

УДК 551.46

ИЗУЧЕНИЕ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГЛУБОКИХ ЦИКЛОНОВ

© 2012 г. Д.П. Ковалев

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Проанализированы данные натурных наблюдений в береговой зоне при прохождении глубоких циклонов. Был выбран отрезок времени, в течение которого на районы наблюдений оказывали влияние три глубоких циклона. Интерес представляет генерация длинноволновых процессов при прохождении циклонов с разными метеорологическими параметрами при различных направлениях подхода к берегу. Для составления карты погодных условий привлечены данные УГМС, проанализированы метеорологические данные, полученные с цифровой метеостанции, а также спектральные характеристики колебаний уровня гидростатического давления в точках наблюдения. Были выявлены частоты возбуждения длинноволновых колебаний, вызванных циклонами. Особое внимание уделялось диапазону периодов волн зыби и ветрового волнения. Обнаружено возбуждение волн зыби при подходе циклона на нехарактерных частотах с последующим смещением в свой частотный диапазон.

Ключевые слова: волновые процессы, глубокие циклоны, волны зыби, ветровые волны, резонансные частоты.

Введение

Известно, что при прохождении циклонов над о. Сахалин на акваториях заливов, бухт и портов области и Дальневосточного региона наблюдается интенсификация волновых процессов, особенно сильно проявляющаяся в береговой зоне; в ряде случаев формируются опасные явления. Резкое усиление штормового волнения на фоне общего нагонного повышения уровня приводит к размыву берегов, разрушению берегозащитных сооружений и находящихся на побережье промышленных объектов, размыву выходов подводных нефте- и газопроводов на берег, повреждению судов.

В связи с этим большой интерес представляет изучение особенностей генерации волновых процессов в береговой зоне при циклонах с различными параметрами и направлением движения относительно побережья. Важным методом изучения условий формирования опасных ситуаций являются инструментальные измерения параметров

волнения при помощи специальной аппаратуры – автономных и кабельных регистраторов придонного гидростатического давления. Одновременно, как правило, проводится регистрация атмосферных процессов при помощи устанавливаемых на побережье цифровых метеостанций.

Использованные данные и методы исследования

Для проведения натурных наблюдений на различных участках побережья о. Сахалин с 2001 г. устанавливаются цифровые измерительные комплексы, включающие в себя автономные регистраторы волнения, цифровые метеостанции, а также привлекаются синоптические карты гидрометеослужбы. Для выявления общих закономерностей интенсификации волновых процессов при воздействии глубоких циклонов необходима установка измерительных комплексов в местах с различной топографией берега, в закрытых и открытых бухтах, портах, которые одновременно с метеостанциями фиксируют направление подходов циклонов к берегу. Ранее проводимые исследования локализовали измерения волновых процессов, вызываемых метеорологическими факторами, только в конкретных пунктах измерения [Ивельская и др., 2001; Ковалев и др., 2007, 2009]. В настоящее время проводится наблюдение траекторий прохождения глубоких циклонов и изучение связанных с ними волновых возмущений в нескольких точках побережья.

Используемые при наблюдениях автономные регистраторы волнения (АРВ) изготавливаются СКТБ «ЭЛПА», г. Углич [Чернов и др., 2006] и позволяют проводить измерения с дискретностью 1 Гц, что дает возможность исследовать трансформацию ветровых волн и зыби в прибрежной зоне, образование инфрагравитационных волн – прибойных биений, разрывных течений, а также явление тягуна в портах и гаванях. Полученные материалы позволяют оценить влияние топографических условий (степени открытости побережья, характера изменения глубины с расстоянием от берега) на особенности этих процессов в зависимости от метеорологических условий.

Кроме того, проходящий циклон может вызвать штормовой нагон, существенно повышающий уровень моря, что усиливает воздействие штормового волнения. Это приводит к размыву береговых сооружений, смыву грузов с пирсов и причалов.

Результаты работы

Для изучения был выбран отрезок времени с 20 сентября по 3 октября 2007 г. За это время на район постановки приборов оказывали влияние три глубоких циклона с давлением в центре около 990 мбар. Траектория одного из них, двигавшегося с территории Приморского края на восток и пересекавшего южную часть о. Сахалин в период с 25 по 27 сентября 2007 г., показана на рис. 1. По мере продвижения на восток этот циклон углублялся, смещаясь в юго-восточном направлении, и 26 сентября он объединился с циклоном, пришедшим с юга. Изобары для этой синоптической ситуации показаны штриховыми линиями. После этого циклон стал двигаться в северо-восточном направлении вдоль Курильской гряды.

Циклон 22–24 сентября распространялся по схожему пути, но несколько севернее описанного. Еще один циклон 28 сентября вышел с юга Приморья на южную часть о. Сахалин и, углубляясь, резко повернул на север.

