

ОСОБЕННОСТИ ИНЕРЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ВОЗБУЖДЕННЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ АТМОСФЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ (НА ПРИМЕРЕ ТАЙФУНА ЛАЙНРОК)

Новотрясов В.В., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф.

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
ДВО РАН, 690041 Владивосток, Балтийская 43,
e-mails: vadimnov@poi.dvo.ru, lobanov@poi.dvo.ru*

Статья поступила в редакцию 14.03.2019, одобрена к печати 26.08.2019

Мы провели исследование инерционных колебаний скорости течений в заливе Петра Великого, индуцированных тайфуном Лайнрок. Исследование выполнено по данным измерений заякоренным акустическим доплеровским профилографом скорости. Анализ данных показал, что под действием тайфуна в заливе сформировалось поле скорости с инерционными колебаниями (ИК) с аномальными характеристиками. Установлено, что спектральная энергия ИК скорости течений с левым и правым вращением имеют один порядок, а большая ось годографа скорости этих течений на порядок превышает его малую ось. Обнаружено изменение инерционных частот у течений с циклональным вращением, а также «красное смещение» этой частоты в придонном и «голубое смещение» в поверхностном слое у инерционных течений с антициклональным вращением. Обнаружено параметрическое взаимодействие ИК с антициклональным вращением и синоптической составляющей течений с тем же направлением вращения. Высказано предположение о том, что аномальные характеристики инерционных течений с двумя типами вращения обусловлены их взаимодействием с низкочастотной составляющей Приморского течения в районе наблюдений, индуцированной тайфуном.

Ключевые слова: инерционные колебания, течения с вращением, акустический профилометр, тайфун, залив Петра Великого

Введение

Инерционные колебания вектора скорости (ИКС) течений являются одним из наиболее распространенных явлений, встречающихся в морях и океанах. Они проявляются в измерениях скорости течений в заданной точке, вектор которых вращается по часовой стрелке или против нее с частотой, равной значению параметра Кориолиса на широте наблюдений. ИКС играют важную роль в перемешивании морских вод и переносе энергии. Основной причиной таких явлений считается действие ветра. По этой причине наблюдаемое в океане преимущественное направление распространения энергии – от его поверхности ко дну (Гилл, 1986).

На основе наблюдений на Гавайском шельфе и последующего анализа свойств ИКС, опубликованного в работах (Бондур и др., 2013; Бондур и др., 2015; Коротаев,

Сабинин, 2017), был выявлен ряд специфических особенностей инерционных течений. Среди них – форма годографа скорости, направление его вращения, периоды вращения вектора скорости и ряд других. Отмечена связь между ИКС и перестройкой поля течений внутри океана.

Целью нашего исследования является изучение специфических особенностей ИКС, вызванных экстремальным атмосферным воздействием, таким как тайфун. В работе анализируются инерционные колебания вектора скорости течений на шельфе залива Петра Великого, сформировавшиеся под воздействием тайфуна Лайнрок. Этот тайфун имел необычную траекторию. Если большинство тайфунов выходит в район залива Петра Великого с юга и юго-запада, то этот тайфун подошел с востока. В 12 ч всемирного скоординированного времени (ВСВ) 30 августа тайфун Лайнрок пересек северную часть о-ва Хонсю вблизи г. Акита и вышел на акваторию Японского моря. Приземное атмосферное давление в центре тайфуна, который перешел в стадию сильного тропического шторма, составило 972 гПа, а скорость ветра – 31 м/с. В 18 ч ВСВ 30 августа тайфун достиг побережья Приморского края, что вскоре привело к формированию максимума нагона в заливе Петра Великого. В это же время было зарегистрировано минимальное приземное атмосферное давление в заливе. По данным измерений автоматизированного метеорологического комплекса, установленного на буре, минимальное приземное атмосферное давление при прохождении тайфуна Лайнрок составляло 975 гПа, а максимальная скорость ветра без учета порывов не превышала 9–11 м/с. В 00 ч ВСВ 31 августа бывший тайфун Лайнрок переместился на материк и стал быстро заполняться. Воздействие тайфуна на циркуляцию в заливе начало уменьшаться и вскоре прекратилось. Исследование выполнено с использованием данных измерений скорости течений в юго-западной части залива с помощью автономной заякоренной океанографической измерительной системы. Анализ данных измерений показал, что под действием тайфуна в районе исследования интенсифицировались не только мезомасштабная составляющая течений с пульсациями ее скорости на частотах, близких к инерционной частоте на широте постановки измерительной системы, но и низкочастотная, синоптическая составляющая струйного Приморского течения.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи. По данным измерений определены и выполнены оценки специфических особенностей ИКС течений в заливе во время прохождения тайфуна. Анализ инерционных течений проводился с использованием нестандартного спектрального анализа, учитывающего вращательный характер этих течений, основанного на методе вращательных компонент (Emery, Thomson, 1998). Указанным методом проанализирована мезомасштабная изменчивость вектора скорости инерционных течений, определены их инерционные периоды, спектральная энергия, форма и эксцентриситет годографа скорости, а также зависимость перечисленных характеристик от глубины.

