

## Особенности морского волнения у юго-восточного побережья Сахалина при перемещении циклонов над районом наблюдений

© 2019 Д. П. Ковалев<sup>\*1</sup>, П. Д. Ковалев<sup>1</sup>, М. О. Хузеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

<sup>2</sup>Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,  
Южно-Сахалинск, Россия

\*E-mail: kovalev\_dp@outlook.com

При обработке продолжительных временных рядов колебаний уровня моря отмечено, что увеличение высоты волн не всегда соответствует приходу циклона. Поэтому в работе проведен анализ данных натурных наблюдений за волнением в прибрежной зоне юго-восточного побережья о. Сахалин при перемещении циклонов и холодных фронтов. Установлено, что отдаленные циклоны в Тихом океане могут вызывать опережающий на несколько суток приход зыби в пункты наблюдения. В то же время такие циклоны, подойдя к акватории Охотского моря, не всегда возбуждают сильное штормовое волнение в нем, что, по-видимому, связано с блокирующим действием поля высокого атмосферного давления антициклона, располагающегося над Тихим океаном. Показано, что обширные холодные фронты при своем движении над Охотским морем способны вызывать сильные ветра, которые в свою очередь возбуждают волнение в прибрежной зоне высотой до 1 м. Совместное влияние обширного холодного фронта и циклона может приводить к значительному – до 2 м ветровому волнению в зал. Мордвина. Изучение особенностей волнения необходимо для обеспечения безопасности мореплавания маломерных судов.

**Ключевые слова:** волнение, зыбь, циклон, холодный фронт.

## Peculiarities of sea waves near the southeastern coast of Sakhalin Island during cyclones moving above the observation area

Dmitry P. Kovalev<sup>\*1</sup>, Peter D. Kovalev<sup>1</sup>, Marina O. Khuzeeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>2</sup>Sakhalin Hydrometeorological Service of Federal Service of Russia for Hydrometeorology  
and Environmental Monitoring, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\*E-mail: kovalev\_dp@outlook.com

The processing of long time series of sea-level fluctuations revealed rather strange aspect (from first look): waves amplitudes raising does not always correlate with the cyclone front arrival. Therefore, the paper analyzes the data of field observations of the waves in the coastal zone of the South-Eastern coast of Sakhalin Island during the movement of cyclones and cold fronts. It was found that remote cyclones in the Pacific Ocean can cause of swell several days ahead of the arrival of cyclone in the observation points. However, such cyclones excite strong storm waves not every time when they become to the area of Okhotsk Sea. This is apparently caused by the blocking action of high atmospheric pressure zone (the anticyclone) located over the Pacific Ocean. It has been shown that the vast cold fronts when moving over the Sea of Okhotsk were able to cause strong winds, which in turn excite waves in the coastal zone up to 1 m height. The combined influence of the vast cold front and the cyclone could lead to a significant wind waves in the Mordvinova Bay, of height up to two meters. The establishing these patterns of the sea waves will ensure the safety of navigation of the boats.

**Keywords:** wind waves, swell, cyclone, cold front.

## **Введение**

Хозяйственная деятельность в Охотском море и его прибрежной зоне очень интенсивная из-за множества судов разного тоннажа, в том числе и маломерных, ведущих лов рыбы. Поэтому детальное изучение волнения на море, особенно при приближении и прохождении циклонов и их фронтов, необходимо для обеспечения безопасности морского транспорта и проживающего на побережье населения.

На волнение в Охотском море влияют как циклоны, движущиеся с Азиатского континента, так и тропические циклоны, зарождающиеся вблизи экватора восточнее Филиппинских островов или над Южно-Китайским морем и достигающие Охотского моря. Средняя скорость передвижения циклонов равна 39–44 км/ч (21–24 узла), а наибольшая – 100 км/ч (54 узла). Средняя продолжительность нахождения циклона над Охотским морем составляет 20–22 ч, она может колебаться от 6 до 80–90 ч [Лоция... , 2011].

Тропические циклоны через Охотское море проходят редко и бывают наиболее опасны, когда их центр расположен над Курильскими островами. В среднем за год возникает 4–6 циклонов, редко 10–15. Зона действия тропических циклонов проходит по южной части Охотского моря, но может охватывать и более значительную часть. Если тропический циклон не выходит на описываемый район, а наблюдается только в Японском море или восточнее Курильских островов, то он все же оказывает влияние на погоду и в Охотском море: ветер усиливается до штормового [Лоция... , 2011].

