

Алгоритмически-программное обеспечение регистрации данных гидрологических измерителей на базе распределенных термопрофилемеров

П. В. Гайский

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия
e-mail: gaysky@inbox.ru*

Аннотация

Описаны разработанные и реализованные программно алгоритмы первичной регистрации и обработки измерительных данных гидрологических измерителей, построенных на базе распределенных датчиков температуры – термопрофилемеров. Термопрофилемеры – пространственные датчики температуры, изготовленные из термочувствительных (в частности, медных) непрерывных проводников, ортогонально уложенных в шину заданной длины в защитной оболочке-трубке. Пространственное разрешение измерителя определяется укладкой и длиной каждого участка датчика. Алгоритмически-программная обработка данных сопротивлений проводников позволяет восстанавливать с помощью матриц градуировочных коэффициентов усредненные на участках непрерывного профиля значения температур. Интерполяция и аппроксимация полученного дискретного ряда обеспечивает расчет мгновенного сплайн-профиля температуры, который далее используется для последовательного построения динамической картины изменчивости поля температуры в виде цветового градиента и изолиний. В оперативном телеметрическом режиме измерений такой метод позволяет наглядно визуализировать картину пространственного распределения температуры как при статической установке датчика, так и при зондировании по глубине, а также алгоритмически обнаруживать и контролировать другие гидрологические параметры и процессы в водной среде: границы раздела, поверхностные и внутренние волны, апвеллинг, сгонно-нагонные явления, вертикальные скорости переноса водных масс и др. Пространственное разрешение и длина термопрофилемеров при изготовлении в зависимости от решаемых задач могут варьироваться от нескольких сантиметров до десятков метров. В гидрологических измерительных системах датчики могут применяться в статическом и зондирующем режимах. При этом прикладное программное обеспечение для каждого типа датчика и метода проведения измерений позволяет использовать специализированные функции обработки и отображения данных.

Ключевые слова: программный алгоритм, распределенный датчик температуры, термопрофилемер, изотерма, вертикальный профиль, теплозапас, термоклин, внутренние волны, поле температуры, теплообмен, термокоса

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0555-2021-0004.

© Гайский П. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Гайский П. В. Алгоритмически-программное обеспечение регистрации данных гидрологических измерителей на базе распределенных термопрофилемеров // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 3. С. 128–141. doi:10.22449/2413-5577-2022-3-128-141

Algorithmic and Software Data Registration of Hydrological Meters Based on the Distributed Thermoprofilemeters

P. V. Gaisky

*Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia
e-mail: gaisky@inbox.ru*

The paper describes developed and software-implemented algorithms for primary regulation and processing of measurement data of hydrological meters built on the basis of distributed temperature sensors – thermoprofilemeters. Thermoprofilemeters are spatial temperature sensors made of heat-sensitive continuous conductors (in particular, copper), which are laid in a busbar of a given length in a protective shell-tube. The spatial resolution of the meter is determined by the placement and length of each sensor section. Algorithmic-software data processing of conductor resistances makes it possible to recover temperature values averaged on sections of continuous profile using matrix of calibration coefficients. Interpolation and approximation of the resulting discrete series provides a calculation of the instantaneous spline profile of temperature, which is then used to sequentially plot a dynamic picture of the variability of the temperature field in the form of a colour gradient and isolines. In the online telemetry measurement mode, this method allows to clearly visualize the picture of spatial temperature distribution both during static installation of the sensor and during depth sensing, as well as algorithmically detect and control other hydrological parameters and processes in the aqueous medium: interfaces, surface and internal waves, upwelling, surge phenomena, vertical rates of transfer of water masses, etc. The spatial resolution and length of thermoprofilemeters can vary from several centimeters to tens of meters depending on the problems being solved. The use of sensors in hydrological measuring systems can be carried out in static and probing modes. At the same time, the application software for each type of sensor and measurement method allows using specialized data processing and display functions.

Keywords: program algorithm, distributed temperature sensor, thermoprofilemeter, isotherm, vertical profile, heat storage, thermocline, internal waves, temperature field, heat exchange, termistor chain

Acknowledgements: the research was performed under state assignemnt on topic no. 0555-2021-0004 of FSBSI FRC MHI RAS.

For citation: Gaisky, P.V., 2022. Algorithmic and Software Data Registration of Hydrological Meters Based on the Distributed Thermoprofilemeters. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (3), pp. 128–141. doi:10.22449/2413-5577-2022-3-128-141

Введение

Измерение мгновенных пространственных профилей температуры в водной среде с помощью распределенных датчиков или термоподвесок из дискретных датчиков осуществляется уже много лет. Полученные при этом данные необходимы для решения ряда гидрологических задач, включающих контроль и изучение процессов теплообмена и теплозапаса, обнаружение

и исследование процессов переноса водных масс посредством течений, сгонно-нагонных явлений и внутренних волн, контроль границ раздела сред и плотностного распределения по коэффициентам теплообмена [1–10]. Электронная аппаратура измерительной части датчиков совершенствуется по мере развития технических средств и микроэлектроники, а перед методической и алгоритмически-программной частями ставятся новые задачи обработки, сопоставления и анализа. Наряду с широко распространенными относительно простыми в технической реализации термоподвесками [5–8], состоящими из пространственно-дискретных цифровых датчиков, существуют распределенные датчики температуры – термопрофилемеры (ТП), построенные на принципе ортогонально уложенных термочувствительных проводников [3, 10, 11]. Несмотря на относительно большую сложность в изготовлении и необходимость в индивидуальной градуировке, ТП обладают, по сравнению с цифровыми термоподвесками, рядом преимуществ: большей точностью измерений (погрешность менее 0.1 °С), пространственной непрерывностью (температура на участке конструктивно определяется осреднением по всей длине, а не в точке) и в отдельных случаях более высокой надежностью благодаря дополнительным возможностям защитного конструктивного исполнения и отсутствию микроэлектроники в контролируемой среде.

