

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2025-1-118-130>

УДК 551.466.31

## **Анализ измерений уровня моря и параметров ветрового волнения в заливе Анива (Охотское море)**

**С.А. Мысленков<sup>1,2,3,4</sup>, В.М. Пищальник<sup>5</sup>, А.А. Кондрашов<sup>6</sup>,  
О.В. Купцова<sup>2</sup>, В.С. Архипкин<sup>1,2</sup>, Е.М. Латковская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия;*

<sup>2</sup> *Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия;*

<sup>3</sup> *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр*

*Российской Федерации, г. Москва, Россия;*

<sup>4</sup> *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова*

*Российской академии наук, г. Москва, Россия;*

<sup>5</sup> *Институт морской геологии и геофизики*

*Дальневосточного отделения РАН, Южно-Сахалинск, Россия;*

<sup>6</sup> *Институт океанологии имени П.П. Шириова*

*Российской академии наук, Атлантическое отделение, г. Калининград, Россия*

*stasocean@gmail.com*

Представлен анализ измерений уровня моря и параметров ветрового волнения в заливе Анива, выполненных при помощи датчиков гидростатического давления в июне–августе 2023 года на заякоренных станциях на глубинах 10 и 15 м. Данные гидростатического давления при анализе ветровых волн корректировались с учетом теории линейного затухания колебаний с глубиной. Общий размах колебаний уровня моря составил 1.63 м в сизигию и 0.3 м в квадратуру. Максимальная высота значительных волн составила 1.73 м, а максимальная высота индивидуальной волны – 2.82 м. Обнаружено присутствие аномальных волн с индексом аномальности более 2. При сопоставлении высоты волн по результатам моделирования с данными измерений получено, что коэффициент корреляции составляет 0.84, а среднеквадратическая ошибка 0.17 м.

*Ключевые слова:* измерения уровня моря, измерение высоты волн, Охотское море, залив Анива, ветровое волнение, аномальные волны

## **Analysis of sea level measurements and wind wave parameters in Aniva Bay (Sea of Okhotsk)**

**S.A. Myslenkov<sup>1,2,3,4</sup>, V.M. Pishchalnik<sup>5</sup>, A.A. Kondrashov<sup>6</sup>,  
O.V. Kuptsova<sup>2</sup>, V.S. Arkhipkin<sup>1,2</sup>, E.M. Latkovskaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;*

<sup>2</sup> *Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia;*

<sup>3</sup> *Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;*

<sup>4</sup> *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;*

<sup>5</sup> *Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch*

*Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia;*

<sup>6</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Atlantic Branch,*

*Kaliningrad, Russia*

*stasocean@gmail.com*

The paper presents an analysis of measurements of sea level and parameters of wind waves in Aniva Bay, performed using hydrostatic pressure sensors in June–August 2023. Measurements were carried out at mooring stations at depths of 10 and 15 m. Hydrostatic pressure data in the analysis of wind waves were adjusted taking into account the linear theory. The total range of sea level fluctuations was 1.63 m in syzygy and 0.3 m in quadrature. The maximum of significant wave height was 1.73 m, and the maximum height of an individual wave was 2.82 m. The presence of anomalous waves with an anomaly index of more than 2 has been detected. When comparing the wave height according to the simulation results with the measurement data, it was found that the correlation coefficient is 0.84, and the RMS error is 0.17 m.

*Ключевые слова:* sea level measurements, wind wave measurement, Sea of Okhotsk, Aniva Bay, wind waves, abnormal waves

## Введение

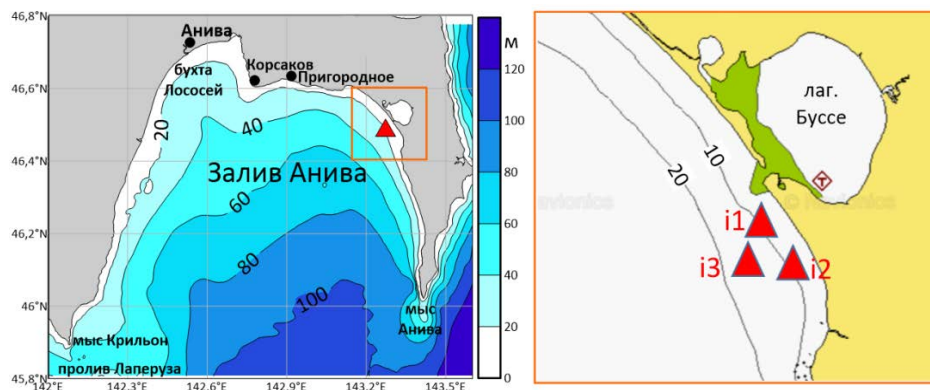
Залив Анива расположен в южной части острова Сахалин и является северной частью пролива Лаперуза. В проливе происходит взаимодействие вод Охотского и Японского морей. Залив Анива имеет важное экономическое, транспортное и рыбохозяйственное значение, также здесь расположены различные гидротехнические сооружения, такие как морской порт Корсаков и терминал по отгрузке нефти и сжиженного природного газа в порту Пригородное [15]. Также залив Анива является перспективной акваторией для развития марикультуры [18]. С 2022 года в рамках проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по созданию карбоновых полигонов в Сахалинской области функционирует карбоновый полигон «Сахалин». На полигоне проводятся исследования потоков парниковых газов. Карбоновый полигон имеет морские площадки, которые расположены в заливе Анива. При воздействии ветрового волнения в прибрежной зоне Охотского моря нередко наблюдаются выбросы макрофитов, что в свою очередь должно учитываться при оценках ежегодного объема поступающего биоматериала, скорости его утилизации и эмиссии парниковых газов. Некоторые результаты по анализу гидрохимической структуры вод и объемов штормовых выбросов макрофитов в заливе Анива приведены в [2, 12, 23].

