

УДК 004.415

DOI: 10.46960/1816-210X_2020_3_53

Е.А. Рувинская, А.С. Епифанова, М.В. Кокоулина

ПЕРВАЯ ВЕРСИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ОКЕАНЕ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Создана система обработки натуральных измерений внутренних волн, позволяющая проводить экспресс-анализ исходной записи посредством статистической обработки (вычисление моментов и построение гистограмм для ординат смещения изотермы/изопикны, высот, крутизны, периода и амплитуды угла волнового склона выделенных волн с возможностью выравнивания известными теоретическими законами распределения (нормальное, логнормальное, Вейбулла, Рэлея); для проверки качества аппроксимации используется критерий хи-квадрат) и построения спектра записи с возможностью его сравнения с моделью Гаррета-Манка (для удобства можно также выборочно отметить на графике частоты основных приливных гармоник (полусуточных (M_2 , S_2 , N_2 , K_2) и суточных (P_1 , K_1 , O_1 , Q_1)). Пользователю доступны опции отображения спектров в линейном, логарифмическом и полулогарифмическом масштабе осей. Разработанный программный комплекс имеет графический интерфейс, созданный средствами GUI Matlab, и является прототипом информационной онлайн-системы, которую планируется создать для анализа временных рядов изотермы/изопикны в контексте исследования динамики внутренних волн в океане. Тестирование функционала программного комплекса проведено на данных измерений температуры, полученных в шельфовой зоне Японского моря и предоставленных сотрудниками ТОИ ДВО РАН.

Ключевые слова: система обработки данных, внутренние волны, натурные измерения, спектр Гаррета-Манка, приливные гармоники, инерционная частота, гистограмма, выравнивание, логнормальное распределение, распределение Вейбулла, распределение Рэлея.

Введение

Исследование внутренних волн в океане – одна из наиболее популярных и актуальных задач современной геофизики, попытки решения которой предпринимаются в рамках различных моделей и концепций [1-7]. Интерес к изучению этого явления как важнейшего механизма переноса энергии в океане обусловлен, в первую очередь, практическими задачами. В последние десятилетия появилось множество новых исследований, подтверждающих тот факт, что внутренние волны не в меньшей (а часто – в большей) степени, чем поверхностные, могут влиять как на морскую инфраструктуру (воздействовать на подводные части морских гидротехнических сооружений, в том числе, посредством усиления сосредоточенных нагрузок, изгибающих и крутящих моментов и натяжения заякоривающих узлов, а также изменения рельефа дна), так и на функционирование морских экосистем (влиять на биопродуктивность за счет перемешивания водных масс и перераспределения питательных веществ, индуцировать перенос примесей и загрязнений [8]. Одним из наиболее важных прикладных аспектов в этом направлении является оценка воздействия интенсивных внутренних волн на нефтедобывающие платформы различных типов [9-16]. Поскольку внутренние волны представляют серьезную опасность для подобных объектов (известны случаи смещения нефтяных платформ на 200 м в горизонтальном и 10 м в вертикальном направлении, а также двукратного увеличения натяжения якорных цепей спар-платформ [17]), все больше работ по этой тематике встречается и в специализированных журналах, посвященных проблемам морской инженерии, а также в трудах специализированных конференций: например, [18] – о влиянии внутренних волн на буровые установки, [19, 20] – моделирование воздействия внутренних волн на спар-платформы, [21] – на шельфовые терминалы по производству сжиженного газа (СПГ) и процессы выгрузки, [22] – на полупогружные плавучие буровые установки

(ППБУ) и др.) Таким образом, прикладные аспекты изучения динамики внутренних волн востребованы современной инженерной наукой.

В связи с прогрессом приборостроения, прикладной математики и методов дистанционного зондирования океана, с 1960-70-х гг. начинает появляться все больше и больше наблюдений интенсивных внутренних волн, В лаборатории моделирования природных и техногенных катастроф Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева создан электронный атлас для работы с базой данных наблюдений внутренних волн, в которой систематизирована информация из более чем 2 800 литературных источников, описывающих их зарегистрированные проявления (<https://lfnad.nntu.ru/igwatlas/>) [23, 24]. Параллельно с накоплением океанологических данных о динамике внутренних волн встает вопрос также и о возможности экспресс-анализа записей натуральных наблюдений (еще один проект, реализованный в нашей лаборатории, который может использоваться для численного моделирования динамики и экспресс-анализа параметров внутренних волн по данным океанологических атласов, описан в статьях [25, 26]). Информационно-аналитические системы, которые способны не только накапливать данные, но и предоставлять возможности для анализа этих данных, наиболее востребованы, и их появление является закономерным этапом на пути развития технологий в той или иной области знаний. Стоит отметить, что подобные системы активно разрабатываются, в том числе, в России, например, циклы работ ИВТ СО РАН и ИКИ РАН [27, 28] по обработке спутниковых изображений для решения задач мониторинга окружающей среды; работы ТОИ ДВО РАН (ресурсы <http://oias.poi.dvo.ru/> и <http://pacificinfo.ru> [29, 30] – океанографические ИАС для Дальневосточного региона) и Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН – ЕСИМО).