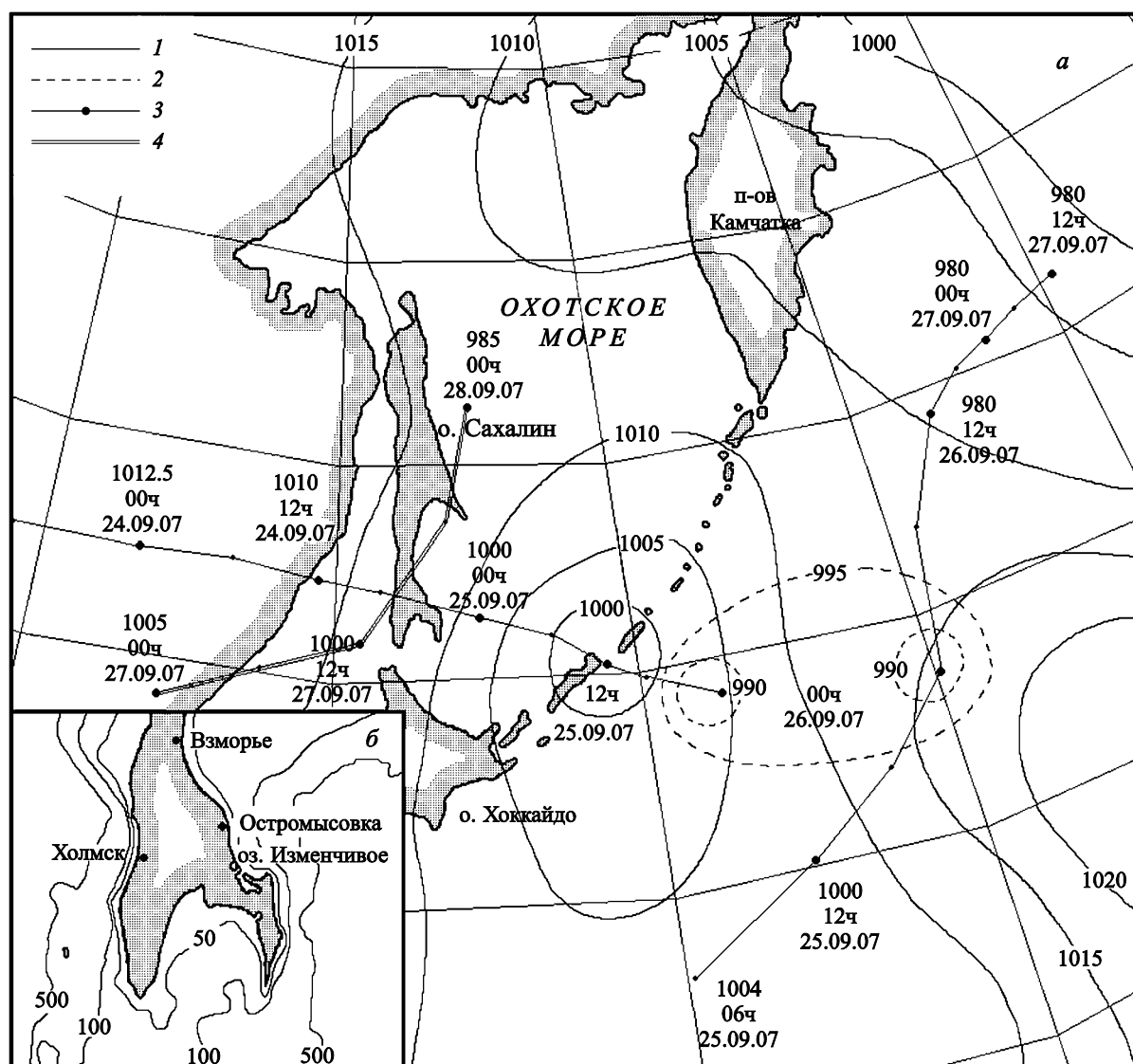


Рис. 1. Карта региона, пути циклонов по данным СахУГМС (а) и пункты расположения измерителей волнения в южной части о. Сахалин (б)

1 – изобары, характеризующие синоптическую ситуацию на 12 ч 25.09.2007 г. (GMT); 2 – изобары, характеризующие синоптическую ситуацию на 00 ч 26.09.2007 г. (GMT); 3 – пути циклонов; 4 – путь циклона над Сахалином 27–28.09.2007 г.

В течение этого периода автономные измерители волнения работали в порту Холмск, вблизи пос. Взморье, на стационаре ИМГиГ Остромысовка и у пересыпи оз. Изменчивое (рис. 1, б). Регистрация морского волнения выполнялась с секундной дискретностью. В записях уровня моря хорошо выделяются моменты усиления волнения при штормах, вызванных прохождением циклонов над местом установки приборов. Эти записи в дальнейшем подвергались спектральному анализу для изучения вариаций спектральных характеристик при различных погодных условиях.

