой над сезонния термоклин през лятото. Водите в крайбрежните и крайните вътрешни части на шелфа са относително по-хладни и по-пресни със соленост около и по-ниска от 17.0 psu, докато водите в откритоморските акватории са по-солени. Това се отдава на влиянието на води с произход от северозападния шелф, които се локализират по температура $25.0-25.4^{\circ}\text{C}$ и соленост 16.0-16.5 psu в северната част на изследваната област. Навлизайки във външната част на западния шелф тези води се трансформират, а тяхното влияние се проследява меридиално по цялата му дължина, предимно по полето на солеността. Поради особеностите на релефа, а именно издадеността на н. Калиакра и разчленеността на бреговата линия, в заливите и прилежащите им тесни крайбрежни акватории се наблюдават води, които са формирани в местни условия. В споменатите акватории температурата е по-висока от 25.4°C , а солеността – от 17.0 psu.

Присъствието на относително по-хладни и пресни води в крайбрежната зона, от една страна, и по-топли и солени откритоморски води ($T > 26.5^{\circ}\text{C}$, $S > 18.0$ psu), от друга, определя съществуването на обширна фронтална зона от 55-75 km, в която температурата се променя с $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$, а солеността – с ~ 1.0 psu. Това определя хоризонтални градиенти във фронталната зона от $0.02^{\circ}\text{C km}^{-1}$ и $0.015 \text{ psu km}^{-1}$, т.е. с два порядъка по-ниски от вертикалните.



Фиг. 4.9 - 4.14. Хоризонтални климатични полета на температурата (вляво) и солеността (вдясно) на стандартни хоризонти 5, 15, 30, 75, 100 и 150 m за летния сезон¹

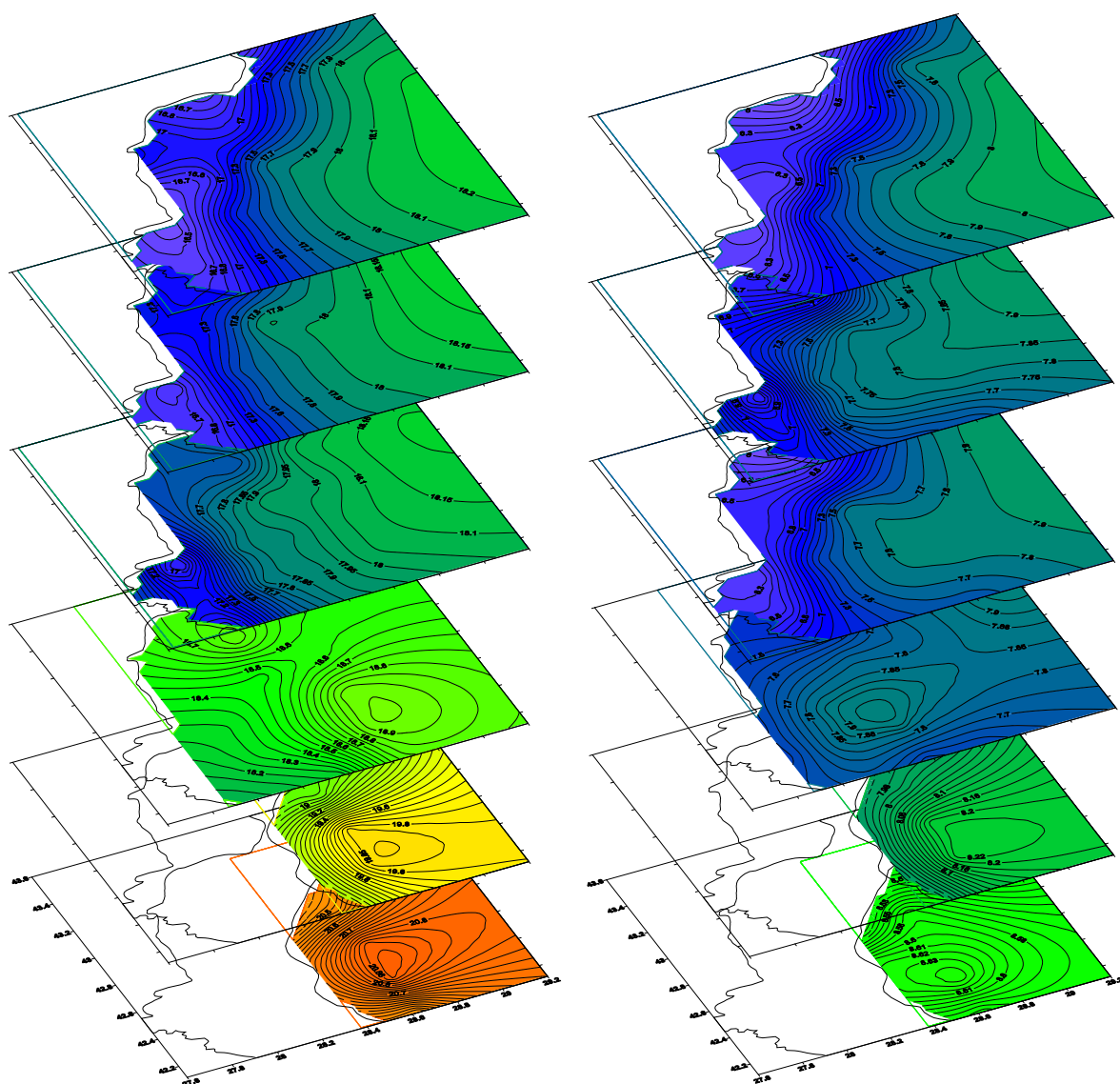
От хидродинамична гледна точка фронталната зона определя местоположението на основното черноморско течение. Известно е, че през летния сезон скоростта му е ниска, в резултат на което то е нестабилно и меандрира по ръба на шелфа. Затова течението обхваща по-голяма повърхност. Фронталната зона може да се проследи по изотерми $25.8 - 26.6^{\circ}\text{C}$ и изохалини $17.4 - 18.0$ psu. Нестабилността на основното течение благоприятства образуването на циклонални мезомасщабни вихри, разпространяващи се от ръба на шелфа към външната граница на изследвания район, следвайки посоката на основното течение; и антициклонални вихри на шелфа, които се формират преимуществено в средната и южната част на западния шелф и се разпространяват в противоположна посока покрай брега (противотечение). Циклоналните вихри носят води,