Данные и методы

В работе использованы данные измерений за период с 00 час 29 августа по 00 час 3 сентября 2016 г., выполненных доплеровским измерителем течений (ADCP) Aquadopp Profiler 400 кГц. Измеритель размещался в нижней части поверхностного буя автономной океанографической измерительной системы Seawatch (производство Fugro-OCEANOR, Норвегия), заякоренной в юго-западной части залива недалеко от о. Фуругельма в точке с координатами $42^{\circ}25'30''$ с.ш. $130^{\circ}55'04''$ в.д. и глубиной места 56 м. Направленный вниз ADCP регистрировал профиль течения в слоях толщиной 4 м в диапазоне глубин от 2 до 45 м с дискретностью 30 мин с точностью 0.5 см/с в диапазоне скоростей 3–250 см/сек. На рис. 1 показана карта-схема района исследования. Знаком (★) отмечено местоположение океанографического буя. Стрелками показано струйное Приморское течение. Стрелкой на компасе отмечен азимут фонового течения в районе буя.

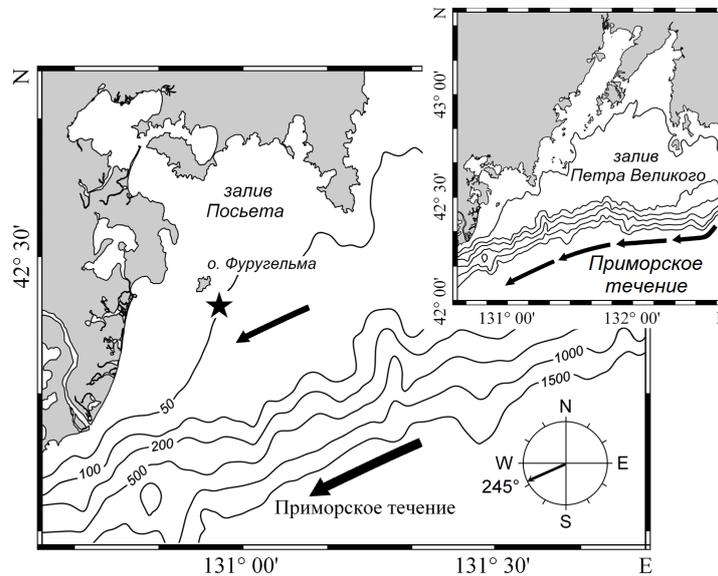


Рис. 1. Карта-схема района исследования.

Для текущего момента времени по данным рассчитывались проекции вектора скорости на меридиан – меридиональное (u) и параллель – зональное (v) течения. Затем реализации u , v течений сглаживались низкочастотным фильтром Тьюки с окном длительностью 73 часа. Полученные реализации с низкочастотными пульсациями синоптического масштаба служили фоном для определения мезомасштабных пульсаций. Последние рассчитывались как разность между фоновыми и исходными реализациями проекций вектора течений на фиксированных горизонтах. По полученным временным рядам мезомасштабных пульсаций u , v течений рассчитывалась дисперсия и стандартное отклонение.

Далее стандартными методами спектрального анализа рассчитывались спектральная плотность мезомасштабных пульсаций зональной (S_{uu}) и меридиональной (S_{vv}) скорости, их взаимный спектр S_{uv} . При этом главное внимание уделялось колебаниям вектора скорости течений на частотах из инерционного

