

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ

УДК 551.463.6

О. Р. Андрианова, докт. геогр. наук, с. н. с.

М. И. Скипа, канд. техн. наук, директор

А. В. Сриберко, м. н. с.

Ю. В. Степанова, инженер 1 кат.

ГП «Отделение гидроакустики Института геофизики
им. С.И.Субботина Национальной академии наук Украины»,
ул. Преображенская, 3, Одесса, 65082, Украина
sriberko@gmail.com

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАСЧЕТА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Проведены исследования возможности расчета температуры воды по вертикали в Черном море по результатам спутниковых наблюдений. Построены уравнения регрессии. Результаты показали, что разработанная методика дает возможность рассчитывать температуру воды по вертикали (до глубины 50 метров) в Черном море по спутниковым данным в период весна – осень.

Ключевые слова: Черное море, расчет температуры воды, коэффициент корреляции, статистическая зависимость, уравнения регрессии, спутниковые данные.

ВВЕДЕНИЕ

На все без исключения биологические процессы в океане, начиная от продуцирования первичного органического вещества и кончая поведением промысловых гидробионтов на различных этапах жизненного цикла, оказывает большое влияние температура воды. Являясь наиболее регулярно измеряемым параметром по сравнению с другими океанологическими характеристиками, температура воды может служить индикатором других процессов, как гидробиологических, так и гидрометеорологических. Термический режим Мирового океана оказывает влияние и на формирование погоды и климата всей планеты. Поэтому исследование разномасштабной пространственно-временной изменчивости температуры воды и разработка методов расчета и прогноза термического режима вод является важной научной и прикладной задачей. Необходимость использования вертикального распределения гидрологических характеристик морской среды и, в первую очередь, температуры воды возникает при решении многих практических вопросов, связанных с оценкой рыбных запасов, прокладкой гидроакустических трасс, прогнозов погоды и др.

Известно [6, 7], что в Черном море температура воды изменяется в широких пределах: от значений температуры замерзания воды в прибрежной зоне северной части моря ($-0,5 - 1^{\circ}\text{C}$) до $28 - 29^{\circ}\text{C}$ при максимальном летнем прогреве. Распределение температуры по вертикали для большей части года характеризуется ее наибольшими величинами на поверхности, некоторым понижением до горизонтов 60–75 м, откуда она очень медленно повышается с глубиной и у дна на глубинах 2000 м достигает $9,2^{\circ}\text{C}$, что объясняется геотермическим притоком тепла от дна. На горизонтах 75–100 м располагается холодный промежуточный слой, вода которого в течение всего года обычно имеет температуру $7-8^{\circ}\text{C}$ в открытых районах моря. Сезонные изменения температуры воды могут проникать до горизонтов 150–200 м, однако наиболее отчетливо они проявляются в верхнем 50–60-метровом слое, а их степень во многом зависит от особенностей атмосферных процессов над морем [6, 7].

Общая система вертикальной циркуляции моря с подъемом вод в центре и опусканием на периферии моря формирует куполообразное распределение изотермических поверхностей. Это является одной из основных причин существенного различия вертикальной термохалинной структуры в центральной части моря и прибрежных районах [7].

Современные спутниковые данные обладают рядом преимуществ по сравнению с данными традиционных контактных океанографических исследований. Они отличаются высоким пространственно-временным разрешением, возможностью информационной засветки обширных акваторий, включая экономические зоны и территориальные воды различных государств, что не всегда доступно контактными методами [4]. Большая часть современных исследований термохалинных характеристик на основании спутниковой информации в Черном море посвящена их изменчивости на поверхности моря [3, 8, 10-12, 15]. Несмотря на большое число исследований, основное внимание в них уделяется выявлению и анализу трендов в многолетней изменчивости термохалинных характеристик, в то время как возможности построения их вертикального распределения на основе спутниковых данных практически не изучены. В основном исследования, которые базируются на совокупности спутниковых и контактных измерений температуры поверхности моря (ТПМ), проводятся по их верификации и калибровке [2, 8, 10].

На сегодняшний день приходится прибегать к косвенным определениям вертикального распределения температуры воды, т.е. путем разработок различных методик расчета распределения температуры воды по вертикали.

Разработка методики расчета вертикального распределения температуры воды Черного моря на основе спутниковой информации является актуальной задачей. Решение этой задачи, даст возможность оперативно рассчитывать температуру воды по вертикали в любой точке на акватории Черного моря для научных-исследовательских и прикладных целей в области гидробиологии, океанологии, экологии моря и др.