Ветровое волнение во многом определяет интенсивность перемешивания верхнего слоя вод, энергетический и газовый обмен между океаном и атмосферой, поэтому данные о параметрах волнения в заливе Анива необходимы также для расчетов, связанных с оценками суммарного потока парниковых газов, в том числе при использовании гидродинамических и биогеохимических моделей.

Подробный анализ параметров ветровых волн в заливе Анива по данным прибрежных станций Корсаков и Новиково приведен в работе [16]. Описание ветрового волнения по данным моделирования представлено в работе [22]. Существуют работы, посвященные исследованию ветровых волн в других районах Сахалинской области на основе данных измерений

датчиками гидростатического давления [8, 10], часть работ описывает проявление волн-убийц [11, 17]. Ветровое волнение также необходимо учитывать при моделировании штормовых нагонов в Охотском море, которые периодически наблюдаются в заливе Анива [4, 6] и являются угрозой для гидротехнических сооружений.

Залив Анива имеет размеры приблизительно 100 на 100 км и длину береговой линии около 230 км (рис. 1). Глубины в северной части залива составляют 20–50 м, в южной части до 100 м. В северо-восточной части залива в июне 2023 года были установлены три заякоренные станции (рис. 1).



**Рис. 1.** Район исследования. Измерения уровня моря и ветрового волнения выполнены в точках i1, i2, i3.

**Fig. 1.** The research area. Measurements of sea level and wind waves were performed at points i1, i2, and i3.

В последние годы исследования ветрового волнения выполняются в основном на основе спектральных волновых моделей, однако результаты моделирования необходимо валидировать по данным натурных измерений.

В данной работе представлены результаты измерения уровня моря и параметров ветровых волн в заливе Анива при помощи датчика гидростатического давления в июне–августе 2023 года. По данным измерений выполнены оценки качества результатов моделирования ветрового волнения на основе модели WAVEWATCH III.

### Данные и методы

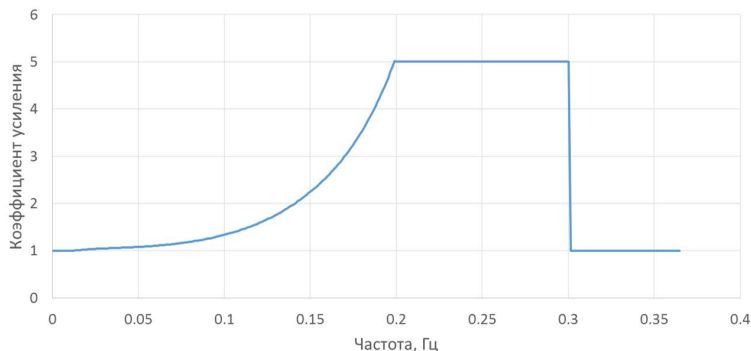
Измерения уровня моря и параметров ветрового волнения в рамках мониторинга условий среды производились в заливе Анива в районе лагуны Буссе на рыбоводном участке индустриального партнера (см. рис. 1). Данный район является перспективным для промышленного выращивания марикультуры [14]. Измерения выполнены при помощи высокочувствительного датчика гидростатического давления, который входит в состав

модернизированного инклинометрического измерителя скорости и направления течений, созданного на основе измерителя конструкции АО ИО РАН [9, 13]. В приборе используется тензопреобразователь абсолютного гидростатического давления с диапазоном 0–2.5 Бар производства фирмы Sendo Sensors (Китай), а также измерительная схема, в основе которой применен 24-разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) ADS122C04 производства фирмы Texas Instruments. Конструктивно тензопреобразователь встроен в нижнюю крышку инклинометрического измерителя, что минимизирует влияние наклона прибора на его показания. Для компенсации температурного дрейфа тензопреобразователя давления в схему введен интегральный датчик температуры TMP117 (производства Texas Instruments), обеспечивающий измерение температуры с точностью 0.1 °С. Выбор АЦП обусловлен избыточной разрядностью, наличием встроенного программируемого усилителя, а также наличием интерфейса I2C, как и для датчика температуры, что облегчило модернизацию отработанной электрической схемы инклинометрического измерителя. В модернизированной версии прибора пользователь может задавать режимы работы с разной частотой опроса датчиков (в диапазоне 1–10 Гц).

Градуировка тензопреобразователей давления выполнялась на грузопоршневом манометре MTU-60 (класс точности 0.05) при температуре в диапазоне от ~0 до 30 °С для учета термокомпенсации в последующих расчетах. Проведенные процедуры позволили достичь погрешности измерения давления в 0.25 % от рабочего диапазона 1–2.5 Бар, что примерно соответствует погрешности определения глубины в  $\pm 1.9$  см.

