

УДК 551.466.34

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЛН “ПРЕДВЕСТНИКОВ” ТАЙФУНОВ, ПРОХОДЯЩИХ НАД ВОСТОЧНО-КИТАЙСКИМ И ЯПОНСКИМ МОРЯМИ

© 2023 г. Академик РАН Г. И. Долгих¹, С. С. Будрин^{1,*}, В. А. Швец¹, С. В. Яковенко¹

Поступило 10.07.2023 г.

После доработки 01.08.2023 г.

Принято к публикации 04.08.2023 г.

При прохождении тайфуна Хиннамор с 5 по 6 сентября 2022 г. были зарегистрированы волны зыби, пришедшие в точку регистрации за 20 ч до выхода самого тайфуна на акваторию Японского моря. В ходе анализа натурных данных лазерного измерителя вариаций давления жидкости удалось вычислить область формирования основной группы волн зыби, сгенерированных проходящим тайфуном, и локализовать область генерации волн “предвестников”, а также описать механизмы их формирования и распространения.

Ключевые слова: Японское море, Восточно-Китайское море, волны зыби, тайфун

DOI: 10.31857/S2686739723601576, EDN: BJDFJW

27 августа 2022 г. в 920 км к востоку-юго-востоку от японского острова Ио была зарегистрирована область атмосферных возмущений, северная и юго-восточная части которых начали вращение с формированием области низкого давления в центре. Примерно в полночь по всемирному времени следующих суток было зафиксировано усиление образования до уровня тропической депрессии, которая к тому времени находилась в акватории Филиппинского моря. 28 августа депрессия набрала силу тропического шторма, получив собственное имя Хиннамор [1]. В 9 ч (UTC) циклон усилился до тайфуна первой категории по шкале классификации Саффира–Симпсона с максимальной постоянной скоростью ветра в 39 м/с, а затем до тайфуна третьей и четвертой категории с плотным глазом бури диаметром 15 км. Примерно в 15 ч (UTC) 30 августа тропический циклон достиг максимальной стадии, став супертайфуном пятой категории с максимальной зарегистрированной скоростью ветра в 72 м/с и минимальным давлением 920 ГПа.

Данный тайфун, а точнее волны зыби, созданные им, были зарегистрированы лазерным измерителем вариаций давления жидкости [2], установленным на шельфе залива Петра Великого вблизи на м. Шульца со стороны открытой части

Японского моря. Ниже, на рис. 1, представлены траектория движения тайфуна и спектрограмма записи волн зыби.

Сопоставив время и метеорологические данные, становится понятно, что волны зыби были сгенерированы тайфуном Хиннамор где-то на акватории Японского моря и пришли в точку проведения измерения уже после прохода этой точки самого тайфуна. На спектрограмме (рис. 1 б) зафиксированы несколько временных отметок. Вторая отметка, датированная 06 сентября 17:30 (UTC), соответствует моменту прихода основной группы волн зыби, созданных тайфуном, в точку измерений и была выбрана по критерию максимальной высоты волны. Волны зыби, пришедшие в точку измерений 05 сентября в 21:30 (UTC) и отмеченные первым маркером, интересны тем, что видимой причины для их образования не было. На акватории, судя по метеоданным, так же, как и в точке измерений ветер не превышал 7–8 м/с и никак не мог вызвать волны с периодом 11–15 с. Можно предположить, что волны могли быть вызваны движением тайфуна, однако судя по времени регистрации, тайфун только вышел на акваторию Японского моря (рис. 1 а). Это означает, что данные волны появились раньше 21:30(UTC) вне акватории Японского моря и могут являться “предвестниками” распространения опасного атмосферного явления. В связи с этим можно сформулировать несколько научных задач, а именно: 1) определение места формирования волн “предвестников” и 2) механизма их распространения от источника до точки их регистрации.