Аппаратура и данные

Разработка и совершенствование прикладного программного обеспечения для работы с авторскими экспериментальными и опытными образцами ТП [3, 10] ведется с 1996 г. За это время были созданы распределенные датчики для исследований в Черном море, в Арктическом и Антарктическом регионах, а также для применения на реках и в системах измерения уровня и границ раздела сред в прибрежных акваториях. Поскольку ряд созданных систем содержит в своем составе, кроме ТП, и другие измерительные модули и датчики, остановимся на алгоритмически-программном обеспечении (ПО) обработки данных профилей температур с пространственной и временной привязкой при стандартном подключении прибора к интерфейсу компьютерного устройства через последовательный аппаратный (RS232/485) или виртуальный (модули *USB*, *Bluetooth* и др.) COM-порт компьютера.

При создании основного специализированного диалогового ПО хронологически использовались языки и среды программирования *Borland Pascal* и *C (MS DOS)*, *C++* и *Delphi (MS Windows)*. В процессе измерений регистрация и обработка данных осуществлялись в автономном и телеметрическом режимах. В режиме постобработки первичными задачами были оперативная подготовка отчетности и передача наглядных численно-графических результатов в банк данных. Поскольку созданные гидрологические ТП имели различные длину (от 20 см до 50 м) и пространственное разрешение (длина участка от 2 см до 2 м), а также имели разное применение (стационарное, буксируемое и зондирующее), то были разработаны универсальные программные алгоритмы обработки первичной информации и графического вывода, позволяющие в различных условиях эксперимента оперативно наблюдать динамику поля температур с непосредственной привязкой к пространству и времени (рис. 1). В отличие от вывода стандартного набора графиков, который чаще всего применяется для дискретных датчиков термоподвесок на отдельно

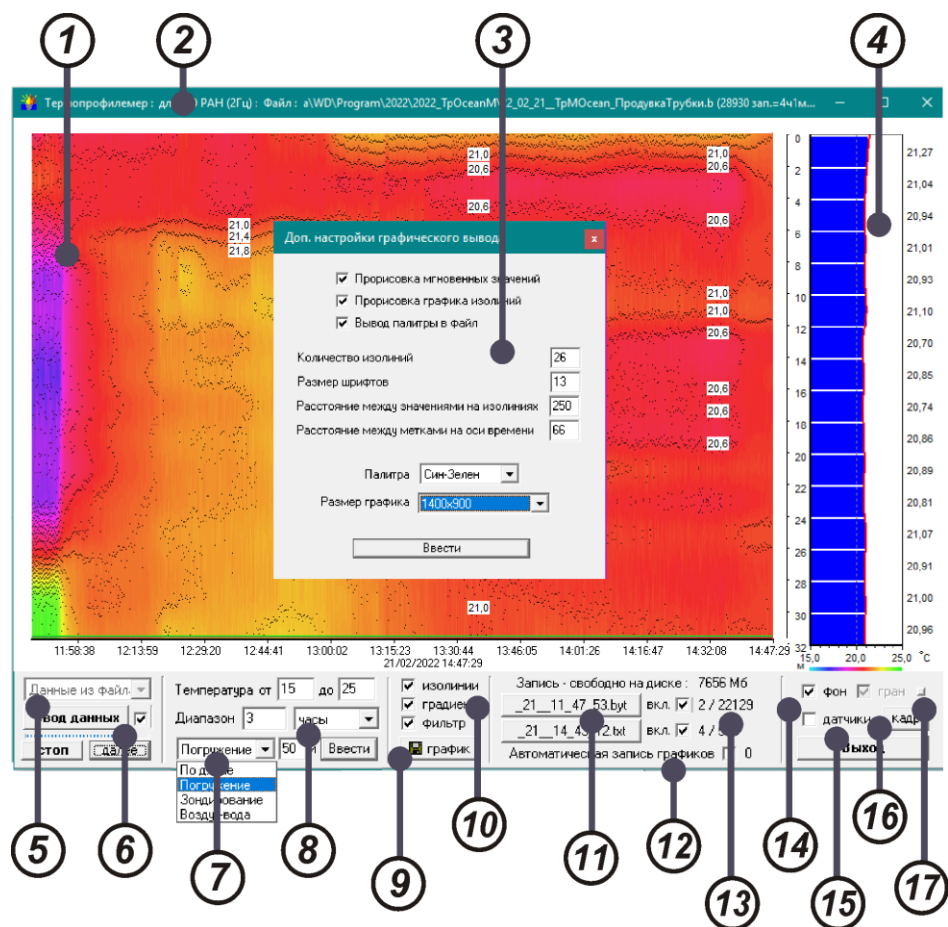


Рис. 1. Вид основного окна интерфейса программы первичной регистрации и обработки измерительных данных термопрофилеметров (начало): 1 – область построения градиента и изолиний профиля температуры во времени; 2 – информационная строка; 3 – дополнительные настройки графического окна и вывода изолиний температуры; 4 – мгновенные осредненные значения температур на участках и расчетный сплайн-интерполированный профиль; 5 – управление и индикация ввода данных (из файла (постобработка) / из COM порта (телеметрический режим)); 6 – управление потоком и индикация ввода входных данных; 7 – выбор графического режима отображения измерительных данных с привязкой по глубине или пространству; 8 – настройки временных диапазонов и температурной шкалы графического вывода;