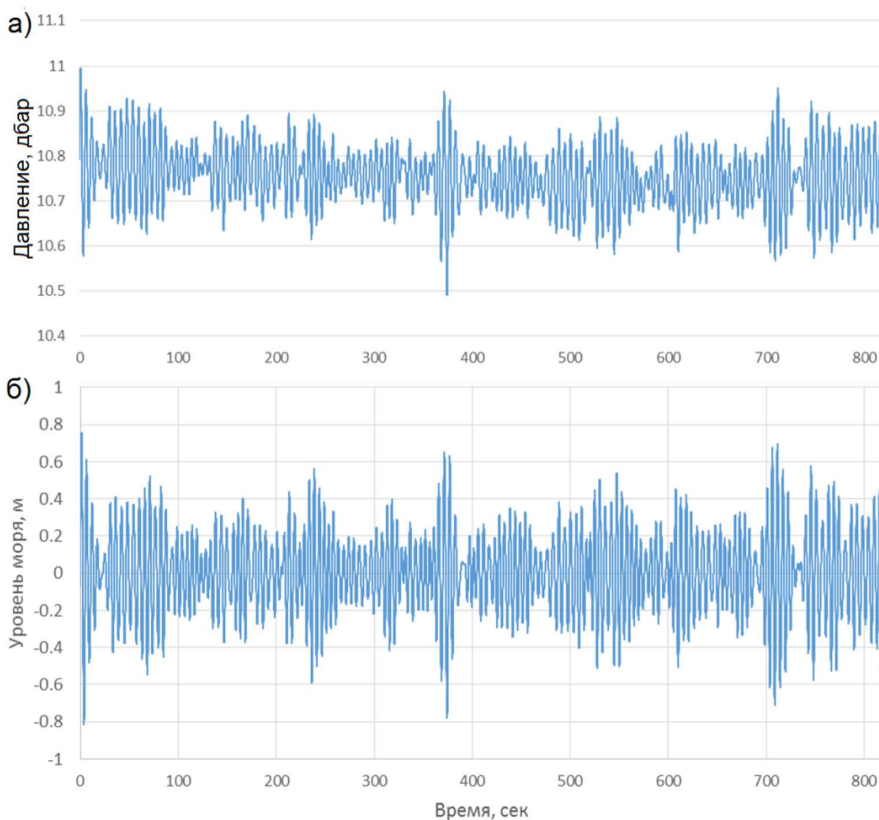
Измерения производились каждые 30 минут с продолжительностью серии 15 минут и частотой 10 Гц. Две станции были установлены на глубине 10 м, а одна на глубине 15 м. В результате были получены данные за периоды: с 20 июня до 15 августа 2023 года для первой станции, с 20 июня до 26 июля 2023 года на второй и с 20 июня до 25 августа 2023 года на третьей.

Известно, что для ветровых волн амплитуда колебаний гидростатического давления уменьшается с глубиной. Поэтому при использовании датчиков давления для анализа параметров ветровых волн необходимо вводить поправку, учитывающую линейное затухание амплитуды волн с разным периодом. В нашей работе использовался следующий алгоритм: сначала данные датчика гидростатического давления разбивались на отрезки длиной 8192 значений (старт отрезков от 00 или от 30 минут, длина отрезков около 13 минут), на отрезках удалялся линейный тренд, далее производилось прямое преобразование Фурье, спектр корректировался при помощи передаточной функции, затем производилось обратное преобразование Фурье. Коэффициенты усиления для передаточной функции были вычислены в соответствии с рекомендациями [7]. Для станции на глубине 10 м передаточная функция представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Коэффициент усиления в зависимости от частоты колебаний.  
**Fig. 2.** Gain coefficient depending on the frequency.

На рис. 3а представлена запись гидростатического давления на отрезке 13 минут. Максимальный размах колебаний составляет 0.45 дбар при периоде около 3.5 сек.



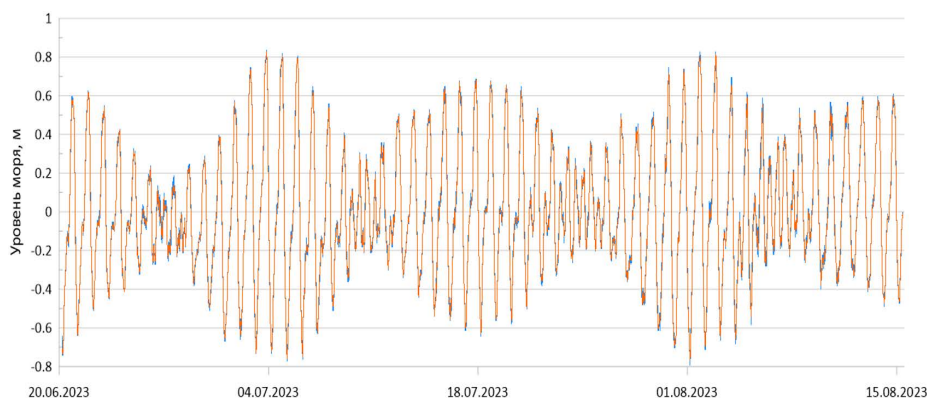
**Рис. 3.** Запись гидростатического давления (а) и скорректированный уровень моря (б).  
**Fig. 3.** Hydrostatic pressure record (а) and adjusted sea level (б).

Скорректированный уровень моря показан на рис. 3б, где размах колебаний составляет уже 1.4 м. По каждому отрезку (13 минут) скорректированных данных вычислялась высота значительных волн, период  $T$  zero crossing (вычисляется через переход среднего уровня) и максимальная высота волн.

Также в данной работе выполнена валидация данных моделирования волнения. Моделирование волнения выполнено на основе волновой модели WAVEWATCH III. Сведения о ветре получены из реанализа NCEP/CFSR/CFSv2. Вычисления проводились на неструктурной сетке, включающей акваторию Японского, Охотского и Берингова морей, а также всю северную часть Тихого океана. В заливе Анива шаг сетки составляет около ~4 км в открытой части и ~1 км в прибрежной зоне. Более подробное описание конфигурации модели и особенности проведения экспериментов изложены в работах [20, 21].

