

ВЫНУЖДЕННЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В ПОЛЕ УРОВНЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ СИБИРСКОГО ШЕЛЬФА

д-р геогр. наук Е.А.ЗАХАРЧУК, канд. геогр. наук Н.А.ТИХОНОВА

СПО ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова», Санкт-Петербург, e-mail: spb.soi@yandex.ru

На основе статистических методов исследуются особенности генерации под действием анемобарических сил волнообразных колебаний уровня синоптического масштаба, которые идентифицируются как бароклинные топографические волны. Выявлена значительная нестационарность взаимосвязи колебаний уровня моря с различными метеорологическими процессами. Показано, что передача энергии от анемобарических возмущений к движению морских вод в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов происходит чаще всего в тех районах арктических морей, где формируются условия с резкой стратификацией, которые наиболее благоприятны для генерации и эволюции бароклиновых топографических волн. Такими районами, как показали результаты взаимного корреляционного анализа, являются акватории, прилегающие к устьевым участкам рек Оби, Енисея и Лены.

Ключевые слова: арктические моря России, колебания уровня, синоптическая изменчивость, бароклинные топографические волны, статистический анализ, взаимный корреляционный анализ, анемобарические силы, механизмы генерации синоптических колебаний уровня.

ВВЕДЕНИЕ

Первая волновая интерпретация колебаний уровня в арктических морях сибирского шельфа в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов была сделана Г.В.Алексеевым [Алексеев, 1969]. Однако эти результаты не получили дальнейшего развития, и типы выделенных волн не были определены.

В дальнейшем изучение низкочастотных волн в поле уровня арктических морей России было продолжено в работах [Войнов, Захарчук, 1999; Voinov, Zakharchuk, 1999; Захарчук, 2001; Zakharchuk, 2002; Захарчук, 2008]. Авторами было показано, что максимальные величины возмущений уровня синоптического масштаба в зависимости от района варьируют от десятков сантиметров до нескольких метров, они вносят доминирующий вклад в суммарную дисперсию колебаний уровня в большинстве регионов морей сибирского шельфа и имеют выраженную волновую структуру. На волновую природу колебаний указывали узкополосные значимые пики спектральной плотности на отдельных частотах синоптического диапазона, высокие значения когерентности колебаний уровня при наличии разности фаз на частотах энергонесущих максимумов взаимных спектров, монотонное изменение фазы колебаний уровня моря в диапазоне периодов от нескольких суток до нескольких недель, свидетельствующее о поступательном волновом движении. На основе статистического анализа рядов среднесуточных значений уровня в береговых пунктах были оценены различные характеристики низкочастотных волновых возмущений. Эти оценки показали, что в синоптическом

диапазоне пространственно-временных масштабов волны распространяются преимущественно в восточном направлении со скоростями от 0,6 до 11 м/с и имеют длины от сотен до тысяч километров [Войнов, Захарчук, 1999; Voinov, Zakharchuk, 1999; Zakharchuk, 2002; Захарчук, 2008]. Для идентификации выделенных в поле уровня моря низкочастотных волн было проведено сравнение их характеристик с известными теоретическими дисперсионными соотношениями волн Кельвина и различных видов градиентно-вихревых волн. Это сравнение показало, что волнообразные низкочастотные возмущения в поле уровня морей сибирского шельфа идентифицируются как бароклинные топографические волны, для генерации и эволюции которых наиболее благоприятны условия выраженной стратификации вод [Захарчук, 2008].

Топографические волны относятся к классу захваченных градиентно-вихревых волн [Тареев, 1974], генерирующихся только в диапазоне частот, более низком по отношению к частоте инерционных колебаний [Ефимов и др., 1985; Белоненко и др., 2004]. Волнообразующий механизм для этих волн связан с совместным эффектом неоднородности рельефа дна и вращения Земли. Топографические волны всегда распространяются вдоль изобат в циклоническом направлении относительно открытого океана, оставляя зону подъема дна справа в Северном полушарии и слева – в Южном. Их энергия локализуется только в зоне захвата, связанной с уклонами дна (например, шельфа), и затухает за ее пределами. Уменьшение амплитуды волн происходит по затухающей косинусоиде от зоны малых глубин в сторону их увеличения. То есть эти волны имеют горизонтальную модовую структуру. Частным случаем топографических волн являются шельфовые волны.