Fig. 1. View of the main window of the program interface for initial recording and processing of measuring data of thermoprofilemeters (beginning): 1 – gradient and temperature profile isolines over time area; 2 – information line; 3 – advanced graphics window settings and temperature isolines output; 4 – moment averaged temperature values in sections and calculated spline-interpolated profile; 5 – control and indication of data input (from file (post-processing) / from COM port (telemetry mode)); 6 – flow control and input indication of primary data; 7 – selection of graphical mode of measurement data display with reference to depth or space; 8 – settings of time ranges and temperature scale of graphic output;

Экспликация к рис. 1. Вид основного окна интерфейса программы первичной регистрации и обработки измерительных данных термопрофилемеров (окончание): 9 – опция сохранения графиков в файлы (*bmp/jpg*); 10 – опции настроек вывода изолиний, цветового градиента, медианной фильтрации и осреднения данных; 11 – опции записи первичных данных и результатов измерений в файлы (кодированные (*byt*) и текстовые (*dat/txt*)); 12 – опция настроек автоматического покадрового сохранения графиков в графические файлы; 13 – индикация записи кодированных файлов и текстовых файлов результатов обработки измерений; 14 – настройка фона графиков (черный/белый); 15 – опция отображения окна численно-графического вывода данных вторичных датчиков (давления и др.); 16 – опция отображения окна численного вывода статистических и кодированных значений, а также настроек постобработки данных; 17 – выбор файла градуировочных коэффициентов ТП

Explication to Fig. 1. View of the main window of the program interface for initial recording and processing of measuring data of thermoprofilemeters (end): 9 – option of saving graphs to files (*bmp/jpg*); 10 – setting options for isolines output, color gradient, median filtering and data averaging; 11 – options for recording primary data and measurement results into files (code (*byt*) and text (*dat/txt*)); 12 – option for settings of automatic frame-by-frame saving of graphs to graphic files; 13 – indication for recording code files and text files of measurement processing results; 14 – adjustment of the background of graphs (black/white); 15 – option for displaying the window of numerical and graphical output of secondary sensor data (pressure sensors, etc.); 16 – option of displaying the window of numerical output of statistical and code values as well as settings for post-processing of data; 17 – selection of the calibration coefficient file

заданных горизонтах [1, 4, 6–9], этот вид отображения измерительной информации является предпочтительным. Однако он может быть обеспечен только при получении высокоточных и методически полных первичных данных.

Результаты

Полный пакет алгоритмически-программного обеспечения для ТП включает в себя ряд отдельных программ:

– программу моделирования распределенных датчиков по длине, пространственному разрешению, матрицам ортогональных функций и материалам изготовления термочувствительных элементов для заданных условий применения (реальной динамики и пространственной изменчивости профилей температур);

– программу метрологической поверки датчика и автоматического расчета матриц градуировочных коэффициентов участков ТП;

– программу численно-графического отображения и регистрации измерительных данных ТП¹⁾;

– программу пакетной вторичной обработки данных.

В пользовательском режиме применяется диалоговая программа первичной регистрации и обработки измерительных данных (рис. 1).

Применение гидрологических ТП при использовании до двух встроенных датчиков давления (контроля глубины) осуществляется в четырех основных

¹⁾ Программа для регистрации и обработки измерительных данных термопрофилемеров «THERMOPROF» / П. В. Гайский ; МГИ. Электрон. дан. Севастополь, 2022. № гос. регистрации 2022611315.

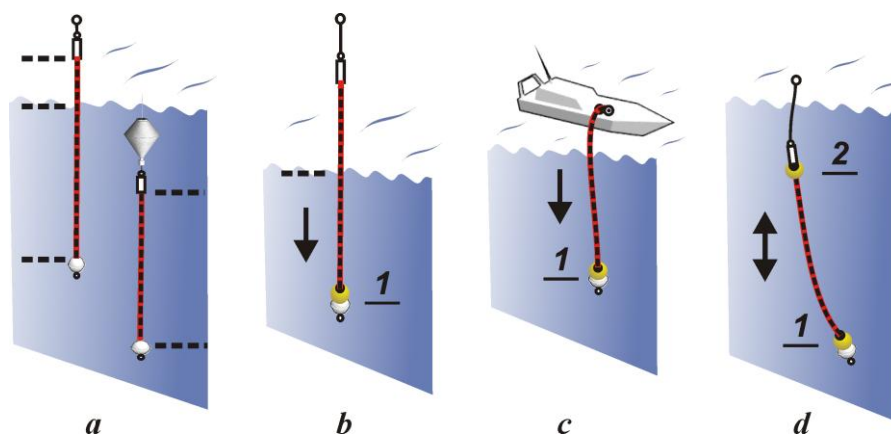


Рис. 2. Методы постановки и использования гидрологических распределенных датчиков: стационарная установка (жесткая привязка к пространственным координатам и границам раздела сред) (а), вертикальная установка или зондирование с одним датчиком давления в нижней части (b), стравливание или буксировка с борта плавсредства с одним датчиком давления в нижней части (с), буксировка или зондирование с двумя датчиками давления на верхнем и нижнем концах ТП (d) (1, 2 – датчики давления)