## Результаты

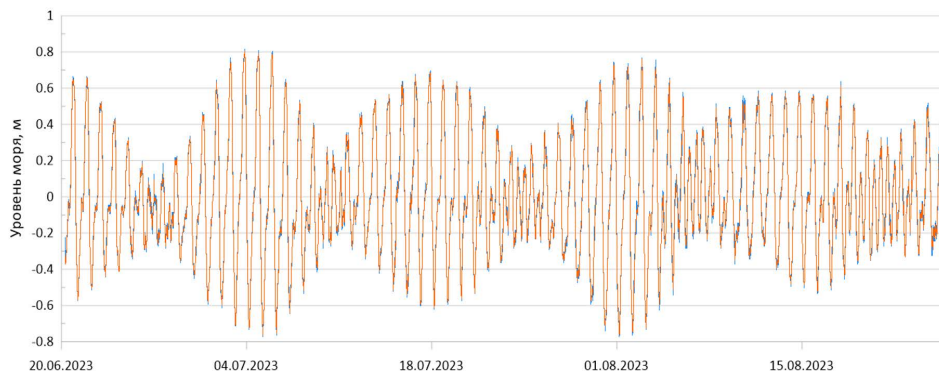
Анализ уровня моря выполнен по данным с 1-минутным и 15-минутным осреднением исходных данных. Так как прибор включался каждые 30 минут с продолжительностью серии 15 минут, то при 1-минутном осреднении мы имеем 15 значений и далее 15 минут данных нет. Это несколько затрудняет анализ, однако некоторые важные сведения о колебаниях уровня могут быть полезны. Уровень моря на первой станции на глубине 10 м представлен на рис. 4. Максимальный размах колебаний по данным с 1-минутным осреднением составляет 1.63 м. Хорошо видны приливные колебания, сизигия и квадратура, а также месячное неравенство приливов. При использовании 15-минутного осреднения пики уровня немного сглаживаются и максимальный размах меньше на 3–6 см.



**Рис. 4.** Уровень моря на первой станции на глубине 10 м с 20 июня по 15 августа 2023 года. Синяя линия – 1-минутное осреднение, оранжевая – 15-минутное.

**Fig. 4.** Sea level at the first station at a depth of 10 m from June 20 to August 15, 2023. The blue line is a 1-minute average, the orange line is a 15-minute average.

Анализ уровня моря на третьей станции на глубине 15 м показал, что в целом колебания уровня мало отличаются от первой станции (рис. 5). Однако максимальный размах колебаний меньше, чем на первой, и составляет 1.58 м. Так как третья станция расположена дальше от берега, то для данного района можно утверждать, что размах колебаний уменьшается при удалении от берега. Так как мы рассматриваем суммарный уровень, то помимо приливов на уровень могут влиять сейши и нагоны, амплитуда которых также может меняться при удалении от берега.



**Рис. 5.** Уровень моря на третьей станции на глубине 15 м с 20 июня по 26 августа 2023 года. Синяя линия – 1-минутное осреднение, оранжевая – 15-минутное.

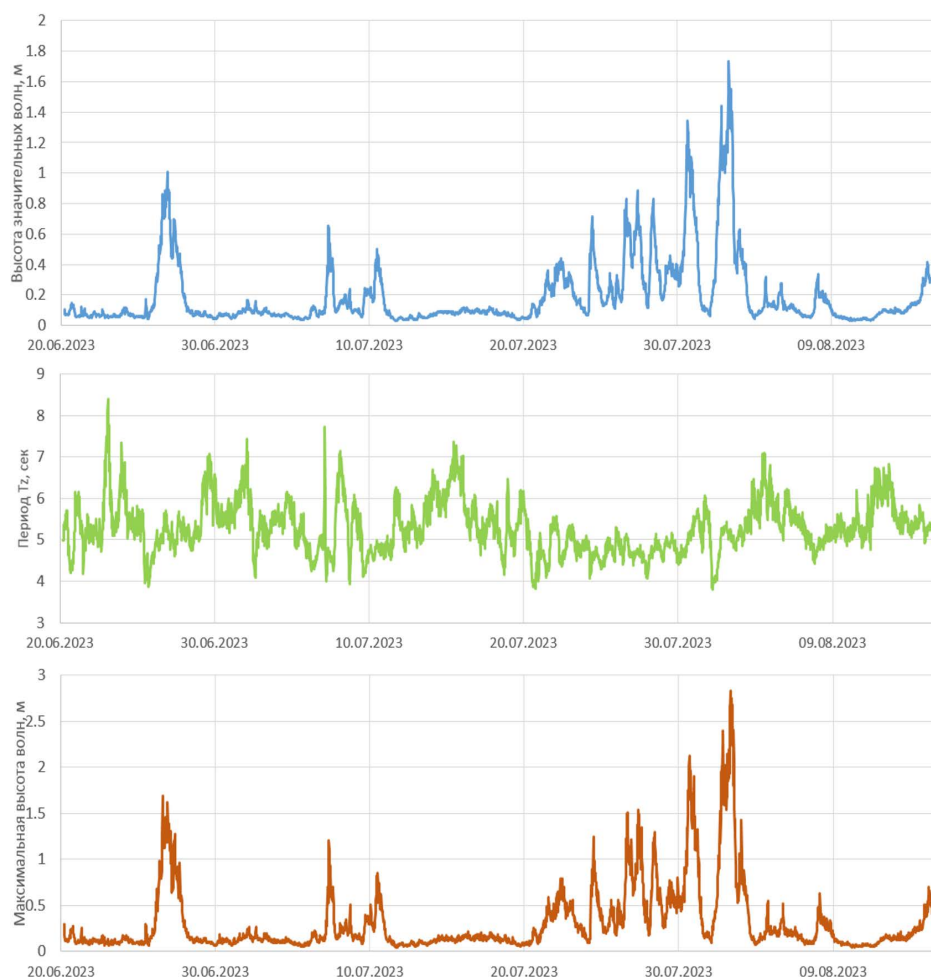
**Fig. 5.** Sea level at the third station at a depth of 15 m from June 20 to August 26, 2023. The blue line is a 1-minute average, the orange line is a 15-minute average.

