

ВЛИЯНИЕ ТАЙФУНОВ НА ГИДРОЛОГИЮ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

**Самченко А.Н., Пивоваров А.А., Кошелева А.В.,
Швырев А.Н., Ярошук И.О.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
samchenko@poi.dvo.ru*

В заливе Петра Великого Японского моря находится гидроакустический полигон ТОИ ДВО РАН, где активно проводят акустические эксперименты с сопровождением гидрометеорологических измерений акватории [1]. Гидрометеорологические измерения выполняются в заливе в весенний, летний и осенний сезоны на протяжении более 15 лет. Происходит значительная перестройка гидрологической ситуации под воздействием приходящих тайфунов в летний период. Модельные расчеты показали, что метеорологические условия, когда скорость ветра достигает 54 км/ч и более, являются определяющим фактором в значительных изменениях гидрологии залива [2]. Так, например, нами установлено, что под воздействием осеннего северо-восточного ветра со скоростью до 54 км/ч и продолжительностью порядка двух суток развивается мощный апвеллинг на побережье.

На шельфе залива проводятся гидрологические измерения с помощью пространственно-распределенного гидрологического комплекса [3]. Гидрологический комплекс состоит из вертикальных заякоренных термогирлянд и автономных регистраторов давления, установленных в нижней и верхней части термогирлянды. Время работы комплекса составляло 10–15 дней. На рисунке 1 показаны схема гидрологических исследований, которые проводились в июле – августе 2017 года, в августе 2019 года и августе 2021 г. В местах установки термогирлянд проводились измерения с помощью STD-зонда RBR-concerto. В другое время схема гидрологических экспериментов схожая за исключением некоторых дополнительных элементов.

На рисунке 2 показаны треки прохождения всех тайфунов, которые оказали влияние на гидрологическую ситуацию в заливе Петра Великого во время проведения гидрологических измерений. Прежде всего рассмотрим гидрологическую ситуацию в заливе Петра Великого в летний период, когда синоптическая обстановка характеризуется умеренными погодными условиями. Например, в период проведения гидрологических измерений с 25 июля по 2 августа 2012 года метеорологические усло-

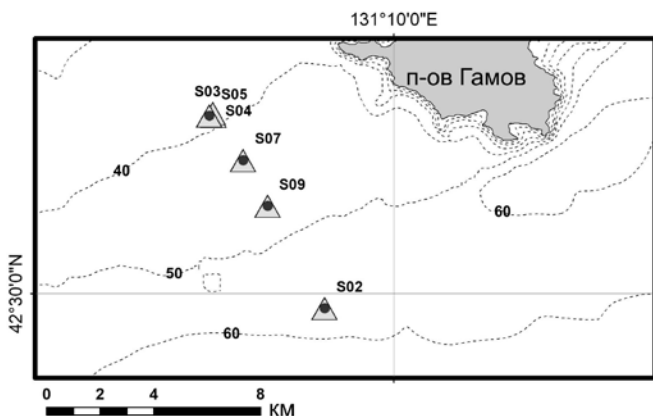


Рис. 1. Схема гидрологических экспериментов

вия характеризовались достаточной стабильностью: ветер был слабый и лишь временами усиливался до умеренного южных направлений, волнение морской акватории было слабое. Температура воздуха повышалась в течение дня до 27°C , падая ночью до 20°C . Приповерхностный слой воды был прогрет до $19\text{--}21^{\circ}\text{C}$, у дна (на глубине 75 м) температура составляла примерно 1°C (рисунок 3). На рисунке 3а термоклина проявляются областью сгущения изотерм. Наблюдается три термоклина в толще воды до глубины около 70 м. Первый термоклин расположен вблизи поверхности моря на глубинах до 8 м, где температура изменилась на 4°C . Второй скачок зафиксирован на глубинах 35–50 м, где температура изменилась на 5°C , а последний – на горизонте 60–80 м. Температура изменилась на 7°C в третьем термоклин, расположенном у дна. С уменьшением глубины места гидрологическая ситуация изменяется незначительно. За счет рельефа «срезается» нижний слой воды, и остается только прогретая его часть. Подобная гидрологическая ситуация была описана в работе [4], где гидрологические исследования были проведены в 1984–1990 годах. Таким образом, можно утверждать, что гидрологическая ситуация в регионе достаточно стабильна в пределах определенных сезонов за последние десятилетия.