диапазона (1/12–1/24) ц/ч. Учитывая вращательный характер инерционного течения, рассчитывалась спектральная энергия инерционных колебаний вектора скорости с вращением по часовой стрелке S^- (антициклональная компонента) и компоненты с вращением против часовой стрелки S^+ (циклональная компонента). Компоненты спектра S^-, S^+ являются функциями автоспектров S_{uu} и S_{vv} и квадратичного спектра Q_{uv} соответствующих проекций вектора скорости на частотах из инерционного диапазона и рассчитывались по формулам из работы (Emery, Thomson, 1998):

$$S^+ = S_{uu} + S_{vv} + 2Q_{uv}, \quad S^- = S_{uu} + S_{vv} - 2Q_{uv}.$$

Направление вращения вектора инерционных течений определялось с помощью коэффициента вращения $r = (S^+ - S^-) / (S^+ + S^-)$. При условии $S^- > S^+$ спектральная энергия компоненты с левым вращением больше спектральной энергии компоненты с правым вращением, то есть $r > 0$ и направление вращения вектора скорости циклональное. Выполнение противоположного условия $S^- < S^+$ эквивалентно выполнению неравенства $r < 0$, то есть вращение вектора антициклональное. Большая и малая оси годографа скорости инерционных течений, азимут большой оси по отношению к зональному направлению рассчитывались по формулам:

$$l_{\text{maj}}, \text{ min} = \sqrt{S^+} \pm \sqrt{S^-}, \quad 2a = \arctg [2 S_{uv} / (S_{uu} - S_{vv})].$$

Характеристики синоптической и мезомасштабной изменчивости скорости течений в заливе

На рис. 2 представлены реализации азимутов течений на горизонтах $z_2 = 8$ м, $z_{11} = 44$ м, среднего азимута по этим горизонтам и реализация (квадратичный тренд) фонового, низкочастотного азимута. Следует отметить, что среднее по времени от азимутов по всем десяти горизонтам измерений за семь суток составило $\sim 246^\circ$, а стандартное отклонение от него $\sim 4^\circ$. Рассмотрим эволюцию фонового азимута отно-

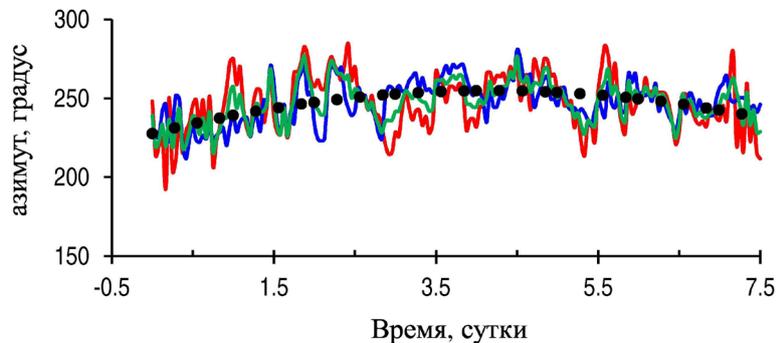


Рис. 2. Реализации азимутов течений в заливе во время прохождения тайфуна на горизонтах $z = 4$ м, 40 м (линии красного и синего цвета соответственно), их среднего (линия зеленого цвета) и квадратичного тренда для среднего азимута (точки черного цвета).

сительно угла 246° . С течением времени фоновый азимут возрастает, приближаясь к значению 246° , превосходит его, достигает максимума на четвертые сутки и далее начинает уменьшаться. При этом вектор скорости фонового течения за это время меняет направление вращения с антициклонального на циклональное.

Согласно графикам на рис. 2 азимуты течений на перечисленных горизонтах демонстрируют высокую степень взаимной корреляции. Расчеты показывают, что между азимутами течений на соседних горизонтах существует сильная линейная положительная связь. С глубиной эта связь ослабевает, но остается значительной даже между азимутами на горизонтах $z_2 = 8$ м, $z_{11} = 44$ м. На этом основании мы пришли к заключению о том, что направление течений в поверхностном 40-метровом слое во время тайфуна направлено в среднем по времени на юго-запад по азимуту, близкому к 246° , с небольшим стандартным отклонением в 4° , меняет антициклональное направление вращения на циклональное.

Аналогичный характер связи выявлен и для модуля скорости течений. Расчеты коэффициентов корреляции модуля скорости на соседних горизонтах дали значения, близкие к 0.9, то есть $r_{i,i+1} \sim 0.9$, что указывает на сильную положительную связь между значениями модуля скорости. С глубиной коэффициент корреляции уменьшается, достигая минимума $r_{1,5} \sim 0.7$ между горизонтами $z_2 = 8$ м, $z_{10} = 40$ м.

Таким образом, до глубины сорок метров течение характеризуется устойчивым в среднем юго-западным направлением в узком секторе углов $246^\circ \pm 4^\circ$ и квазиоднородным по глубине модулем скорости. Следует заметить, что в районе исследования, в указанном секторе углов, расположен азимут стрежня Приморского течения (см. рис. 1). Далее, учитывая квазиоднородное распределение модуля скорости по глубине, а также его азимута мы ограничимся анализом характеристик течения на горизонте $z_3 = 12$ м.