В настоящей статье обсуждается создание прототипа системы обработки и анализа натуральных измерений внутренних волн, которая, в свою очередь станет первым этапом на пути создания информационной онлайн системы обработки и анализа натуральных измерений внутренних волн и индуцируемых ими явлений на основе облачных вычислений с открытым доступом. Такая аналитическая система содержит программные средства для обработки данных – спектрального и статистического анализа записей натуральных наблюдений внутренних волн (смещений заданного уровня плотности, либо скорости) с возможностью расширения функционала для анализа временных рядов в контексте исследования записей внутренних волн, полученных в ходе натуральных наблюдений в океане.

Аналитическая система обработки натуральных измерений внутренних волн

Интерфейс системы обработки и анализа натуральных измерений внутренних волн разработан с помощью GUI Matlab и предоставляет пользователю возможности для статистического и спектрального анализа данных и графического отображения результатов.

Главное окно комплекса представлено на рис. 1. Оно содержит четыре кнопки и поле для отображения исходной записи. Кнопка «Загрузить данные» отвечает за выбор файла с входными данными, которые представляют собой временной ряд (колебания изопикны (линии одинаковой плотности), либо изотермы (линии одинаковой температуры) во времени).

После загрузки входных данных, при нажатии кнопки «Построить», в графическом окне отображается исходная запись и появляется возможность выбора способа ее дальнейшей обработки.

Исходная запись сглаживается путем спектральной фильтрации шумов с периодом менее 1 мин. В дальнейшем планируется расширить блок фильтрации и добавить возможность выбора фильтра, либо отказа от предобработки данных.

Для тестирования программного комплекса использовалась запись, предоставленная сотрудниками лаборатории статистической гидроакустики ТОИ ДВО РАН, полученная в ходе экспедиции 2011 г. в осенний период (с 11 октября 2011 (18:30) по 20 октября (10:45) (частота дискретизации данных – 1 с)) в шельфовой зоне Японского моря с термогирлянд [31-

34]. Из вертикального распределения температуры во времени в точке установки датчиков была выделена одна изотерма, соответствующая 4 °С, для которой проводилась апробация алгоритмов разработанной аналитической системы. На рис. 1 в графическом окне представлен временной ряд смещения колебания изотермы.

При нажатии кнопки «Спектральный анализ» вызывается новое окно, содержащее функционал для спектрального анализа (рис. 2). В графическом поле отображается спектр исходного сигнала $S(f)$ (по умолчанию в линейном масштабе), полученный с помощью быстрого преобразования Фурье (дискретные спектральные амплитуды для дискретных значений временного ряда s_j определяются формулой (1):

$$S_k = S(f_k) = \frac{|\hat{S}_k|}{N}, \quad \hat{S}_k = \sum_{j=1}^N s_j \exp\left(-\frac{2\pi i}{N}(j-1)(k-1)\right), \quad (1)$$

где N – количество отсчетов s_j , $f_k = kF_s/N$ – значения частот (положительных), $F_s = 1/T_s$ – частота дискретизации и T_s – временной шаг между измерениями).

Программный комплекс позволяет изменять такие параметры, как масштаб осей (линейный, полулогарифмический и логарифмический), источник (тип) измерений (для аппроксимации спектром Гаррета-Манка) и приливные компоненты (для соотношения пиков спектра с частотами суточных и полусуточных приливов).



Рис. 1. Главное окно

Еще в 1970-х гг. Гаррет и Манк, проанализировав результаты натуральных наблюдений внутренних волн, сформулировали климатический спектр для «усредненных» океанских условий (модель GM) [35]. Он не зависит от волнообразующих факторов, показывая общие тенденции (не работает в районах акваторий с сильными течениями и топографическими особенностями). В экспериментальных работах при спектральном анализе волнового поля часто используется сравнение с полученным Гарретом и Манком законом, который претерпел различные модификации. Руководствуясь работой [36] (модель GM-76), мы используем уточненные спектральные модели вертикальных смещений для различных типов анализиру-

емых записей внутренних волн [37]: полученных с заякоренного бую («якорный» спектр) (2), либо с буксируемого судна («буксируемый» спектр) (3):

$$MS_{\zeta}(f, z) = \frac{2}{\pi} r \frac{f_{in}}{N(z)} \frac{(f^2 - f_{in}^2)^{1/2}}{f^3}, \quad (2)$$

$$TS_{\zeta}(k, z) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^3 rt \frac{f_{in}}{N(z)} \left(\ln \frac{N(z)}{f_{in}} - \frac{N^2(z) - f_{in}^2}{2N^2(z)} \right) k^{-2}, \quad (3)$$

где все частоты (f , f_{in} и N) имеют размерность цикл/час, $f_{in} = 2 \Omega_E \sin \varphi$ – инерционная частота (Ω_E – частота вращения Земли, соответствующая периоду 24 ч, φ – географическая широта

точки наблюдений), $N(z) = \sqrt{\frac{g}{\rho_0(z)} \frac{d\rho_0(z)}{dz}}$ – частота Вайселя-Брента на горизонте z , g –

ускорение свободного падения, $\rho_0(z)$ – вертикальный профиль плотности морской воды, координата z направлена вниз, $z = 0$ соответствует поверхности моря. Плотность $\rho_0(z)$ была рассчитана по профилям температуры и солёности на основании международного уравнения состояния морской воды TEOS-10 (<http://www.teos-10.org/>). Параметры $r = E\hat{b}^2\hat{N}$ [$\text{м}^2\text{цикл/ч}$]