Остаются плохо изученными особенности генерации топографических волн в поле уровня арктических морей под действием анемобарических сил. В работах [Мустафин, 1965; Алексеев, 1973] исследовались статистические связи между колебаниями уровня у побережья арктических морей и ветром в навигационный период (июль–сентябрь). При этом влияние ветра описывалось эффективным градиентом атмосферного давления. Предпринимались попытки оценки взаимосвязи синоптических колебаний уровня в арктических морях непосредственно с воздействием ветра. Так, В.Е.Привальский [Привальский, 1970] исследовал корреляционную связь с широтной составляющей ветровых потоков. Обоснованность подобных подходов при оценке влияния ветра на формирование сгонно-нагонных колебаний уровня является весьма дискуссионной с физической и методической точек зрения.

В данной статье на основе статистических методов анализа случайных скалярных и векторных процессов исследуются особенности генерации волнообразных колебаний уровня синоптического масштаба под действием анемобарических сил.

ДААННЫЕ И МЕТОДЫ

Для проверки гипотезы о вынужденных градиентно-вихревых волнах анемобарического происхождения в поле уровня морей сибирского шельфа были исследованы особенности статистических связей между колебаниями уровня синоптического масштаба и различными метеорологическими характеристиками. Для анализа использовались ряды среднесуточных значений уровня моря на 24 станциях арктических морей сибирского шельфа прибрежной сети Росгидромета (см. рис. 1а). Ряды уровня моря охватывали период с 1962 по 1984 г. (23 года) за исключением станции о. Жохова, где из-за больших пропусков в массиве уровневых наблюдений использовались ряды продолжительностью 20 лет (1965–1984 гг.). На выбор периода наблюдений по-

влияти прежде всего плотность станций и длительность измерений при наименьшем количестве пропусков и брака в рядах уровня моря.

Синхронные с уровнем моря ряды среднесуточных значений метеорологических характеристик были получены из массива срочных полей атмосферного давления (P_a) и ветра (\vec{W}), разработанного на основе реанализа метеорологических данных (NCEP/NCAR Reanalysis). С помощью этого массива для точек сетевых измерений уровня моря рассчитывались ряды среднесуточных значений горизонтального градиента атмосферного давления ($\text{grad} P_a$) и тангенциального напряжения ветра $\vec{\tau}_w = c_a \rho_a \vec{W} |\vec{W}|$ (где c_a – безразмерный коэффициент, ρ_a – плотность воздуха).

Учет влияния неоднородности поля тангенциального напряжения ветра на генерацию синоптических колебаний уровня моря производился через оценку его пространственного градиента ($\text{grad} \vec{\tau}_w$), который в двухмерном случае представляет собой тензор 2-го ранга [Рожков, 2005]:

$$\text{grad} \vec{\tau}_w = \begin{pmatrix} \frac{\partial \tau_x}{\partial x} & \frac{\partial \tau_y}{\partial x} \\ \frac{\partial \tau_x}{\partial y} & \frac{\partial \tau_y}{\partial y} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где τ_x, τ_y – составляющие силы тангенциального напряжения ветра соответственно на параллель и меридиан. Симметричная часть тензора (1) имеет линейный инвариант I_1 , который выражает дивергенцию тангенциального напряжения ветра:

$$I_1 = \frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} = \text{div} \vec{\tau}_w. \quad (2)$$

Кососимметричная часть тензора (1) имеет инвариант Ω , который выражает собой завихренность тангенциального напряжения ветра:

$$\Omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right) = \frac{1}{2} \text{rot}_z \vec{\tau}. \quad (3)$$