Цель работы – разработка методики расчета вертикального распределения температуры воды в Черном море на основе спутниковой информации.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- определение статистических зависимостей между температурой воды на соседних горизонтах в Черном море по осредненным данным температуры воды и построение уравнений регрессии;

- оценка возможности расчета вертикального распределения температуры воды в Черном море по построенным уравнениям регрессии на основе спутниковой информации;

- разработка методики расчета температуры воды по вертикали на основе спутниковой информации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для построения уравнений регрессии исходными данными послужили осредненные по условным 95 квадратам (рис. 1) размером 40' x 60', месяцам и стандартным горизонтам многолетние (за период с 1903 по 1982 гг.) характеристики температуры воды в Черном море [13], которые можно принять как климатические нормы. Данные выбирались для периода весна – осень, т.к. известно [13], что в холодный период года данных мало в большинстве районов моря.

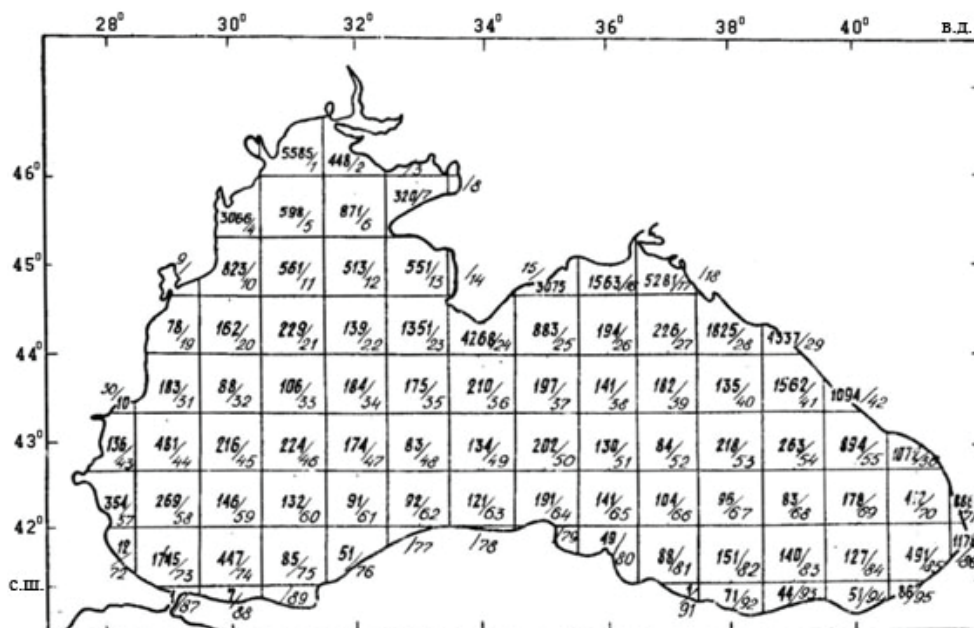


Рис. 1. Количество океанографических станций по квадратам (размер квадрата 40' x 60') в Черном море

Для проверки эффективности и точности расчетов по построенным уравнениям регрессии использовались данные контактных измерений температуры воды на стандартных горизонтах (0, 10, 20, 25, 30, 50 метров) с сайтов [16, 18]. Данные контактных измерений температуры воды включают в себя стационарные данные или данные судовых измерений с 1980 по 2001 гг. и данные, измеренные при помощи поплавков (PFL – Profiling float data) с 2005 по 2014 гг.

Для расчета вертикального распределения температуры воды на основе спутниковой информации исходными данными послужили ежедневные сведения по спутниковым измерениям температуры поверхности воды Черного моря с шагом 4 км по широте и долготе за период с 2005 по 2014 гг., измеряемые спутником NASA (Terra MODIS) и размещенные на сайте NASA [17].

Для сравнительной оценки расчетов вертикального распределения температуры воды на основе спутниковой информации со значениями контактных измерений температуры воды на стандартных горизонтах (0, 10, 20, 25, 30, 50 метров) привязка географических координат спутниковых и контактных измерений выполнялась путем линейной интерполяции спутниковых данных по широте и долготе.

Разработка методики расчета вертикального распределения температуры воды на основе спутниковой информации базировалась на выявлении статистических связей между температурой воды на соседних горизонтах.

Меру линейной корреляционной зависимости между значениями температуры воды характеризовал безразмерный коэффициент корреляции $|r| \leq 1$, в случае нелинейной зависимости тесноту связи характеризовал индекс корреляции $R \leq 1$ [14].

При надежной зависимости коэффициент корреляции в 6 – 10 раз больше своей вероятностной ошибки E_r [9].