Кроме того, на стационаре Остромысовка была установлена цифровая метеостанция WS 2300, которая осуществляла измерение атмосферного давления, скорости и направления ветра с часовой дискретностью. Записи колебаний атмосферного давления и скорости ветра на стационаре приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

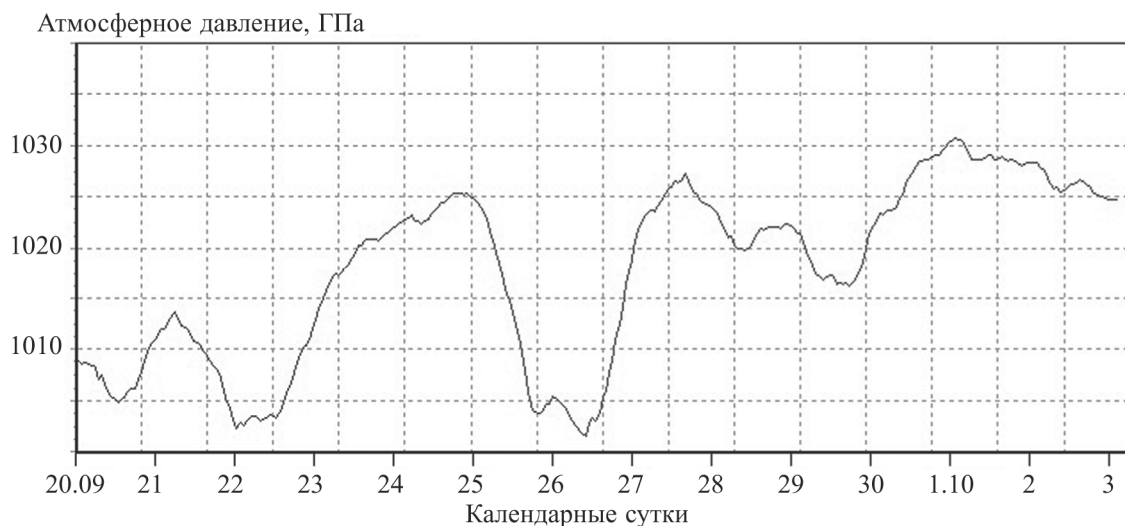


Рис. 2. Колебания атмосферного давления на стационаре Остромысовка с 00 ч 20.09.2007 г.

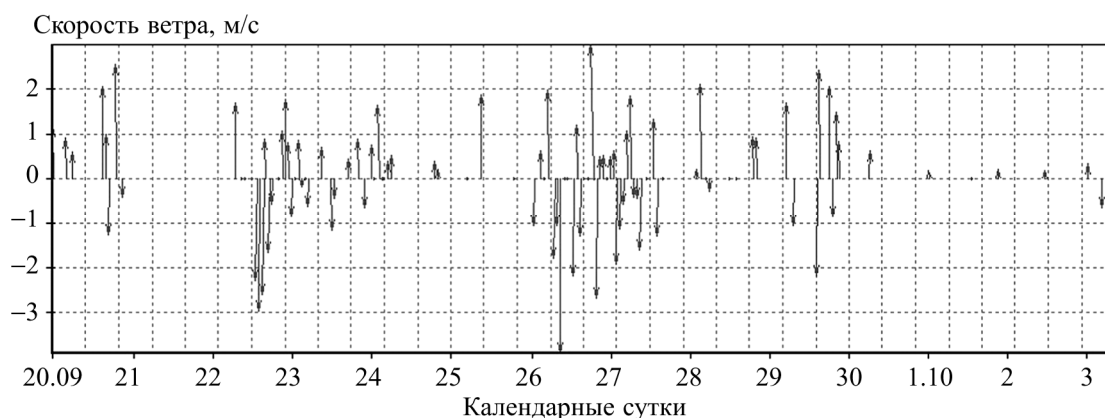


Рис. 3. Флуктуации скорости ветра с часовой дискретностью на стационаре Остромысовка с 00 ч 20.09.2007 г.

По записи атмосферного давления за исследуемый период (см. рис. 2) видно, что для стационара Остромысовка глубокие минимумы давления – около 1000–1005 ГПа, связанные с прохождением центров циклонов, относятся к 22 и 26 сентября, менее глубокий минимум – к 29 сентября. При подходе центров двух первых циклонов к точке наблюдения ветер был незначительный (см. рис. 3); сильных порывов ветра не наблюдалось, что связано, по-видимому, с «экранированием» метеостанции сопками Сусунайского хребта (наблюдаются только вдольбереговые ветры). При прохождении всех циклонов, независимо от их траектории, на стационаре Остромысовка наблюдалась резкая смена северных и южных ветров (имеющих вдольбереговое направление в данном районе).

Для анализа волновых процессов в пунктах наблюдения были отобраны временные ряды колебаний уровня моря с 20 сентября по 3 октября 2007 г. с дискретностью 1 с. Рассчитывались текущие спектры в диапазоне периодов от 2 до 1000 с. Результаты расчетов для пос. Взморья, оз. Изменчивое и порта г. Холмск приведены на рис. 4–6.