Fig. 2. Methods of setting and using hydrological distributed sensors: stationary (rigid binding to spatial coordinates and boundaries of media separation) (a), vertical installation or sounding with one pressure sensor in the lower part (b), bleeding or towing from the side of the floating craft with one pressure sensor in the lower part (c), towing or sounding with two pressure sensors at the upper and lower ends of the thermoprofilemeter (d) (1, 2 – pressure sensor position)

режимах (рис. 2). Привязка измерительного профиля температуры к глубине или границам раздела сред (воздух и вода) в стационарном (платформа, свая, заякоренный буй) или динамическом (стравливание, зондирование, буксировка, притопленный или поверхностный дрейфующий буй) режимах обеспечивается в зависимости от задач и оснащённости датчиками давления. Соответственно, пользователь устанавливает (рис. 1 (обозначение 7)) выбранный вид отображения измерительной информации. Простейшим вариантом в данном случае является стационарная постановка ТП с жесткой пространственной привязкой датчика к заданному профилю и первичной границе раздела сред без использования датчиков давления (рис. 2, а).

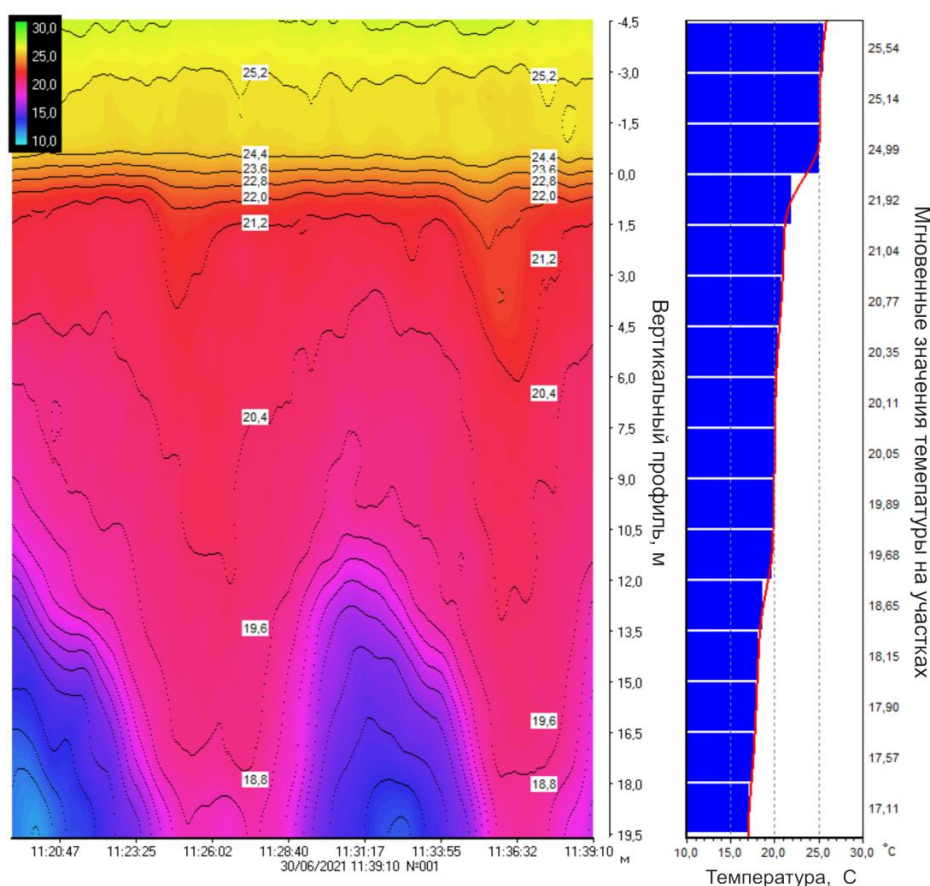
Построение графиков измерений осуществляется в телеметрическом режиме, в том числе и в режиме постобработки данных. В правой части отображаются мгновенные значения температур в виде столбчатых (условно-дискретных) диаграмм, рассчитанные на всех распределенных участках профиля ТП (рис. 3). Эти данные используются для восстановления непрерывного аппроксимированного профиля с помощью сплайн-интерполяции. При этом коэффициенты сплайна рассчитываются и количественно равны ряду точек графика для текущего вертикального графического разрешения дисплея пользователя.

Несмотря на достижение почти нулевого отклонения от равномерно дискретных исходных данных первичного измерительного ряда, у сплайна

в некоторых случаях проявляются промежуточные выбросы (рис. 4), когда сплайновый изгиб выходит за пределы значений соседних граничных точек. Статистический анализ этих расчетных выбросов при изначально правильном соответствии конструктивного разрешения ТП пространственной изменчивости температуры в контролируемой среде (которое можно определить при необходимости предварительным моделированием с использованием реальных данных) показал их ошибочность в 99 % случаев. Коррекция этих выбросов при обнаружении осуществляется в автоматическом режиме (рис. 4) с применением на заданном отрезке, в зависимости от характера отклонения, логарифмической или степенной интерполяции

$$T = a + b \times \log_{10} X \quad \text{и} \quad T = \pm a \times X^b,$$

где X – пространственная координата точки; T – расчетное значение температуры в точке; a и b – интерполяционные коэффициенты.