Надежность расчетов определяется качеством и эффективностью используемой методики. Одним из критериев точности методики и применимости ее на практике служит отношение S/σ , где S – среднеквадратическая ошибка расчетов. Чем меньше отношение S/σ , тем надежнее метод. Для функциональной зависимости $S/\sigma = 0$, а при $S/\sigma = 1$ вариация функции не зависит от вариации аргумента и, следовательно, связь между переменными отсутствует [1, 9]. Для нашей методики расчета температуры воды по вертикали допустимой ошибкой является: $S/\sigma \leq 0,57$ при $n \leq 15$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Разработка методики расчета вертикального распределения температуры воды на основе спутниковой информации проводилась в 2 этапа.

Первый этап – нахождение статистических зависимостей между значениями температуры воды на соседних горизонтах в Черном море по осредненным данным температуры воды [13] и построение уравнений регрессии.

Второй этап – оценка возможности расчета вертикального распределения температуры воды в Черном море на основе спутниковой информации и разработка методики расчета температуры воды по вертикали.

Нахождение статистических зависимостей между значениями температуры воды на соседних горизонтах в Черном море в период весна – осень проводились по осредненным данным температуры воды [13] по квадратам (рис. 1). Выбранные для расчета квадраты представлены наибольшим количеством измерений и входят в зону Основного Черноморского течения (ОЧТ). Уравнения регрессии были построены для 15-ти квадратов (“точек”) (рис. 2).

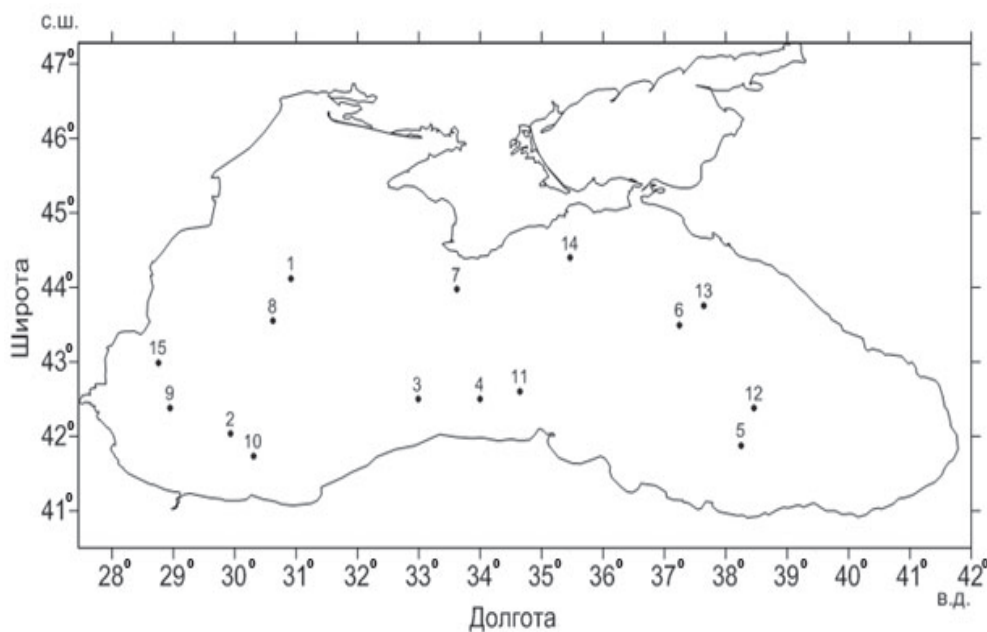


Рис. 2. Схема расположения станций, используемых для анализа и расчета вертикального распределения температуры воды в Черном море

В каждой точке была рассчитана статистическая зависимость между значениями температуры воды на соседних горизонтах в период весна – осень. Известно [5], что изменение вертикального профиля температуры воды подчиняется экспоненциальному закону распределения. В наших расчетах это подтверждается наилучшими результатами, полученными при применении экспоненциальной зависимости. Построенные уравнения регрессии для 15 точек (табл. 1) имеют вид:

$$y = ae^{bx}, \quad (1)$$

где a и b коэффициенты уравнения регрессии; y – температура воды на исследуемом горизонте; x – температура воды на предшествующем горизонте.