Текущие спектры для уровня моря у пос. Взморья и оз. Изменчивое имеют сходный характер. При подходе циклонов наблюдается резкое увеличение энергии колебаний на периодах ветровых волн и зыби примерно от 5 до 12 с, а также более низкочастотных волн в диапазоне периодов от 12 до 500 с, который, согласно работе [Рабинович, 1993], соответствует диапазону периодов инфрагравитационных волн (ИГ).

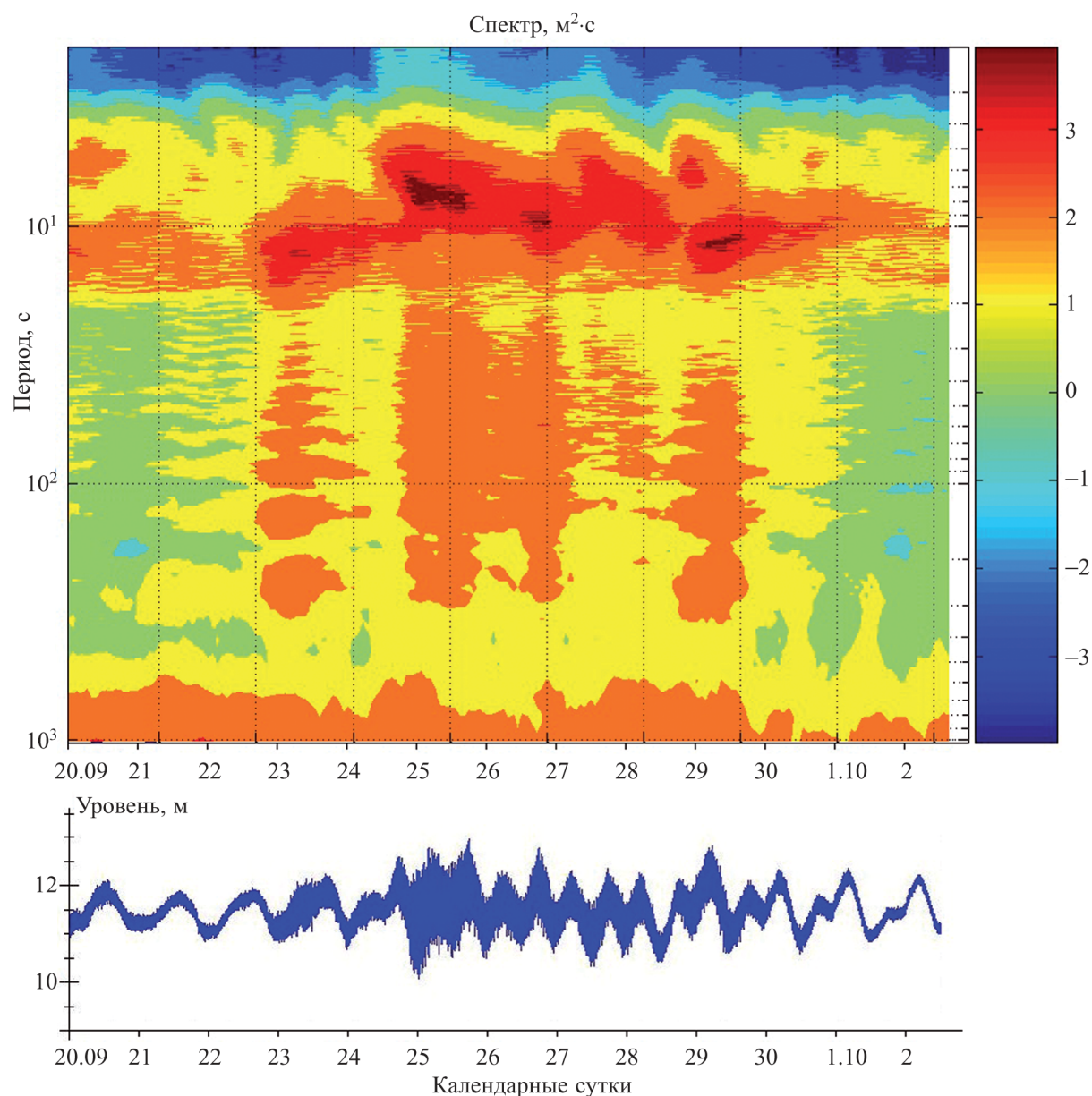


Рис. 4. Текущий спектр по данным измерения АРВ № 24, установленного вблизи пос. Взморье

Видно также, что спектр формирующихся ИГ волн носит модовый, дискретный характер и соответствует максимумам энергии ветрового волнения и зыби.

Рассмотрим более подробно спектры волновых процессов, зарегистрированных на трех донных станциях, установленных вблизи пересыпи оз. Изменчивое, в период сильного шторма (в данном случае 25 сентября 2007 г.) [Чернов и др., 2007]. Во всех спектрах выделяется мощный пик на периодах 8–9 с, отвечающий волнам зыби (см. рис. 6). Только на самой ближней к берегу станции можно выделить еще один, существенно более слабый пик с периодом около 4 с. В целом заметно повышение энергии в высокочастотной части спектра на этой станции. В то же время различия в уровне энергии на основном пике незначительные, хотя глубина моря на станциях различается примерно в 2 раза. Судя по фазовому спектру, наиболее мощные волны зыби с периодами 8–9 с распространялись почти по нормали к берегу от станции 8 к станции 3.