¹ Поради изискването за сбитост на автореферата, Фиг. 4.9-4.14 и Фиг. 4.15-4.20 са представени в две обобщени фигури на хоризонталните полета на температурата и солеността за лятото и зимата, съответно, на всички анализирани стандартни хоризонти.

формирали се на шелфа, а антициклоналните – по-топли и по-солени откритоморски води. Това е добре познат механизъм на хоризонтално смесване в резултат на турбулентните процеси в периферията на голямо-мащабните вихри (Staneva *et al.*, 2001).

Както се отбелязва в редица публикации, основното черноморско течение разделя доминираната от циклонални вихри вътрешност на басейна от доминираната от антициклонални вихри тясна крайбрежна зона. На Фиг. 4.9 илюстрира проникването на по-топли и солени води във вътрешността на шелфа, както и формирането и отделянето на циклонални вихри към дълбоководието.

Анализът на данните подкрепя твърдението (напр. Korotaev *et al.*, 2003) за съществуване на квази-стационарен Калиакренски вихър. В южната част на Бургаския залив се формира ядро от сравнително по-хладни и пресни води, което, както ще проличи по-късно, се оказва устойчиво образувание в целия воден стълб.

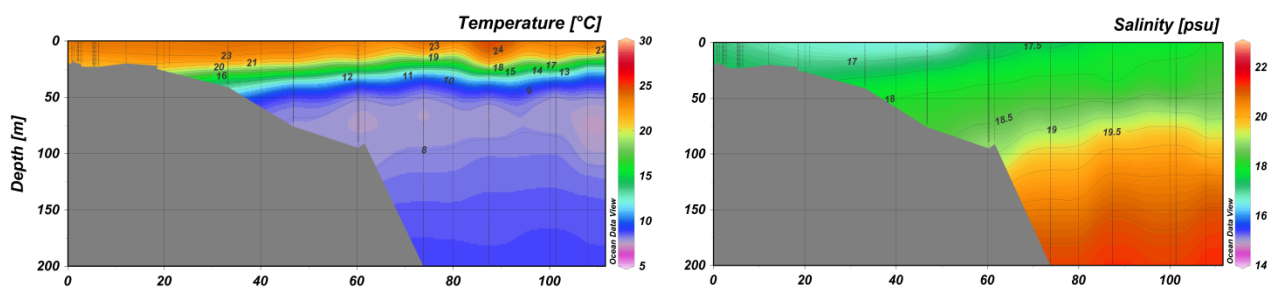


Фиг. 4.15 - 4.20. Хоризонтални климатични полета на температурата (вляво) и солеността (вдясно) на стандартни хоризонти 5, 15, 30, 75, 100 и 150 m за зимния сезон