Рассмотрим квадратичную характеристику скорости течений на указанном горизонте, плотность горизонтальной кинетической энергии (ГКЭ) $hke = \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$. На рис. 3а приведены недельные реализации ГКЭ за периоды до прихода и во время прохождения тайфуна, зеленого и синего цвета соответственно. На графике синего цвета обращают внимание растущие на фоне роста синоптической составляющей четыре

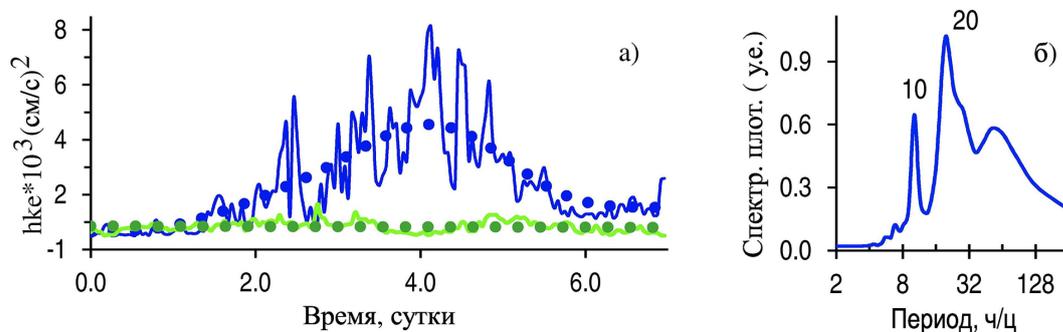


Рис. 3. а) Реализации плотности кинетической энергии на горизонте $z = 12$ м до (линия и точки зеленого цвета) и во время (линия и точки синего цвета) тайфуна; б) спектральная плотность мезомасштабных колебаний плотности кинетической энергии. Цифры рядом с максимумами соответствуют значениям периодов, отвечающих этим максимума.

последовательные мезомасштабные пульсации кинетической энергией. Оценки показывают, что максимальное значение кинетической энергии в единицах $(\text{см/с})^2$ составило $\sim 8 \times 10^3$, а скорости течения – соответственно $\sim 0.9 \text{ м/с}$. Нетрудно оценить частоту колебаний отмеченных пульсаций ГКЭ, воспользовавшись спектральным анализом мезомасштабных колебаний u , v проекций скорости течений и рассчитав их спектральную плотность. Она приведена на рис. 3б. Ее характерной особенностью является два узкополосных пика на частоте $\sim 1/20$ ц/ч, близкой к частоте $\sim 1/18$ ц/ч – инерционной частоте на широте постановки измерительной системы и такого же пика на частоте ~ 10 ц/ч – гармонике частоты $1/20$ ц/ч.

Кружками разного цвета показаны значения низкочастотной или синоптической (далее фоновой) составляющей ГКЭ до и во время тайфуна. Сравнение этих составляющих указывает на их значительные различия. Проведенный анализ показал, что кинетическая энергия пульсаций во время тайфуна превышает ГКЭ пульсаций до его прихода почти на порядок.

Обратимся к вращательным характеристикам синоптической составляющей течений в заливе во время тайфуна. Рассчитав азимуты течений на фазе роста ГКЭ, мы обнаружили, что течение на этой фазе поворачивает по часовой стрелке, то есть представляет антициклональную вращательную компоненту, а на фазе снижения ГКЭ меняет направление вращения на противоположное, то есть представляет циклональную компоненту. Мы обратили внимание на связь между типом вращательной компоненты синоптической составляющей течения и изменением интенсивности инерционных колебаний скорости, то есть в период антициклональной фазы низкочастотного течения происходит взрывной рост ИКС, а в период его циклональной фазы – экспоненциальное затухание этих колебаний.

Рассмотрим мезомасштабную изменчивость зональной u и меридиональной v проекций скорости течений в заливе. На рис. 4 показаны реализации u и v проекций мезомасштабной составляющей скорости течений (черный и серый цвета соответственно), а точками тех же цветов показаны синоптические составляющие указанных проекций. На графиках обращают внимание амплитуды мезомасштабных пульсаций, которые оказались сравнимыми с амплитудами низкочастотных,