Далее рассмотрим параметры ветрового волнения. Так как все станции располагались близко друг от друга, то параметры ветровых волн практически одинаковы на всех станциях. Разная глубина также не повлияла на параметры волн: максимальная высота значительных волн не превышала 1.8 м, поэтому для таких волн влияние донного трения на глубине 10–15 м небольшое. На рис. 6 представлены графики высоты значительных волн, периода и максимальной высоты волн на первой станции на глубине 10 м. За весь период измерений максимальная высота значительных волн составила 1.73 м. Всего зарегистрировано три события, когда высота волны превышала 1 м.

Средний период составляет около 5.3 сек. Наблюдаются случаи увеличения периода до 7–8 сек, однако это наблюдается при высоте волн менее 0.2 м. После двух событий в начале августа с высотой волн в 1.3 и 1.73 м, на стадии затухания наблюдается период 6 и 6.5 сек соответственно.

Максимальная высота волн достигает 2.82 м (при значительной высоте 1.73 м). Среднее соотношение максимальной высоты волн к значительной составляет около 1.63 (как и указано в рекомендациях для пересчета волн

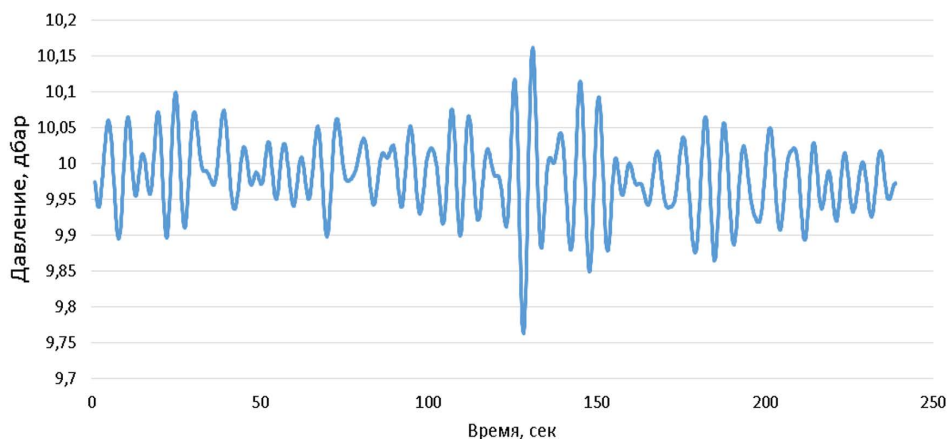
разной обеспеченности [1]). В работе [3] указано, что если индекс аномальности волн (отношение максимальной высоты волны к высоте значительных волн) составляет более 2, то волну можно считать аномальной. В нашем случае индекс аномальности достигал 2.4–2.5, но в основном при высоте значительных волн не более 0.2 м. Всего был зарегистрирован 91 случай аномальных волн по формальному превышению индекса аномальности, однако при высоте значительных волн более 0.5 м было всего 6 случаев аномальных волн. Один из примеров проявления аномальной волны был зарегистрирован 3 августа.



**Рис. 6.** Высота значительных волн, период волн и максимальная высота волн по данным измерений на первой станции на глубине 10 м с 20 июня по 15 августа 2023 года.

**Fig. 6.** The significant wave height, the wave period and the maximum wave height according to measurements at the first station at a depth of 10 m from June 20 to August 15, 2023.

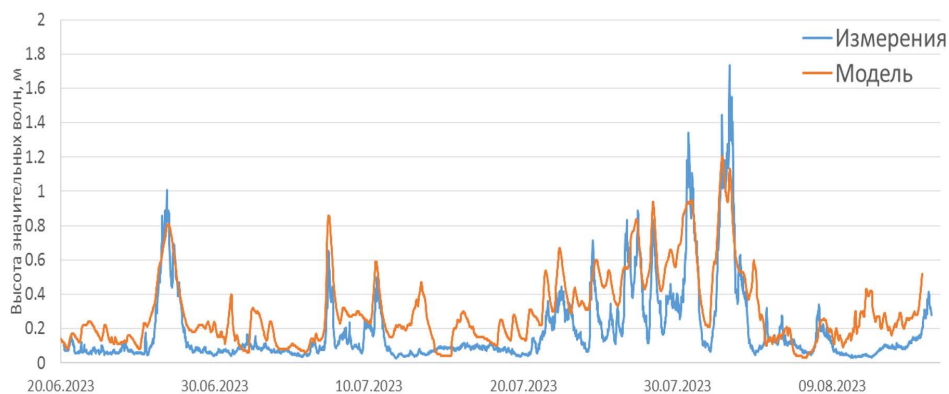
На рис. 7 представлен отрезок записи датчика гидростатического давления (без корректировки), когда была зарегистрирована аномальная волна 3 августа 2024 года. В это время высота значительных волн составляла 0.58 м, максимальная высота волны 1.42 м, а индекс аномальности 2.43. Наши оценки в принципе согласуются с результатами анализа аномальных волн по данным измерений в заливе Анива в 2009 году из работы [5].