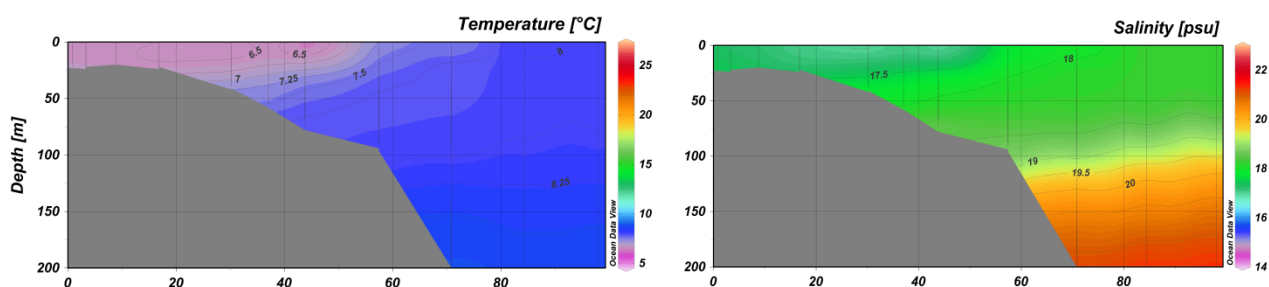
Полето на температурата на хоризонт 30 m е характерно за условията в сезонния термоклин (Фиг. 4.11). Отбелязва се разпадане на фронталната зона на отделни акватории с неголеми различия в температурата и солеността, съпроводено с процеси на активно смесване. Температурата варира между 17.0°C в антициклоналните и 10.5°C в

циклоналните зони, а солеността – от 17.7 до 18.1 psu. Ядрата, описани по-горе, са най-ясно различимите структури, но сега те се оказват с по-топли и по-малко солени води от околните ги: около н. Калиакра – 15.0°C и в южната част на Бургаския залив – 17.0°C. Това показва, че е налице процес на удълбочаване на води, носещи характеристики близки до тези в размесения слой, което се дължи на турбулентните процеси в периферията на басейна. Следователно, наблюдаваната картина в антициклоналните зони съответства на горната част на слоя на термоклина, докато тази в циклоналните – на неговата долна част.

Хоризонталните полета на стандартните хоризонти до дъното показват много по-малък размах на колебанията на изследваните параметри. На Фиг. 4.12 е представено разпределението в ядрото на студения междинен слой (75 m), а на Фиг. 4.13 и 4.14 – в постоянния хало-термо-пикноклин (100 и 150 m). Температурата на стандартен хоризонт 75 m, която се колебае в интервала 7.4 - 8.0°C, е типична за ядрото на студения междинен слой. Тя е най-ниска в най-северните и в централните части на изследвания регион. Във водите в тясната крайбрежна ивица в южната част на Бургаския залив все още е възможно да се проследи ядрото от води с температура по-висока от 8.0°C. Разпределението на солеността се отличава с постепенно и еднородно повишаване от 17.9 до 19.6 psu в откритите акватории, за които този хоризонтален разрез характеризира условията в горната част на постоянния халоклин.



Фиг. 4.21. Вертикални разреди на температурата и солеността на географската ширина на Варненския залив за летния сезон



Фиг. 4.22. Вертикални разреди на температурата и солеността на географската ширина на Варненския залив за зимния сезон

Зимните климатични хоризонтални полета на температурата и солеността разкриват основните характеристики на сезонната динамика (Фиг. 4.15 - 4.20). Фронталната зона на стандартен хоризонт 5 m, разделяща крайбрежните от водите във вътрешността на басейна, е около 3-4 пъти по-тясна (~20-25 km) в сравнение с летния сезон, което се определя от интензивността на циркулацията (Фиг. 4.15). Затова може да се предположи, че поради интензификацията на голямо мащабната циркулация, основно черноморско течение е силно притиснато към страничните граници на басейна: оста му следи изобати 50-60 m. Наличието на крайбрежна водна маса с температура 5.9 - 6.4°C се дължи на преохлаждането на относително по-пресните води ($S < 17.0$ psu) и конвективното размесване. Температурите във фронта нарастват от 6.4 - 7.4°C, а солеността – от 17.0 до

17.8 psu. Температурата на повърхностните води в откритоморските акватории е с около 2.2°C по-висока от тази в крайбрежните. Подобна е картината и на стандартен хоризонт 35 m (Фиг. 4.17). Температурата и солеността на крайбрежните води се увеличават, докато тези на откритоморските не се променят. Фронталната зона също не променя характеристиките си.

На хоризонт 75 m се отбелязват най-незначителните колебания на параметрите: $T=7.65\div 7.95^{\circ}\text{C}$, $S=18.2\div 18.9$ psu (Фиг. 4.18). Условията на хоризонти 100 и 150 m са почти еднородни с постепенно зонално увеличаване на температурата и солеността. Максималната температура в халоклина е по-високи от 8.2 и 8.6°C, а максималната солеността – от 19.8 и 20.8 psu, съответно (Фиг. 4.19 и 4.20). Това означава, че на фона на минималното покачване на температурата поради инверсията в термоклина, ръстът на солеността е значителен – в рамките на 50 m и в условията на централните части на главния халоклин солеността нараства с повече от 1 psu.

Описаните особености на вертикалната и хоризонталната термо-халинна структура в района на изследване намират потвърждение и в сезонните вертикални разрези на температурата и солеността. Те са построени за два разреза на географската ширина на Варненския залив за лятото (Фиг. 4.21) и зимата (Фиг. 4.22).