Одним из признаков приближающегося циклона является зыбь, которая отмечается на расстоянии до 400–500 миль, а в отдельных случаях до 1000 миль от центра циклона. Однако, как указано в [Лоция... , 2011], на расстояниях, превышающих 250 миль от центра тропического циклона, признаки его приближения нельзя считать безусловными.

Кроме того, поскольку зыбь распространяется по радиусам от центра циклона, то о положении центра циклона можно судить по направлению распространения зыби, и по изменению этого направления можно составить представление о траектории движения ци-

клона. При этом необходимо учитывать, что имеющиеся на пути зыби острова изменяют направление распространения волн.

Ранее, при изучении зыби, приходившей от штормов к району наблюдения в с. Охотское (Сахалинская область) [Ковалев и др., 2018], нами также был установлен заблаговременный, до нескольких суток, приход волн зыби, предвещающий подход циклона. Такое явление наблюдается нередко, описано в различных источниках [Munk et al., 1963; Лоция... , 2011]. Оно связано с тем, что более длинные волны зыби с периодами от 20 с имеют большую групповую скорость, чем короткие, и обычно превышают скорость движения циклона.

Также отметим, что циклон по мере своего продвижения и связанное с ним поле ветров формируют на поверхности моря ветровые волны различной длины, распространяющиеся под различными углами к направлению ветра. Механизм генерации волн подробно изложен в [Режим... , 2013] и других литературных источниках. Каждая возникшая составляющая спектра волн с определенной длиной и скоростью, покидая зону шторма, в результате нелинейного взаимодействия трансформируется и распространяется в форме волн зыби [Рожков, 1973; Longuet-Higgins, 1980; Munk et al., 1963].

В связи с вышесказанным было решено проводить дальнейшее и детальное изучение волнения в юго-восточной части прибрежной зоны о. Сахалин. В работе приводятся результаты анализа волнения при перемещении нескольких циклонов и при значительно опережающем подходе волн зыби к месту постановки измерительных приборов в районе с. Охотское и мыса Свободный, а также поведения волнения при прохождении холодных атмосферных фронтов.

## **Данные наблюдений и метеорологическая обстановка**

Для анализа волнения использованы данные наблюдений с секундной дискретностью, полученные с 2010 по 2018 г. на юго-восточном побережье о. Сахалин. Также привлекались данные по перемещению циклонов в рассматриваемом районе, любезно предо-

ставленные Гидрометцентром Сахалинского УГМС. На рис. 1 приведена схема расположения регистраторов волнения на юго-восточном побережье о. Сахалин, а на рис. 2 показаны анализируемые временные серии.

Проведенная в работе [Режим... , 2013] типизация циклонов, могущих вызвать штормовое волнение, относится к району Японского моря, но захватывает и северо-западное побережье Тихого океана восточнее Японии, а потому может быть применима и к рассматриваемому нами району.

В основу типизации положены генетические особенности барического образования, траектории смещения и особенности высотного барического поля на уровне 500 гПа. Выделены три типа траекторий: западный, юго-западный и южный. Циклоны южного типа проявляются опережающими на 12 ч штормовое волнение ветрами северного и северо-восточного направлений, эти циклоны вызывают волны большой величины. Процесс длится от 36 до 42 ч. Циклоны данного типа составляют порядка 11 % от общего числа всех случаев [Режим... , 2013].

Опасное волнение возникает и развивается при выходе на море глубоких циклонов. Скорость смещения циклонов в данных случаях не превышает 30 км/ч. При глубине 970–980 гПа они обычно блокированы полем высокого давления (свыше 1020 гПа), которое располагается над Охотским морем или на се-

веро-востоке над Тихим океаном. За рассматриваемый нами период наблюдалось 5 циклонов, из которых один южного направления и четыре западных и юго-западных. Пути прохождения этих циклонов приведены на рис. 3.

Также за отмеченный период времени проводился анализ карт скоростей поверхностного ветра над океаном (сайт NASA – <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>). Они позволяют оценить силу и направление ветров, сопутствующих циклонам. Одна из них, за 9.08.2012 г., приведена на рис. 4.

### Результаты и обсуждение

Для анализа волнения были отобраны отрезки временных рядов наблюдений с 8 по 25 августа 2012 г. двух измерителей волнения, установленных вблизи с. Охотское и мыса Свободный. Интерес к анализу этих временных рядов колебаний уровня моря связан с длинноволновой зыбью, пришедшей издалека, но не окончившейся впоследствии сильным штормовым волнением, а также с прохождением нескольких циклонов и обширных холодных фронтов за рассматриваемый интервал времени. С помощью разработанной для спектральной обработки и визуализации длинных временных рядов программы Кума [Плеханов, Ковалев, 2016] проведен спектральный анализ (рис. 2).