**Рис. 7.** Пример проявления аномальной волны по данным измерения уровня моря в 01.36 ч ВСВ 3 августа 2024 года.

**Fig. 7.** An example of the manifestation of an abnormal wave according to sea level measurement data at 01:36 on August 3, 2024.

Далее на основе результатов измерения высоты волн была выполнена оценка качества волновой модели. На рис. 8 представлен график сопоставления высоты значительных волн по данным моделирования и измерений. В целом модель воспроизводит наблюдавшиеся события с увеличением высоты волн более 1 м. При высоте волн менее 0.2 м модель систематически завышает результат, однако при почти штилевых условиях это нормально для волновой модели. При измеренной высоте волн в 1.73 м модель показала 1.2 м, что говорит о занижении пиковых значений. Коэффициент корреляции Пирсона составляет 0.84, систематическая ошибка 0.11 м, среднеквадратическая ошибка 1.17 м. К сожалению, ряд для сравнения слишком короткий и статистически корректный результат получить сложно. Также следует учитывать, что измерения выполнены в прибрежной зоне, где поля ветра из реанализа могут содержать ошибки, особенно это проявляется при слабом ветре. Но, с другой стороны, видно, что модель корректно воспроизводит время наступления событий, следовательно, при отладке модели все выполнено правильно и технических ошибок при реализации модели нет. Похожие результаты были получены при оценках качества волновой модели в Черном море в летний период [19].



**Рис. 8.** Сопоставление высоты значительных волн по данным моделирования и измерений на первой станции на глубине 10 м с 20 июня по 15 августа 2023 года.

**Fig. 8.** Comparison of significant wave height according to modeling and measurements data at the first station at a depth of 10 m from June 20 to August 15, 2023.

### Заключение

На основе данных заякоренных инклинометров, оснащенных датчиками гидростатического давления, выполнены измерения уровня моря и параметров ветрового волнения в заливе Анива. Получены ряды данных на глубинах 10 и 15 м с интервалом 30 мин за июнь–август 2023 года.

Проведена корректировка данных гидростатического давления с учетом передаточной функции. Максимальная высота значительных волн составила 1.73 м, а максимальная высота индивидуальной волны – 2.82 м. Средний период волн за время измерений 5.3 сек.

Зарегистрирован 91 случай аномальных волн с индексом аномальности более 2. Однако из них наблюдалось только 6 случаев аномальных волн при высоте значительных волн более 0.5 м.

Выполнено сопоставление высоты значительных волн по результатам моделирования с данными измерений: коэффициент корреляции составляет 0.84, систематическая ошибка 0.11 м, а среднеквадратическая ошибка 0.17 м.

Выполнен анализ суммарных колебаний уровня с различным периодом осреднения. Максимальный размах колебаний уровня моря составил 1.63 м в сизигию и 0.3 м в квадратуру. Размах колебаний уровня на глубине 15 м меньше на 0.05 м, чем на глубине 10 м.

### Благодарность

Работа Пищальника В.М и Купцовой О.В. выполнена за счет гранта РНФ (проект № 24-27-20088). Работа Мысленкова С.А. и Архипкина В.С.

выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «СахГУ» FEFF 2024-0004». Работа Кондрашова А.А. выполнена в рамках государственного задания ИО РАН "FMWE 2024-0025". Работа Латковской Е.М. выполнена за счет средств программы Сахалинского государственного университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

### Список литературы

1. Грузинов В.М., Борисов Е.В., Григорьев А.В. и др. Прикладная океанография / Под ред. В.М. Грузинова. М.: Артифекс, 2012. 382 с.
2. Завьялов Р.В., Латковская Е.М., Карамышев В.В., Репина М.А. Оценка возможных объемов штормовых выбросов макрофитов на побережье зал. Анива (Охотское море) // Уральский научный вестник. 2023. Т. 6, № 7. С. 16-23.
3. Запелалов А. С., Гармашов А. В. Соотношение глубины впадины и высоты гребня поверхностных волн в прибрежной зоне Черного моря // Морской гидрофизический журнал. 2024. Т. 40, № 1. С. 78-86.
4. 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. Р. 35-42.
5. Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Доган Д., Ялченир Б., Ялченир А., Куркин А.А., Москвитин А.А. Численное моделирование штормового нагона 15 ноября 2019 года на юге острова Сахалин // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 4. С. 396-406.
6. Иванова А.А., Архипкин В.С., Мысленков С.А., Шевченко Г.В. Моделирование штормовых нагонов в прибрежной зоне о. Сахалин // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 3. С. 41-49.
7. Кантарджи И.Г., Кузнецов К.И. Натурные измерения волнения при определении нагрузок на морские гидротехнические сооружения // Magazine of Civil Engineering. 2014. № 4 С. 49-62. DOI: 10.5862/MCE.48.6.
8. Ковалев, Д.П. Ковалев П.Д., Хузеева М.О. Особенности морского волнения у юго-восточного побережья Сахалина при перемещении циклонов над районом наблюдений // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3, № 3. С. 296-303.
9. Кондрашов А.А., Корж А.О. Обеспечение непрерывной продолжительной регистрации течений и волнения в море // XXIX Береговая конференция: натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования, Калининград, 18–24 апреля 2022 года. С. 222-224.
10. Кузнецов К.И., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Ковалев П.Д. Особенности характеристик ветрового волнения у юго-восточного побережья о. Сахалин по измерениям придонного давления // Известия РАН. ФАО. 2014. Т. 50, № 2. С. 242.
11. Кузнецов К. И., Зайцев А. И., Костенко И. С. Наблюдения волн-убийц в прибрежной зоне о. Сахалин // Экологические системы и приборы. 2014. № 2. С. 33-39.
12. Леонов А. В., Архипкин, В. С., Пицальник, В. М., Латковская, Е. М. Моделирование динамики концентрации растворенного кислорода в водах залива Анива (Охотское море) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023. № 6. С. 77-85.
13. Пака В.Т., Набатов В.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Подуфалов А.П., Облеухов С.Д., Голенко М.Н., Шука С.А. Об усовершенствовании инклинометрического измерителя скорости придонных течений // Океанологические исследования. 2019. Т. 47, № 2. С. 220-229.
14. Романюк В.А., Пицальник В.М., Шумилов И.В. Особенности ледового режима зал. Анива (Охотское море) как фактор риска при планировании марикультурных хозяйств // Процессы в геосредах. 2022. № 4(34). С. 1821-1828.
15. Филобокова, Л. Ю., Жданкина А. Ю. Нефтегазовый комплекс Сахалинской области: состояние, проблемы, вектор стратегического управления // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2020. № 4(32). С. 29-35.
16. Хузеева М.О., Като Э. Характеристики ветрового волнения на побережье о. Сахалин по данным наблюдений береговых гидрометеорологических станций //