Тайфун Volaven прошел у побережья Приморья с вечера 28 до утра 29 августа 2012 года, принес с юго-запада теплую воду. Максимальная скорость ветра составила 126 км/ч. Во время проведения наблюдений, ветер был умеренный до сильного северо-западного направления. По нашим наблюдениям (рис 3а), прогретый слой воды $19\text{--}22^{\circ}\text{C}$ достигал глубины 15–20 м. Ниже наблюдался слой скачка до 35 м, где температура воды упала с 19°C до 5°C , и далее до дна температура изменялась плавно от 5°C до 1°C . Следует отметить, что с увеличением толщины слоя про-

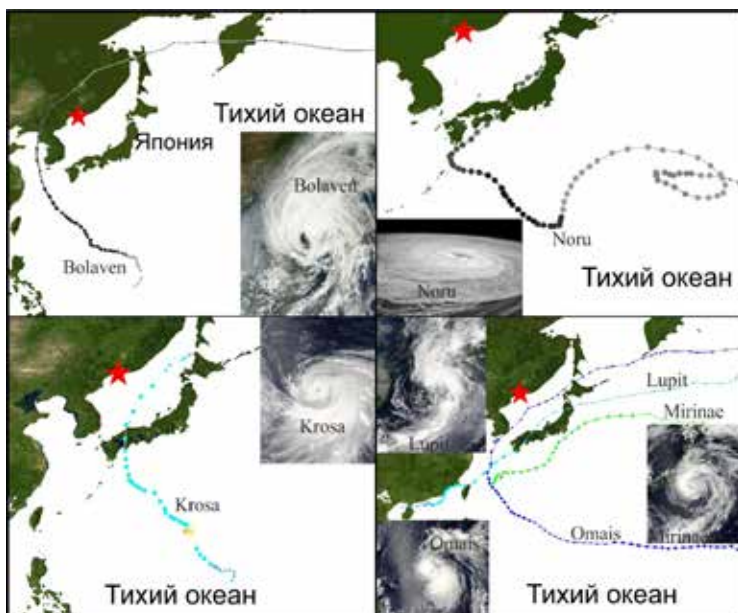


Рис. 2. Путь от зарождения до разрушения тайфунов и фото с космоса: а) тайфун Bolaven¹ (19 Августа – 1 сентября 2012); б) Тайфун Noru² (20 Июля – 8 Августа 2017); в) Тайфун Krosa³ (5-16 Августа 2019); г) Тайфун Omais⁴ (10-24 Августа 2021), Тайфун Mirinae⁵ (3-10 Августа 2021), Тайфун Lupit⁶ (2-9 Августа 2021). Звездочкой отмечен регион исследования.

¹Typhoon Bolaven (2012). ([https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Bolaven_\(2012\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Bolaven_(2012)))

²Typhoon Noru (2017). ([https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Noru_\(2017\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Noru_(2017)))

³Typhoon Krosa (2007). ([https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Krosa_\(2007\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Krosa_(2007)))

⁴Tropical Storm Omais (2021). ([https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Pacific_typhoon_season#Tropical_Storm_Omais_\(Isang\)](https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Pacific_typhoon_season#Tropical_Storm_Omais_(Isang)))

⁵Tropical Storm Lupit (2021). ([https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Pacific_typhoon_season#Severe_Tropical_Storm_Mirinae_\(Gorio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Pacific_typhoon_season#Severe_Tropical_Storm_Mirinae_(Gorio)))

⁶Tropical Storm Lupit (2021). ([https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_Storm_Lupit_\(2021\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_Storm_Lupit_(2021)))