Программа Кума использует разработанный авторами программы алгоритм расчета текущего спектра на основе оконного преобразования Фурье, позволяющий объединять периоды от нескольких секунд до нескольких суток в одном изображении за счет переменной длины окна. Она включает оптимизацию техники последовательных фильтров с помощью последовательного понижения дискретности обрабатываемых данных без потери качества, в результате чего также возможно



Рис. 1. Схема расположения регистраторов волнения в юго-восточной части о. Сахалин.

объединение различных периодов в одном изображении. На рис. 2 временные ряды колебаний уровня моря приведены в исходном состоянии, без вычета прилива, для полноты картины происходящих процессов, а текущие спектры колебаний содержат периоды только исследуемого диапазона, для наглядного улучшения детализации изучаемых процессов.

В первую очередь обращает на себя внимание ранний приход очень длинных волн зыби с начальным периодом около 24.2 с, в то время как местный шторм проявляется на периодах волн зыби около 13.4 с. При этом оказывается, что приход зыби наблюдается за 8 сут до предполагаемого шторма.

Преобразовав приведенную в работе [Munk et al., 1963] формулу для длиннопериодной зыби, можно определить расстояние до центра циклона:

$$x = c_{гp0}(t - t_0) / \left[ 1 + \frac{4\pi^2 h}{g} f^2 \right], (1)$$

где  $x$  – расстояние от источника до записывающего устройства,  $c_{гp0}$  – асимптотическое значение групповой скорости,  $t_0$ ,  $t$  – времена выхода волны из источника и прихода в точку наблюдения соответственно,  $h$  – глубина,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $f$  – частота волны.

Тогда, при средней глубине Тихого океана по пути распространения зыби около 6000 м, при периоде зыби 24.2 с, пришедшей 9.08.2012 в точку наблюдения, расстояние до источника зыби будет составлять около 1986 км. Измеренное по карте фактическое расстояние до центра циклона с его положением на 9.08.2012 (рис. 3) – около 1970 км, т.е. достаточно близкое к расчетному. Поэтому можно считать, что пришедшая зыбь вызвана циклоном I (см. рис. 3).