Исходя из этого, для двух пар гидрометеорологических параметров – тангенциального напряжения ветра ($\vec{\tau}_w$) и уровня моря (ζ), а также горизонтального градиента атмосферного давления ($\text{grad} P_a$) и уровня моря (ζ) – рассчитывались множественные коэффициенты корреляции по методике взаимного корреляционного анализа между скалярными и векторными процессами, изложенной в работах В.А.Рожкова [Рожков, 2002]. Следуя этой методике, вначале рассчитывались матрицы коэффициентов взаимных корреляций следующего вида:

$$D_{\eta V} = \begin{vmatrix} r_{\eta\eta} & r_{\eta u} & r_{\eta v} \\ r_{u\eta} & r_{uu} & r_{uv} \\ r_{v\eta} & r_{vu} & r_{vv} \end{vmatrix}; \quad D_{uv} = \begin{vmatrix} r_{uu} & r_{uv} \\ r_{vu} & r_{vv} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где $D_{\eta V}$ и D_{uv} – определители матриц, η – скалярный процесс, V – векторный процесс, u, v – составляющие векторного процесса на параллель и меридиан соответственно, $r_{\eta\eta}, r_{\eta u}, r_{\eta v}, \dots, r_{vv}$ – коэффициенты взаимной корреляции.

Затем рассчитывался множественный коэффициент взаимной корреляции между скалярным (η) и векторным процессами ($\vec{\tau}_w$ или $\text{grad} P_a$):

$$R_{\eta V} = \sqrt{1 - \frac{D_{\eta V}}{D_{iv}}} \quad (5)$$

Исследование особенностей статистических связей между волнообразными колебаниями уровня моря синоптического масштаба и ротором, а также дивергенцией тангенциального напряжения ветра производилось по известным формулам путем оценивания нормированной взаимной корреляционной функции:

$$r_{\zeta, \eta}(\tau) = \frac{K_{\zeta, \eta}(\tau)}{\sqrt{K_{\zeta}(0)K_{\eta}(0)}}, \quad (6)$$

где $K_{\zeta}(0), K_{\eta}(0)$ – дисперсии двух скалярных процессов, а $K_{\zeta, \eta}(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} \zeta(t)\eta(t + \tau)dt$ – их взаимная ковариационная функция.

На основании изложенных выше методических подходов был проведен взаимный корреляционный анализ между рядами среднесуточных значений уровня моря и различными метеорологическими характеристиками ($\text{grad}P_a, \bar{\tau}_w, \text{rot}\bar{\tau}_w, \text{div}\bar{\tau}_w$). Предварительно из всех рядов уровня моря и реализаций метеорологических параметров с помощью Фурье-анализа, выполненного по методу наименьших квадратов с учетом нестационарности процессов, были исключены сезонные колебания (годовая, полугодовая, третьгодовая и четвертьгодовая волны). Взаимный корреляционный анализ проводился в стационарном приближении и с учетом нестационарности гидрометеорологических процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

В табл. 1 представлены пределы изменений максимальных коэффициентов корреляции, оцененных в стационарном приближении, между колебаниями уровня моря синоптического масштаба (ζ) и различными метеорологическими параметрами. Несмотря на то, что эти оценки, в зависимости от района, меняются в несколько раз, с тенденцией их увеличения с севера на юг от островных станций к материковым, в целом значения коэффициентов максимальной корреляции очень низкие, что свидетельствует об отсутствии стационарной связи между синоптическими колебаниями уровня и анемобарическими силами.

Для исследования нестационарности статистической связи между уровнем моря и метеорологическими предикторами остаточные среднесуточные ряды гидрометеорологических параметров были разделены на синхронные трехмесячные реализации. Между синхронными отрезками рядов уровня моря и метеорологическими характе-

Таблица 1

Пределы изменений максимальных коэффициентов корреляции, оцененных в стационарном приближении, между колебаниями уровня моря синоптического масштаба (ζ) и различными метеорологическими параметрами

Коррелируемые величины	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
$\zeta \times \bar{\tau}_w$	0,13 ÷ 0,53	0,21 ÷ 0,53	0,34 ÷ 0,41	0,19 ÷ 0,46
$\zeta \times \text{grad}P_a$	0,15 ÷ 0,57	0,23 ÷ 0,53	0,36 ÷ 0,45	0,15 ÷ 0,47
$\zeta \times \text{rot}\bar{\tau}_w$	0,10 ÷ 0,30	-0,35 ÷ 0,29	-0,26 ÷ 0,11	-0,19 ÷ 0,05
$\zeta \times \text{div}\bar{\tau}_w$	-0,12 ÷ 0,22	-0,31 ÷ 0,22	-0,29 ÷ 0,12	-0,26 ÷ 0,08