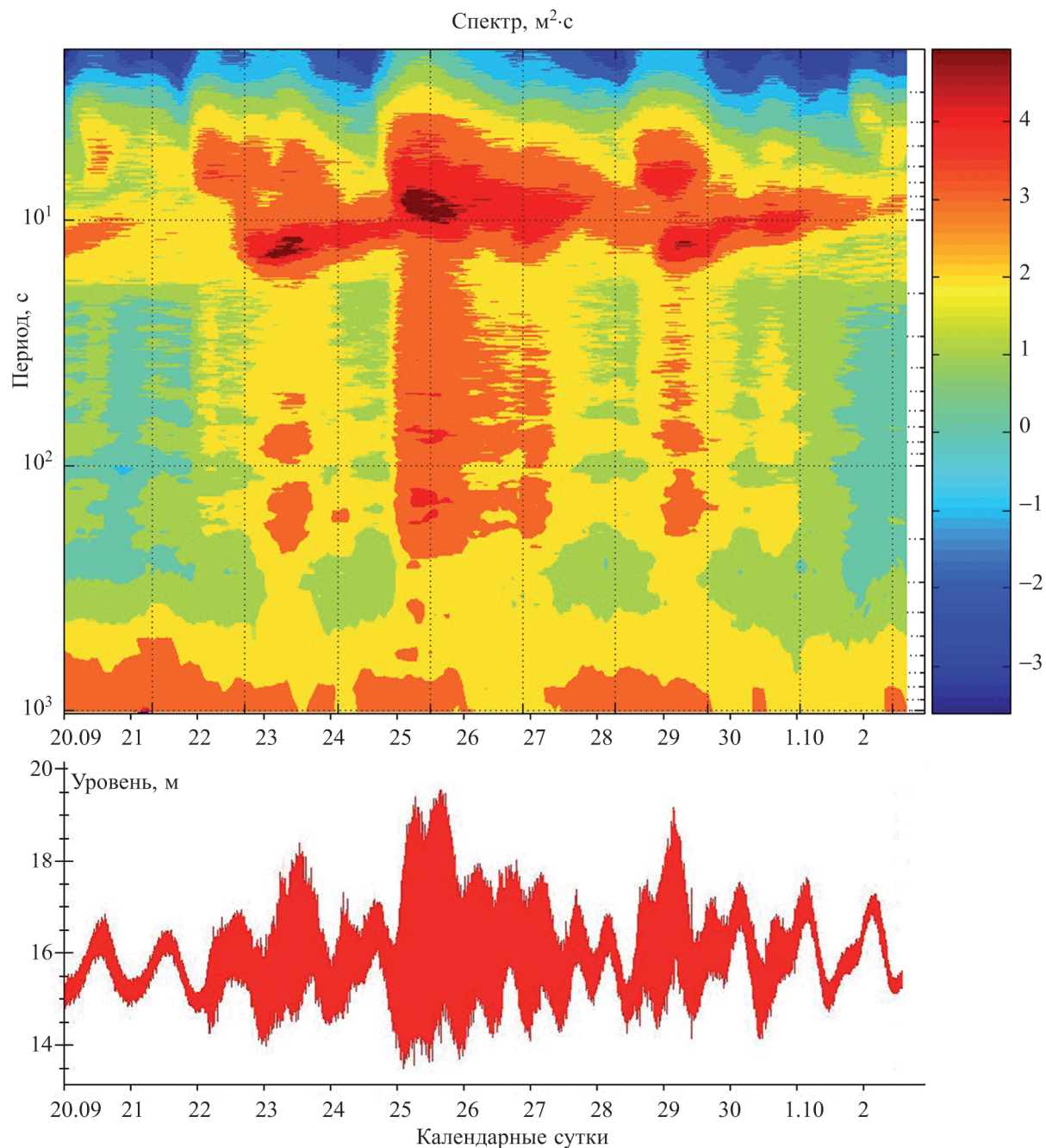


Рис. 5. Текущий спектр по данным измерения АРВ 34, установленного вблизи пересыпи оз. Изменчивое

Вызывает интерес заметное повышение уровня энергии на станции № 3 (в особенности по сравнению со станцией 8) в низкочастотной части спектра – на периодах от 10 до 200 с. При этом выделяется несколько сравнительно широких пиков, что, вероятно, указывает на не очень устойчивый, «плывущий» во времени характер данных колебаний.

Самый низкочастотный пик (на станции 18 – отсутствует, а на станции 8 – хорошо выражен и достаточно узкий) отвечает периоду около 120 с. Сдвиг фаз между станциями 8 и 3 равен 2π .