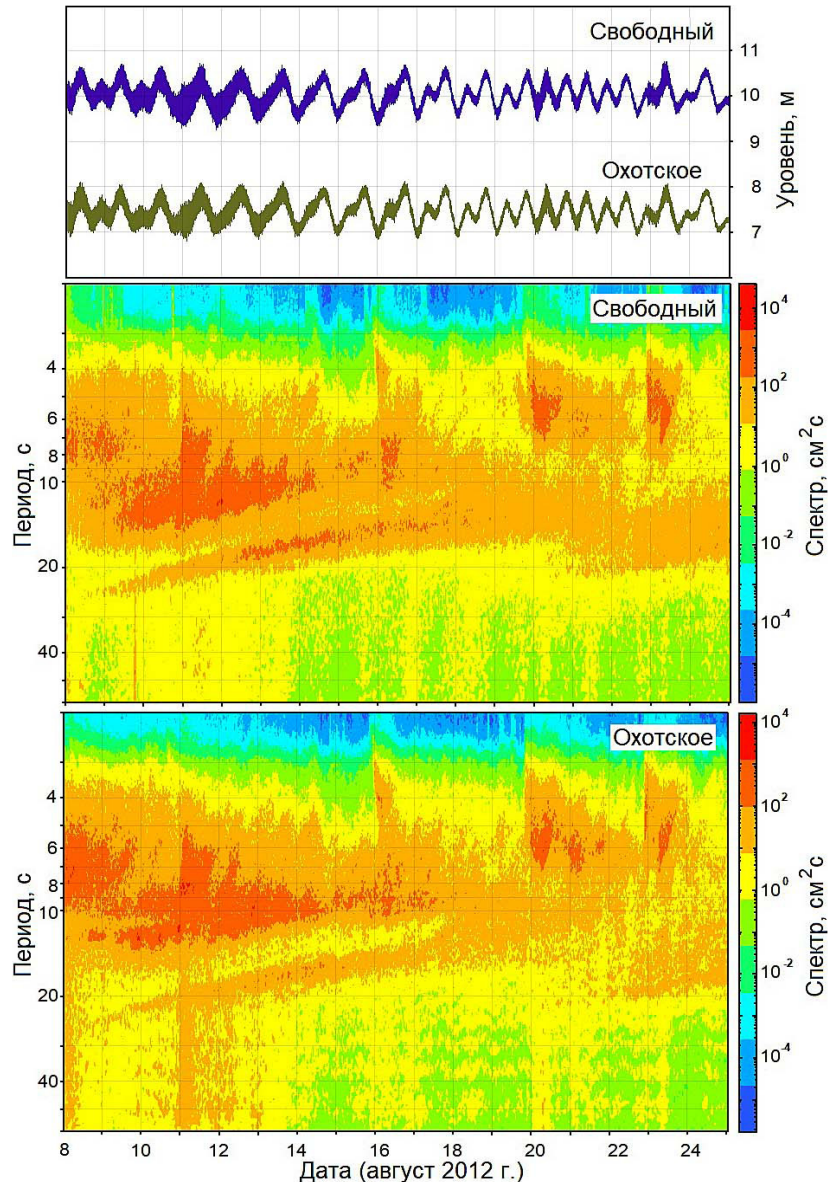
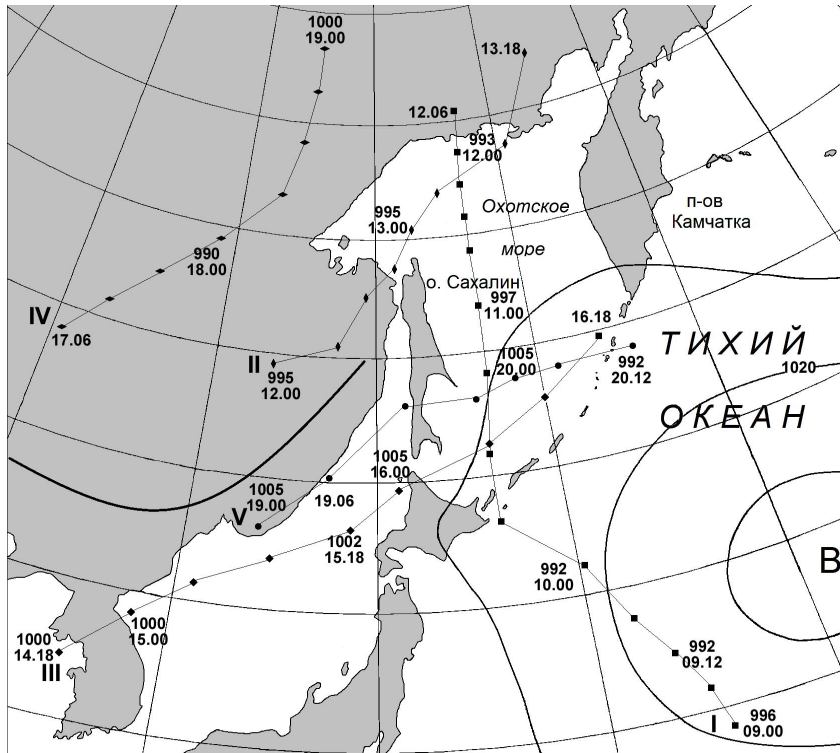


Рис. 2. Временные ряды и текущие спектры колебаний уровня моря для рядов наблюдений вблизи с. Охотское и мыса Свободный.

Также был вычислен предельный период волн, возбужденных ветром, на 00 ч 9.08.12 с использованием скорости ветра 15.3 м/с (29.8 узлов), взятой с карты ветров (рис. 4), по формуле [Режим... , 2013]:

$$T_{\infty} = \frac{2\pi c_{\infty}}{g}, (2)$$

где  $c_{\infty}$  – предельная фазовая скорость волны. С учетом прекращения роста волны, когда  $c_{\infty}/W = 0.82$ , где  $W$  – скорость ветра, предельный период равен 8.04 с. В работе [Stewart, 1997–2000] также подтверждается период волн около 8 с в районе шторма для данной скорости ветра. В то же время период спектрального пика волн  $T_p$  в соответствии