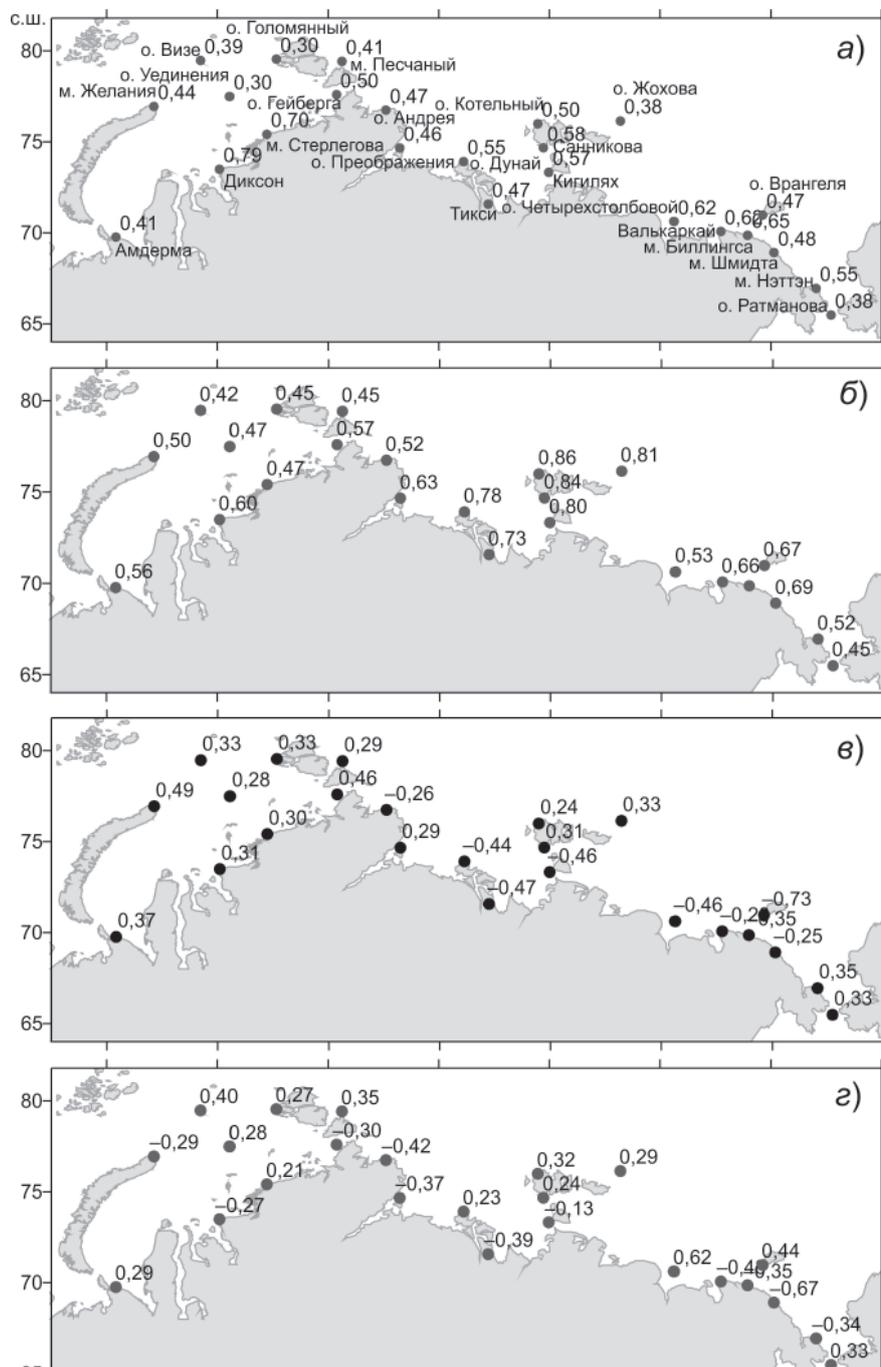


Рис. 1. Примеры распределения в пространстве коэффициентов максимальной корреляции между синоптическими колебаниями уровня и анемобарическими силами в отдельные сезоны: между ζ и $\bar{\tau}_w$ весной 1972 г. (а), между ζ и $\text{grad} P_a$ осенью 1978 г. (б), между ζ и $\text{rot} \bar{\tau}_w$ летом 1969 г. (в), между ζ и $\text{div} \bar{\tau}_w$ зимой 1969 г.