и $t = \frac{j}{2\hat{b}\hat{N}}$ [ч/цикл/м] могут варьироваться в зависимости от океанских условий. Величины E ,

\hat{N} , \hat{b} – безразмерный параметр, характеризующий энергию внутренних волн в «элементарном» столбе жидкости, масштаб частоты плавучести и вертикальный масштаб волновых движений (глубина стратифицированной жидкости) соответственно. Во многих задачах используются канонические значения этих параметров: $E = 2\pi 10^{-5}$; $\hat{b} = 1300$ [м]; $\hat{N} = 3$ [цикл/ч]. Однако, существуют процедуры для определения этих величин непосредственно из экспериментальных данных [38]. Параметр j – количество бароклинных мод (в этой модели обычно берется $j = 6$). Для выполнения аппроксимации в программном комплексе необходимо задать значение частоты Вайселя-Брента. Можно также изменить параметры «по умолчанию»: \hat{b} , j , \hat{N} , E . Для спектра колебаний изотермы, полученного при измерениях с заякоренного бую, известно, что за исключением инерционной и приливных частот, он будет иметь непрерывный характер во всём диапазоне частот; спектральная плотность спадает по степенному закону с показателем степени от -1 до -4, а чаще от -2 до -3.

Одной из функций аналитической системы также является выбор приливных компонент: с помощью чекбоксов пользователь имеет возможность выбрать суточные и полусуточные приливные гармоники, которые отобразятся на графике полученного спектра, позволяя проверить наличие пиков на этих частотах (доступны $M2$ (лунный полусуточный, главная волна), $S2$ (солнечный полусуточный, главная волна), $N2$ (лунный полусуточный, большая эллиптическая волна), $K2$ (лунно-солнечный полусуточный, деклинационная волна); $P1$ (солнечный суточный, главная волна), $K1$ (лунно-солнечный суточный, деклинационная волна), $O1$ (лунный суточный, главная волна), $Q1$ (лунный суточный, эллиптическая волна)). На рис. 2 приведен спектр температурных колебаний и отмечены две приливные компоненты $M2$ и $K1$.

В главном окне (рис. 1) пользователь может выбрать также опцию «Статистический анализ», после чего будет вызвано новое окно (рис. 3), в графическом поле которого представлена гистограмма распределения ординат (по умолчанию). Гистограмма повторяемости ординат смещения изотермы позволяет получить общую картину диапазона изменчивости значений этой величины.

В разработанной системе обработки данных натуральных наблюдений внутренних волн кроме ординат исходного временного ряда можно также проанализировать такие параметры, как высоты волн, период, крутизна, амплитуда волнового склона. По выбранной характеристике будет построена гистограмма распределения. В классическом смысле крутизна волны

– это отношение высоты волны к её длине, а амплитуда угла волнового склона (локальная крутизна) есть максимальное значение угла в точках профиля волны. Однако, поскольку мы анализируем запись по времени (знаем период волны, а не длину), то для определения этих характеристик необходимо ввести безразмерные переменные, определяющие оси абсцисс и ординат: $t^* = t/T^*$, $z^* = z/H^*$, где t и z – значения времени записи и ординат изотермы соответственно, а T^* и H^* – модальные значения для логнормальных кривых, выравнивающих гистограммы высот и периодов волн. Высота волны оценивается как средняя величина между вершиной и подошвой волны, период каждой волны определяется как временной интервал между соседними минимумами залегания изолинии. Всего из сглаженной записи (сглаживание проводилось путем спектральной фильтрации шумов с периодом менее 1 мин) смещений изотермы 4 °С, рассматриваемой как запись нерегулярного волнения, было выделено 1046 волн, волны менее 0,5 м не учитывались. Для примера на рис. 3 приведена гистограмма повторяемости высот волн в записи смещения изотермы 4°С. Отметим, что высоты всех рассматриваемых волн лежат в диапазоне 0,5 – 10 м. Средняя высота волны составляет 1.6 м, среднее квадратическое отклонение высоты 1,12 м (под графиком выводится среднее значение и среднее квадратическое отклонение группированного статистического ряда).