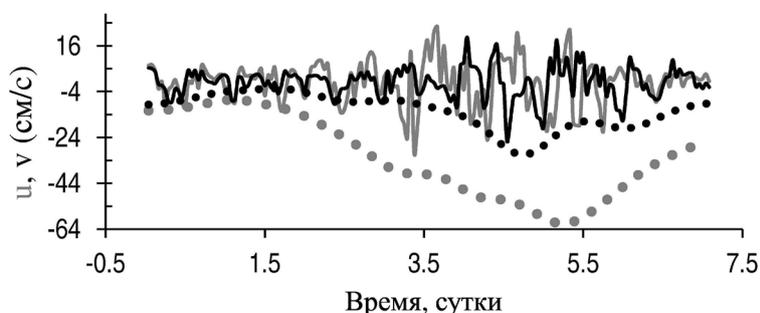


Рис. 4. Реализации синоптической (линии из точек) и мезомасштабной (сплошные линии) составляющих зональной (линия серого цвета) и меридиональной (линия черного цвета) проекций вектора скорости течений во время прохождения тайфуна.

синоптических составляющих изменчивости скорости. Оценки показывают, что эти амплитуды достигают значений 40–50 см/с, а у меридиональной проекции они превышают амплитуду ее синоптической составляющей. В момент максимального развития течений синоптическая составляющая зональной скорости превышает подобную составляющую меридиональной скорости более чем в 3 раза и достигает значений ~ 60 см/с.

Рассмотрим характеристики вращательных составляющих мезомасштабных колебаний вектора скорости течений. Учитывая узкополосный характер спектра мезомасштабных колебаний кинетической энергии, близость определяющей частоты спектра к инерционной частоте, а также характерное свойство колебаний скорости на инерционной частоте, ее определенный антициклональный характер вращения в Северном полушарии, воспользуемся для анализа мезомасштабных колебаний скорости течений методом вращательных компонент в соответствии с работой (Emery, Thomson, 1998).

Согласно этому методу Фурье, компонента вектора скорости течений с вращением содержит составляющие течения с вращением по часовой стрелке (антициклональная или CW компонента) и составляющую течения с вращением против часовой стрелки (циклональная или CCW компонента).

По данным измерений скорости течений, выполненных во время прохождения тайфуна, на заданных горизонтах были рассчитаны S^- и S^+ – спектральные плотности колебаний вектора течений с правым и левым направлениями вращения соответственно. На рис. 5а, б представлены реализации этих спектральных плотностей в диапазоне частот (1/128–1/2) ц/ч.

Спектральная плотность S^- антициклональной компоненты вращения вектора течений представляет суперпозицию двух широкополосных и узкополосного спектров. Расчеты показывают, что центральный широкополосный спектр имеет дуплетную структуру с максимумами на частотах $\nu_k \sim 1/18.3$ ц/ч и $\nu_1 \sim 1/25.6$ ц/ч;

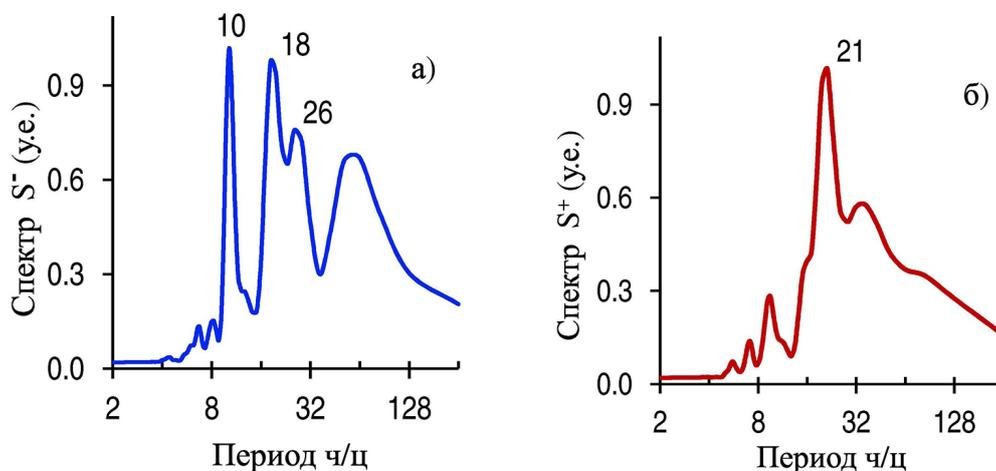


Рис. 5. Спектральные плотности антициклональной S^- (а) и циклональной S^+ (б) вращательных компонент вектора скорости течений, индуцированных тайфуном Лайнрок на горизонте $z = 12$ м. Цифры рядом с максимумами соответствуют значениям периодов, отвечающих этим максимумам.