гретой более чем на 15°C воды из-за явления перенапряжения в период тайфуна вода холоднее 5°C наблюдалась на глубинах менее 40 м, что не характерно для залива Петра Великого летом. Кроме того, на глубинах 30–35 м был высокоградиентный термоклин с понижением температуры более 2°C на 1 м. В июле и начале августа приповерхностный слой воды прогреет равномерно до 20°C, у дна температура воды опускается до 1°C, и нижний слой скачка находится на глубине порядка 70–80 м. В конце

августа наблюдался прогрев верхнего слоя воды до температуры более 21°C и вместе с тем увеличивался градиент температуры с глубиной. За счет чего нижний слой скачка поднялся до глубин 60–70 м. Скорее всего 25 августа уже сказывалось влияние тайфуна Volaven, который «толкал» впереди себя массы теплой воды с юго-запада Японского моря.

Тайфун Noru стал вторым самым продолжительным тропическим циклоном северо-западной части Тихого океана за весь период наблюдений и вторым наиболее интенсивным тропическим циклоном бассейна в 2017 году. В Южном Приморье тайфун Noru прошел краем 7–8 августа 2017 года, ветер достиг 54–72 км/ч с порывами до 120–130 км/ч. Высота волн наблюдалась размером в 4–5 м у побережья Приморья. На рисунке 2б показаны изменения температуры по глубине и времени с 6 по 10 августа 2017 года, зафиксированные термогирляндой S03 (глубина места в точке постановки 40 м). На ней 6 августа наблюдалась спокой-

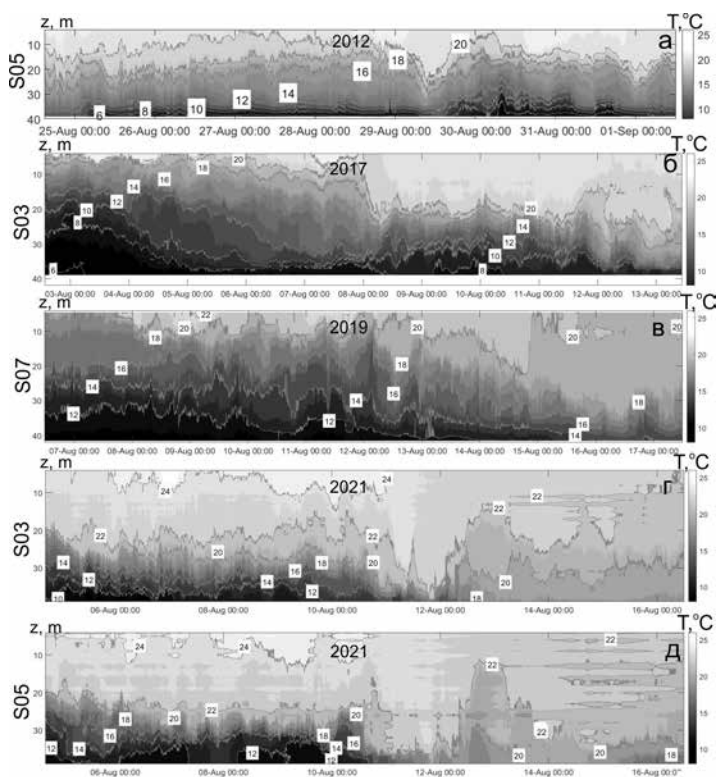


Рис. 3. Температурные профили полученные с термогирлянды: а) S05 Август 2012; б) S03 Август 2017; в) S07 Август 2019; г) S03 Август 2021; д) S05 Август 2021.

ная картина – два слабовыраженных широких термоклина, один приповерхностный от 7 до 15 м с падением температуры порядка 7°C и второй на глубинах 27–35 м и изменением температуры на 8°C. В период начала прохождения тайфуна Noru, 7 августа, при возникновении ветровой нагрузки примерно 12–17 м/с, появился приток более теплой воды на поверхности и были зафиксированы проявления пакетов интенсивных внутренних волн. Глубины расположения термоклин до 8 августа не изменялись, увеличился градиент температуры в верхнем термклин до 9°C. Значительные изменения гидрологических параметров пришлось на 8 августа, когда были зафиксированы максимальные ветровые нагрузки до 126 км/ч. Прогретый слой воды более 20°C наблюдался до глубины 17–19 м, далее на глубинах 20–30 м прослеживался мощный термоклин с изменением температуры на 15°C. Также фиксировалось прохождение интенсивных внутренних волн. Можно отметить, что сформированный тайфуном Noru мощный термоклин наблюдался до 12 августа.