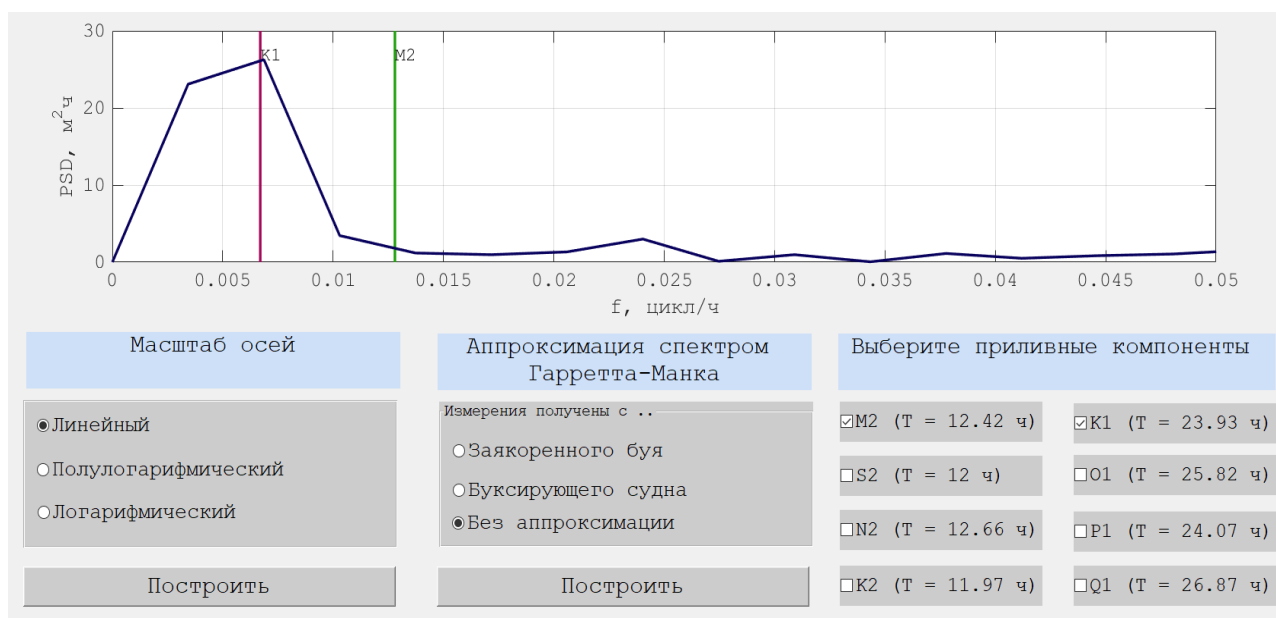


Рис. 2. Окно спектрального анализа

Кроме этого, имеется возможность аппроксимации экспериментальных данных известными теоретическими распределениями плотности вероятности. В нашем программном комплексе для выравнивания гистограммы можно выбрать нормальное распределение, логнормальное распределение, распределения Вейбулла и Рэлея [39]. Роль нормального распределения в теории вероятностей и математической статистике сложно переоценить: оно занимает уникальное положение в практических расчетах, при этом риск серьезных ошибок при его использовании невелик даже если натурные данные лучше описываются другими видами распределений. Это справедливо и при исследовании волновых процессов. Так, например, волновые ординаты (в том числе в контексте внутренних волн) часто неплохо описываются нормальным законом распределения [40]. Мы используем следующую форму нормального закона (4):

$$f_1(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где в качестве оценки μ выступает среднее выборочное, а в качестве оценки σ - квадратный корень из выборочной дисперсии (более подробно об истории применения нормального закона и об оценивании его параметров можно прочитать, например, в [39]).

Еще одним часто используемым непрерывным и асимметричным «колоколообразным» законом распределения является логнормальный закон (5):

$$f_2(x) = \frac{1}{x\delta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x/\zeta)^2}{2\delta^2}}, \quad (5)$$

где параметры ζ и δ (безразмерный) оцениваются из исходных статистических данных (см. более подробно [39]). Это одно из наиболее часто применяемых распределений (наравне с распределением Вейбулла и Рэля) при обработке волновых записей и анализе распределений таких параметров, как высоты волн [41-43]. Так, в качестве примера использования логнормального закона при анализе параметров внутренних волн можно привести следующие результаты: в нашей статье [44] было показано, что высоты и периоды внутренних волн по данным из Японского моря удовлетворяют логнормальному закону; в статье [45], где анализировались записи из Белого и Баренцева морей, также для аппроксимации гистограммы высот волн используется логнормальная кривая.

Двухпараметрическое семейство кривых Вейбулла (которое по своей сути является степенным преобразованием экспоненциального закона) имеет вид (6):

$$f_3(x) = \frac{c}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^c}, \quad (6)$$

где c – параметр формы, который также называют наклоном Вейбулла; безразмерная величина ($c=1$ – экспоненциальный случай), α – параметр масштаба, который имеет ту же единицу измерения, что и величина x (при увеличении только этого параметра кривая растягивается вправо вдоль оси абсцисс, а ее высота уменьшается; при уменьшении α кривая «сжимается» влево, а ее высота увеличивается).

Частным случаем распределения Вейбулла с параметрами $c = 2$ и $\alpha = \sqrt{2} b$ является распределение Рэля:

$$f_4(x) = \frac{x}{b^2} e^{-\frac{x^2}{2b^2}}, \quad (7)$$

где b – параметр распределения Рэля, является модой этого распределения (имеет размерность x). Выбор перечисленных законов распределения обусловлен частотой их применения к анализу характеристик волновых процессов. Аппроксимация гистограммы производится средствами библиотеки Matlab dfittool.

Также гистограмма может быть построена без выравнивания теоретическим законом распределения. При аппроксимации в окне слева отображаются значения выборочного среднего и среднеквадратического отклонения для сгруппированного ряда, а также значения параметров кривой распределения (справа). Проверяется критерий Пирсона, и выводятся значения хи-квадрат и критическое значение, по которым можно судить насколько хорошо теоретическая кривая описывает исходные данные [39].

Для модельного примера гистограмма высот хорошо аппроксимируется теоретическим логнормальным законом распределения с плотностью вероятности (5) с параметрами $\mu = 0.27$ м, $\sigma = 0.63$ м для высот волн H .

В дальнейшем планируется также добавить в комплекс блок с функционалом для прогнозирования ожидаемых высот волн на основании анализируемых записей [44, 46]. Хотя прогноз, выполненный по «коротким» записям (несколько десятков часов наблюдений) должен уточняться, в акваториях со сложными климатическими условиями он оправдан [45, 47], поскольку сложно обеспечить получение действительно длительных записей.

