

УДК 551.46

ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ У ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ПРИДОННОГО ДАВЛЕНИЯ

© 2014 г. К. И. Кузнецов^{1–4}, А. А. Куркин², Е. Н. Пелиновский^{2, 3, 5}, П. Д. Ковалев¹

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН 693022 Южно-Сахалинск, ул. Науки, 16
E-mail: kost.kuznetsov@gmail.com

²Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
603950 Нижний Новгород, ул. Минина, 24
E-mail: aakurkin@gmail.com

³Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН
693023 Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25

⁴Дальневосточный федеральный университет 693020 Южно-Сахалинск, ул. Горького, 30

⁵Институт прикладной физики РАН 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
E-mail: pelinovsky@gmail.com

Поступила в редакцию 14.11.2012 г., после доработки 30.04.2013 г.

Обсуждаются результаты измерений ветрового волнения в юго-восточной части о. Сахалин в 2006–2009 гг. с помощью датчиков придонного давления. Отмечаются проблемы пересчета данных, полученных с помощью донных станций, на смещение уровня воды, в рамках линейной теории. Получено 20 записей продолжительностью от 2 недель до 3 месяцев, содержащих от 150 тысяч до 1.2 млн. волн для трех различных пунктов наблюдений вблизи острова Сахалин (п. Взморье, о. Изменчивое и м. Острый). Выполнены оценки распределений высот волн, аппроксимируемые распределением Вэйбулла. Они сопоставлены с теоретическими распределениями: Рэлея, Форристола, Вэйбулла и Глуховского. Как и следовало ожидать, в области малых высот все распределения оказываются близкими, а для больших – распределение Вэйбулла является предпочтительным.

Ключевые слова: натурные наблюдения, волнение, датчик, придонное давление, поверхностное волнение, волны, Охотское море.

DOI: 10.7868/S0002351514020060

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с расширением разведки и добычи нефти и газа в шельфовой зоне океанов и морей большую важность приобрела информация об экстремальных значениях ветра и волн, поскольку буровые установки и платформы должны эксплуатироваться при любых погодных условиях, включая экстремальные. Занижение расчетных значений волнения уменьшает безопасность сооружений, а завышение увеличивает их стоимость. Практика показывает, что максимальные значения высот волн, оцениваемых как возможный один случай в 50 или 100 лет, отмечались уже в первые 10–20 лет эксплуатации сооружения [4]. Для повышения точности прогнозов необходимо иметь длительные записи волнения.

Основным источником данных о ветровом волнении вблизи побережья о. Сахалин долгое время являлись данные попутных судовых наблюдений, а также визуальные наблюдения ветрового волнения, получаемые на береговых гидрометеорологических станциях [1]. В настоящее время используется также спутниковая информация о силе ветра и так называемой значительной высоте волн; она содержится, например, на сайте AVISO [2]. Естественно, что такая информация недостаточно подробна; так, в AVISO пространственное разрешение составляет 90 км. Измерений же, полученных с использованием высокочастотных волнографов, на шельфе Сахалина до последнего времени было крайне мало [3]. Имеются также первые данные об наблюдении экстремально больших волнах (волнах-убийцах) на шельфе Сахалина [4]. Немногочисленные данные наблю-

дений и результаты расчетов по гидродинамическим моделям послужили основой для издания Регистром России справочных данных по режимным характеристикам ветра и волнения в Охотском море [5]. Для верификации результатов расчетов были использованы данные о ветре и волнении, полученные на севере острова, вблизи залива Одопту ($58^{\circ}06' \text{ N}$, $143^{\circ}28' \text{ E}$) с 1975 по 1981 гг. Режимные характеристики представлены для пяти районов Охотского моря и могут служить основой для более точных предсказаний ветрового волнения в отдельных пунктах. Естественно, что получение долговременных инструментальных данных о ветровом волнении на различных участках моря поможет уточнить прогностические характеристики волн. В данной работе изучаются статистические характеристики ветрового волнения на юго-восточном побережье о. Сахалин по инструментальным измерениям 2006–2009 гг.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН) совместно с Нижегородским государственным техническим университетом им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), начиная с 2006 г., проводятся обширные экспериментальные исследования волновых движений в прибрежной зоне юго-востока о. Сахалин. К настоящему времени накоплена обширная база цифровых данных по колебаниям поверхности моря с дискретностью 1 с. Основным инструментом измерений стал автономный регистратор волнения (АРВ-К12), измеряющий пульсации придонного давления, индуцированного поверхностными волнами. Данный регистратор давления проводит измерения с достаточно высокой частотой – 1 Гц и высокой точностью – абсолютная погрешность при измерении гидростатического давления составляет 1 мм водного столба, относительная погрешность – 0.06%. Первые результаты измерений поверхностного волнения с помощью этого датчика описаны в [6].