Мореходство и морские науки: избранные доклады III Сахалинской региональной морской научно-технической конференции. 2011. С. 194-204.

17. *Didenkulova, E., Didenkulova, I., and Medvedev, I.* Freak wave events in 2005–2021: statistics and analysis of favourable wave and wind conditions // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2023. Vol. 23. P. 1653-1663. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1653-2023>.

18. *Maslennikov S.I.* Marine Biological Resources in the Far Eastern Coast: Their Rational Use from Ecological and Economic Viewpoints // *Energy and environment in Slavic Eurasia: toward the establishment of the network of environmental studies in the Pan-Okhotsk region.* Sapporo: Slavik Research Center, Hokkaido University, 2008. P. 89-125.

19. *Myslenkov S.; Zelenko A.; Resnyanski, Y.; Arkhipkin V.; Silvestrova K.* Quality of the Wind Wave Forecast in the Black Sea Including StormWave Analysis // *Sustainability.* 2021. Vol. 13. P. 13099.

20. *Myslenkov S., Samsonov T., Shurygina A., Kiseleva S., Arkhipkin V.* Wind waves web atlas of the Russian seas // *Water.* 2023. Vol. 15, no. 11. P. 2036.

21. *Myslenkov S., Kruglova E. E., Medvedeva A. Y., Silvestrova K. P., Arkhipkin V. S., Akpinar A., Dobrolyubov S. A.* Number of storms in several Russian seas: Trends and connection to large-scale atmospheric indices // *Russian Journal of Earth Sciences.* 2023. Vol. 23, no. 3. P. ES3002.

22. *Myslenkov S. A., Pishchal'nik V. M., Arkhipkin V. S., Latkovskaya E.M.* Analysis of Wind Waves in Aniva Bay // *Russian journal of Earth Science,* 2025 (in print).

23. *Pishchalnik, V., Myslenkov, S., Latkovskaya, E., and Arkhipkin, V.* Assessment of the hydrochemical characteristics of the carbon observational site 'carbon-sakhalin' (aniva bay, sea of Okhotsk) // *Sustainability.* 2024. Vol. 16, no. 7. P. 3031.

## References

1. *Gruzinov V.M., Borisov E.V., Grigor'ev A.V. i dr.* Prikladnaya okeanografiya: Pod red. V.M. Gruzinova. Moscow, Artifeks publ., 2012, 382 p. [in Russ.].

2. *Zav'yalov R.V., Latkovskaya E.M., Karamyshev V.V., Repina M.A.* Ocenka vozmozhnykh ob'emov shtormovykh vybrosov makrofitov na poberezh'e zal. Aniva (Ohotskoe more). *Ural'skiy nauchnyy vestnik,* 2023, vol. 6, no 7, pp. 16-23 [in Russ.].

3. *Zapevalov, A.S. and Garmashov, A.V.,* 2024. Ratio between Trough and Crest of Surface Waves in the Coastal Zone of the Black Sea. *Physical Oceanography,* vol. 31, no. 1, pp. 71-78.

4. *Zaitsev A., Malashenko A., Pelinovsky E.* Abnormal Big Waves Near the Southern Coast of Sakhalin Island. *Fundamental and Applied Hydrophysics,* 2011, vol. 4, no. 4, pp. 35-42 [in Russ.].

5. *Zaytsev, A.I., Pelinovsky, E.N., Dogan, D., Yalciner, B., Yalciner, A., Kurkin, A.A. and Moskvitin A.A.,* Numerical Simulation of the Storm Surge at the Sakhalin Island Southern Part on November 15, 2019. *Physical Oceanography,* 2020, vol. 27, no. 4, pp. 364-373. DOI:10.22449/1573-160X-2020-4-364-373.

6. *Ivanova A.A., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A., Shevchenko G.V.* Modeling of storm surges in the coastal zone of the Sakhalin Island. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya,* 2015, no. 3, pp. 41-49 [in Russ.].