Таким образом, разработанный программный комплекс позволяет проводить экспресс-анализ экспериментальных данных, представляющих собой запись изотермы (изопикны), в контексте исследования внутренних волн.

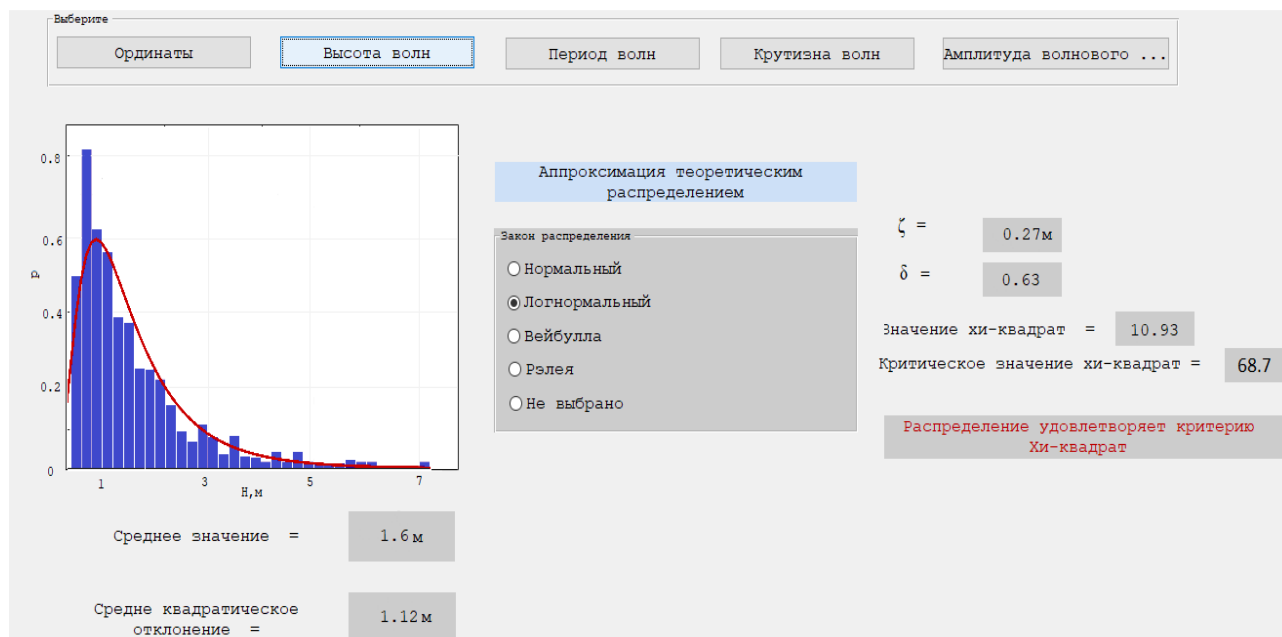


Рис. 3. Окно статистического анализа. Логнормальный закон распределения

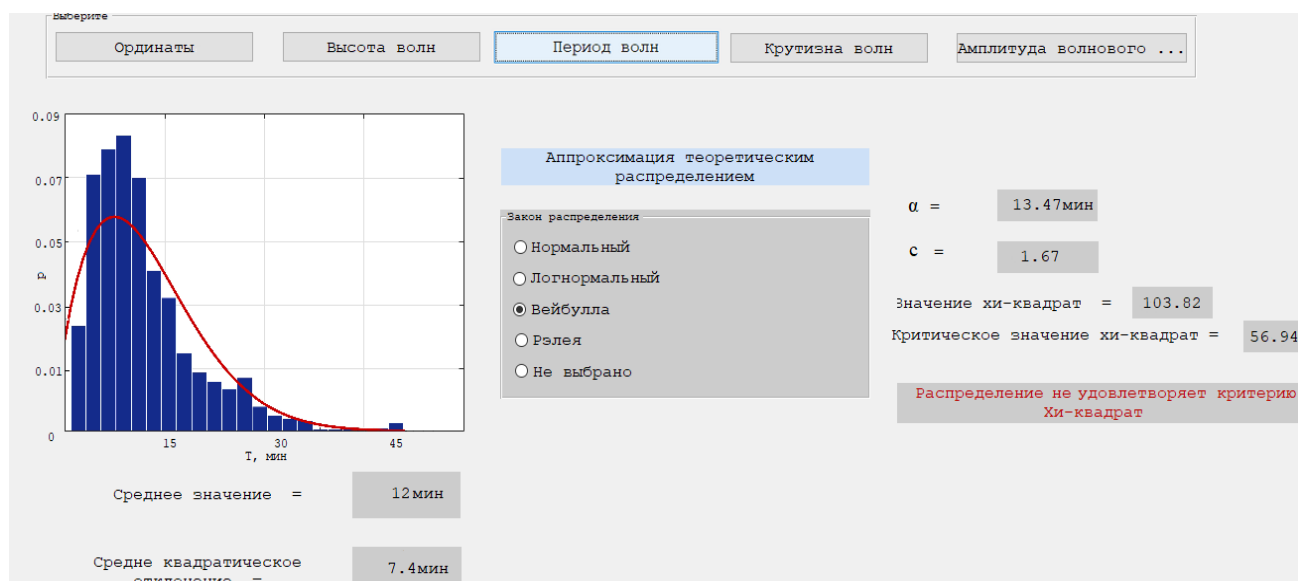


Рис. 4. Окно статистического анализа. Закон распределения Вейбулла

Заключение

В настоящей работе с использованием библиотек Matlab разработана первая версия системы обработки и анализа натурных наблюдений внутренних волн в океане с графическим интерфейсом. Программный комплекс предоставляет возможности статистического анализа временных рядов, а именно: построение гистограммы и ее выравнивание с помощью известных теоретических законов распределения, вычисление моментов ряда, а также проверка критерия хи-квадрат. Пользователь может провести статистический анализ как орди-