ристиками проводился взаимный корреляционный анализ. На рис. 1 представлены примеры распределения в пространстве оценок максимальных коэффициентов корреляции между синоптическими колебаниями уровня моря и метеорологическими характеристиками в отдельные сезоны разных лет. Обращает на себя внимание локализация регионов высокой корреляции колебаний уровня с метеорологическими предикторами. Например, весной 1972 г. высокая связь между колебаниями уровня моря синоптического масштаба и тангенциальным напряжением ветра (см. рис. 1а) отмечалась только в центральной части материкового побережья Карского моря (станции Диксон и м. Стерлегова) и юго-восточном регионе Восточно-Сибирского моря (о. Четырехстолбовой, Валькаркай, м. Биллингса). Осенью 1978 г. высокие значения коэффициента корреляции между уровнем моря и горизонтальным градиентом атмосферного давления (рис. 1б) наблюдались на юге и востоке моря Лаптевых, на северо-западе и юго-востоке Восточно-Сибирского моря и на юго-западе Чукотского моря. Распределение в пространстве максимальных коэффициентов корреляции между синоптическими колебаниями уровня и завихренностью тангенциального напряжения ветра показывает, что высокая корреляция между этими процессами летом 1969 г. отмечалась только в районе о. Врангеля в Чукотском море (рис. 1в). Зимой 1969 г. высокая связь между ζ и $\text{div } \vec{\tau}_w$ наблюдалась только на юго-востоке Восточно-Сибирского моря и на юго-западе Чукотского моря (рис. 1г).

На рис. 2 приведены примеры изменений во времени значений максимальных коэффициентов корреляции между синоптическими колебаниями уровня моря и различными метеорологическими процессами на отдельных станциях морей сибирского шельфа. Отмечается значительная нестационарность взаимосвязи колебаний уровня моря синоптического масштаба с анемобарическими силами. В одни сезоны коэффициенты корреляции очень низкие, а в другие – они достигают высоких значений (0,60 – 0,86). В подавляющем большинстве случаев при корреляции ζ и $\vec{\tau}_w$ низкие значения коэффициентов максимальной корреляции ($< 0,60$) отмечаются в зимние сезоны, что связано с демпфирующим влиянием ледяного покрова на воздействие тангенциального напряжения ветра. В отличие от этого результата при корреляции ζ и $\text{grad } P_a$ случаи с высоким уровнем статистической связи распределяются приблизительно равномерно между различными сезонами. Столь выраженная нестационарность статистической связи проявляется и при взаимном корреляционном анализе между ζ и $\text{rot } \vec{\tau}_w$, $\text{div } \vec{\tau}_w$. В Карском море, за исключением станции о. Гейберга, отмечаются отрицательные тренды в изменениях во времени максимальных коэффициентов корреляции между уровнем моря и $\vec{\tau}_w$, $\text{grad } P_a$, в то время как в море Лаптевых такие тренды имеют как положительный, так и отрицательный знак, а в Восточно-Сибирском и Чукотском морях во всех случаях тренды только положительные. Зимой 1978 г. ни в одном из рассматриваемых пунктов арктических морей вообще не отмечалось высокой корреляции между синоптическими колебаниями уровня моря и тангенциальным напряжением ветра, а также ротором и дивергенцией тангенциального напряжения ветра (результаты не показаны на рисунках). В этот зимний период высокое значение коэффициента корреляции (0,68) наблюдалось только между уровнем моря и горизонтальным градиентом атмосферного давления на станции м. Шмидта в Чукотском море. По-видимому, в отмеченный выше зимний период топографические волны в поле уровня моря генерировались под действием $\vec{\tau}_w$ в других регионах Северного Ледовитого океана (например, в Баренцевом море), а в моря сибирского шельфа они распространялись уже в основном в виде свободных волн.