В настоящей работе приведены экспериментальные данные, полученные на открытых акваториях или бухтах в районе пос. Взморье, мыса Острый, устья озера Изменчивое острова Сахалин (рис. 1а).

В 2007 г. в районе пос. Взморье для изучения ветрового волнения в прибрежной зоне и особенностей гидродинамических условий на взморье в летне-осенний период, способствующих абразии, был организован натуральный эксперимент, который включал постановку 18 регистраторов придонного давления (АРВ-К12). Донные станции

были установлены на различных глубинах: одна группа приборов располагалась ближе к берегу, на глубинах от 5 до 7 м, вторая мористее, на глубинах 10–15 м (рис. 1б). Датчики были установлены 14 июля, а подняты 16 октября 2007 г. Значительная часть приборов оказалась замыта, поэтому поднять удалось только пять измерителей. С учетом этого в 2009 г. датчики устанавливались на большем расстоянии от берега (1.6–1.8 км) двумя парами – на глубинах 9–10 и 14–15 м, период измерений был с 20 июля по 29 сентября 2009 г.

Натурные наблюдения в районе оз. Изменчивое (рис. 1в) проводились в период с 2 июля по 3 октября 2007 г. Здесь было задействовано три регистратора, которые установили на глубинах 12–15 метров в 400, 700 и 900 м от берега.

Аналогичный натуральный эксперимент с использованием тех же датчиков проводился в период с 14 июля по 4 августа 2006 г., в районе м. Острый (рис. 1г). В этом эксперименте было установлено 16 регистраторов на глубинах от 7 до 30 метров в двухкилометровой прибрежной зоне, поднять не удалось лишь два из них.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ ПО ДАННЫМ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ НА ДНЕ

Датчик придонного давления регистрирует колебания давления, которые в общем случае не совпадают с колебаниями уровня моря. Как известно, поверхностные волны затухают с глубиной, поэтому если использовать только гидростатические соотношения, то донный датчик давления будет занижать амплитуду волн. Эта проблема специально изучалась в [7, 8]. В рамках линейной потенциальной теории легко получить выражение для спектрального коэффициента ослабления поверхностных волн при измерениях в толще воды

$$R(\omega) = \frac{\text{ch}(kd)}{\text{ch}(kD)}, \quad (1)$$

где D – глубина моря, d – высота постановки датчиков над дном (в наших измерениях $d = 0.3$ м), k – волновое число, связанное с частотой волны ω дисперсионным соотношением

$$\omega(k) = \sqrt{gk \text{th}(kD)}, \quad (2)$$

и g – ускорение силы тяжести. Разрешить дисперсионное соотношение (2) относительно волнового числа невозможно, поэтому удобнее использовать следующее приближенное решение [9]:

$$k^2 = \frac{\omega^2}{gDG(\alpha)} + \frac{\omega^4}{g^2}, \quad (3)$$

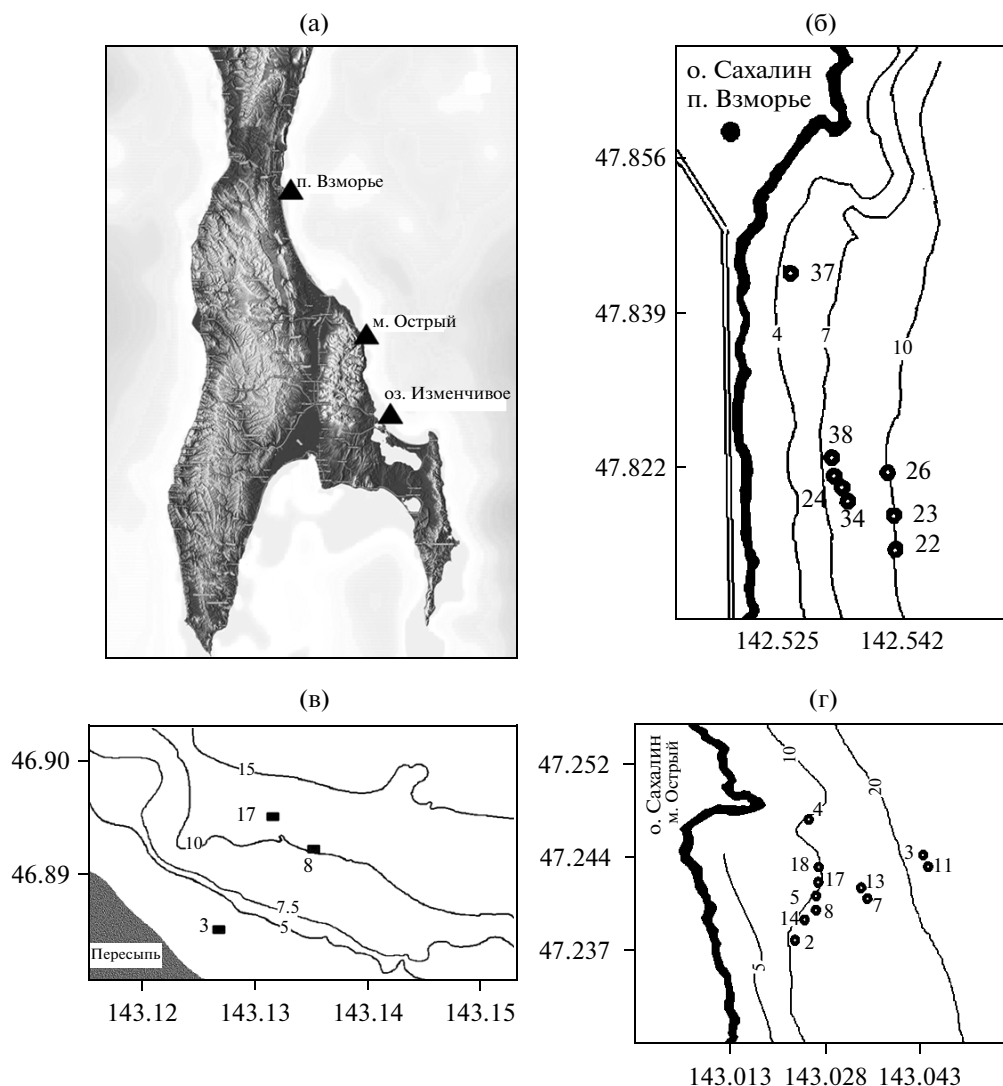


Рис. 1. а – Места проведения натуральных наблюдений в южной части о. Сахалин. б – Схема постановки приборов в районе п. Взморье ($47^{\circ}50' N$, $142^{\circ}31' E$). в – Схема постановки в районе оз. Изменчивое ($46^{\circ}9' N$, $143^{\circ}13' E$). г – Схема постановки в районе м. Острый ($47^{\circ}14' N$, $143^{\circ}1' E$).

где $G = 1 + 0.6522\alpha + 0.4622\alpha^2 + 0.0864\alpha^4 + 0.0675\alpha^5$ и $\alpha = \omega^2 D/g$.

Представление функции $G(\alpha)$ в виде полинома было сделано Хантом [9] для всей области частот. В случае мелкой и глубокой воды “полиномиальное” дисперсионное соотношение совпадает с точным. В промежуточной зоне его точность составляет доли процентов. Именно поэтому оно стало широко использоваться в инженерной практике для нахождения волнового числа по заданной частоте волны.

Фактически соотношение (1) определяет связь спектральных компонент давления (при условии пересчета его в смещение поверхности при использовании гидростатического соотношения) и смещения водной поверхности в Фурье-спектрах волновых полей.

Расчитанное с помощью (1) и (3) оно представлено на рис. 2 для интересующего нас диапазона глубин постановки приборов и периодов волн.

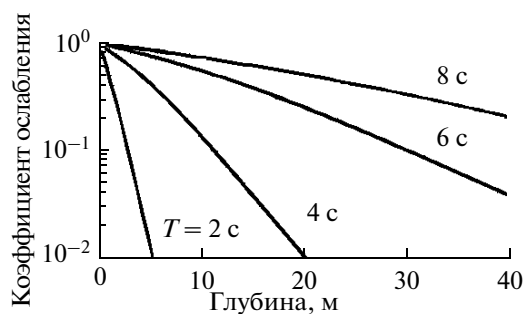


Рис. 2. Затухание волн различного периода на различных глубинах.