нат исходной записи изотермы (изопикны), так и высот выделенных из записи волн, их периодов, крутизны и амплитуды волнового склона. Функционал вкладки спектрального анализа позволяет строить спектр записи в различных вариантах отображения, а также для сравнения наносить на график частоты основных приливных компонент. Доступна также опция сравнения спектра с моделью Гаррета-Манка заякоренного и буксируемого типа. Разработанный программный комплекс является прототипом информационной онлайн системы по обработке натуральных данных внутренних волн в океане. Планируется расширить функционал системы за счет добавления различных опций фильтрации временных рядов, вкладки, предоставляющей возможности вейвлет-анализа, а также оценок воздействия на дно и сооружения в контексте динамики внутренних волн.

Представленные результаты получены при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке научных исследований ведущих научных школ Российской Федерации НШ-2485.2020.5, а также стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-1225.2019.5).

Библиографический список

1. **Kurkina, O.E.** Huge internal waves in the vicinity of the Spitsbergen island (Barents Sea) / O.E. Kurkina, T.G. Talipova // *Natural Hazards and Earth System Science*. – 2011. – V. 11. – № 3. – P. 981-986.
2. **Zahibo, N.** Strongly nonlinear steepening of long interfacial waves / N. Zahibo, A. Slunyaev, T. Talipova, E. Pelinovsky, O. Polukhina, A. Kurkin // *Nonlinear Processes in Geophysics*. – 2007. – V. 14. – № 3. – P. 247-256.
3. **Куркина, О.Е.** Динамика солитонов неинтегрируемой версии модифицированного уравнения Кортевега-де Вриза / О.Е. Куркина, А.А. Куркин, Е.А. Рувинская, Е.Н. Пелиновский, Т. Соомере // *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. – 2012. – Т. 95. – № 1-2. – С. 98-103.
4. **Талипова, Т. Г.** Моделирование динамики интенсивных внутренних волн на шельфе / Т. Г. Талипова, Е.Н Пелиновский, А.А. Куркин, О.Е. Куркина // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 714-722.
5. **Rouvinskaya, E.** Transformation of internal breathers in the idealised shelf sea conditions / T. Talipova, O. Kurkina, D. Tyugin, T. Soomere // *Continental Shelf Research*. – 2015. – V. 110. – P. 60-71.
6. **Kurkina, O.E.** Propagation regimes of interfacial solitary waves in a three-layer fluid / O.E. Kurkina, A.A. Kurkin, E.A. Rouvinskaya, T. Soomere // *Nonlinear Processes in Geophysics*. – 2015. – V. 22. – № 2. – P. 117-132.
7. **Kurkina, O.** Propagation regimes and populations of internal waves in the Mediterranean Sea basin / O. Kurkina, E. Rouvinskaya, T. Talipova, T. Soomere // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2017. – V. 185. – P. 44-54.
8. **Woodson, C.B.** The fate and impact of internal waves in nearshore ecosystems // *Annual review of marine science*. – 2018. – V. 10. – P. 421-441.
9. **Chakrabarti, S.** *Handbook of Offshore Engineering (2-volume set)* / S. Chakrabarti. – Elsevier. – 2005.
10. **Cai, S.** A method to estimate the forces exerted by internal solitons on cylindrical piles / S. Cai, X. Long, Z. Gan // *Ocean Engineering*. – 2003. – V. 30. – № 5. – P. 673-689.
11. **Cai, S.** Forces and torques exerted by internal solitons in shear flows on cylindrical piles / S. Cai, X. Long, S. Wang // *Applied Ocean Research*. – 2008. – V. 30. – № 1. – P. 72-77.
12. **Osborne, A.R.** *Nonlinear ocean wave and the inverse scattering transform* // *Scattering*. – Academic Press, 2002. – P. 637-666.
13. **Song, Z.J.** Comparisons of internal solitary wave and surface wave actions on marine structures and their responses / Z.J. Song, B. Teng, Y. Gou, L. Lu, Z.M. Shi, Y. Xiao, Y. Qu // *Applied Ocean Research*. – 2011. – V. 33. – № 2. – P. 120-129.
14. **Si, Z.** A numerical simulation of shear forces and torques exerted by large-amplitude internal solitary waves on a rigid pile in South China Sea / Z. Si, Y. Zhang, Z. Fan // *Applied Ocean Research*. – 2012. – V. 37. – P. 127-132.