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

*E-mail: ss_budrin@mail.ru

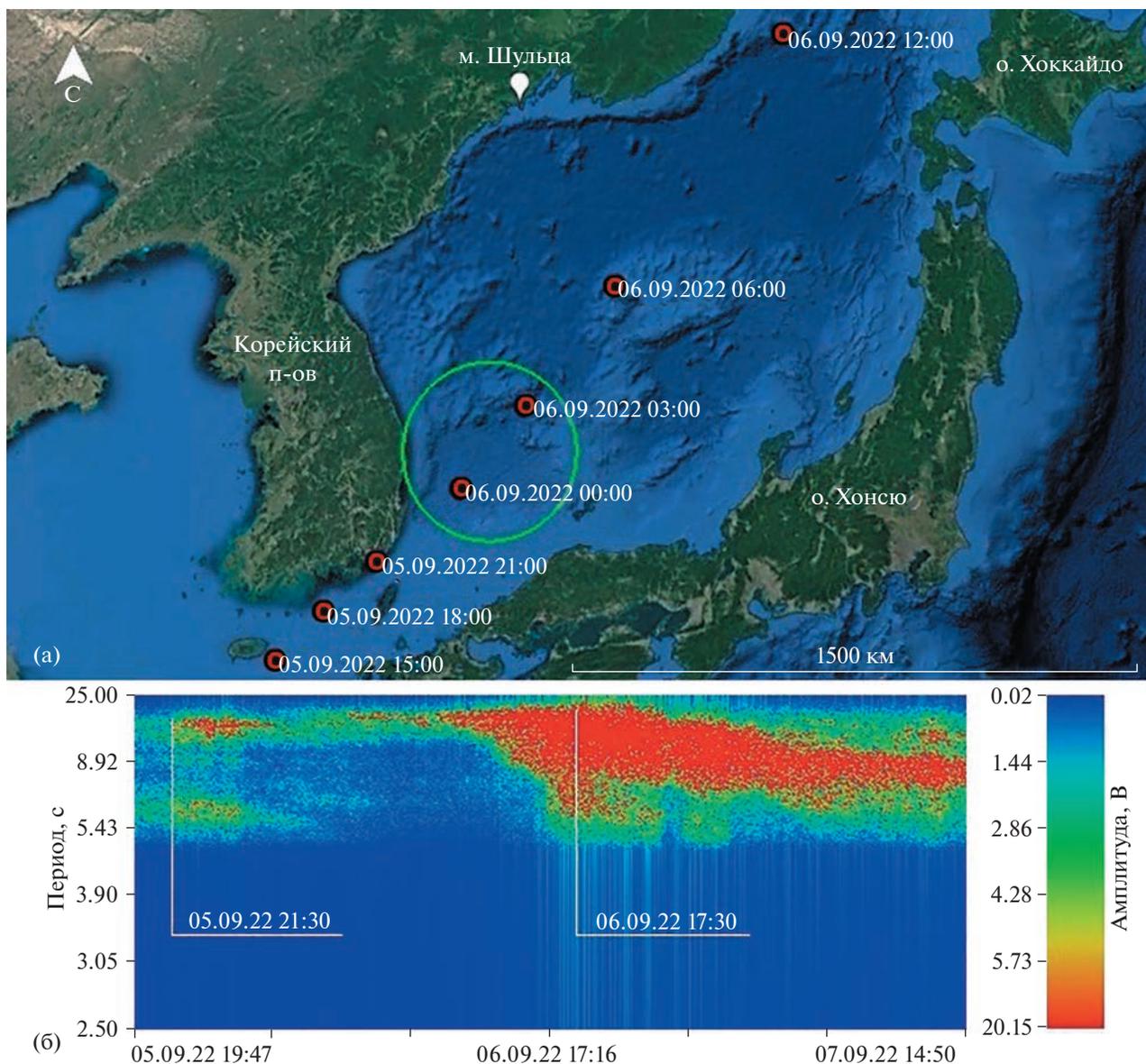


Рис. 1. Траектория движения тайфуна Хиннамнор (а) и спектрограмма записи лазерного измерителя вариаций давления жидкости за период прохождения тайфуна над акваторией Японского моря (б). Время на рисунке представлено в формате UTC. Окружностью зеленого цвета обозначена область формирования основной группы волн зыби, сгенерированных проходящим тайфуном.