Р и с . 3 . Пример графического отображения измерений на океанографической платформе ТП, закрепленным вертикально на границе раздела сред воздух – вода до глубины 19.5 м

Fig . 3 . Example of graphical display of measurements on oceanographic platform of thermoprofilemeter fixed vertically at air-water interface up to a depth of 19.5 m

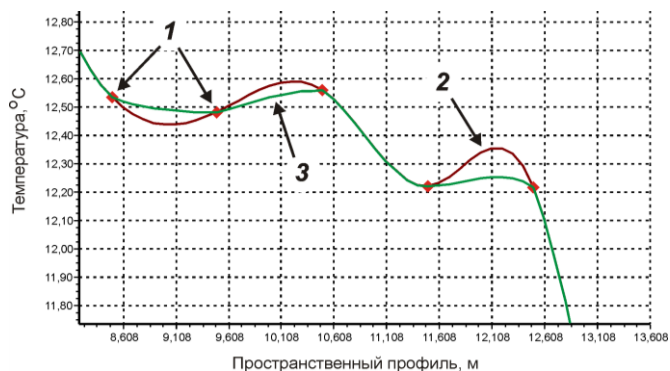


Рис. 4. Пример дополнительной коррекции участка сплайн-профиля измерения температуры: исходные измерительные данные на участках ТП (1), расчетный профиль после сплайн-интерполяции (2), результирующий непрерывный профиль после коррекции (3)

Fig. 4. Example of additional correction of the spline section of temperature measurement: initial measurement data on thermoprofilemeter sections (1), calculated profile after spline interpolation (2), resulting continuous profile after correction (3)

Полученный непрерывный в пиксельном графическом отношении профильный ряд по температуре сопоставляется с заданным пользователем цветовым градиентом по диапазону и выводится на окно графиков (изолиний) по временной развертке. Прорисовка точки изолинии на полученной полосе градиента обеспечивается попаданием заданного значения изолинии в интервал соседних пикселей. Таким образом, в заданном временном диапазоне, независимо

от предыдущих измерений, последовательно со сдвигами формируется картина поля температур в динамике и с привязкой к пространственному профилю. Такой метод позволяет обеспечивать отображение градиента и изолиний оперативно без двумерного интерполирования, требующего длительного накопления данных и значительно больших вычислительных ресурсов. Однако залогом визуального качества данной обработки, выраженного в плавности градиента и неразрывности изолиний, является достоверность (с точки зрения погрешностей, инерционности и пространственного разрешения) полученной первичной измерительной информации.

Графическое отображение данных ТП при динамических режимах эксплуатации (при изменении положения в пространстве) основывается на данных гидростатических датчиков давления и пользовательских настройках программы. В частности, программный режим «Погружение» оптимально отображает измерения, полученные путем срабатывания нижней части ТП с борта судна в воду (рис. 5). Заглубление датчика фиксируется по показаниям нижнего датчика давления (рис. 6), а верхняя часть при этом находится на палубе. Интерполяция и вывод на график изолиний при этом осуществляется только для погруженной части. При условии вертикального расположения подводной части ТП пространственная привязка измерений будет правильной, иначе заглубление можно скорректировать только при наличии визуальных меток на датчике или наличии выраженной температурной разницы между водой и воздухом. Для получения достоверного вертикального профиля необходимо учитывать также инерционность датчика (рис. 5) и качку судна при буксировке (рис. 6).

Пример работы программного режима «Зондирование» при использовании двух датчиков давления представлен на рис. 7. Положение ТП принимается условно линейным по глубине.

Одной из важнейших задач применения гидрологических ТП является обнаружение внутренних волн и контроль их параметров. Поскольку проявление внутренней волны хорошо отслеживается в области термоклина, где при предложенном графическом отображении наблюдается наибольшая концентрация непрерывных изолиний температуры, предлагается использовать

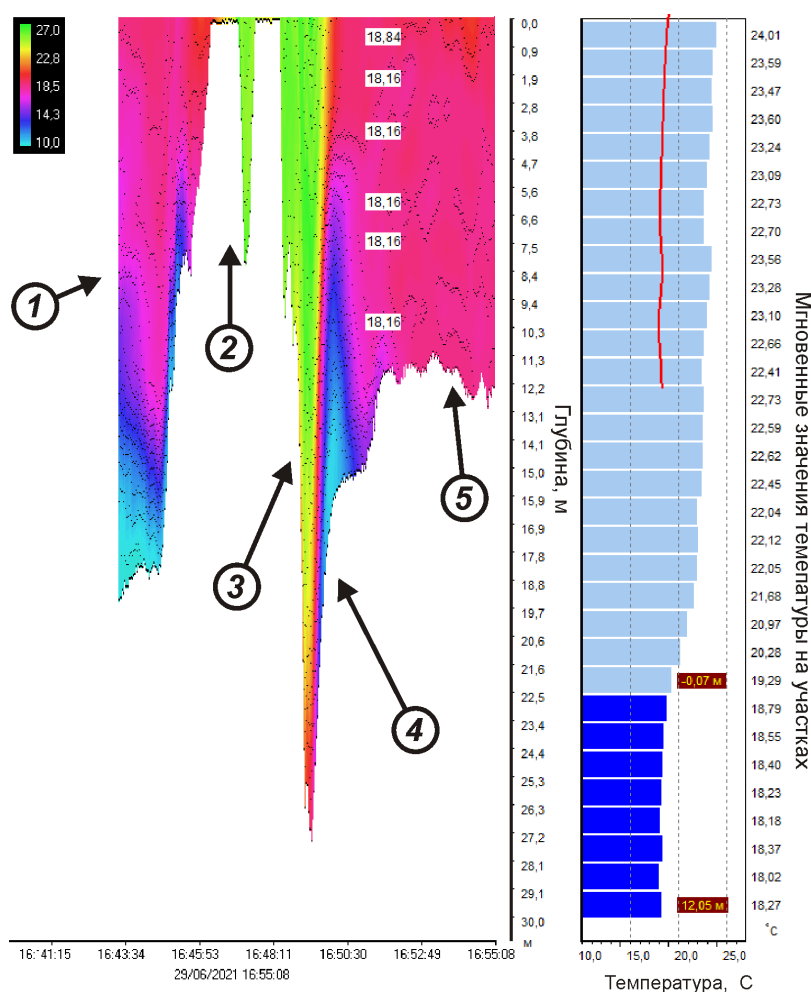
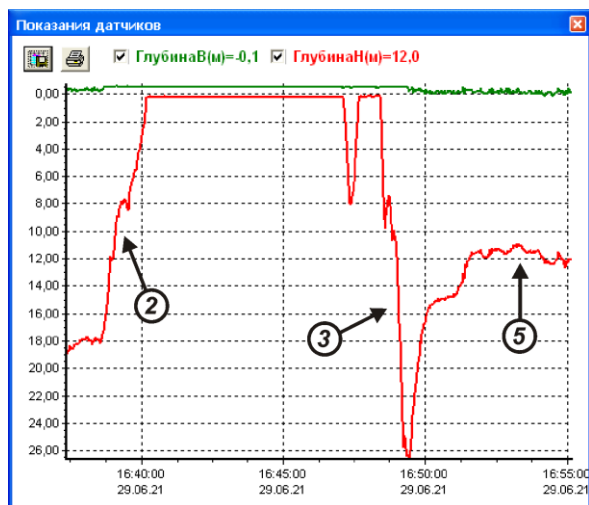