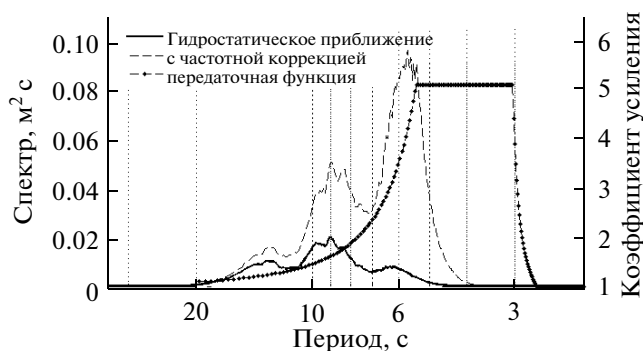


Рис. 3. Пример передаточной функции для глубины 16 м и усредненные спектры рассчитанного уровня моря по формуле (1) и в гидростатическом приближении.

Как видно, негидростатические эффекты в поле ветровых волн являются принципиальными и могут кардинально влиять на оценки высот волн.

Точность используемого датчика составляет 0.06%, т.е. при ослаблении сигнала более чем в 0.0006 раз шум датчика начинает маскировать реальный сигнал. Это надо учитывать при коррекции сигнала, чтобы не усилить шум прибора, который существенно более высокочастотный, чем ветровое волнение. Поэтому имеет смысл вводить поправочный коэффициент частот ниже 0.25 Гц при постановке датчика на глубину более 40 м. В нашем случае глубины постановки составляют менее 30 метров, поэтому ограничения на поправки становятся более слабые.

На рис. 3 представлены амплитудные спектры ветрового волнения и используемая передаточная функция, рассчитанная для этой записи. Поскольку передаточная функция экспоненциально нарастает в области высоких частот (малых периодов) и шум здесь значительно усиливается, то в соответствии с рекомендациями [10] ограничили

значения передаточной функции величиной 5 и обрезали спектр на частоте 0.33 Гц. В результате введенной частотной коррекции поправка в определении смещения уровня воды оказалась существенной, например, для датчика, расположенного в районе м. Острый на глубине 16 метров, высота волны увеличилась примерно вдвое по сравнению с гидростатическим значением (рис. 4). Видно, что реальное поверхностное волнение будет существенно отличаться от измеренных флуктуаций давления датчиком придонного давления, установленного на глубине более 15 м и волн с периодами от 1 до 11 с, т.е. ветровых волн и зыби. Отметим также, что период и фаза колебаний уровня моря, как видим из рис. 4, не меняется при использовании частотной коррекции, а меняется только амплитуда волн.

На рис. 5 представлены рассчитанные высоты волн в районе оз. Изменчивое за весь период измерений в 2007 г. Как видим, частотная поправка является принципиальной, и разница в значениях высот волн по сравнению с гидростатической оценкой достигает двух раз.

Поскольку использовалась линейная теория для расчета колебаний уровня воды по данным придонного давления, мы специально оценили крутизну волны ka , где a – амплитуда волны. На рис. 6 представлена рассчитанная крутизна волн по данным, полученным на м. Острый в 2006 г. Как и следовало ожидать, негидростатическое приближение увеличивает крутизну волн. Как видим, в спокойные периоды крутизны волн не превышают 0.05, что соответствует линейным волнам [11]. Количество таких волн для оцениваемого периода в 20 суток составило 98.7%, так что в среднем использование линейной теории можно считать правомерным. Разумеется, более точные оценки применимости линейной теории должны быть получены из нелинейной теории,

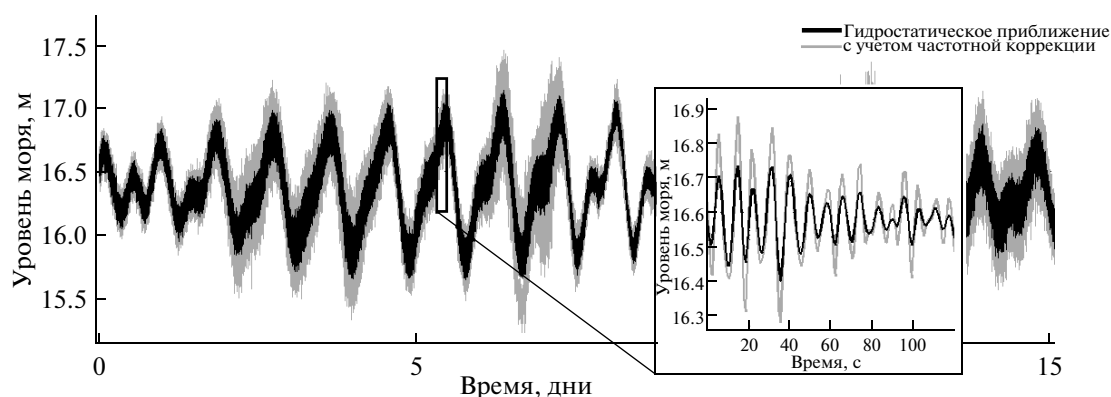


Рис. 4. Отличие в форме рассчитанных колебаний уровня моря при использовании гидростатической формулы (жирная линия) и с помощью частотной коррекции (тонкая линия). Глубина постановки датчика 16 м в районе м. Острый.