Численные значения параметров уравнения (1), критерии их точности и эффективности представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Уравнения регрессии, критерии точности
и эффективности уравнений регрессии точках 1 – 15**

№ точки	Месяц	Уравнение регрессии	R	E_R	R/E_R	S/σ
1	6	$y = 4,0805e^{0,0737x}$	0,98	0,013	75	0,38
2	5	$y = 3,9024e^{0,0824x}$	0,99	0,006	163	0,35
3	9	$y = 3,2142e^{0,0845x}$	0,99	0,007	140	0,39
4	4	$y = 3,2357e^{0,1075x}$	0,97	0,014	67	0,55
5	7	$y = 4,7631e^{0,06x}$	0,99	0,006	176	0,42
6	7	$y = 5,1309e^{0,0508x}$	0,98	0,013	75	0,48
7	5	$y = 4,0677e^{0,0772x}$	0,99	0,003	303	0,24
8	9	$y = 2,7813e^{0,0928x}$	0,95	0,028	34	0,40
9	6	$y = 4,0793e^{0,073x}$	0,98	0,008	120	0,48
10	6	$y = 4,2674e^{0,0673x}$	0,98	0,008	116	0,30
11	7	$y = 4,6749e^{0,0568x}$	0,97	0,016	61	0,33
12	10	$y = 3,4958e^{0,0848x}$	0,98	0,013	74	0,62
13	4	$y = 3,7516e^{0,091x}$	0,99	0,002	403	0,48
14	7	$y = 4,7429e^{0,0587x}$	0,97	0,011	86	0,35
15	6	$y = 3,9915e^{0,0741x}$	0,99	0,003	307	0,38

Индекс корреляции R во всех 15 точках находится в пределах 0,95 – 0,99, ошибки индекса корреляции E_R составляют 0,002 – 0,028 и отношения R/E_R лежат в диапазоне 34 – 403, что говорит о значимости индексов корреляции R (табл. 1).

Полученные уравнения регрессии являются основой для расчетов вертикального профиля температуры воды.

Для проверки возможности использования построенных уравнений регрессии по спутниковым данным, были проведены расчеты по данным контактных измерений. Для этого проводилось восстановление вертикального распре-

ления температуры воды по уравнениям регрессии в точках 1 – 15 (рис. 2) на основе данных контактных измерений температуры воды (T_w) на стандартных горизонтах [16, 18].

Критерий точности расчета (S/σ) в 14-ти точках составил 0,24 – 0,55, что не превышает допустимую ошибку 0,57 и свидетельствует об его эффективности (табл. 1). Только в точке 12 критерий (S/σ) превысил допустимую ошибку и составил 0,62.

Графики фактической и восстановленной температуры воды на стандартных горизонтах по уравнениям регрессии в точках 1 – 15 представлены на рис. 3.