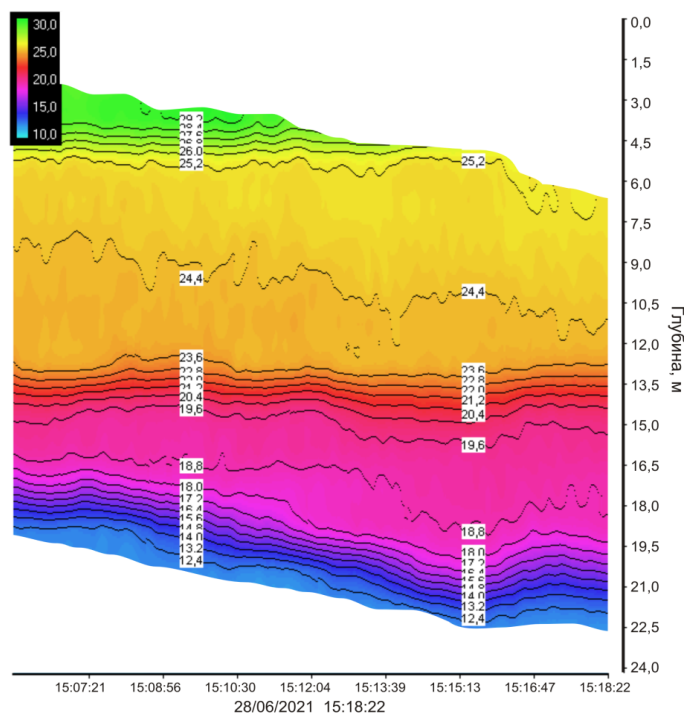
Рис. 5. Пример записи измерений при стравливании и буксировке заглубленной части ТП: окончание буксировки (1), вытравливание на борт (2), частичное стравливание за борт и инерционное охлаждение (3), начало буксировки и инерционный нагрев (4), снос и поверхностное волнение (5)

Fig. 5. Example of recording measurements during immersing and towing of the buried part of the TC: the end of towing (1), lifting on board (2), partial immersing overboard and inertial cooling (3), the beginning of towing and inertial heating (4), drift and surface swell (5)



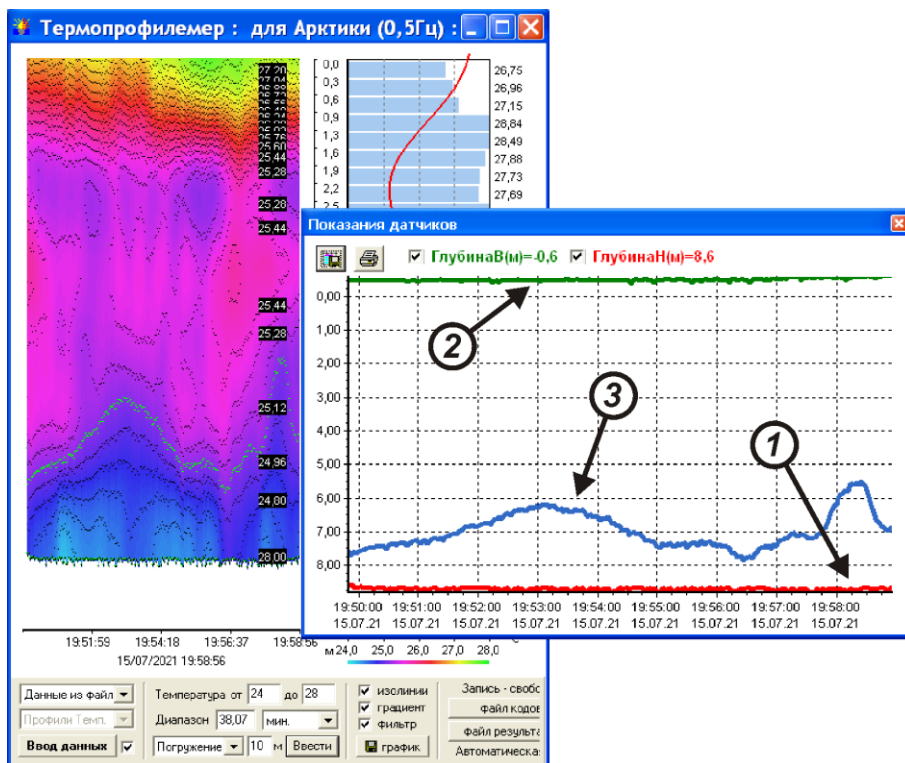
Р и с . 6 . Показания датчиков давления ТП (верхнего и нижнего) при записи измерений (рис. 5): вытравливание на борт (2), частичное стравливание за борт (3), снос и поверхностное волнение (5)