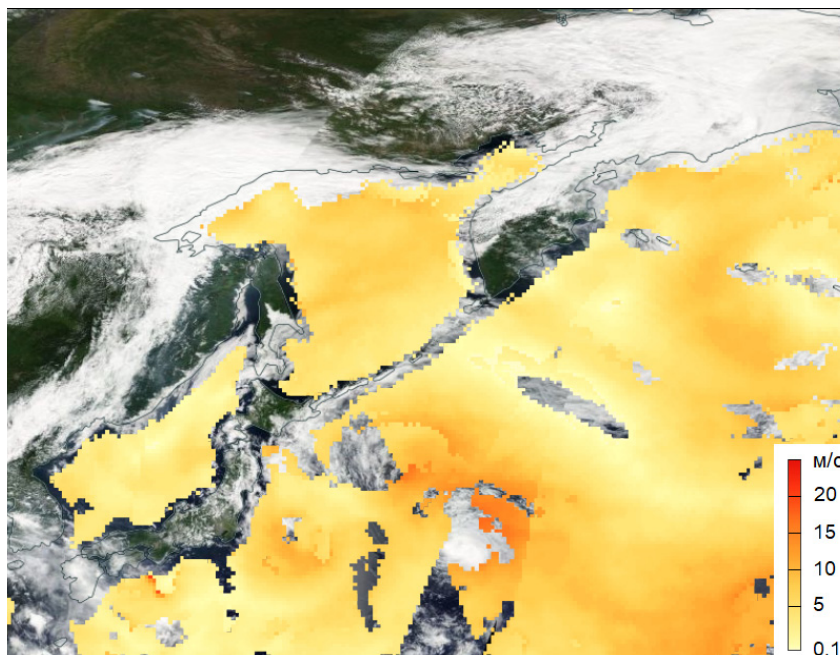


**Рис. 3.** Трассы прохождения циклонов (отмечены в начальной точке цифрами I, II, III, IV, V) в регионе за период с 8.08.2012 по 22.08.2012. Показано положение антициклона над Тихим океаном на 17.08.2012 и холодного фронта над Азиатским континентом 9.08.2012 на 18 ч UTC.

с [Pierson, Moskowitz, 1964] для ветра этой же силы, рассчитанный по выражению

$$T_p = 2\pi W_{10} / (0.855g), \quad (3)$$

где  $W_{10}$  – скорость ветра на высоте 10 м,



**Рис. 4.** Карта скоростей поверхностного ветра над океаном за 9.08.2012 (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

больше: он составляет около 11.35 с. Объяснения такого разброса оценок в литературе мы не нашли.

При полученных оценках периодов 8.04 и 11.35 с отмеченный в точке наблюдения период пришедших волн 24.2 с. Можно предположить, что такое увеличение периода связано с разгоном волн на больших дистанциях разгона. Вместе с тем по теоретическим оценкам, например [Stewart, 2000], с увеличением периода волн влияние разгона уменьшается. Наши расчеты показали, что для дистанции разгона 100 миль период волн 8 с увеличился на 1.76 с.

Как следует из спектров (рис. 2), в период с 8 по 14 августа одновременно с пришедшей из Тихого океана зыбью отмечается повышение энергии зыби в диапазоне периодов от 15 до 8 с и ветровых волн с периодами от 7 до 5 с. Поскольку циклон в это время над районом наблюдений не перемещался, а зыбь таких периодов могла появиться только от близкого события, можно заключить, что данное волнение связано с холодным фронтом, расположенным над Азиатским континентом и перемещающимся в восточном направлении (см. рис. 3). И, как показывают карты скоростей поверхностного ветра за 10 августа (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>), данный фронт вызывал в южной части Охотского моря на широте пунктов наблюдения ветра около 11.4 м/с, способствующие возбуждению ветрового волнения, которое впоследствии трансформируется

в зыбь в этом районе. При этом высота волн в районе наблюдений была небольшой – достигала 50 см. К 11 августа этот фронт располагался уже над Охотским морем, после чего наблюдались только ранее возбужденные волны зыби и слабое ветровое волнение.

Следует отметить, что волнение в области атмосферных фронтов начали изучать сравнительно недавно и опыта прогнозирования волнения в этих условиях еще недостаточно [Иваненков и др., 1977; Мастерских, Сиротов, 1992; Persson et al., 2005]. Применение численных методов в некоторых специфических условиях волнообразования трудно реализуемо. Скорости ветра при прохождении фронтов могут достигать 40 м/с, а иногда и больше [Режим... , 2013]. Особенно сильными ветрами отличаются быстро движущиеся основные холодные фронты.