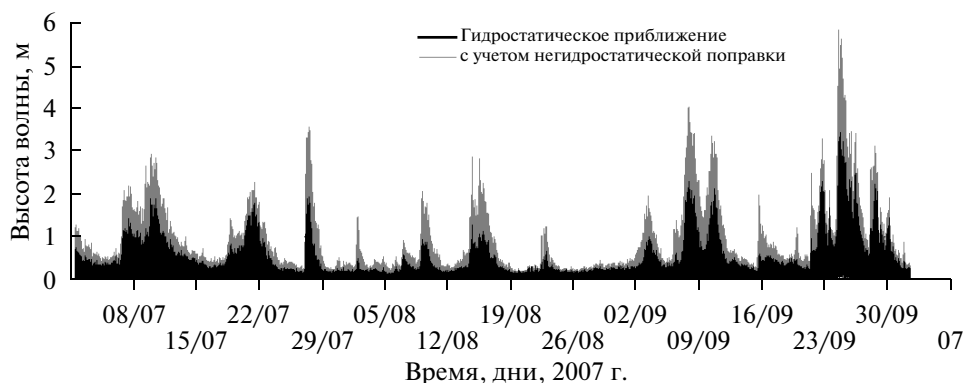


Рис. 5. Высоты волн, рассчитанные с учетом негидростатической поправки (серая линия) и без ее учета (черная линия) на оз. Изменчивое в 2007 г.



Рис. 6. Оценка крутизны волн при использовании гидростатической формулы (черная линия) и с учетом негидростатической поправки (серая линия) по данным, полученным вблизи м. Острый в 2006 г.

что пока не сделано. Поэтому вслед [12] мы будем использовать линейную теорию для коррекции рассчитанных колебаний уровня моря. В соответствии с описанной методикой процедуру предварительной коррекции прошли все анализируемые в работе записи. Был разработан программный комплекс, состоящий из набора вычислительных программ реализованных в C++, и скриптов на языке Matlab, для отображения и анализа результатов вычислений, особенно вычислений высот и периодов волн. Ниже будут проанализированы высоты и периоды волн по данным инструментальных наблюдений.

4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Уже отмечалось во введении, что в регистре [5] приводятся некоторые усредненные статистические характеристики ветрового волнения, такие как повторяемость различных высот и периодов волн, скоростей и направлений ветра, длительности штормов и окон погоды, высоты волн возможные 1 раз в 5, 10, 25, 50, 100 лет. Эти значения для юго-востока Сахалина рассчитаны по данным

визуальных наблюдений со станции Стародубское ($47^{\circ}24' N$, $142^{\circ}49' E$), а также по гидродинамической модели WAVEWATCH III, верифицированной по северным точкам, вблизи залива Одопту ($58^{\circ}06' N$, $143^{\circ}28' E$). Инструментальные данные, приводимые в настоящей работе, позволяют изучить распределения элементов волн для конкретных пунктов вблизи побережья Сахалина.

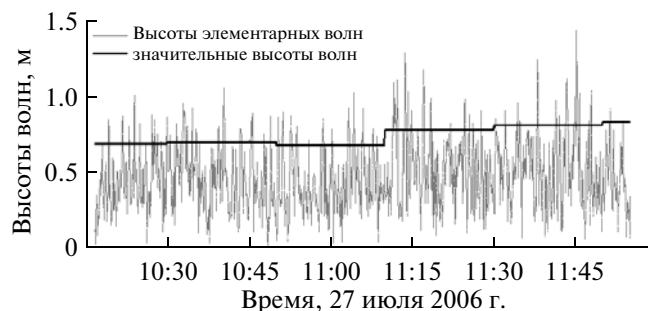


Рис. 7. График изменчивости высот волн и значительный высоты волн, по данным, полученным 27 июля 2006 г. в районе м. Острый.



Рис. 8. График высот значительных волн (серая линия), рассчитанных с использованием негидростатической поправки, по данным, полученным вблизи м. Острый и скорость ветра (черная линия) по архивным данным, полученным в ближайшем населенном пункте (Долинск).