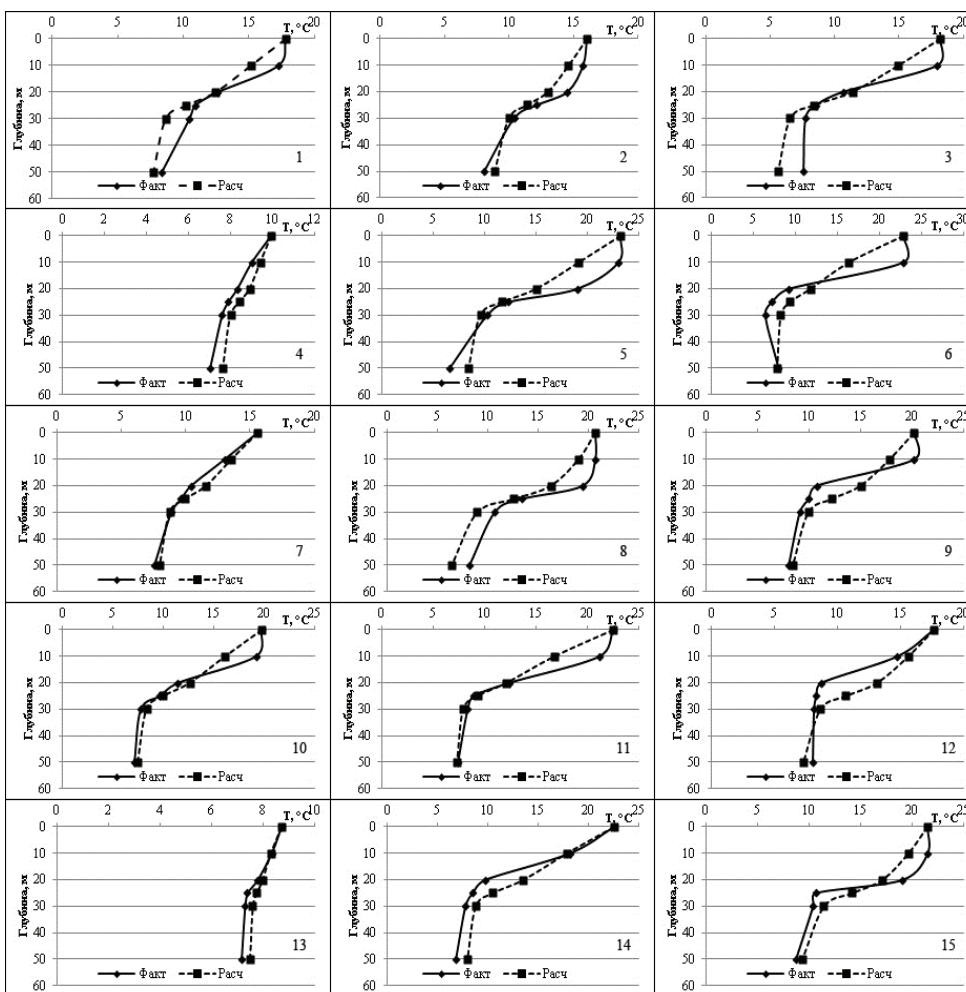


Рис. 3. Графики вертикального распределения температуры воды по фактическим – Факт (контактным измерениям) и расчетным – Расч (восстановленным) значениям в точках 1 – 15

Из рис. 3 видно, что фактические и расчетные значения температуры воды на стандартных горизонтах хорошо согласуются. Слабое соответствие между фактическими и рассчитанными значениями наблюдается только в зоне термоклина, при большом градиенте температур.

Выполненная проверка, исходя из вышеизложенного, позволяет констатировать, что методика работает для расчета температуры воды по вертикали до 50 м в Черном море. Соответственно ее можно использовать для расчета вертикального распределения температуры воды на основе спутниковых данных, подставляя их в уравнение регрессии (x) в качестве поверхностной температуры воды.

Расчет вертикального распределения температуры воды в Черном море по построенным уравнениям регрессии на основе спутниковой информации (T_{sat}) выполнен по данным с сайта NASA [17] только в точках 7 – 15, поскольку данные спутниковых наблюдений начинаются с 2000 года и их совпадение с контактными наблюдениями для проверки расчетов, соответствует только этим точкам. Проверка точности рассчитанных значений вертикального распределения температуры воды в точках 7 – 15 проводилась путем сравнения со значениями контактных измерений [18]. Графики вертикального распределения температуры воды контактных измерений и рассчитанных на основании спутниковой информации температуры воды по вертикали в точках 7 – 15 представлены на рис.4.

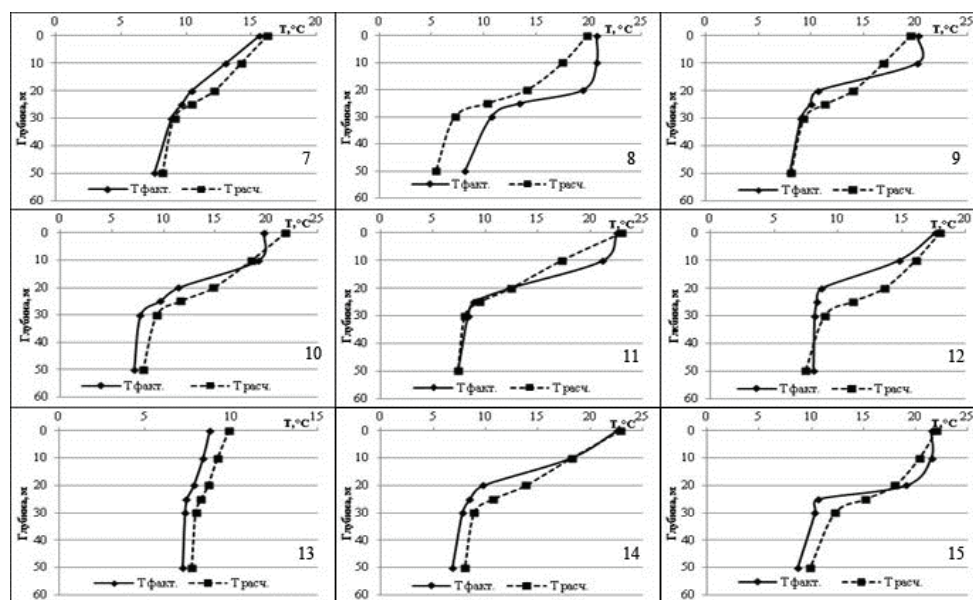


Рис. 4. Графики вертикального распределения температуры воды по фактическим – $T_{факт}$ (контактным измерениям) и расчетным – $T_{расч}$ (на основе спутниковой информации) значениям в точках 7 – 15 (рис. 2) (7–15 – номер точки)