Для того чтобы решить первую задачу, необходимо локализовать область формирования основной группы волн зыби, пришедших в точку измерений 06 сентября 17:30 (UTC). Для этого необходимо сделать несколько предположений, которые будут в дальнейшем использоваться для расчетов. Временной интервал для расчетов расстояния, которое прошли волны зыби, рассчитывается от времени регистрации максимальной амплитуды волнения. Таким образом, мы будем рассчитывать расстояние, которое прошли волны самой большой амплитуды и длиной волны. Такие волны обычно и формируют основную группу схо-

жих по периоду волн и распространяются с групповой скоростью, соответствующей скорости распространения основного периода. Конечной точкой временного интервала будем считать время регистрации минимального атмосферного давления, зарегистрированного в точке измерений, так как именно в этот момент зона пониженного давления тайфуна начинает воздействовать на область проведения измерений и находится в непосредственной близости от нее. Минимальное атмосферное давление в точке измерений было зарегистрировано метеостанцией 06 сентября 06:00 (UTC) и составило 984 гПа (рис. 2). Таким

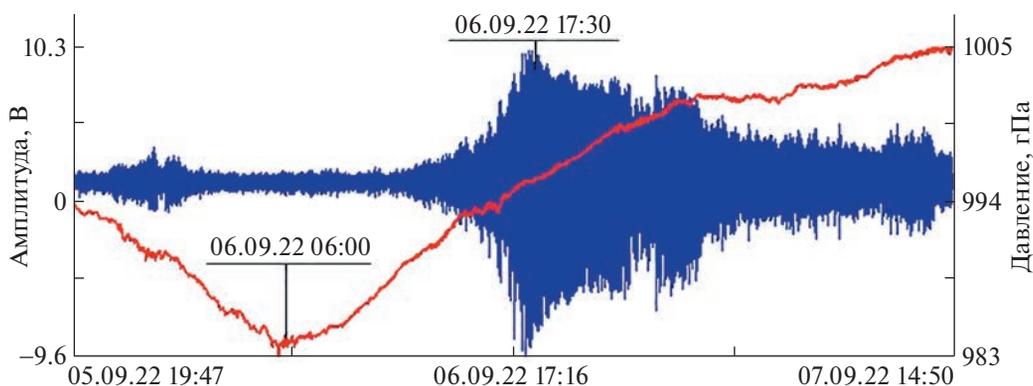


Рис. 2. Синхронные записи лазерного измерителя вариаций давления жидкости (синий график) и атмосферного давления (красный график), зарегистрированного метеостанцией в точке проведения измерений.

образом, будем считать, что волны зыби сформировались до 6:00 и распространялись к точке приема 11.5 ч.

Для расчета расстояния до области генерации волн зыби, предположим, что изначально волны распространяются с фазовой скоростью, а при захвате волн с близкими периодами начинают двигаться с групповой скоростью. Исходя из этого, нас интересует область, где происходит формирование групп волн, от которой они начинают распространяться до точки регистрации с групповой скоростью. Фазовые и групповые скорости рассчитаем по выражениям, представленным ниже [3]. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

$$c = \frac{gT}{2\pi}, \quad V = \frac{c}{2}, \quad (1)$$

где c – фазовая скорость распространения волн, V – групповая скорость, T – период волнения, g – ускорение свободного падения.

Предполагается, что при воздействии ветрового поля на незволнованную водную поверхность начинают образовываться волны небольших периодов, которые в результате начинают распространяться по акватории. При продолжительном воздействии период волн увеличивается, соответственно и увеличивается скорость распространения волн. В результате волны с большим периодом догоняют волны с меньшей скоростью распространения и формируют группы, которые в результате и приходят в точку проведения измерений. Построив концентрические окружности с радиусами, соответствующими расстояниям, которые прошли волны с минимальными и максимальными периодами, мы получаем области распространения волн с групповыми и фазовыми скоростями. Область же, которая находится между ними, будет являться областью формирования групп волн и предположительно является областью генерации волн, регистрируемых в точке измерений. Данная область при этом будет ограни-

чиваться окружностями с радиусами, равными расстоянию, которое прошли волны с минимальным периодом с фазовой скоростью (745 км), и волны с максимальным периодом и групповой скоростью (497 км). Исходя из рис. 1 а, можно увидеть, что в найденную область попадают 2 точки траектории движения тайфуна, соответствующие временному интервалу с 00:00–03:00 (6 сентября). Таким образом, будем считать, что основная группа волн, сгенерированная ветровым полем проходящего тайфуна, скорее всего была сформирована в данной области в указанный промежуток.