При прохождении тайфуна Krosa 19 августа 2019 года распределенные автономные системы были установлены с 7 по 18 августа (рисунок 2в). В период с 7 по 14 августа ярко выраженных термоклин не наблюдалось и амплитуды короткопериодных внутренних гравитационных волн были незначительны. Можно обратить внимание, что приток теплой поверхностной воды начался еще за два дня до прихода тайфуна на побережье. В это время стал образовываться слой воды на глубине 20–30 м с повышенным градиентом температуры. 16 августа уже полностью сформировался ярко выраженный термоклин на глубине 35–40 м с изменением температуры более чем на 12°C. Подобная гидрологическая ситуация наблюдалась при прохождении тайфуна Bolaven в 2012 году и тайфуна Noru в 2017 году. На фоне внедрения поверхностной теплой воды остается холодный придонный слой и образуется мощный термоклин на глубинах 30–40 м. Влияние тайфунов заметно за несколько дней до их прихода и гидрологическая картина остается стабильной на протяжении нескольких суток после прохождения тайфуна.

В 2021 году была зафиксирована уникальная ситуация, когда на погодные условия на побережье Приморья влияли сразу три тайфуна с временным промежутком в одни сутки. Тайфун Mirinae 7–9 августа 2021 года краем прошел по Японскому морю, не приближаясь к Приморью. Тайфун Lupit прошел вдоль побережья Приморья 8–9 августа (рисунок 1д) и тайфун Omais подошел к побережью Приморья ближе всех 10–11 августа. Влияние тайфунов Mirinae и Lupit на гидрологические характеристики было схожее с предыдущими годами, где произошло внедрение теплой поверхностной воды с южной части Японского моря и наблюдался мощный термоклин на глубинах 30–40 м. По всей видимости, траектория движения тайфуна Omais с центра Тихого океана через пролив Цусима

и вдоль Корейского полуострова принес рекордно прогретую огромную массу поверхностной воды к южному побережью Приморья. Кроме того, в гидрологической обстановке на побережье Приморья заметно ощущалось влияние двух ранее проходивших тайфунов, наблюдался 30-метровый прогретый слой воды и термоклин был смещен ко дну (9–11 августа на рис. 2г, д). На поверхности моря температура воды, измеренная с помощью СТД-зонда во время гидрологических разрезов, достигала 28°C. Прогретый слой теплой воды более 18°C наблюдался до дна на глубине моря более 60 м. Термоклин опустился ниже глубины крайней заглубленной термогириянды. Также, к сожалению, время постановки и снятия термогириянд в 2021 году не позволило наблюдать за гидрологической ситуацией на шельфе без влияния тайфунов.

Литература

1. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Чебров В.Н., Шевченко Ю.В. Геофизический полигон «мыс Шульца» // Вестник ДВО РАН. 2010. № 5. С. 165-169.
2. Kosheleva A.V., Lazaryuk A. Yu., Yaroshchuk I.O. Estimation of acoustic and oceanological seawater characteristics by temperature measurements in the Sea of Japan shelf zone // 5th Pacific Rim Underwater Acoustics Conference (Vladivostok, Russia, 23-26 September 2015) / Proceedings of Meetings on Acoustics. 2015. Vol. 24. Iss. 1. 005001.
3. Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырев А.Н., Ярошук И.О. Использование гидрофизического исследовательского комплекса в натурном эксперименте на шельфе Японского моря // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 2(32). С. 56-61. DOI: 10.37102/24094609.2020.32.2.007
4. Navrotsky V.V., Lozovatsky I.D., Pavlova E.P., Fernando H.J.S. Observations of internal waves and thermocline splitting near a shelf break of the Sea of Japan (East Sea) // Continental Shelf Research. 2004. Vol. 24. Iss. 12. P. 1375–1395. DOI: 10.1016/j.csr.2004.03.008.