Расчеты показали, что статистическая зависимость между значениями температуры воды на стандартных горизонтах по контактными измерениям и рассчитанным по спутниковым данным очень высокая. Коэффициент корреляции r составил 0,89 – 0,99. Ошибка коэффициента корреляции E_r была в пределах 0,004 – 0,059, а отношение r/E_r составило 15 – 263, что говорит о значимости коэффициента корреляции (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики статистической зависимости между значениями контактных измерений и рассчитанных по спутниковым данным температуры воды на стандартных горизонтах

Характеристики	Точки								
	7	8	9	10	11	12	13	14	15
r	0,99	0,97	0,93	0,97	0,97	0,89	0,99	0,98	0,95
E_r	0,008	0,017	0,036	0,016	0,016	0,059	0,004	0,012	0,026
r/E_r	121	57	26	61	59	15	263	80	36

Как и при восстановлении вертикального профиля температуры воды по данным на поверхности, при использовании спутниковых наблюдений относительно большая разница между рассчитанными значениями и контактными измерениями ($\sim 3^\circ - 4^\circ \text{C}$) наблюдается в зоне термоклина, то есть в слое наибольших градиентов температур. Это объясняется тем, что изменение положения именно этого слоя зависит от ряда факторов, таких как ветровое перемешивание, течения и т.д. в конкретный момент времени и в нем наблюдаются резкие кратковременные изменения температуры воды. Таким образом, для более точного расчета температуры воды в этом слое необходимы дополнительные исследования, которые позволят учесть влияние факторов, действующих на изменение положения этого слоя.

В случаях, когда появляется разница температур на поверхности между контактными и спутниковыми данными примерно $1^\circ - 2^\circ \text{C}$ (рис. 4, точки 10 и 13), это также сказывается на расчетах в этих точках. Такие различия объясняются необходимостью дополнительной калибровки спутниковых данных, что представляет собой предмет отдельного исследования, выполняемого для многих задач различными авторами, в том числе и ранее нами [2].

ВЫВОДЫ

Расчеты температуры воды по вертикали на основе спутниковых данных поверхностной температуры воды на примере Черного моря, используя предложенную методику, показали статистически значимые результаты в период весна – осень.

Коэффициент корреляции (r) между значениями контактных измерений и рассчитанных по спутниковым данным температуры воды на стандартных горизонтах составил 0,89 – 0,99. Статистические критерии (S/σ) точности методики не превысили допустимую ошибку 0,57 в 14 точках, что также говорит о возможном применении данной методики расчета температуры воды в Черном море в практических задачах.

Слабое соответствие между фактическими и рассчитанными значениями наблюдается только при большом градиенте температур в зоне термоклина.

Для зимнего периода года, когда размывается слой термоклина и происходит обновление вод ХПС [7], необходима более детальная проработка методики с привлечением в уравнения регрессии дополнительных параметров, определяющих температуру воды в Черном море в это время года.

Данная методика является эффективной в период весна–осень, экономически выгодной и удобной в плане доступности исходной информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абузяров З. К.* Морские прогнозы [Текст] / З. К. Абузяров, К. И. Кудрявая, Е. И. Серяков, Л. И. Скриптунова – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
2. *Андреанова О. Р.* Подспутниковая заверка и интерпретация данных космической съемки морской поверхности [Текст] / О. Р. Андреанова, А. А. Батырев, М. И. Скипа, А. В. Сриберко // *Космічна наука і технологія.* – 2004. – Том 10. – № 4. – С.92 – 95
3. *Артамонов Ю. В.* Особенности сезонной изменчивости температуры поверхности и циркуляции вод Черного моря [Текст] / Ю. В. Артамонов, В. Н. Белокопытов, М. В. Бабий, Е. А. Скрипалева // *Сб. научн. трудов ЮгНИРО.* –2008. – Т.46. – С.102 – 109.
4. *Боровская Р. В.* О Возможности использования спутниковой информации в исследовании Азово-Черноморского бассейна [Текст] / Р. В. Боровская, Л. А. Лексикова // *Сб. научн. трудов ЮгНИРО.* –2008. – Т.46. – С.138-144.
5. *Глаголева М. Г.* Прогноз температуры воды в океане [Текст] / М. Г. Глаголева, Л.И. Скриптунова – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 168 с.
6. *Добровольский А. Д.* Моря СССР [Текст] / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 192 с.
7. *Иванов В. А.* Океанография Черного моря [Текст] / В. А. Иванов, В. Н. Белокопытов – Севастополь: НАН Украины, Морской гидрофизический институт, 2011. – 212 с.
8. *Копелевич О. В.* Использование спутниковых данных для исследования и мониторинга морей и океанов [Текст] / О. В. Копелевич, С. С. Лаппо // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2005. – В.2. – Т. 1. – С.30-39.
9. *Кудрявая К. И.* Морские гидрологические прогнозы [Текст] / К. И. Кудрявая, Е. И. Серяков, Л. И. Скриптунова – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 310 с.
10. *Люшвин П. В.* Приближение спутниковых карт температуры поверхности воды (ТПВ) к картам ТПВ, построенным по данным контактных наблюдений [Текст] / П. В. Люшвин // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2005. – В.2. – Т.2. – С.140–144.
11. *Малинин В. Н.* К оценке теплосодержания Мирового океана по спутниковым данным о температуре поверхностного слоя воды [Текст] / В. Н. Малинин, С. М. Гордеева, Н. И. Глок // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2013. – Т. 10. – №3. – С.201–207.
12. *Полонский А. Б.* Десятилетняя изменчивость температуры и солёности в Черном море [Текст] / А. Б. Полонский, И. Г. Шокурова, В. Н. Белокопытов // *Морской гидрофизический журнал.* – 2013. – № 6 – С.27 – 41.
13. *Статистические характеристики термохалинной структуры вод Черного моря [Текст] : Сб. / ред. Альтман Э.Н.. – Севастополь, СО ГОИН, 1987. – 302 с.*
14. *Фёрстер Э.* Методы корреляционного и регрессионного анализа [Текст] / Э. Фёрстер, Б. Рёнц; перевод с немецкого В. М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302с.