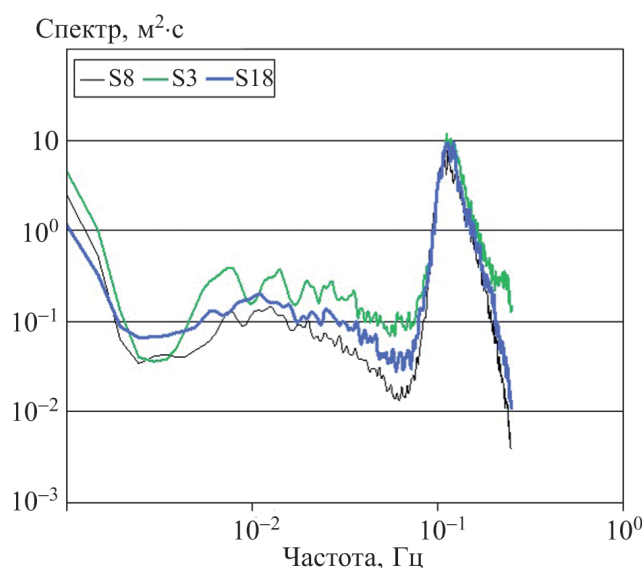


Рис. 6. Спектры волнового процесса по измерениям на станциях 3, 8 и 18 в сильный шторм (25.09.2007 г.). Число степеней свободы – 96

Следующий пик очень широкий – скорее всего, он является результатом недостаточного разделения пиков с периодами около 70 и 80 с – причем на станции 3 сильнее выражен первый, а на станции 8 – второй из них. Необычно также и то, что для периода 80 с сдвиг фаз равен 0, а для 70 с – $2/3\pi$. Вероятно, на отрезке, по которому рассчитывались спектральные характеристики, структура инфрагравитационных волн в данном частотном диапазоне (и в целом по всему диапазону 20–200 с) достаточно существенно изменялась. Тем не менее очевиден факт их образования при штормовой ситуации, причем, вероятно, важно то обстоятельство, что в штормовом волнении доминировали волны зыби.

Максимумы энергии волнения и ИГ волн для оз. Изменчивое наблюдаются при приближении к берегу, а для пос. Взморья зависят не от расстояния до берега, а от вдоль-берегового (широтного) места постановки датчиков (датчики 24, 29, 34, примерно 107-й км дороги Оха–Южно-Сахалинск, около 700–1000 м от берега), что связано, по-видимому, с батиметрией (рис. 7).

Для восточного побережья о. Сахалин, несмотря на то что подъем энергии волнения вблизи оз. Изменчивое начинается почти на сутки раньше и в более высокочастотном диапазоне, чем для пос. Взморье, активное формирование ИГ наблюдается, тем не менее, в моменты максимумов волновой энергии, которые по времени совпадают для обеих точек наблюдения.

Следует отметить наблюдающиеся на спектрах при прохождении циклона колебания максимума волновой энергии от периодов около 5 до 10–12 с.

Рассчитанный текущий спектр для АРВ, установленного в порту г. Холмска (западное побережье о. Сахалин) (рис. 8), имеет существенные отличия от ранее рассмотренных. Повышение энергии ветрового волнения и зыби в моменты прохождения циклонов здесь также наблюдается, но в гораздо меньшей степени, поскольку бухта закрытая и ветровое волнение в значительной степени гасится. Поэтому и энергия волновых движений в диапазоне формирования ИГ также существенно меньше.