Из спектрограммы записи волнения, представленной на рис. 1 б, мы можем определить временной интервал между приходом основной группы волн зыби и группой волн “предвестников” тайфуна, который составляет 20 ч. Ранее мы нашли область формирования основной группы волн зыби и теперь, зная время распространения, можно определить область образования волн “предвестников”. Для этого, как и в первом случае, рассчитаем фазовые и групповые скорости распространения волн и путь, который они прошли за 20 ч (табл. 2).

Согласно расчетам, результаты которых представлены в табл. 2, волны “предвестники” образуются в области диаметром 360 км за пределами акватории Японского моря (рис. 3). Данная область совпадает с точками траектории движения

Таблица 1. Скорости и дистанции распространения волн зыби зарегистрированных периодов, сгенерированных тайфуном Хиннамнор. R_c – дистанция распространения волн с фазовой скоростью, R_v – дистанция распространения волн с групповой скоростью

T, c	$c, m/c$	$V, m/c$	R_c, km	R_v, km
15.40	24.03	12.01	994.91	497.45
11.54	18.00	9.00	745.54	372.77

Таблица 2. Скорости и дистанции распространения волн зыби зарегистрированных периодов

T , с	c , м/с	V , м/с	R_c , км	R_v , км
15	23.33	11.66	1680	840
11	17.11	8.55	1232	616

тайфуна, которые он проходил в период с 04.09.22 09:00 по 05.09.22 06:00. Как было показано выше, разница во времени прихода интересующего нас волнового процесса и основной группы волн, сформированных тайфуном, составляет 20 ч. Если от точки, находящейся в первой области на трассе движения тайфуна, например 06.09.22 00:00, отнять 20 ч, то мы попадаем в точку 05.09.22 04:00, которая входит в искомую область, что доказывает правильность предыдущих расчетов и предположений.

В работах [4–6] приведены результаты исследований, описывающих механизмы образования и распространения волн “предвестников” штормовых явлений, однако в нашем случае механизмы имеют некоторые особенности, касающиеся

региональных особенностей распространения тайфунов и географического положения. Учитывая вышесказанное, можно заключить, что волны “предвестники” тайфунов образуются на акватории Восточно-Китайского моря, а механизм образования их непосредственно связан с рельефом дна и глубиной данной акватории. Тайфун, выходя на шельф Восточно-Китайского моря, недалеко от о. Тайвань замедляет свою скорость. Данное поведение характерно практически для всех тайфунов, проходящих эту область. Скорость движения тайфуна при выходе на шельф составляла около 12 км/ч, а скорость ветра в вихре составляла более 30 м/с. Таким образом, при небольшой скорости распространения тайфун продолжительное время воздействовал на акваторию Восточно-Китайского моря и создавал волны с периодом 15 с, что подтверждают метеорологические данные. В результате волны, имеющие скорость распространения выше скорости движения тайфуна, выходили из-под его влияния и через Корейский пролив распространялись на акватории Японского моря в сторону точки проведения измерений.