15. Ginzburg A. I. Sea surface temperature variability [Текст] / Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Sheremet N. A. // *The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008, Vol. 5, Part Q, pp. 255-275, DOI 10.1007/698_5_067.
16. МНІ Oceanographic Data Bank [Електронний ресурс] URL: <http://ocean.nodc.org.ua> (дата обращения: 18.06.2013).
17. NASA's OceanColor Web [Електронний ресурс] URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3> (дата обращения: 26.05.2015).
18. NOAA World Ocean Database [Електронний ресурс] URL: <http://www.nodc.noaa.gov> (дата обращения: 05.11.2014).

REFERENCES

1. Abuzyarov, Z. K., Kudryavaya, K. I., Seryakov, E. I., Skriptunova, L. I. (1988), *Morskie prognozy [Marine forecasts]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 319 p.
2. Andrianova, O. R., Batyrev, A. A., Skipa, M. I., Sriberko, A. V. (2004), Podsputnikovaya zaverka i interpretatsiya dannykh kosmicheskoy semki morskoy poverkhnosti [Undersatellite authentication and interpretation of the data of space surveys of a sea surface.], *Kosmichna Nauka i Tekhnologiya*, Vol. 10, No. 4, pp. 92 – 95.
3. Artamonov, Y. V., Belokopytov, B. N., Babiy, M. V., Skripaleva E. A. (2008), Osobennosti sezonnoy izmenchivosti temperatury poverkhnosti i tsirkulyatsii vod Chernogo morya. [Features of seasonal temperature variability of the surface and water circulation of the Black Sea], *YugNIRO Proceedings*, Vol.46, pp. 102-109.
4. Borovskaya, R. V., Leksikova, L. A. (2008), O vozmozhnosti ispolzovaniya sputnikovoy informatsii v issledovanii Azovo-Chernomorskogo basseyna. [On possibility of the satellite information use in research of the Azov-Black Sea basin.], *YugNIRO Proceedings*, Vol.46, pp. 138-144.
5. Glagoleva, M. G., Skriptunova, L. I. (1979), *Prognoz temperatury vody v okeane. [Forecast of the water temperature in the ocean.]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 168 p.
6. Dobrovolsky, A. D., Zalugin, B. S. (1982), *Morya SSSR [Seas USSR]*, Moscow: publishing house MSU, 192 p.
7. Ivanov, V. A., Belokopytov V. N. (2011), *Okeanografiya Chernogo morya. [Oceanography of the Black Sea.]*, Sevastopol: MHI NAS of Ukraine, 212 p.
8. Kopelevich, O. V., Lappo, S. S. (2005), Ispolzovanie sputnikovyykh dannykh dlya issledovaniya i monitoringa morey i okeanov. [The use of satellite data for research and monitoring of the seas and oceans], *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, Issue 2, Vol. 1, pp. 30–39.
9. Kudryavaya, K. I., Seryakov, E. I., Skriptunova, L. I. (1974), *Morskie gidrologicheskie prognozy. [Marine hydrological forecasts.]*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 310 p.
10. Lyushvin, P. V. (2005), Priblizhenie sputnikovyykh kart temperatury poverkhnosti vody (TPV) k kartam TPV, postroennym po dannykh kontaktnyykh nablyudeniyy. [Approximation satellite maps surface temperature (STW) to maps constructed according to data observations of contacts], *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, Issue 2, Vol. 2, pp. 140–144.
11. Malinin, V. N., Gordeeva, S. M., Glock, N. I. (2013), K otsenke teplosoderzhaniya Mirovogo okeana po sputnikovym dannyim o temperature poverkhnostnogo sloya vody [On estimation of the World Ocean Heat Content based on satellite sea surface temperature data], *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, Vol. 10, No. 3, pp. 201–207.
12. Polonsky, A. B., Shokurova, I. G., Belokopytov, V. N. (2013), Desyatiletnyaya izmenchivost temperatury i solenosti v Chernom more. [Ten-year variability in temperature and salinity in the Black Sea], *Marine hydrophysical journal*, No.6, pp. 27 – 41.
13. *Statisticheskie kharakteristiki termokhalinnoy struktury vod Chernogo morya*. Sb. red. Altman E.N. [Statistical characteristics of the thermohaline structure of the waters of the Black Sea. The edited by Altman, E. N.], (1987), Sevastopol: SB SOI, 302 p.
14. Förster, E., Rönz, B. (1983), *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza*. Perevod s nemetskogo V.M. Ivanovoy. [Methods of correlation and regression analysis. Translation from German V.M. Ivanova], Moscow: Finance and Statistics, 302 p.
15. Ginzburg, A. I., Kostianoy, A. G., Sheremet, N. A. (2008), [Sea surface temperature variability], *The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 5, Part Q, pp. 255-275.
16. МНІ Oceanographic Data Bank, available at: <http://ocean.nodc.org.ua> [Accessed 18 June 2013].
17. NASA's OceanColor Web, available at: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3> [Accessed 26 May 2015].
18. NOAA World Ocean Database, available at: <http://www.nodc.noaa.gov> [Accessed 05 November 2014].