15. **Xie, J.** Strongly nonlinear internal soliton load on a small vertical circular cylinder in two-layer fluids / J. Xie, Y. Jian, L. Yang // *Applied mathematical modelling*. – 2010. – V. 34. – № 8. – P. 2089-2101.
16. **Xie, J.** A numerical study of the load on cylindrical piles exerted by internal solitary waves / J. Xie, J. Xu, S. Cai // *Journal of Fluids and Structures*. – 2011. – V. 27. – № 8. – P. 1252-1261.
17. Osborne, A.R. The influence of internal waves on deep-water drilling / A. R. Osborne, T.L. Burch, R.I. Scarlet // *Journal of Petroleum Technology*. – 1978. – V. 30. – №10. –P. 1497-1504.
18. **Kurup, N.V.** Study of nonlinear internal waves and impact on offshore drilling units / N.V. Kurup, S. Shi, Z. Shi, W. Miao, L. Jiang // *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. – 2011. – V. 44335. – P. 831-840.
19. **Sun, M.** A new concept of spar in deep water and its hydrodynamic performance under internal wave / M. Sun, W. Huang // *The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference*. – International Society of Offshore and Polar Engineers. – 2012. – P.975-982.
20. **Kurup, N.V.** Numerical modeling of internal waves within a coupled analysis framework and their influence on spar platforms / N.V. Kurup, S. Shi, L. Jiang, M.N. Kim // *Ocean Systems Engineering*. – 2015. – V. 5. – № 4. – P. 261-277.
21. **Xu, W.** Internal wave soliton passage simulation during offloading / W. Xu, Y. Li, A. Voogt // *ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. – American Society of Mechanical Engineers Digital Collection. – 2013. – V. 55393. – P. V005T06A026.
22. **Wei, J.** Maximum Offset for the Emergency Disengagement and Control of the Deep water Semi-Submersible Platform in Internal Wave // *Ocean Engineering Equipment & Technology*. – 2017. – V. 4. – P. 29-36.
23. **Епифанова, А.С.** База данных наблюдений внутренних волн в Мировом океане / А.С. Епифанова, А.В. Рыбин, Т.Е. Моисеенко, О.Е. Куркина, А.А. Куркин, Д.Ю. Тюгин // *Морской гидрофизический журнал*. – 2019. – Т. 35. – № 4. – С. 395–403. DOI: 10.22449/0233-7584-2019-4-395-403.
24. **Епифанова, А.С.** О разработке цифрового атласа наблюдений внутренних волн в мировом океане / А.С. Епифанова, А.А. Куркин, О.Е. Куркина, Т.Е. Моисеенко, А.В. Рыбин // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. – 2019. – № 4. – С.17-26.
25. **Тюгин, Д.Ю.** Программный комплекс для численного моделирования внутренних гравитационных волн в мировом океане / Д.Ю. Тюгин, О.Е. Куркина, А.А. Куркин // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2011. – Т. 4, – № 2. – С. 32-44.
26. **Тюгин, Д.Ю.** Повышение производительности программного комплекса для моделирования внутренних гравитационных волн IGW Research с помощью Intel® Parallel Studio XE 2013 / Д.Ю. Тюгин, А.А. Куркин, Е.Н. Пелиновский, О.Е. Куркина // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2012. – Т. 5. – № 3. – С. 89-95.
27. **Шокин, Ю.И.** Информационная система приема, обработки и доступа к спутниковым данным и ее применение для решения задач мониторинга окружающей среды / Ю.И. Шокин, Н.Н. Добрецов, Е.А. Мамаш, В.А. Кихтенко, П.В. Воронина, В.В. Смирнов, Д.Л. Чубаров // *Вычислительные технологии*. – 2015. – Т. 20. – № 5. – С. 157-174.
28. **Лупян, Е.А.** Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды / Е.А. Лупян, М.А. Бурцев, И.В. Балашов, С.А. Барталев, В.Ю. Ефремов, А.В. Кашницкий, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев, О.А. Суднева, И.Г. Сычугов, В.А. Толпин, И.А. Уваров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2015. – Т. 12. – № 5. – С. 263-284.
29. **Ростов, И.Д.** Базы данных и информационные системы по океанографии ТОИ ДВО РАН для поддержки научных исследований и морской деятельности в ДВ регионе / И.Д. Ростов, А.А. Пан, В.И. Ростов и др. // *Вест. ДВО РАН*. – 2007. – № 4. – С. 85-95.
30. **Ростов, И.Д.** Информационная поддержка научных исследований и комплексного управления прибрежной зоной России в Японском море / И.Д. Ростов, Н.И. Рудых, В.И. Ростов и др. // *Вест. ДВО РАН*. – 2011. – № 6. – С. 89-93.
31. **Ярошук, И.О.** Экспериментальные исследования внутренних волн в прибрежной зоне Японского моря / И.О. Ярошук, А.П. Леонтьев, А.В. Кошелева, А.Н. Самченко, А.А. Пивоваров, Ф.Ф. Храпченков, А.Н. Швырев, Е.И. Ярошук // *Подводные исследования и робототехника*. – 2013. – № 1(15). – С. 37-44.
32. **Ярошук, И.О.** Экспериментальные исследования внутренних волн в прибрежной зоне Японского моря / И.О. Ярошук, А.П. Леонтьев, А.В. Кошелева, А.Н. Самченко, А.А. Пивоваров, Ф.Ф. Храп-