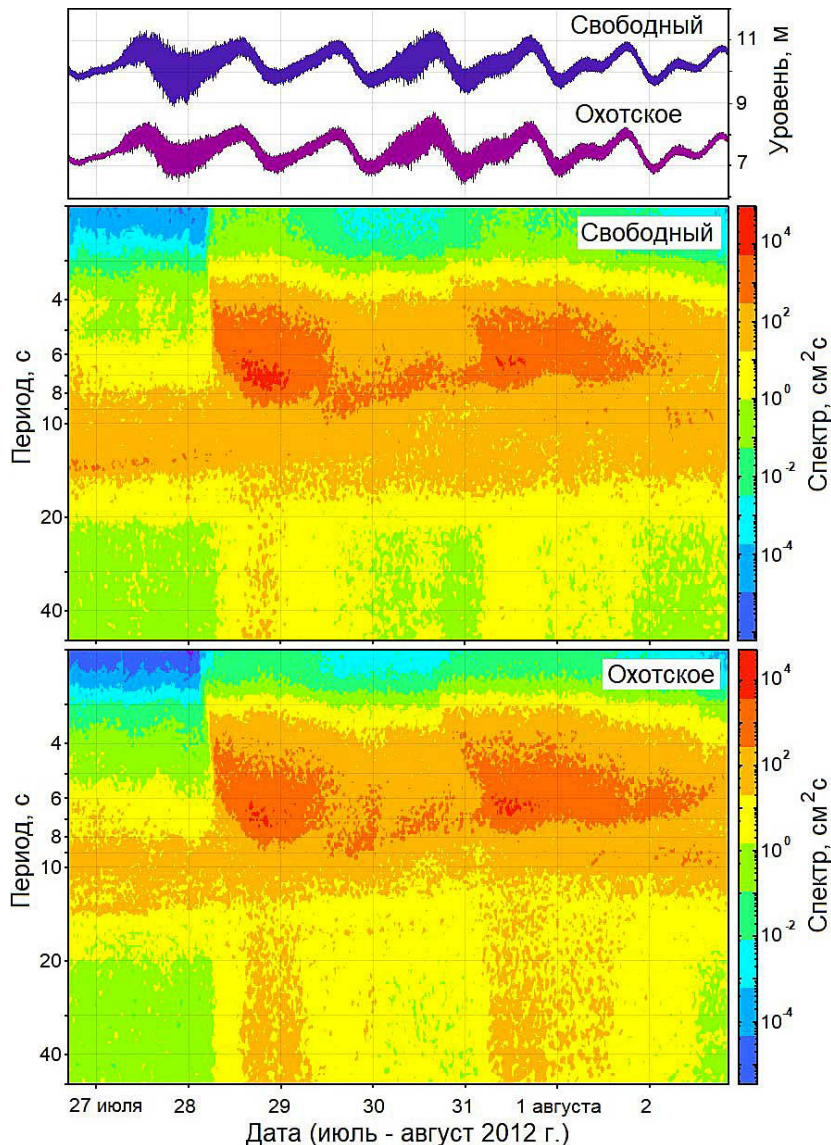
Возможно также, что некоторый вклад в подъем энергии волнения в период с 12 по 13 августа 2012 г. внес циклон II (рис. 3), центр которого в это время перемещался над северной частью о. Сахалин в северо-восточном направлении. Также отметим, что с 10 по 12 августа над Охотским морем перемещался другой циклон, который ранее вызвал ветровое волнение, трансформирующееся в зыбь, зарегистрированную в точке наблюдения и пришедшую от его положения на 9.08.2012. Этот циклон перемещался в северном направлении на расстоянии около 300 км от о. Сахалин, однако значительного подъема энергии волнения при этом не наблюдалось и высота волн в точке наблюдения мыса Свободный достигала 1 м. Возможно, это связано с тем, что в это время циклон был неглубокий – 997 гПа и блокировался полем высокого давления (свыше 1020 гПа), которое в течение рассматриваемого времени наблюдения располагалось над Тихим океаном, периодически незначительно смещаясь в северном или южном направлении. Рассматриваемые циклоны вызвали ветра со скоростями 8.7–9.0 м/с 12 августа в центральной части Охотского моря и 13 августа со скоростями 9.3–9.7 м/с в северной части моря. Возбужденное этими ветрами волнение трансформировалось в зыбь, которая продолжала еще долго приходить в пункт наблюдения.

Следующий подъем энергии ветрового волнения и небольшое увеличение в диапазоне зыби наблюдается 16 августа. Высота волн при этом событии достигала у мыса Свободный 40 см. В это время к югу острова подошел циклон III (рис. 3) юго-западного типа из Японского моря. Однако он был неглубокий – около 1005 гПа, когда его центр располагался в районе о. Хоккайдо, и сопровождался слабыми ветрами 2.4–2.7 м/с в южной части Охотского моря, не вызвавшими сильного волнения. Наблюдалось в основном достаточно короткопериодное – до 3 с ветровое волнение.