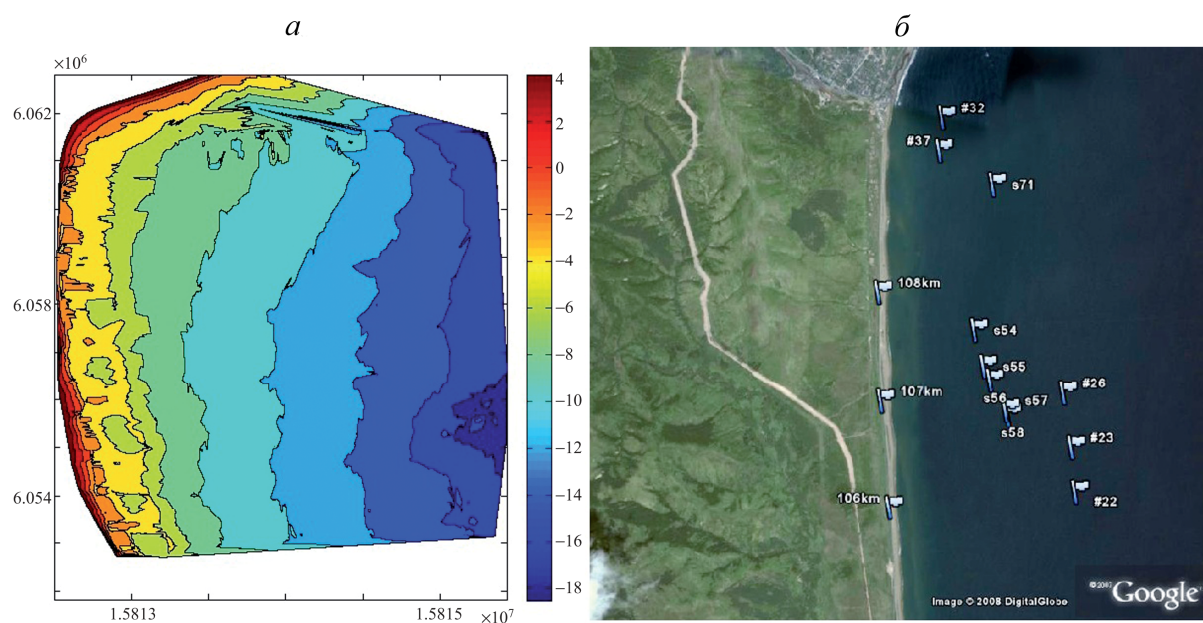


Рис. 7. Батиметрическая карта района наблюдений (а) и схема расположения датчиков около пос. Взморье (б)

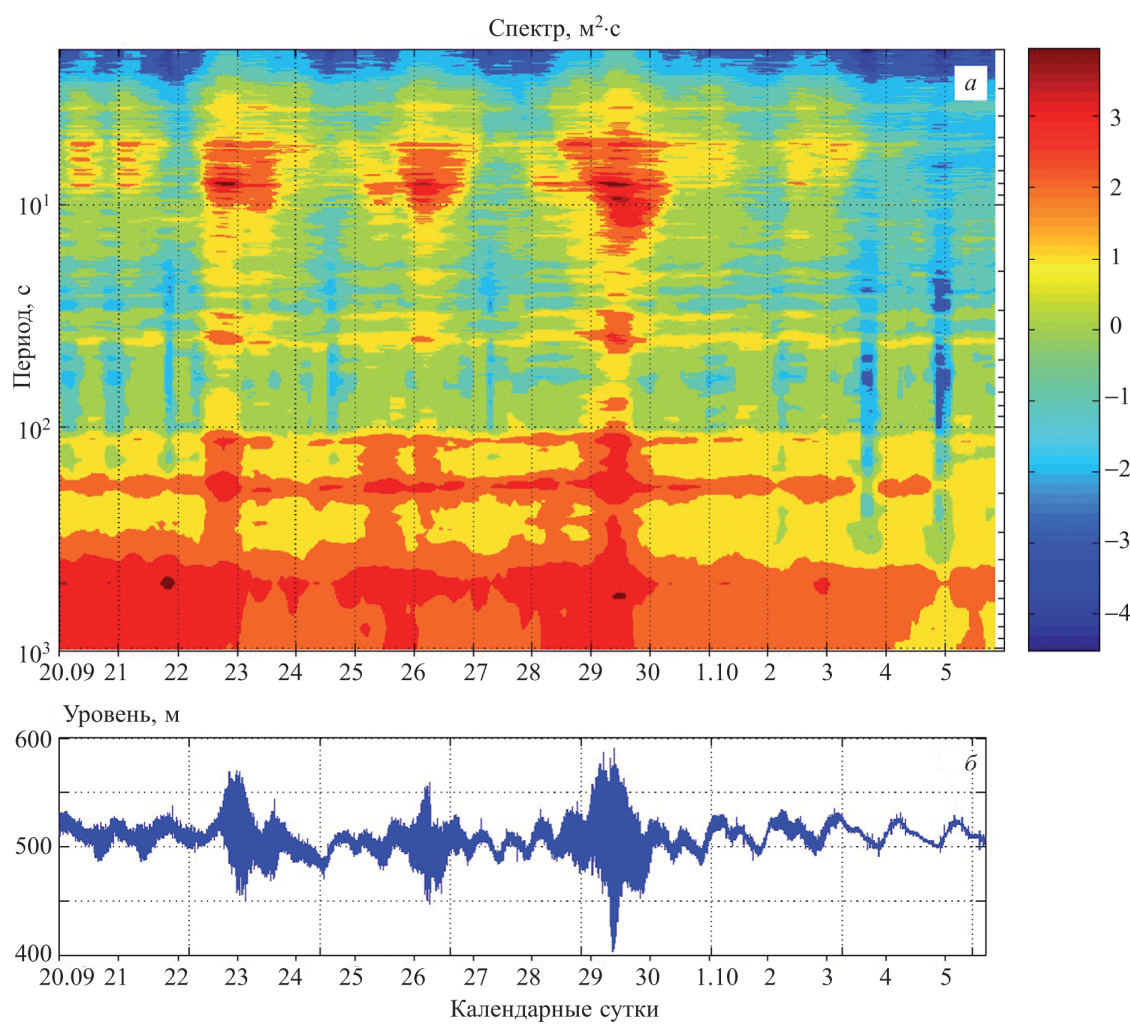


Рис. 8. Текущий спектр по данным измерения АРВ, установленного в кутовой части бухты порта Холмск (а) и запись колебаний уровня моря (б)

В низкочастотной части спектра наблюдаются максимумы с периодами около 8, 3 и 1.5 мин, связанные с собственными колебаниями бухты. Первый обусловлен резонансным усилением колебаний на данной частоте, соответствующей одноузловой продольной сейше бухты [Ивельская и др., 2001; Ковалев и др., 2007; Левин и др., 2008; Kovalev et al., 2008]. Энергия собственных колебаний с периодом около 3 мин существенно, почти на порядок, выше энергии фоновых колебаний, а во время шторма это различие становится еще более значительным.