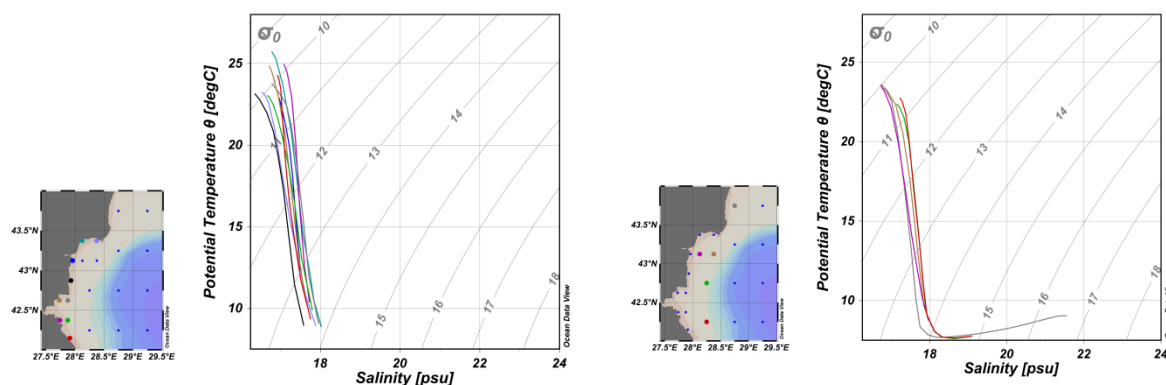
4.3. T-S анализ и водни маси

T-S анализът показва, че в структурата на водните маси в изследвания район участват четири типа водни маси – плитководна (повърхностна), подповърхностна, междинна и дълбоководна. Тази структура проличава добре в диаграмите на разсейване, построени от целия набор от данни (Фиг.4.7). В този раздел са построени сезонни T-S криви, които съответстват на климатичните вертикални профили, представени по-горе (Фиг. 4.23 и 4.24). Според формата на кривите изследвания район може да се раздели на три части: крайбрежна, шелфова и откритоморска. В крайбрежната част през лятото се наблюдават две водни маси – плитководна и повърхностна – а през зимата – само една. В шелфовата присъстват и междинната и по-малка или по-голяма част от дълбоководната маса.

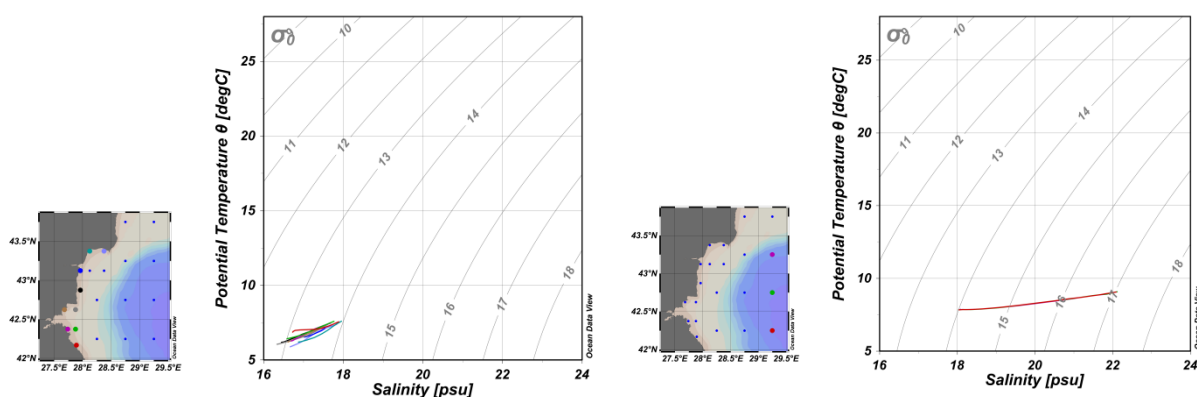
T-S кривите през лятото имат типичната L-образна форма (с изключение на тези от група А), която определя триъгълник на смесване. Това означава, че основните водни маси са три: подповърхностна, междинна и дълбоководна. Повърхностната се отбелязва в най-горната част на T-S кривите и не участва в триъгълника на смесване. Ярکو изразената L-образна форма предполага слабо или липса на смесване между трите основни водни маси, което е обусловено от устойчивата стратификация на водното тяло през този сезон. През зимния сезон поради охлаждането на повърхностния слой T-S кривата има близка до линейната форма, което определя права на смесване. Независимо от това, тя се отличава със сложна форма поради наличието на повърхностна водна маса (в ~ 50 m слой), обхваната от зимните конвективни процеси на смесване, която е с еднородна температура и с много слаби колебания на солеността (изотермен и квази-изохалинен слой), междинна и дълбоководна маси. Формата на кривата показва много по-активните процеси на смесване между летните плитководна и подповърхностна водни маси, които сега представляват една единствена водна маса.