Циклон IV (рис. 3) западного типа наблюдался с 17 по 19 августа, и его траектория проходила над восточной частью Азиатского континента. 18 августа с 6 до 12 ч он двигался на расстоянии 350–400 км от северной части Охотского моря, но, как видно на рис. 2, несмотря на ветра со скоростью 11.4–11.7 м/с в северной части зал. Мордвина, заметного увеличения энергии волнения не вызвал, за исключением некоторого увеличения энергии зыби с периодами от 8 до 15 с. И хотя до 18.08.2012 циклон был достаточно глубоким, впоследствии стал заполняться. Возможно, это и помешало усилению волнения в Охотском море, и высоты волн в районе мыса Свободный не превышали 55 см.

Значительный, на два порядка, подъем энергии ветрового волнения в диапазоне периодов от 4 до 7 с наблюдался 20 и 21 августа. Его причиной с большой вероятностью служил циклон V (рис. 3) юго-западного типа, который к 20 августа вышел на акваторию Охотского моря, но был неглубоким, около 1005 гПа, и сопровождался здесь ветрами 5.1–5.5 м/с. По-видимому, это обстоятельство и определило характер возбуждаемых им ветровых волн: в районе мыса Свободный регистрировались волны высотой до 65 см.

Похожий на предыдущий подъем энергии в диапазоне ветрового волнения, только более краткосрочный – в течение суток 23 августа, вызвал обширный холодный фронт, простирающийся от юго-западной части о. Хоккайдо до мыса Терпения, о. Сахалин. Ветра со скоростями 10.5–10.8 м/с наблюдались в это время в северной части Охотского моря в районе Пенжинской губы.



**Рис. 5.** Временные ряды и текущие спектры колебаний уровня моря для штормового события 28.07–2.08.2012.

Эти ветра, согласно номограмме, приведенной в [Stewart, 1997–2000], могут возбуждать волны значимой высоты до 2.6 м. В это время в районе мыса Свободный высота волн, по данным наших приборов, достигала 60 см.

Поскольку в рассматриваемый период, да и в течение всего месяца, не наблюдалось сильного волнения и наш анализ был бы неполным, нами рассмотрено штормовое волнение с высотами волн, достигающими 29 июля 2012 г. у мыса Свободный 2 м. Ряды наблюдений и текущие спектры для этого события приведены на рис. 5. Следует отметить, что в 2012 г. нами регистрировались максимальные волны высотой 2.5 м, а максимальная за весь период наблюдений высота волн – 2.8 м была зарегистрирована летом 2013 г.

в районе с. Охотское прибором, установленным в зал. Мордвинова на глубине 8 м.

По синоптическим картам за 28.07.2012 видно, что к акватории Охотского моря подошел неглубокий циклон западного типа с давлением в центре 1000 гПа. Его центр на 6 ч 28.07.2012 располагался над южной частью о. Сахалин в районе г. Южно-Сахалинск. В это же время в юго-западном направлении и в задней части циклона перемещался обширный холодный фронт. Возможно, сильное волнение было обусловлено совместным воздействием ветров циклона и холодного фронта. Они вызвали поле ветров со скоростями до 10.2 м/с в зал. Мордвинова, которое смещалось в восточном направлении, следуя за циклоном, и 31.07.2012 ситуация практически повторилась, но в этот раз холодный фронт опережал циклон. Ветра на середину этого дня в зал. Мордвинова были несколько слабее – скорости достигали 9.6 м/с. Волнение также было слабее, что видно и по текущим спектрам.

Следует отметить, что оба этих синоптических события вызвали в основном ветровое волнение с периодами до 8.5 с и максимумом на 7 с. Энергия волн зыби была на два порядка ниже. Такое короткопериодное волнение характерно больше для проходящих фронтов, нежели для циклонов. Поэтому очевидно, что воздействие холодных фронтов на волнение в обоих этих случаях было преобладающим.

## Выводы

Проведен анализ особенностей волнения в районе юго-восточного побережья о. Сахалин по данным наблюдений за волнением и с привлечением данных по ветру и барическим возмущениям при прохождении циклонов за период с 8 по 24 августа 2012 г.

Установлено, что отдаленные циклоны южного типа могут вызывать опережающий на несколько суток приход зыби в пункты наблюдения прибрежной зоны зал. Мордвинова (юго-восточное побережье о. Сахалин). Случаи, когда такие циклоны, подойдя к акватории Охотского моря, не возбуждают сильное штормовое волнение в нем, по-видимому, связаны с начавшимся заполнением и блокирующим действием поля высокого атмосферного давления (свыше 1020 гПа) антициклона, располагающегося над Тихим океаном.