7. *Kantardgi I. G., Kuznetsov K. I.* Field measurement of waves for defining loads on marine hydraulic structures. *Magazine of Civil Engineering,* 2014, no. 4, pp. 49-62. DOI: 10.5862/MCE.48.6 [in Russ.].

8. *Kovalev D.P., Kovalev P.D., Khuzeeva M.O.* Osobennosti morskogo volneniya u yugovostochnogo poberezh'ya Sahalina pri peremeshchenii ciklonov nad rayonom nablyudeniya [Peculiarities of sea waves near the Southeastern coast of Sakhalin Island during cyclones moving above the observation area]. *Geosistemy perekhodnykh zon,* 2019, vol. 3, no. 3, pp. 296-303 [in Russ.].

9. *Kondrashov A.A., Korzh A.O.* Obespechenie nepreryvnoy prodolzhitel'noy regi-stracii techeniy i volneniya v more. XXIX Beregovaya konferenciya: naturnye i teoreticheskie issledovaniya – v praktiku beregopol'zovaniya, Kaliningrad, 18–24 aprelya 2022 goda, pp. 222-224 [in Russ.].

10. Kuznetsov K.I., Kovalev P.D., Kurkin A.A., Pelinovsky E.N. Features of wind waves at the Southeastern of Sakhalin according to bottom-pressure measurements. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2014, vol. 50, no. 2, pp. 213-220. DOI: 10.1134/S0001433814020066.
11. Kuznetsov K. I., Zayceva A. I., Kostenko I. S. Nablyudeniya voln-ubiyc v pribrezhnoy zone o. Sahalin. *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 2014, no. 2, pp. 33-39 [in Russ.].
12. Leonov A.V., Arkhipkin V.S., Pishchalnik V.M., Latkovskaya E.M. Modeling the dynamics of dissolved oxygen concentration in waters of the Aniva bay (the Sea of Okhotsk). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 2023, no. 6, pp. 77-85 [in Russ.] <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.78.6.7>.
13. Paka V. T., Nabatov V. N., Kondrashov A. A., Korzh A. O., Podufalov A. P., Obleukhov S. D., Golenko M. N., Shchuka S. A. On the improvement of the tilting bottom current meter. *Okeanologicheskie issledovaniya [Journal of Oceanological Research]*, 2019, vol. 47, no. 2, pp 220-229 [in Russ.].
14. Romanyuk, V.A., Pishchalnik V.M., Shumilov I.V. Features of the ice regime of Aniva Bay (Sea of Okhotsk) as a risk factor in the planning of mariculture farms. *Process. GeoMedia*, 2022, no. 4, pp. 1820–1826 [in Russ.].
15. Filobokova L. Yu., Zhdankina A. Yu. Oil and gas complex of the Sakhalin Region: State, problems, vector of strategic management. *Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie [National Security and Strategic Planning]*, 2020, vol. 32, no. 4, pp. 29-35. [in Russ.]
16. Huzeeva M.O., Kato E. Harakteristiki vetrovogo volneniya na poberezh'e o. Sahalin po dannym nablyudeniya beregovykh gidrometeorologicheskikh stanciy. *Morekhodstvo i morskije nauki: izbrannye doklady III Sahalinskoy regional'noy morskoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. 2011, pp. 194-204 [in Russ.]
17. Didenkulova, E., Didenkulova, I., and Medvedev, I. Freak wave events in 2005–2021: statistics and analysis of favourable wave and wind conditions. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2023, Vol. 23, pp. 1653-1663. DOI: 10.5194/nhess-23-1653-2023.
18. Maslennikov S.I. Marine Biological Resources in the Far Eastern Coast: Their Rational Use from Ecological and Economic Viewpoints // *Energy and environment in Slavic Eurasia: toward the establishment of the network of environmental studies in the Pan-Okhotsk region*. Sapporo: Slavik Research Center, Hokkaido University, 2008, pp. 89-125.
19. Myslenkov S.; Zelenko A.; Resnyanski, Y.; Arkhipkin V.; Silvestrova K. Quality of the Wind Wave Forecast in the Black Sea Including StormWave Analysis. *Sustainability*, 2021, Vol. 13, pp. 13099.
20. Myslenkov S., Samsonov T., Shurygina A., Kiseleva S., Arkhipkin V. Wind waves web atlas of the Russian seas. *Water*, 2023, Vol. 15, no. 11, p. 2036.
21. Myslenkov S., Kruglova E. E., Medvedeva A. Y., Silvestrova K. P., Arkhipkin V. S., Akpinar A., Dobrolyubov S. A. Number of storms in several Russian seas: Trends and connection to large-scale atmospheric indices. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2023, Vol. 23, no. 3, p. ES3002.
22. Myslenkov S. A., Pishchal'nik V. M., Arkhipkin V. S., Latkovskaya E.M. Analysis of Wind Waves in Aniva Bay. *Russian journal of Earth Science*, 2025 (in print).
23. Pishchalnik, V., Myslenkov, S., Latkovskaya, E., and Arkhipkin, V. Assessment of the hydrochemical characteristics of the carbon observational site 'carbon-sakhalin' (aniva bay, sea of Okhotsk). *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 7, p. 3031.

Поступила 20.11.2024; одобрена после рецензирования 27.03.2025;  
принята в печать 10.04.2025.

Submitted 20.11.2024; approved after reviewing 27.03.2025;  
accepted for publication 10.04.2025.