Fig . 6 . Readings of device pressure sensors (upper and lower) to record measurements in fig. 5: etching on board (2), partial immersing overboard (3), drift and surface swell (5)



Р и с . 7 . Пример построения графика изолиний в режиме «Зондирование»

Fig . 7 . Example of plotting isolines in “Sounding” mode



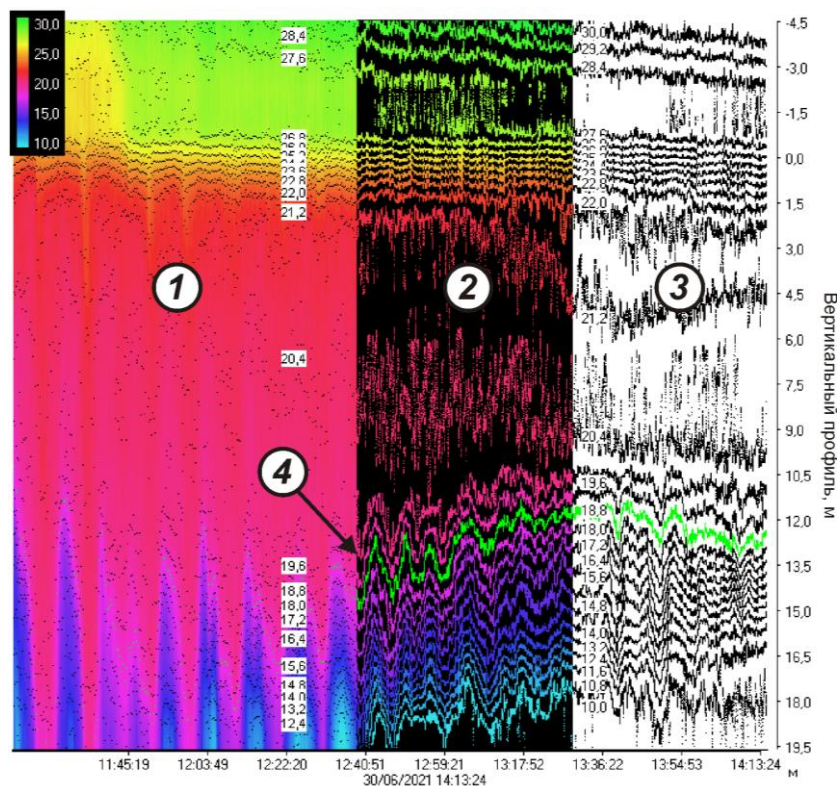
Р и с . 8 . Отслеживание и вывод выбранной пользователем изотермы: график нижнего датчика давления (1), график верхнего датчика давления (2), график отслеживаемой (снизу по глубине) изотермы 25.12 °С (3)

F i g . 8 . Tracking and output graph of user selected isotherm: lower pressure sensor plot (1), upper pressure sensor plot (2), plot of monitored (from depth bottom) isotherm 25.12 °C (3)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	N	DateTime	7,93m	9,43m	10,93m	...	52,93m	54,43m	Depth1, m	Depth2, m	Level, m	InWave, m(3,84C)
2	1	9:07:34	10	10,498	10,282	...	1,591	1,632	7,1772	55,1772	0	41,4
3	2	9:07:36	10	10,481	10,285	...	1,578	1,612	7,153	55,153	0	41,339
4	3	9:07:39	10,004	10,47	10,267	...	1,582	1,623	7,1692	55,1692	0	41,339
5	4	9:07:41	10,006	10,459	10,246	...	1,556	1,609	7,1729	55,1729	0	41,4
6	5	9:07:43	9,992	10,467	10,235	...	1,561	1,611	7,0605	55,0605	0	41,339
7	6	9:07:45	9,997	10,436	10,227	...	1,545	1,586	7,1567	55,1567	0	41,4
8	7	9:07:47	10,009	10,419	10,21	...	1,554	1,56	7,1617	55,1617	0	41,4
9	8	9:07:49	10,007	10,408	10,208	...	1,524	1,536	7,1779	55,1779	0	41,46
10	9	9:07:51	10,006	10,375	10,178	...	1,537	1,523	7,1729	55,1729	0	41,4
11	10	9:07:53	10,011	10,376	10,176	...	1,512	1,512	7,1679	55,1679	0	41,46
12	11	9:07:55	10,003	10,368	10,138	...	1,499	1,489	7,1834	55,1834	0	41,521
13	12	9:07:57	10,016	10,342	10,118	...	1,463	1,463	7,1816	55,1816	0	41,521
14	13	9:08:00	10,032	10,312	10,084	...	1,431	1,463	7,1102	55,1102	0	41,46