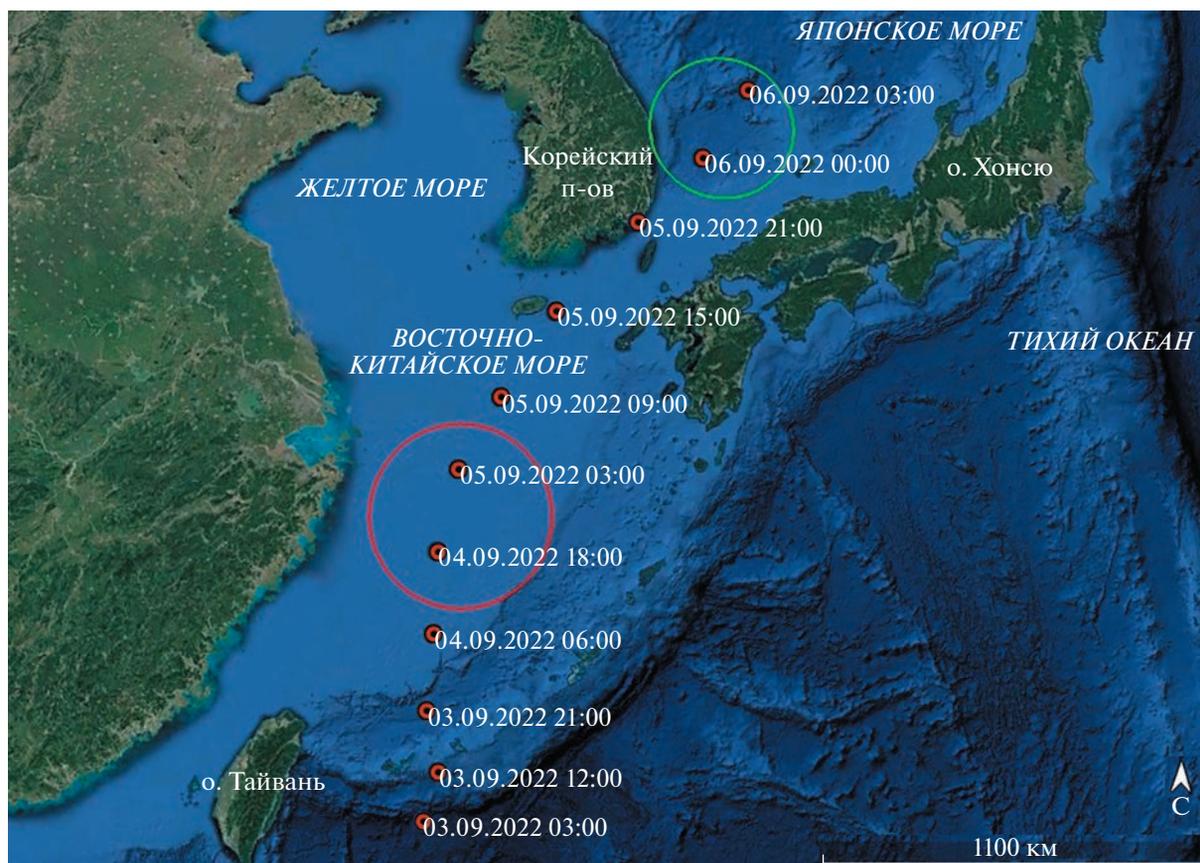


Рис. 3. Траектория движения тайфуна Хиннамор в период с 3 по 6 сентября 2022 г. Красной окружностью показана область образования волн “предвестников”, зеленая окружность – область формирования основной группы волн, сгенерированных проходящим тайфуном. Дата и время представлены в формате UTC.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-00121, <https://rscf.ru/project/22-17-00121/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. RSMC Tropical Cyclone Reasoning No. 2 for TS Hinnamnor (2211). Japan Meteorological Agency (28 августа 2022). Дата обращения: 22 августа 2022. Архивировано 22 августа 2022 года.
2. Долгих С.Г., Будрин С.С., Плотников А.А. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы с механической системой компенсации температурного воздействия // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 4. С. 663–666.
3. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988. 324 с.
4. Munk W.H., Miller G.R., Snodgrass F.E., Barber N.F. Directional recording of swell from distant storms // *Philos. Trans. Royal Soc. London. A: Math. Phys. Sciences*. 1963. V. 255. № 1062.
5. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Кириллов К.В. Предвестники шторма // *Геосистемы переходных зон*. 2018. Т. 2. № 4. С. 332–338.
6. Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Хузеева М.О. Оценка параметров волн зыби для прогнозирования штормовых ситуаций // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019. № 2 (372). С. 114–128.

DETERMINATION OF “FORERUNNER”-WAVES FORMATION ZONES FOR TYPHOONS PASSING OVER THE EAST CHINA AND JAPAN SEAS

Academician of the RAS G. I. Dolgikh^a, S. S. Budrin^{a,#}, V. A. Shvets^a, and S. V. Yakovenko^a

^a*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

[#]*E-mail: ss_budrin@mail.ru*

During the passage of Typhoon Hinnamnor from September 5 to 6, 2022, typhoon-generated swell waves were discovered to arrive at the point of observation 20 hours before the typhoon itself entered the Sea of Japan. During the analysis of data obtained by laser instrument measuring fluid pressure variations, it was possible to determine the area of formation of the main group of swell waves generated by a passing typhoon, and to localize the area of generation of “forerunner” waves, as well as to describe the mechanisms of their formation and propagation.

Keywords: Sea of Japan, East China Sea, swell, typhoon