Най-голяма изменчивост при летните T-S криви има в повърхностния 50-60 m слой. Плитководната (повърхностна) водна маса има най-голям обем в заливните и крайбрежните акватории, където обхваща съизмерима с останалите водни маси част от водното тяло. Съществуването ѝ е обусловено от присъствието на по-пресни и топли води. Повърхностната водна маса се наблюдава при всички T-S криви, като има различни характеристики. Тя има най-ниска соленост за група Б, следвана от група А, В и Г, на фона на минимални колебания на температурата. Границата между плитководната и

подповърхностната водни маси се намира на 13 m за кривите от група А, на 15 m за групи Б и В и на 16 m за група Г с осреднен T-S индекс (22.5; 17.28).



Фиг. 4.23. T-S криви на меридионално разположени акватории за летния сезон



Фиг. 4.24. T-S криви на меридионално разположени акватории за зимния сезон

Подповърхностната водна маса обхваща основно водите в термоклина и също се наблюдава повсеместно. Обемът ѝ намалява при прехода от крайбрежни към дълбоки води, което е свързано с по-плиткото залягане на слоя с максимални температурни градиенти. Границата между подповърхностната и междинната водни маси се намира на: 27 m за кривите от група А, 32 m за група Б, 28 m за група В и 25 m за група Г с осреднен T-S индекс (15.29; 17.58).

Междинната водна маса се състои от водите на студения междинен слой с абсолютен минимум на температурата и соленост над 18.0 psu. Наличието на този слой, който е ограничен от две страни от система от термо-хало-пикноклинове, възпрепятства смесването между повърхностната и дълбоководната водни маси през лятото. Ядрото на междинната водна маса се намира на 60-75 m дълбочина и има T-S индекс (7.53; 18.49). Добре изразена дълбоководна маса се наблюдава само в откритоморската част от изследвания район. Тя граничи с междинната на 118 m за група В и 100 m за група Г с осреднен T-S индекс (8.18; 20.01).

Както беше коментирано по-горе, през зимата повърхностната и подповърхностната водни маси се смесват активно и образуват една водна маса, която се разпространява до дълбочина около 30 m в циклоналните и 50-55 m в антициклоналните акватории. T-S индексът на тази граница е (7.69; 17.96). Тази маса е ясно изразена при T-S кривите за групи А, Б и В, като при група А обхваща целия воден стълб. При останалите, относителният ѝ обем намалява, за да изчезне напълно в дълбоководната зона (група Г). Поради ерозията на студения междинен слой зимната повърхностна водна маса увеличава обема си за сметка на междинната водна маса. От друга страна, се наблюдава

задълбочаване на последната, като границата ѝ с дълбоководната се намира на 128 m за група В и 120 m за група Г с осреднен T-S индекс (8.31; 20.01). Стойността на индекса почти не се различава от лятната, което е индикатор за слабия сезонен обмен между междинната и дълбоководната маси.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ

В резултат на проведените изследвания могат да се формулират следните изводи:

1. В резултат от прилагането на алгоритмите и процедурите за качествен контрол, изследваният набор от CTD данни е приведен в съответствие със световните стандарти, като е повишено качеството му. Посредством присвояването на флагове на данните, качеството на набора е известно за бъдещите ползватели. Следователно, индикаторите (флаговете) за качеството на данните са полезни при определянето дали наблюденията, преминали качествен контрол, са подходящи за различни научни и научно-приложни цели. От своя страна, това допринася за изследването на термо-халинния баланс на региона.
2. Анализът на грешките показва, че в измерените температурни стойности се установяват повече грешки в сравнение с тези на солеността. Причината се крие в големите колебания на температурата в активния слой, докато солеността е доста консервативна характеристика. И при двете характеристики грешките са съсредоточени в горните слоеве и намаляват с увеличаване на дълбочината. Освен това, те се проявяват най-вече като несъответствия в градиента и наличие на клинове. Докато грешките, дължащи се на инверсия на плътността, са рядкост, особено при данните за солеността, то броят грешките в размаха на температурните данни е значително по-голям в сравнение с тези на солеността.
3. Установено е, че уравнението за скоростта с коефициенти, предложени от IGOOS, описва задоволително характерните термални структури, но са налице отклонения в дълбочината на термалните структури, зависеща от типа на ХВТ сондата. Най-осезаеми са те в дълбочината на слоя с максимални температурни градиенти. Температурната разлика $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$ там е с порядък по-голяма, отколкото в повърхностния и дълбоководния слой.
4. Значителна част от проблемите при ХВТ измерванията, които се появяват близо до повърхността, се обяснява с времевия отговор на системата за събиране на данни, т.е. времето необходимо за измерване на температурата при стандартна точност на сондите. Температурните характеристики в горните слоеве се представят по-добре чрез изчисляването на емпирична времева константа за всеки тип сонда. Установено е, че това емпирично решение може да се приложи за всички ХВТ сонди.
5. Основният ефект от комбинираното въвеждане на ЕВК, обработката на ХВТ данните и намирането на новите коефициенти се изразява в съществено редуциране на несъответствието в горните слоеве, особено в дълбочината на термоклина, която след въвеждането на корекциите се различава с около 1-2 m. Наблюдаваните максимални разлики $T_{\text{ХВТ}} - T_{\text{СТД}}$ са около 2-3 пъти по-малки, а средната разлика е по-симетрична по отношение на нулевата стойност. Отклоненията в повърхностния размесен слой, също се повлияват добре, макар че все още съществуват някои различия. Частично са компенсирани и неточностите в дълбоководната част на профила.
6. Сред най-ярките особености на вертикалната термо-халинна структура са:
 - големи вертикални контрасти на солеността (до 5 psu), температурата (до 20°C) и на плътността (до 7 kg m⁻³) в горния 50-75 m слой за температурата и 150-