- ченков, А.Н. Швырев, Е.И. Ярошук // Подводные исследования и робототехника. – 2013. – № 1. – С. 37-44.
33. **Yaroshchuk, I.O.** On intense internal waves in the coastal zone of the Peter the Great Bay (the Sea of Japan) / I.O. Yaroshchuk, A.P. Leont'ev, A.V. Kosheleva, A.A. Pivovarov, A.N. Samchenko, D.V. Stepanov, A.N. Shvyryov // Russian Meteorology and Hydrology. – 2016. – V. 41. – № 9. – P. 629-634. DOI: 10.3103/s1068373916090053.
34. **Samchenko, A.N.** Internal gravity waves in the coastal zone of the Sea of Japan according to the natural observations / A.N. Samchenko, I.O. Yaroshchuk, A.V. Kosheleva // Regional Studies in Marine Science. – 2018. – V. 18. – P. 156-160.
35. **Garrett, C.** Space-time scales of internal waves: A progress report / C. Garrett, W. Munk // Journal of Geophysical Research. – 1975. – V. 80. – № 3. – P. 291-297.
36. **Desaubies, Y.J.F.** Analytical representation of internal wave spectra / Y.J.F. Desaubies // Journal of Physical Oceanography. – 1976. – V. 6. – № 6. – P. 976-981.
37. **Morozov, E.G.** Oceanic Internal Tides. Observations, Analysis, and Modeling / E.G. Morozov // Springer International Publishing. 2018. – V. 10. – P. 978-3-319-73159-9. DOI: 10.1007/978-3-319-73159-9.
38. **Levine, M.D.** A modification of the Garrett–Munk internal wave spectrum / M.D. Levine // Journal of physical oceanography. – 2002. – V. 32. – № 11. – P. 3166-3181.
39. **Джонсон, Н.Л.** Одномерные непрерывные распределения. Часть 1. / Н.Л. Джонсон, С. Коц, Н. Балкришнан // Москва: Бином. Лаборатория знаний. – 2010. – С. 703.
40. **Миропольский, Ю.З.** Динамика внутренних гравитационных волн в океане / Ю.З. Миропольский. – Л.: Гидрометеиздат. – 1981. – С. 302.
41. Guide to Wave Analysis and Forecasting // World Meteorological Organization (WMO): Geneva, Switzerland. – 1998. – V. 1998. – P. 101-119.
42. **Tayfun, M. A.** Distributions of wave steepness and surf parameter / M.A. Tayfun // Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering. – 2006. – V. 132. – № 1. – P. 1-9.
43. **Kim, C. H.** Nonlinear waves and offshore structures / C.H. Kim // World scientific. – 2008. – V. 27. – P. 12-53.
44. **Kokoulina, M.V.** Statistics of field data on internal waves» / M.V. Kokoulina, O.E. Kurkina, E.A. Ruvinskaya, A.A. Kurkin, A.R. Giniyatullin // The Fourteenth MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. – 2019. –P. 733-743.
45. **Свергун, Е.И.** Оценка повторяемости интенсивных внутренних волн в Белом и Баренцевом морях по данным экспедиционных исследований / Е.И. Свергун, А.В. Зимин // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С. 13-19.
46. **Кокоулина, М.В.** Вероятностные характеристики интенсивных короткопериодных внутренних волн в Японском море / М.В. Кокоулина, О.Е. Куркина, Е.А. Рувинская, А.А. Куркин // Морской гидрофизический журнал. – 2020.
47. **Зимин, А.В.** Короткопериодные внутренние волны в шельфовых районах Белого, Баренцева и Охотского морей: оценка повторяемости экстремальных высот и динамических эффектов в придонном слое / А.В. Зимин, Е.И. Свергун // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. –2018. – Т. 11. – № 2. – С. 66-72.

*Дата поступления
в редакцию: 26.07.2020*

E.A. Rouvinskaya, A.S. Epifanova, M.V. Kokoulina

**THE FIRST VERSION OF THE INFORMATION SYSTEM FOR PROCESSING
AND ANALYSIS OF DATA OF INTERNAL WAVES' MEASUREMENTS IN THE OCEAN**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: The aim of the work is to create a system for processing field measurements of internal waves by means of statistical analysis (calculation of statistical moments and construction of histograms for ordinates of isotherm / isopycnal displacement, heights, steepness, period and amplitude of the wave slope angle of the identified waves with the possibility of approximation with the known theoretical distribution laws (normal, lognormal, Weibull, Rayleigh); the chi-square test is used to check the quality of the approximation) and the construction of the spectrum with the possibility of comparing it with the Garrett-Munk model (for convenience, one can also selectively mark the frequencies of the fundamental tidal harmonics (semidiurnal (M2, S2, N2, K2) and diurnal (P1, K1, O1, Q1))).The user has access to options for displaying spectra in a linear, logarithmic and semi-logarithmic scale of the axes.

Design/methodology/approach: The developed software package has a graphical interface, created by GUI Matlab. The functional testing of the software package was carried out on the temperature measurement data obtained in the shelf zone of the Sea of Japan and provided by the staff of the POI FEB RAS.

Findings: It is a prototype of the online information system, which we are planning to create on its basis for the analysis of isotherm / isopycnal time series in the context of studying the dynamics of internal waves in the ocean.

Originality/value: Such system can be successfully used for the express analysis of experimental data of internal waves' measurements.

Key words: data processing system, internal waves, field measurements, Garrett-Munk spectrum, tidal harmonics, inertial frequency, histogram, lognormal distribution, Weibull distribution, Rayleigh distribution.