Поступила 3.11.2015

О. Р. Андріанова, докт. геогр. наук, с. н. с.

М. І. Скіпа, канд. техн. наук, директор Відділення

А. В. Сриберко, м. н. с.

Ю. В. Степанова, інженер 1 кат.

ДУ «Відділення гідроакустики Інституту геофізики ім. С. І. Суботина

Національної академії наук України»,

вул. Преображенська, 3, Одеса, 65082, Україна

sriberko@gmail.com

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВЕРТИКАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ В ЧОРНОМУ МОРІ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ

Резюме

Проведено дослідження можливості розрахунку температури води по вертикалі в Чорному морі за результатами супутникових спостережень. Побудовано рівняння регресії. Результати показали, що розроблена нами методика дає можливість розраховувати температуру води по вертикалі (до глибини 50 метрів) в Чорному морі за супутниковими даними в період весна – осінь.

Ключові слова: Чорне море, розрахунок температури води, коефіцієнт кореляції, статистична залежність, рівняння регресії, супутникові дані.

O. R. Andrianova

M. I. Skipa

A. V. Sryberko

Y. V. Stepanova

SI «Hydroacoustic Branch of Institute of Geophysics of National Academy of Science of Ukraine»,

Preobragenskaya St., 3, Odesa, 65082, Ukraine

sriberko@gmail.com

ESTIMATION OF ABILITY OF VERTICAL TEMPERATURE DISTRIBUTION'S CALCULATION FOR THE BLACK SEA'S WATER BY SATELLITE DATA

Abstract

Purpose. To solve the many practical problems it is necessary to use vertical distribution of hydrological characteristics of the marine environment and mainly the water temperature. Today there isn't an easy way to get a contact data for evaluation of the vertical distribution. Main purpose of this work is to estimate an ability of using of satellite data for calculation of vertical distribution of water temperature in the Black Sea; analysis and evaluation of its applicability.

Data & Methods. As source data for the calculations we used climatic, contact and satellite data. Methods of calculations are based on the identification of statistical dependencies between the adjacent horizons of the vertical distribution of water temperature in the Black Sea for climate data; they are used in predictive equations.

Results. Calculations show statistically significant results in the spring and autumn periods. For the winter period of the year, it is needed a further development of the method with additional parameters in regression equations. Correlation coefficient (r) between the values of contact measurements and values that were calculated by satellite data of water temperature is between 0.89 – 0.99. Weak correlation between actual and calculated values was observed only for large temperature gradient in the thermocline zone. So, the ability to calculate the vertical distribution of water temperature on standard depths up to 50 m on the basis of satellite data with proposed method is proved (on example of the Black Sea).

Keywords: Black Sea, calculation of water temperature, correlation coefficient, statistical relationship, regression equation, satellite data.