Р и с . 9 . Пример записей результатов измерений в файл текстового формата для 48-метрового датчика ТП

F i g . 9 . Example of writing a 48-meter TP sensor measurement results to a text file



Р и с. 10. Демонстрация вывода графика градиента-изолиний при различных настройках: цветовой градиент и изолинии (1), цветные изолинии без градиента (2), черно-белый вывод изолиний (3), индикация выбранной изолинии внутренней волны (4)

Fig. 10. Demonstration of the output of the gradient-isolines graph at various settings: colour gradient and isolines (1), colour isolines without gradient (2), black-and-white output of isolines (3), indication of the selected internal wave isoline (4)

данные о пространственно-временных характеристиках выбранной пользователем изолинии для спектрально-волнового анализа. При этом выбранная изолиния при обработке измерений помечается отдельным цветом и выводится на график (рис. 8), а ее пространственные смещения по глубине и времени фиксируются в общем текстовом файле результатов (рис. 9).

Различные режимы вывода информации на графики изолиний представлены на рис. 10. Временные диапазоны вывода изолиний задаются шириной временного отрезка с автоматическим сдвигом графика влево при получении нового пакета данных справа. Для режима постобработки можно задавать определенный временной интервал с началом и окончанием. В режиме точного отображения используется 24-часовая шкала. Для обработки больших массивов данных или при телеметрической работе прибора в автономном режиме обеспечивается автоматическое покадровое (посуточное и др.) сохранение окон графиков и текстовых файлов результатов измерений в стандартных форматах.

Заключение

Как показал практический опыт, разработанное алгоритмически-программное обеспечение для первичной регистрации, обработки и численно-графического вывода измерительных данных с гидрологических распределенных датчиков температуры ТП является надежным инструментом получения оперативной и наглядной информации о процессах теплообмена и переноса термически связанных масс в водной среде. Возможность адаптивного отображения данных при различных режимах использования ТП обеспечивает качественную телеметрическую привязку измерений к пространственно-временным координатам и, следовательно, ускоряет дальнейшую интерпретацию результатов и планирование экспериментов. Необходимым фактором получения достоверной графической информации являются качественные метрологические характеристики измерителя и выверенная методика его использования в конкретных условиях изменчивости среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термокосы ЮО ИО РАН: конструкция, методика и результаты метрологического исследования датчиков / В. В. Очередник [и др.] // *Океанология*. 2018. Т. 58, № 5. С. 719–730. <https://doi.org/10.1134/S003015741805009X>
2. Николаев Н. И., Васильева Н. В., Николаева И. В. Разработка устройства для удаленного мониторинга температурной среды «термокоса» // *Наука и бизнес: пути развития*. 2021. № 11. С. 17–23.
3. Гайский В. А., Гайский П. В. Распределенные термопрофилемеры и их возможности в океанографических исследованиях // *Морской гидрофизический журнал*. 1999. № 6. С. 46–76.
4. Очередник В. В., Запезалов А. С. Исследование короткопериодной изменчивости поля температуры на Черноморском гидрофизическом полигоне Института океанологии РАН // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2018. № 1. С. 44–49. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-1-44-49>
5. Толстошеев А. П., Лунев Е. Г., Мотыжев С. В. Анализ результатов натуральных экспериментов с термопрофилирующими дрейфующими буями в Черном море и других районах Мирового океана // *Морской гидрофизический журнал*. 2014. № 5. С. 9–32.
6. Мотыжев С. В. Создание дрейфтерной технологии для контроля океана и атмосферы // *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 6. С. 74–88.
7. Толстошеев А. П., Лунев Е. Г., Мотыжев С. В. Исследование верхнего слоя Черного моря с помощью термопрофилирующих дрейфующих буев // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. Вып. 16. С. 116–123.
8. Исследование внутренних волн по данным трех заякоренных термокос / В. В. Очередник [и др.] // *Береговая зона моря: исследования, управление, перспективы: сборник материалов Международной молодежной летней школы: научное электронное издание / Под редакцией В. А. Гриценко*. Калининград, 2018. С. 12–16.
9. Дубравин В. Ф., Капустина М. В., Мысленков С. А. Внутригодовая изменчивость суточного хода температуры воды на Самбийско-Куршской возвышенности (Юго-Восточная Балтика) в 2016 г. // *Процессы в геосредах*. 2019. № 1. С. 32–39.
10. Гайский В. А., Гайский П. В. Использование распределенных датчиков для температурных измерений в море. Севастополь : ИПТС. 2018. 222 с. <https://doi.org/10.33075/978-5-6040795-4-6>

11. *Гайский П. В.* Результаты годовых наблюдений вертикального профиля температуры на океанографической платформе с помощью распределенных термопрофиломеров // Системы контроля окружающей среды. Севастополь : МГИ, 2014. Вып. 20. С. 44–53.

Поступила 13.05.2022 г.; одобрена после рецензирования 05.06.2022 г.; принята к публикации 08.07.2022 г.; опубликована 25.09.2022 г.

Об авторе:

Гайский Павел Витальевич, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией инновационного морского приборостроения, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат технических наук, **Scopus Author ID: 7801588003**, **SPIN-код: 7789-0658**, *gaysky@inbox.ru*

About the author:

Pavel V. Gaisky, Leading Research Associate, Head of Innovation Marine Instrument Engineering Laboratory of SCU of Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Tech.), **Scopus Author ID: 7801588003**, **SPIN-code: 7789-0658**, *gaysky@inbox.ru*

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.