Неглубокие циклоны юго-западного типа из Японского моря с давлением в центре около 1005 гПа сопровождаются слабыми ветрами от 2.4–2.7 м/с в южной части Охотского моря до 5.1–5.5 м/с в его центральной части. Такие ветра могут генерировать ветровые волны с периодами от 3 до 7 с и значимой высотой от 0.13 до 0.68 м.

Показано, что обширные холодные фронты при своем перемещении над Охотским морем способны вызывать сильные ветра. Так, мы наблюдали волнение высотой до 1 м, возбужденное ветрами со скоростями около 11.4 м/с 10 августа и скоростями около 10.7 м/с 23 августа.

За время наших летних наблюдений глубоких циклонов над районом не было. Тем не менее подошедшие к Охотскому морю неглубокий циклон западного типа с давлением в центре 1000 гПа и холодный фронт общими усилиями вызвали поле ветров со скоростями до 10.2 м/с в зал. Мордвинова, которое смещалось в восточном направлении, следуя за циклоном, и генерировало волны высотой до 2 м в районе мыса Свободный.

Несмотря на то что скорости ветров в отдельных синоптических ситуациях доходили до 10.8 м/с, а генерируемые такими ветрами волны могут достигать значимой высоты 2.6 м, нами за время летних наблюдений 2012 г. зарегистрирована максимальная высота волнения в районе мыса Свободный 2.5 м. Это связано с тем, что поля сильных ветров большей частью находились на значительном удалении от точек наблюдения.

## Список литературы

1. Иваненков Г.В., Матушевский Г.В., Ржеплинский Г.В. Эффект генерации волн движущимся атмосферным холодным фронтом // *Изв. АН СССР. ФАО*. 1977. Т. 13, № 1. С. 80–87.
2. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Кириллов К.В. Предвестники шторма // *Геосистемы переходных зон*. 2018. Т. 2, № 4. С. 332–338. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.332-338>
3. *Лоция Охотского моря. 2011. Вып. 1. Книга 1406* / Упр. навигации и океанографии Министерства обороны РФ. 2007.
4. Мастерских М.А., Сиротов К.М. О расчете скорости ветра в узких зонах холодных атмосферных фронтов над водной поверхностью морей и океанов // *Труды ГМЦ СССР*. 1992. Вып. 324. С. 130–134.
5. Плеханов Ф.А., Ковалев Д.П. Программа комплексной обработки и анализа временных рядов данных уровня моря на основе авторских алгоритмов // *Геоинформатика*. 2016. № 1. С. 44–53.
6. *Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в морях и океанах: науч.-метод. пособие* / под ред. Е.С. Нестерова. М.: Росгидромет, 2013. 337 с.
7. Рожков В.А. *Методы вероятностного анализа океанологических процессов*. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 280 с.
8. Longuet-Higgins M.S. On the distribution of the height of the sea waves: same effects on nonlinearity and finite band width // *J. Geophys. Res.* 1980. Vol. 85(C3). P. 1519–1522. <https://doi.org/10.1029/jc085ic03p01519>
9. Munk W.H., Miller G.R., Snodgrass F. E., Barber N.F. Directional recording of swell from distant storms // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical and Physical Sciences*. 1963. Vol. 255, N 1062. P. 505–584. <https://doi.org/10.1098/rsta.1963.0011>
10. Persson P., Ola G., Hare J.E., Fairall C.W., Otto W.D. Air–sea interaction processes in warm and cold sectors of extratropical cyclonic storms observed during FASTEX // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2005. № 607 (131). P. 877–912. <https://doi.org/10.1256/qj.03.181>
11. Pierson W.J., Moskowitz L. A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii // *J. Geophys. Research*. 1964. Vol. 69. P. 5181–5190. <https://doi.org/10.1029/jz069i024p05181>
12. Stewart R.H. Introduction to physical oceanography. Dep. Oceanography Texas A & M University, 1997–2000. 351 p.

## Сведения об авторах

КОВАЛЕВ Дмитрий Петрович (ORCID 0000-0002-5184-2350), доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории, КОВАЛЕВ Петр Дмитриевич (ORCID 0000-0002-7509-4107), доктор технических наук, ведущий научный сотрудник – лаборатория волновой динамики и прибрежных течений, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; ХУЗЕЕВА Марина Олеговна, начальник отдела гидрологии моря, Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Южно-Сахалинск.