200 m слой за солеността с изключително високи градиенти (до $1.3^{\circ}\text{C m}^{-1}$ и 0.6 psu m^{-1});

- ясно изразена вертикална асиметрия в термо-халинната структура на водите, която се отличава с повърхностен тънък 50-75 m относително по-пресен слой и с порядък по-дебел солен квазиеднороден слой, разделени от термо-хало-пикноклина;
- наличие през лятото на студен междинен слой, намиращ се в горната част на силно стратифицираните води в халоклина, с абсолютен минимум на температурата по вертикала, който дава начало на температурна инверсия – слаб ръст на температурата с увеличаване на дълбочината;
- основен принос на солеността за плътностната стратификация с изключение на повърхностния слой през лятото, когато стратификацията е термично обусловена;
- наличие на относителна однородност в меридионално направление, а изменчивостта се наблюдава основно зонално.

7. Средните климатични полета на температурата и солеността в повърхностния, студения междинен и дълбоководния слой имат различна структура и характер на сезонна изменчивост, които се определят от различните процеси на тяхното формиране. В повърхностните слоеве полето на температурата през лятото, както и през зимата, се определят от топлообмена през морската повърхност. Термо-халинните колебания на водите в северозападния шелф оказват влияние на района на изследване поради хоризонталната адвекция на топлина и соли.

8. През лятото разположението на термалните и халинните фронтове не се съгласува напълно в повърхностните слоеве поради разликата в процесите на формирането им. Независимо от това, корелацията между хоризонталните полета на температурата и солеността е висока, особено в подповърхностните слоеве и през зимния сезон. На хоризонтите под СМС, тяхната структура и сезонните им колебания се определят от общата циркулация на Черно море в съответствие със закона за съхранение на потенциалната завихреност (Stanev, 1990). Зимното усилване на циклоналната завихреност води до издигане на слоевете средно с 30-50 m, което води до повишаване на средните стойности на температурата и солеността и обостряне на куполообразната структура на водите. През лятото тези процеси се развиват противоположно.

9. T-S анализът показва, че в структурата на водните маси участват четири типа водни маси – плитководна (повърхностна), подповърхностна, междинна и дълбоко-водна. Според формата на кривите изследвания район може да се раздели на три части: крайбрежна, шелфова и дълбоководна. В крайбрежната част през лятото се наблюдават две водни маси – плитководна и подповърхностна – а през зимата – само една. В шелфовата и дълбоководната зона присъстват и междинната и дълбоководната маса.

10. T-S кривите през лятото имат типичната L-образна форма, която предполага слабо или липса на смесване между трите основни водни маси, което е обусловено от устойчивата стратификация на водното тяло през този сезон. През зимния сезон поради охлаждането на повърхностния слой T-S кривата има близка до линейната форма. Независимо от това, тя се отличава със сложна форма поради наличието на однородна повърхностна водна маса (~ 50 m слой), обхваната от зимните конвективни процеси на смесване, междинна и дълбоководна маси.