максимум низкочастотного широкополосного спектра располагается на частоте $\nu_0 \sim 1/51.2$ ц/ч, а максимум высокочастотного узкополосного спектра располагается на частоте $\nu_+ \sim 10.2$ ц/ч. Нетрудно заметить, что частота ν_K близка к инерционной частоте на широте наблюдения $f_K \sim 1/17.7$ ц/ч, а частоты: $\nu_1 \sim 2\nu_0$ и $\nu_+ \sim \nu_K + \nu_1$ удовлетворяют приближенным соотношениям.

График спектральной плотности S^+ циклональной компоненты вектора течений представлен на рис. 5б. Ее спектр включает широкополосный шумовой спектр, деформированный двумя максимумами на частотах $\nu_0 \sim 1/36.6$ ц/ч и $\nu_1 \sim 1/9.5$ ц/ч и узкополосный спектр сигнала с частотой $\sim 1/20$ ц/ч, близкой к инерционной частоте f_K . По-видимому, частота инерционных колебаний для этой компоненты инерционного течения смещена в «красную» частотную область. В работах (Chen et al., 2015; Yang et al., 2015) изменение положения пика, соответствующего ИКС, было связано с изменчивостью завихренности фонового течения. В заливе это течение представляет синоптическая составляющая, которая имеет положительную завихренность на фазе роста ее кинетической энергии и, по-видимому, этим обстоятельством вызван сдвиг в «красную» область частоты циклональной компоненты ИКС. Следует заметить, что для соответствующих инерционных частот спектральные энергии S^+ , S^- имеют примерно равные значения. Это особенность S^+ компоненты инерционного течения в заливе. В глубоком море спектральная энергия S^+ компоненты много меньше подобной энергии антициклональной компоненты инерционных колебаний скорости течений (Emery, Thomson, 1998). Такое различие в характеристиках S^+ компоненты, по-видимому, вызвано различными механизмами формирования этой компоненты в заливе и в глубоком море.

Характеристики инерционных колебаний скорости течений

К этим характеристикам относятся периоды инерционных колебаний скорости, спектральная энергия ИКС с циклональным (S^+) и антициклональным (S^-) направлениями вращения вектора течений, направление вращения годографа скорости эллиптической формы и ее эксцентриситет, а также азимут большой оси годографа. По данным измерений, на всех горизонтах, где проводились исследования, были рассчитаны указанные характеристики, часть из них представлена в таблице 1. В ней указаны горизонты, на которых рассчитывались спектральные плотности, периоды максимумов S^- , S^+ и значения спектральных энергий на этих периодах, а также характеристики годографов скорости инерционных течений, их коэффициент вращения, эксцентриситет e и угол ориентации α большой оси годографа по отношению к зональному направлению.

Рассмотрим изменение с глубиной спектральной энергии антициклональной S^- вращательной компоненты вектора скорости течений в инерционном диапазоне частот $1/24$ – $1/12$ ц/ч. Результаты расчетов этой зависимости частично представлены в таблице 1. Согласно расчетам, частота инерционных колебаний S^- компоненты

составляет $\sim 1/18$ ц/ч на большем числе горизонтов от 12 м до 36 м. В поверхностном слое (горизонт $z = 8$ м) она смещается в «голубую» частотную область, а на горизонте $z = 40$ м и глубже располагается в «красной» области. Спектральная энергия S^- инерционных колебаний скорости возрастает от минимального значения ~ 30 см²с⁻²ч на горизонте $z = 4$ м до максимального значения ~ 131 см²с⁻²ч на горизонте $z = 12$ м, плавно снижается по глубине до ~ 30 см²с⁻²ч на горизонте $z = 36$ м и затем резко возрастает до значений 120 см²с⁻²ч на горизонте ~ 40 м.

Таблица 1. Значения спектральной энергии ИКС с антициклональным S^- (выделены полужирным шрифтом) и циклональным S^+ направлением вращения на фиксированных горизонтах; периоды и направление вращения r вектора скорости на этих горизонтах, эксцентриситет годографа скорости течений, угол ориентации α большой оси годографа по отношению к зональному направлению.

Глубина (м)	Период (ч)	S^- (см/с) ² ч	S^+ (см/с) ² ч	r	e	α (град)
12	18	131	85	-0.2	0.1	23
12	21	95	133	0.2	0.1	22
24	18	115	73	-0.2	0.1	27
24	16	83	117	0.2	0.1	42
32	18	49	107	0.4	0.2	25
32	17	49	104	0.4	0.2	36
44	20	127	66	-0.3	0.2	-13
44	18	105	71	-0.2	0.1	-8

Иной характер изменения с глубиной демонстрирует спектральная энергия инерционных колебаний вектора скорости течения с левым вращением – S^+ . В соответствии с расчетами, частота инерционных колебаний этой компоненты вектора скорости демонстрирует случайный характер со средним значением по глубине $\sim 1/18.3$ ц/ч и стандартным отклонением ~ 0.006 ц/ч.