В данной работе высота волны рассчитывалась как расстояние от подошвы волны до гребня (т.е. вторичные экстремумы в записи, не пересекающие среднюю волновую линию, не учитываются) [13]. Для анализа использованы три рассчитанные с учетом негидростатических эффектов записи волн вблизи оз. Изменчивое, семь вблизи п. Взморье, продолжительностью около 3 месяцев, каждая из которых насчитывает около 1 млн. волн и 10 записей вблизи м. Острый продолжительностью 18 дней, каждая из которых содержит 200 тыс. волн. Для учета нестационарности процесса, как это принято в океанологии, запись разбивалась на квазистационарные участки продолжительностью 20 мин, по которым рассчитывался средний уровень и значительная высота волны (как средняя высота 1/3 самых высоких волн). На рис. 7 показан пример временной изменчивости высот волн и значительной высоты волны в течение 2 ч 27 июля 2006 г. на датчике вблизи м. Острый.

Как и следовало ожидать, высоты индивидуальных волн в записи могут превышать значительную высоту волны, в частности на рис. 7 в два раза, так что такие волны относятся к категории волн-убийц [14, 15]. Рисунок 8 демонстрирует связь значительной высоты волны со скоростью ветра. К сожалению, мы не располагаем полем ветра в точке измерений, и скорость ветра взята из данных наблюдений о фактической погоде, поступающих с наземной метеорологической станции в наиболее близком доступном пункте г. Долинск, расположенном в 17 км от места экспериментальных наблюдений волнения. Пункт наблюдения погоды находится в глубине острова, на расстоянии 5 км от моря, поэтому сильной корреляции ожидать нельзя. Тем не менее некоторая корреляция присутствует в определенные дни. Мы предполагаем в дальнейшем наладить синхронные измерения волн и ветра.

Необходимо отметить, что значительная высота волны внутри одной группы датчиков, вообще говоря, не является одинаковой. На рис. 9 показаны рассчитанные плотности распределения значительных высот волн на датчиках вблизи оз. Изменчивое, показанных на рис. 1в. При этом расстояние между датчиками составляет 100–700 м. Видно, что слабое волнение весьма неоднородно и пики распределений на каждом датчике различаются. В то же время в случае умеренного волнения (значительная высота волны больше 0.6 м) волнение распределено более равномерно. На рис. 9 отмечается слабое проявление второго пика (0.5 и 0.7 м), существенно слабее основного (0.15 м). Это можно объяснить тем, что режим волнения в рассматриваемом месте представляет собой суперпозицию двух различных компонент: локальный (прибрежный) режим волнения, возбуждаемого непосредственно в данном бассейне, и совокупность волновых составляющих, приходящих из открытого моря. Подобные типы распределений встречаются и в других работах, описывающих статистику волн в других морях [16].



Рис. 9. Плотность распределения вероятности по записям, полученным в районе оз. Изменчивое, содержащим около 1 млн. волн.

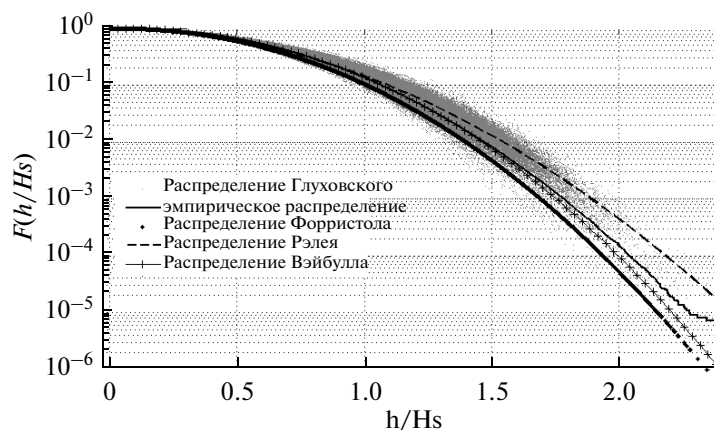


Рис. 10. Функция распределения высот волн $F(h/H_s)$ по записи, полученной в районе оз. Изменчивое, содержащей 1.1 млн. волн.