ПРЕТЕНЦИИ ЗА ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Адаптирана е международно утвърдена система от критерии за първична обработка и качествен контрол на данни за температурата и солеността. Тази система е приложена върху набор от данни, измерени със съвременна техника - CTD и ХВТ сонди.
2. Компилиран е набор от данни за температурата и солеността в западната част на Черно море с контролирано качество, обхващащ 15 годишен период (1995 - 2010 г.г.), който да послужи за основа на аналитични продукти. Оценен е приноса на различни по характер грешки за общата неточност на набора.
3. Направена оценка на несъответствията между съвместно измерени ХВТ и CTD профили в западната част на Черно море. Анализирани са причините, поради които възникват, а грешките в изчислената дълбочина на ХВТ сондите са количествено оценени. Предложен е подход за тяхното намаляване, като се изхожда от специфичните условия в басейна на Черно море.
4. пределени са нови коефициенти в уравнението за скоростта на ХВТ сондите, валидни за западната част на Черно море, в резултат на което чувствително е подоброено съответствието между ХВТ и CTD профилите. Това създава предпоставка за бъдещо използване на ХВТ технологията за синоптично заснемане на температурата в западния сектор на Черно море.
5. Изчислени, построени и охарактеризирани са летните и зимните климатични профили, както и хоризонтални и вертикални полета на температурата и солеността с висока резолюция в крайбрежната и шелфовата зона чрез обективен анализ на набора от CTD и ХВТ данни. В резултат са определени меридионално разположените подзони със специфичен термо-халинен режим и тяхното взаимодействие в рамките на изследваната област.
6. Чрез термо-халинен анализ са определени броя и степента на взаимодействие на водните маси във всяка подзона на изследвания район, както и дълбочината и термо-халинните индекси на ядрата им и границите между тях.

Представените приноси могат да се разделят на приложни – 1; научно-приложни – 2 и 3; и научни – 4, 5 и 6.

ЛИТЕРАТУРА

(само цитираната в автореферата)

1. AODC: Expendable Bathythermographs (XBT) delayed mode, Quality control manual, Australian Oceanographic Data Centre (AODC), Data Management Group, Technical Manual 1/2001, 24, 2001.
2. Barnes, S. L.: Mesoscale objective analysis using weighted time-series observations, NOAA Tech Memo, ERL NSSL-62, National Severe Storms Laboratory, Norman, OK 73069, 60, 1973.
3. Gressman, G.: An Operational objective analysis system, Mon. Wea. Rev., 87, 367-374, 1959.
4. Crosby, P., Quality is Free, New York: McGraw-Hill, 1979.
5. Hallock, Z. R., Teague, W. J.: The fall rate of the T7 XBT, J. Atmos. Oceanic Technol., 9, 470-483, 1992.
6. Hanawa, K., Rual, P., Bailey, R., Sy, A., Szabados, M.: A new depth-time equation for Sippican or TSK T-7, T-6 and T-4 expendable bathythermographs (XBT), Deep-Sea Research Vol. 42, 1423-1451, 1995.
7. Intergovernmental Oceanographic Commission: GTSP Real-Time Quality Control, Manual and Guides 22, SC-90/WS-74, UNESCO, 128, 1990.

8. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Technical Series 42. UNESCO: Calculation of New Depth Equations for Expendable Bathythermographs Using a Temperature-Error-Free Method (Application to Sippican/TSK T-7, T-6 and T-4 XBTS), 51, 1994.
9. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC): GTSP Real-Time Quality Control Manual, First Revised Edition (IOC Manuals and Guides No. 22, Revised Edition), UNESCO, 145, 2010.
10. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC): Ocean Data Standards, Vol. 3: Recommendation for a Quality Flag Scheme for the Exchange of Oceanographic and Marine Meteorological Data (IOC Manuals and Guides, 54, Vol. 3.), 21, 2013.
11. Korotaev, G., Oguz, T., Nikiforov, A., Koblinsky, C.: Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data. *J. Geophys. Res.*, 108(C4), 3122, doi: 10.1029/2002JC001508, 2003.
12. Manual and Guides 26 - Manual of quality control procedures for validation of oceanographic data. Prepared by: CEC: DG-XII, MAST and IOC: IODE, SC-93/WS-19 UNESCO, 437, 1993.
13. Manzella, G. M. R., E. Scoccimarro, N. Pinardi, M. Tonani: Improved near real time data management procedures for the Mediterranean ocean Forecasting System-Voluntary Observing Ship Program, *Ann. Geophys.*, 21, 49-62, 2003.
14. MEDAR-MEDATLAS Protocol. Part I. (Maillard, C., Fichaut M., Eds): Exchange format and quality checks for observed profiles, *Rap. Int. TMSI/IDM/SISMER/SIS00-084*, 1-49, 2001.
15. Reseghetti, F., et al.: Factors affecting the quality of XBT data - results of analyses on profiles from the Western Mediterranean Sea, *Ocean Sci.*, 3, 59-75, 2007.
16. Schlitzer, R.: *Ocean Data View User's Guide*, 2012.
17. SEASOFT-Win32 User's Manual: SBE CTD Data Processing and Plotting Software for Windows 95/98/NT/2000/XP, Sea-Bird Electronics, Inc., 109, 2004.
18. Seaver, G. A., Kuleshov, S.: Experimental and analytical error of Expendable bathythermograph, *J. Phys. Oceanogr.*, 12, 592-600, 1982.
19. Stanev, E., Rachev, N.: Numerical study on the planetary Rossby modes in the Black Sea, *Journal of Marine Systems* 21, 283-306, 1999.
20. Staneva, J., Dietrich, D., Stanev, E., Bowman, M.: Rim current and coastal eddy mechanisms in an eddy-resolving Black Sea general circulation model, *Journal of Marine Systems*, 31, 137 - 157, 2001.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

I. Статии, публикувани в списания с импакт фактор

1. **Valcheva, N.**, Palazov, A., 2010. Quality control of CTD observations as a basis of estimation of thermohaline climate of the Western Black Sea, *J. of Environmental protection and ecology*, Vol.11, No.4, 1504-1515 (ISSN 1311-5065).