Согласно определению, направление вращения течений задается с помощью коэффициента вращения $r = (S^+ - S^-)/(S^+ + S^-)$. Сравнение S^+ и S^- показывает, что глубже слоя ветрового перемешивания (нижняя граница на горизонте $z \sim -10$ м) преобладает инерционное течение с коэффициентом вращения $r > 0$, то есть доминирует течение с антициклональным вращением годографа и лишь в верхнем 10-метровом слое преобладают течения с циклональным вращением вектора скорости.

Расчеты показывают, что на всех горизонтах, где выполнялись измерения, ИКС течения содержат составляющие с различными периодами колебаний вектора

скорости и противоположным направлением (левым и правым) вращения. Например, на горизонте максимума спектральной энергии ИКС (горизонт $z = 12$ м) было зафиксировано инерционное течение как с антициклональным, так и циклональным направлением вращения, причем вращение первого типа происходило с частотой $\sim 1/18$ ц/ч, а второго – с частотой $\sim 1/21$ ц/ч. При этом коэффициент вращения на этом горизонте принимает как положительное, так и отрицательное значения, в зависимости от превышения уровня спектральной энергии одного типа вращения над другим.

Как известно, инерционные колебания скорости в заданной точке океана характеризуются своим специфическим годографом, который, согласно теории, имеет круговую форму и антициклональное направление вращения вектора скорости с частотой, равной частоте Кориолиса на широте наблюдения. По данным измерений инерционных колебаний вектора скорости течений в заливе Петра Великого на горизонте $z = 12$ м было зарегистрировано два направления вращения вектора течения – против часовой стрелки, с частотой $\sim 1/18$ ц/ч и вращение по часовой стрелке, с частотой $\sim 1/21$ ц/ч. Как показали расчеты, годографы скорости этих течений имели эллиптическую форму с большой осью, превышающей малую почти на порядок (эксцентриситет ~ 0.1). Их форма и эксцентриситет с изменением глубины изменялись незначительно. Вместе с этим зафиксировано изменение с глубиной азимута большой оси, которая поворачивалась по часовой стрелке и приближалась к зональному направлению.

Выводы

В представленной работе рассматриваются характеристики инерционных колебаний скорости течений на шельфе залива Петра Великого, возбужденных экстремальным атмосферным воздействием – тайфуном Лайнрок. Как известно, теория ИКС дает круговое антициклональное вращение вектора скорости течений, измеренное в заданной точке (Монин и др., 1974). В результате проведенных исследований были зарегистрированы ИКС со следующими аномальными характеристиками. Возбужденные ИКС содержали две компоненты инерционных течений – компоненту с правым (антициклональным) и левым (циклональным) направлением вращения вектора скорости течений, далее CW и CCW компоненты соответственно. Годографы скорости обеих компонент инерционных течений имели форму эллипса, у которого большая ось на порядок превышала его малую ось. CW и CCW компоненты имели различные периоды/частоты вращения вектора скорости, близкие к инерционной частоте на широте постановки океанографической системы ($\nu_K \sim 1/17.7$ ц/ч). Установлено, что спектральная энергия циклональной компоненты является монотонной функцией глубины с максимумом в поверхностном слое, а спектральная энергия антициклональной компоненты имеет максимумы в приповерхностном (горизонты 12 м, 20 м) и придонном (горизонты 40 м, 44 м) слоях. Обнаружено голубое смещение частоты CW компоненты (ν) в поверхностном

Новотрясов В.В., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф.

слое, $\nu \sim 1/17$ ц/ч, красное смещение $\nu \sim 1/20$ ц/ч в придонных слоях и независимое от глубины, постоянное значение частоты $\nu \sim 1/18$ ц/ч у этой компоненты в промежуточных слоях. Высказано предположение о параметрическом взаимодействии инерционного течения с антициклональным вращением с низкочастотной составляющей струйного Приморского течения с тем же направлением вращения, интенсифицированной тайфуном Лайнрок.

Работа выполнена по программе «Приоритетные научные исследования в интересах комплексного развития ДВО РАН» (№ 18-1-010).