Как отмечалось в работе [Ковалев и др., 2007], это связано с тем, что данная мода эффективно возбуждается за счет трансформации в бухте развитого ветрового волнения, и, по-видимому, прежде всего с ней связано явление тягуна в Холмской бухте. Вероятно, при штормовом волнении на акватории порта основную роль в формировании этого явления начинает играть трехузловая сейша с периодом 1.5 мин.

Следует также отметить, что для восточного побережья максимальная энергия волнения наблюдалась во время прохождения второго циклона. В то же время для западного побережья максимальное волнение связано с третьим циклоном.

Заключение

Проведен анализ колебаний уровня моря, атмосферного давления и скорости ветра в широком диапазоне периодов на разнесенной сети станций при прохождении глубоких циклонов над местом установки приборов.

Установлено, что увеличение энергии волновых движений в прибрежной зоне, связанное с атмосферными возмущениями, приводит к образованию модового, дискретного спектра инфрагравитационных волн.

Проведенный анализ показал факт образования ИГ волн при штормовой ситуации, причем, вероятно, важно то обстоятельство, что в штормовом волнении доминировали волны зыби.

Обнаружены колебания максимума спектральной энергии в диапазоне периодов от 5 до 12 с.

Литература

- Ивельская Т.Н., Храмушин В.Н., Шевченко Г.В. Мониторинг морских опасных явлений в порту города Холмск // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 146–159.
- Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Экспериментальные исследования цунами в порту г. Холмск // Изв. АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2007. Т. 20. С. 68–79.
- Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Экспериментальные исследования явления тягуна в порту г. Холмск // Изв. АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2007. Т. 20. С. 106–112.
- Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П., Чернов А.Г., Золотухин Д.Е. Регистрация Симуширского и Невельского цунами в порту г. Холмска // Тихоокеанская геология. Т. 28, № 5. С. 36–40.
- Левин Б.В., Куркин А.А., Зайцев А.И., Пелиновский Е.Н., Ковалев Д.П., Чернов А.Г., Ялнчер А. Невельское цунами 2007 года: инструментальные данные и численное моделирование // Докл. РАН. 2008. Т. 421. С. 1–4.

- Лухнов А.О., Чернов А.Г., Куркин А.А., Полухина О.Е. Проблемы создания аппаратно-программного комплекса для исследования гидродинамики шельфовой зоны // Изв. АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2006. Т. 18. С. 120–123.
- Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 325 с.
- Чернов А.Г., Лухнов А.О., Полухина О.Е., Куркин А.А., Ковалев Д.П., Ковалев П.Д. Натурный эксперимент по регистрации захваченных волн в районе м. Острый (Охотское море) // Изв. АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2006. Т. 18. С. 91–98.
- Чернов А.Г., Ковалев П.Д., Куркин А.А., Шевченко Г.В., Лухнов А.О. Исследование особенностей гидродинамических условий прилегающего к озеру Изменчивое участка взморья // Изв. АИН им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2007. Т. 20. С. 8–16.
- Kovalev P., Shevchenko G., Kovalev D. Experimental study of tsunamis in the Kholmsk Harbor, SouthWestern Sakhalin // NH6.1-1TH4P-0406; 1607-7962/gra/EGU2008-A-02341. Vienna (Austria), 2008.

Сведения об авторе

КОВАЛЕВ Дмитрий Петрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1б. Тел.: (4242) 79-33-35. E-mail: kovalevdp@imgg.ru

INVESTIGATION OF SEA WAVES AT INFLUENCE OF DEEP CYCLONES

D.P. Kovalev

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. Data of full-scale experiments in a coastal zone is analyzed at passage of deep cyclones, the interval of time during three deep cyclones influenced on areas of observation has been chosen. Interest is represented by generation of long-wave processes at passage of cyclones with different meteorological parameters at various directions of the approach to coast. The data of Sakhalin meteorological service for drawing up of a weather conditions maps were used in the paper, the meteorological data received from a digital weather station and also spectral characteristics of a hydrostatic pressure fluctuations (sea level) in points of observation are analyzed. Frequencies of long-wave generation caused by cyclones have been determined. The special attention was given to a range of the periods of swell and waves. Generation of a swell on uncharacteristic frequencies is determined at the approach of a cyclone with the subsequent displacement in the frequency range.

Keywords: wave processes, deep cyclones, swell, waves, resonant frequencies.