Для получения распределений высот элементарных волн их высоты (h) нормировались на значительную высоту волны (H_s) в каждой двадцатиминутной выборке, а затем по полной записи рассчитывалось распределение высот волн $F(h/H_s)$. Экспериментальные распределения аппроксимировались распределением Вэйбулла

$$F(h) = 1 - \exp \left[-b \left(\frac{h}{H_s} \right)^p \right] \quad (4)$$

с параметрами b и p . Они сравнивались с распределением Рэля, справедливым для волн в открытом море [17]

$$F(h) = 1 - \exp \left[-2 \left(\frac{h}{H_s} \right)^2 \right], \quad (5)$$

распределением Форристола [18]

$$F(h) = 1 - \exp \left[-2.26 \left(\frac{h}{H_s} \right)^{2.126} \right], \quad (6)$$

и распределением Глуховского для волн в море конечной глубины [19]

$$F(h) = 1 - \exp \left[-\frac{\pi}{4(1+n/\pi)} \left(\frac{h}{\bar{h}} \right)^{2-n} \right], \quad (7)$$

где $n = \bar{h}/D$, \bar{h} – средняя высота волн, и D – глубина.

Методики оценок параметров распределений описаны в работах [13, 17] и использованы в настоящей работе. Подбор параметров распределений Вэйбулла осуществлялся с помощью метода наименьших квадратов. Согласованность теоретических и эмпирического распределений оценивалась с помощью критерия Пирсона или крите-

рия χ^2 , с уровнем значимости 0.01. На рис. 10 показаны рассчитанные распределения высот волн для датчиков вблизи оз. Изменчивое п. Взморье и их аппроксимации. Экспериментальные данные аппроксимированы распределением Вэйбулла (4) с $b = 1.989$ и $p = 2.216$ (оз. Изменчивое) и $b = 1.995$ и $p = 2.219$ (п. Взморье).

Как видно из рис. 10, распределение Рэля недостаточно хорошо описывает хвосты функции распределения ($h/H_s > 1.5$), существенно завышая их. Распределения Форристола в целом хорошо описывает эмпирическое распределение (для $h/H_s < 2$), небольшое расхождение присутствует только в области хвостов, соответствующих вероятности появления волн-убийц. Форма распределения Глуховского зависит от средней высоты волны, поэтому на рис. 10 представлено семейство кривых, соответствующих различным режимам погоды. Видно, что разнообразие формы распределений при этом достаточно широко, поэтому для оценки распределений высот волн, образовавшихся при различных режимах волнения, распределение Глуховского не очень подходит. Наиболее же близко эмпирическое распределение высот волн на юго-восточном побережье о. Сахалин аппроксимирует распределение Вэйбулла (4) с параметрами $b = 1.99$ и $p = 2.216$. При значениях $h/H_s > 2.3$ начинаются существенные отклонения рассмотренных теоретических распределений от эмпирического. Исследование функций распределения экстремальных волн является самостоятельной задачей, важной для понимания природы волн-убийц. Здесь необходимо вернуться к проблеме пересчета колебаний давления в поле смещений уровня воды, так как линейной теории недостаточно для таких больших волн. Такие исследования предполагается выполнить в дальнейшем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлены данные натуральных экспериментов по наблюдению ветрового волнения в юго-восточной части о. Сахалин в 2006–2009 гг. с помощью датчиков придонного давления. Данные с датчиков придонного давления пересчитывались в колебания уровня моря в рамках линейной теории с учетом негидростатических поправок. Выполнены оценки крутизны наблюдаемых волн, которые в условиях спокойного моря достаточно малы, что позволяет использовать линейную теорию в качестве первого приближения. В результате получено 20 записей продолжительностью от 2 недель до 3 месяцев, содержащих от 150 тысяч до 1.2 млн. волн для трех различных пунктов наблюдений побережья о. Сахалин (вблизи п. Взморье, протоки оз. Изменчивое, м. Острый).