II. Публикувани доклади от международни научни конференции

2. **Valcheva, N.**, Palazov, A., 2007. Some aspects of quality control of temperature data acquired with a CTD system, *Proc. of the 3rd Int. Scientific Conf. "Space Ecology Nanotechnology Safety"*, 27-29 June 2007, Varna, Bulgaria, 295-299.
3. **Valcheva, N.**, Palazov, A., Valchev, N., 2010. Assessment of depth errors in the T-6 and T-10 XBT probes for the Western Black sea, *Proc. of 10th Int. Conf. on "Marine Sciences and Technologies - Black Sea'2010"*, Varna, Bulgaria, 243-248 (ISSN 1314-0957).

QUALITY CONTROL OF OCEANOGRAPHIC DATA

(Summary)

Safety of human activities related to the sea constantly raises the problem of correct measurement and interpretation of oceanographic data in solving a number of applied and scientific problems. The increasing amount of data implies their timely quality control and understanding of key ocean parameters distribution thus serving to a number of activities and users. Quality check on the other hand requires a reliable climatic analysis to provide benchmark values. Thus, data collection, quality control and analysis prove to be interrelated components that are essential for activities, whose performance depends on environmental data acquisition, such as data assimilation, forecasting of short-term changes of marine environment, and assessment of the ocean impact on the climate change. All they represent inherently different levels of data analysis.

The proposed thesis consists of four chapters, 59 figures and 12 tables. The main objectives are to 1) validate the quality of a dataset consisting of temperature and salinity profiles measured during 1995-2010 with contemporaneous systems (CTD and XBT) through the adaptation and application of internationally recognized standards for quality control; 2) analyze the combined dataset in order to obtain high resolution seasonal climatic vertical and horizontal fields of temperature and salinity for the western part of the Black Sea.

In this context, a literature review is carried out, presenting the current state and requirements for quality control of oceanographic data. Methods and tools used for measurement, in particular CTD and XBT probes, and related systems for collection, pre-processing and display of temperature and salinity profiles are described. Unified methods for primary processing and quality control procedures of temperature and salinity data are presented and results of their application are critically assessed.

As a result of quality control procedures application an error-free dataset of temperature and salinity was compiled that can serve as a basis for high quality analytical products. The difference between XBT and collocated CTD profiles was estimated. It was found that the fall rate equation employing the IGOOS empirical constants describes satisfactorily the typical thermal structures; nevertheless, important variations in their depth emerge, depending on the type of XBT probe. To overcome this problem, new empirical constants in the fall rate equation, valid for the western Black Sea, were proposed. This resulted in significant improvement of the correlation between the XBT and CTD profiles leading to a considerable reduction of the discrepancies in the upper layer, especially in the depth of the thermocline as well as in the deep part of the profiles. This allows XBT data set to be merged with CTD data.

Consequently, the set of CTD and XBT data is objectively analyzed in order to calculate high resolution climatic summer and winter vertical and horizontal fields of temperature and salinity. The analysis confirms well-known structure of the water masses in the Black Sea and, in addition, contributes to a deeper understanding of mesoscale thermo-haline structure in the inner shelf and near-shore areas. Among the most pronounced features of the vertical structure are: large vertical contrasts in salinity (up to 5 psu), temperature (up to 20°C) and density (up to 7 kg m⁻³) in the upper 50-75 m layer for temperature and 150-200 m layer for salinity with extremely high gradients (up to 1.3°C m⁻¹ and 0.6 psu m⁻¹), and a distinct asymmetry in the vertical thermo-haline structure, which features a thin surface 50-75 m relatively fresher layer and a much thicker salty quasi-uniform layer separated by the thermo-halo-picno-cline system. The results allow determination of the meridionally located subareas with specific thermo-haline regime: bays, open coastal, inner and outer shelf (transient) and open sea subareas.

Thermo-haline analysis was carried out to define existing water masses, degree of interaction in each subarea, as well as thermo-haline indices at depths of their nucleus and the boundaries between them. T-S analysis showed that the structure involves four types of water masses - shallow (surface), subsurface, intermediate and deep. In the coastal area in the summer there are two bodies of water - shallow and subsurface - and in winter - only one. In shelf and open sea area intermediate and deep water masses are present as well.