Литература

- Бондур В.Г., Сабинин К.Д., Гребенюк Ю.В. Аномальная изменчивость инерционных колебаний океанских вод на гавайском шельфе // ДАН. 2013. Т. 450. № 1. С. 100–104.
- Бондур В.Г., Сабинин К.Д., Гребенюк Ю.В. Генерация инерционно-гравитационных волн на островном шельфе // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 2. С. 235–241.
- Гилл А.Е. Динамика атмосферы и океана: Пер. с англ. М.: Мир, 1986. Т. 1. 388 с.
- Коротаев Г.К., Сабинин К.Д. Инерционные колебания в присутствии сдвигового течения в океане // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 1. С. 12–22.
- Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. Изменчивость Мирового океана: Л.: Гидрометеиздат, 1974. 261 с.
- Chen Shengli, Hu Jianyu, Polton J.A. Features of near-inertial motions observed on the northern South China Sea shelf during the passage of two typhoons // Acta Oceanol. Sin. 2015. Vol. 7. No. 1. P. 38–43.
- Emery W.J., Thomson R.E. Data analysis methods in physical oceanography. Pergamon, 1998. 634 p.
- Yang B., Hou Y., Hu P. Observed near-inertial waves in the wake of Typhoon Hagupit in the northern South China Sea // Chinese J. Ocean. Limnol. 2015. Vol. 33. No. 5. P. 1265–1278.

THE FEATURES OF INERTIAL OSCILLATIONS IN THE CURRENT VELOCITIES IN THE PETER THE GREAT BAY CAUSED BY EXTREME ATMOSPHERIC FORCING (ON THE EXAMPLE OF TYPHOON LIONROCK)

Novotryasov V.V., Lobanov V.B., Sergeev A.F.

*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS
Vladivostok, 690041 Russia, Baltiyskaya 43
e-mails: vadimnov@poi.dvo.ru, lobanov@poi.dvo.ru
Submitted 14.03.2019, accepted 26.08.2019*

We conducted a study of the inertial oscillations of the speed of currents in Peter the Great Bay, induced by typhoon Lionrock. The study is based on the measurements of the moored acoustic Doppler current profiler. Data analysis showed that under the action of the typhoon a field of currents with inertial oscillations (IO) of anomalous characteristics was formed in the bay. It is found that the spectral energy of the IO of currents with left and right rotation are of the same order while the major axis of the hodograph of the speed of these currents

exceeds its small axis by an order of magnitude. A change of the inertial frequencies of the currents with cyclonic rotation, as well as the “red shift” of this frequency in the bottom and the “blue shift” in the surface layer of the inertial currents with anticyclonic rotation were found. Parametric IO interaction with anticyclonic rotation and the synoptic component of the currents with the same direction of rotation was detected. It has been suggested that the anomalous characteristics of inertial currents with two types of rotation are due to their interaction with the low-frequency component of the stream of Primorsky Current induced by the typhoon.

Keywords: inertial oscillations, rotary currents, aquadopp profiler, typhoon, Peter the Great Bay

References

- Bondur V.G., Sabinin K.D., and Grebenjuk Y.V.* Anomal'naya izmenchivost' inertsionnykh kolebaniy okeanskikh vod na gavaiskom shelfe. *DAN*, 2013, Vol. 450, No. 1, pp. 100–104.
- Bondur V.G., Sabinin K.D., and Grebenjuk Y.V.* Generatsiya inertsionno-gravitatsionnykh voln na ostrovnom shelfe. *Izv. RAN, Fizika atmosfery i okeana*, 2015, Vol. 51, No. 2, pp. 235–241.
- Chen Shengli, Hu Jianyu, and Polton J.A.* Features of near-inertial motions observed on the northern South China Sea shelf during the passage of two typhoons. *Acta Oceanol. Sin.*, 2015, Vol. 7, No. 1, pp. 38–43.
- Emery W.J. and Thomson R.E.* Data analysis methods in physical oceanography. Pergamon, 1998, 634 p.
- Gill A.E.* Atmosphere-Ocean Dynamics. New York, London: Academic Press, 1982, Vol. 1, 388 p.
- Korotaev G.K. and Sabinin K.D.* Inertsionnye kolebaniya v prisutstvii sdvigovogo techeniya v okeane. *Izv. RAN, Fizika atmosfery i okeana*, 2017, Vol. 53, No. 1, pp. 12–22.
- Monin A.S., Kamenkovish V.M., and Kort V.G.* Izmenchivost' Mirovogo okeana. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 261 p.
- Yang B., Hou Y., and Hu P.* Observed near-inertial waves in the wake of Typhoon Hagupit in the Northern South China Sea. *Chinese J. Ocean. Limnol.*, 2015, Vol. 33, No. 5, pp. 1265–1278.