Выполнены оценки распределений высот отдельных волн и значительных высот волн на юго-восточном побережье о. Сахалин. По данным натуральных наблюдений были подобраны параметры распределения Вэйбулла, наилучшим образом аппроксимирующие распределение высот волн. Они сопоставлены с теоретическими распределениями Рэля, Фэрристора, Вэйбулла и Глуховского. Как и следовало ожидать, в области малых высот все распределения оказываются близкими. В области больших волн распределение Вэйбулла является предпочтительным. Однако пока не ясно, насколько линейная теория хорошо описывает высоты больших волн, в частности, волн-убийц, и эта проблема будет изучаться специально.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках работы по грантам РФФИ (№№ 10-05-00199, 14-05-00092, 13-05-97037, 12-05-33046), ASF P24671, а также стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам СП-1763.2013.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев А.И., Малащенко А.Е., Пелиновский Е.Н. Аномально большие волны вблизи южного побережья о. Сахалин // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2011. Т. 4. № 4. С. 35–42.
2. Атлас волнения и ветра Тихого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 26 с.
3. <http://www.avisio.oceanobs.com/en/data/products/wind-waves-products/index.html>
4. Fissel D., Marko J., Melling H. Wave measurements using upward looking in marginal and polar sea ice regimes. Preprints 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting October 21–25, 2002, Banff, Alberta, Canada: Meteorological Service of Canada. P. 422–433.
5. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей / Под ред. Лопатухина Л.И., Бухановского А.В., Дегтярева А.Б., Рожкова В.А. СПб.: РМРС, Российский морской регистр судоходства, 2003. 214 с.
6. Левин Б.В., Чернов А.Г., Шевченко Г.В. и др. Первые результаты регистрации длинных волн в диапазоне периодов цунами в районе Курильской гряды на разнесенной сети станций // *ДАН*. 2009. Т. 427. № 2. С. 239–244.
7. Заславский М.М., Красицкий В.П. О пересчете данных волнографа с датчиком давления на спектр поверхностных волн // *Океанология*. 2001. Т. 41. № 2. С. 195–200.
8. Ellis J.T., Sherman D.J., Bauer B.O. Depth Compensation for Pressure Transducer Measurements of Boat Wakes // *J. Coast. Res.* 2006. V. SI39. P. 488–492.
9. Hunt J.N. Direct solution of wave dispersion equation // *Proc. ASCE. Jour. Waterway. Port. Coastal and Ocean Eng.* V. 105. P. 457–459.
10. Tucker M.J., Pitt E.G. Waves in ocean engineering. Elsevier ocean engineering book series V. 5. Amsterdam: Elsevier, 2001. 521 p.
11. Holthuijsen L.H. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 388 p.
12. Huang M.-C., Tsai C.-H. Pressure transfer function in time and time-frequency domains // *Ocean Engineering*. 2008. V. 35. P. 1203–1210.
13. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение как вероятностный гидродинамический процесс. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 287 с.
14. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. Н. Новгород: НГТУ, 2004. 158 с.
15. Kharif Ch., Pelinovsky E., Slunyaev A. Rogue waves in the ocean. Heidelberg: Springer, 2009. 216 p.
16. Сомере Т., Куркина О.Е. Статистика экстремального волнения в юго-западной части Балтийского моря // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2011. Т. 4. № 4. С. 43–57.
17. Лопатухин Л.И. Анализ распределений элементов волн // *Труды ВНИИГМИ–МЦД*. 1974. Вып. 1. С. 116–142.
18. Forristall G.Z. On the statistical distribution of wave heights in a storm // *J. Geophys. Res.* 1978. V. 83. № C5. P. 2353–2358.
19. Глуховский В.Г. Исследование морского ветрового волнения. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 284 с.

Features of Wind Waves at the Southeastern Coast of Sakhalin according to Bottom-Pressure Measurements

K. I. Kuznetsov^{a, b, c, d}, A. A. Kurkin^b, E. N. Pelinovsky^{b, c, e}, and P. D. Kovalev^a

^a *Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Nauki 1b, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022 Russia*

e-mail: kost.kuznetsov@gmail.com

^b *Alekseev State Technical University, ul. Minina 24, Nizhni Novgorod, 603950 Russia*

e-mail: aakurkin@gmail.com

^c *Special Design Bureau for Automation of Marine Research, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Gor'kogo 25, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023 Russia*

^d *Far Eastern Federal University, ul. Gor'kogo 30, Yuzhno-Sakhalinsk, 693020 Russia*

^e *Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, ul. Ul'yanova 46, Nizhni Novgorod, 603950 Russia*

e-mail: pelinovsky@gmail.com

Received November 14, 2012; in final form, April 30, 2013

Abstract—The results of wind-wave measurements with bottom-pressure sensors are discussed. These measurements were performed at the southeastern coast of the Island of Sakhalin in 2006–2009. The problems of converting data obtained with these sensors into water-level displacement in the context of the linear theory are noted. Twenty records with a duration of 2 weeks to 3 months were obtained. These records contain from 150 000 to 1 200 000 waves for three different observation points located at the southeastern coast of Sakhalin in the regions of the village of Vzmor'ye, Lake Izmenchivoye, and the Cape of Ostryi. The estimates obtained for wave-height distributions were approximated by the Weibull distribution. They were compared to the theoretical Rayleigh, Forristall, Weibull, and Glukhovskii distributions. As one would expect, in the region of small wave heights, all distributions prove to be close to one another, and, for large wave heights, the Weibull distribution is preferred.

Keywords: measurement data, waves, sensor, bottom pressure, the Sea of Okhotsk.