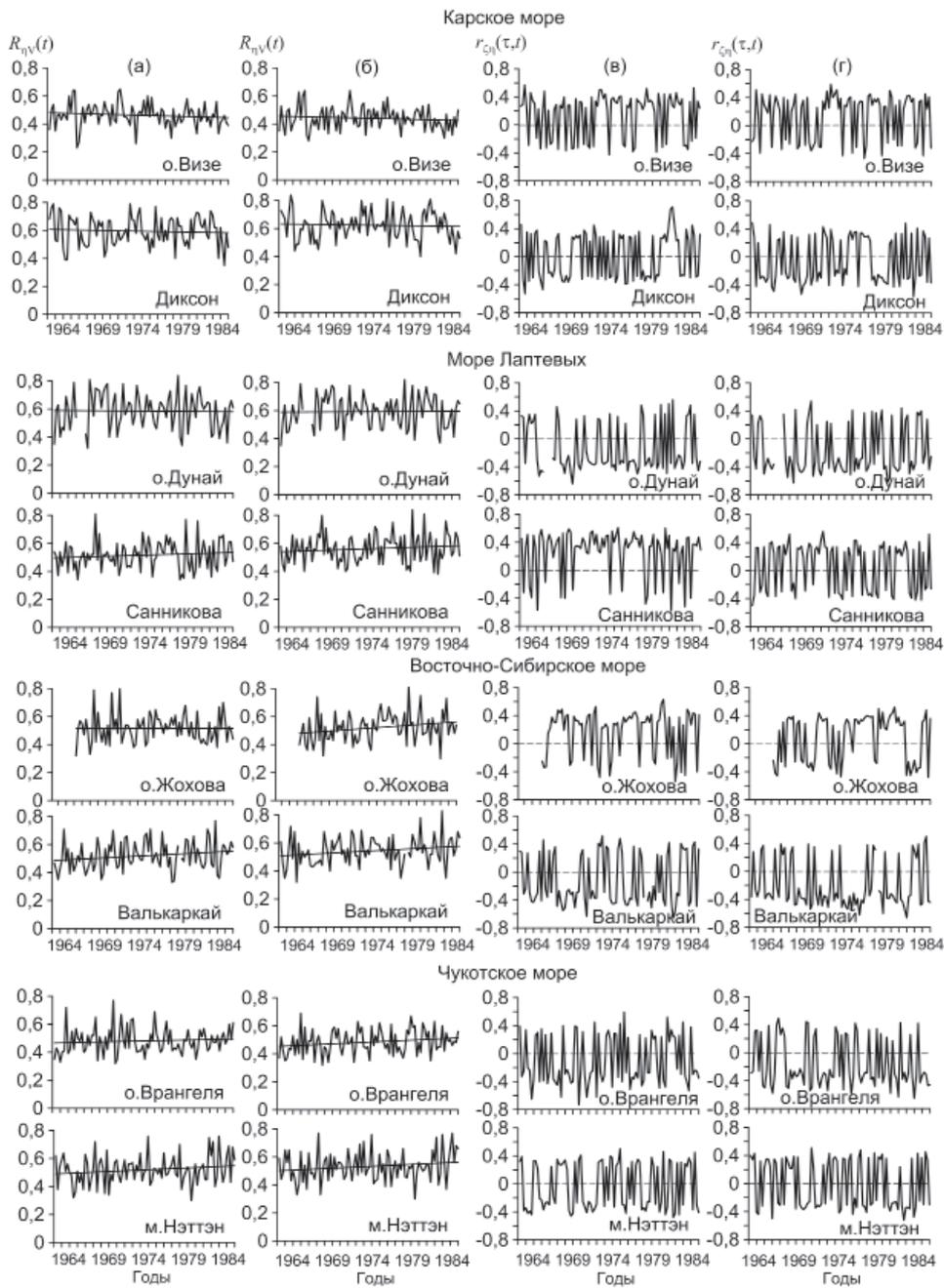


Рис. 2. Изменение во времени коэффициентов максимальной корреляции между синоптическими колебаниями уровня в морях сибирского шельфа и тангенциальным напряжением ветра (а), уровнем и горизонтальным градиентом атмосферного давления (б), уровнем и ротором ветра (в), уровнем и дивергенцией ветра (г). Прямой линией выделен тренд.

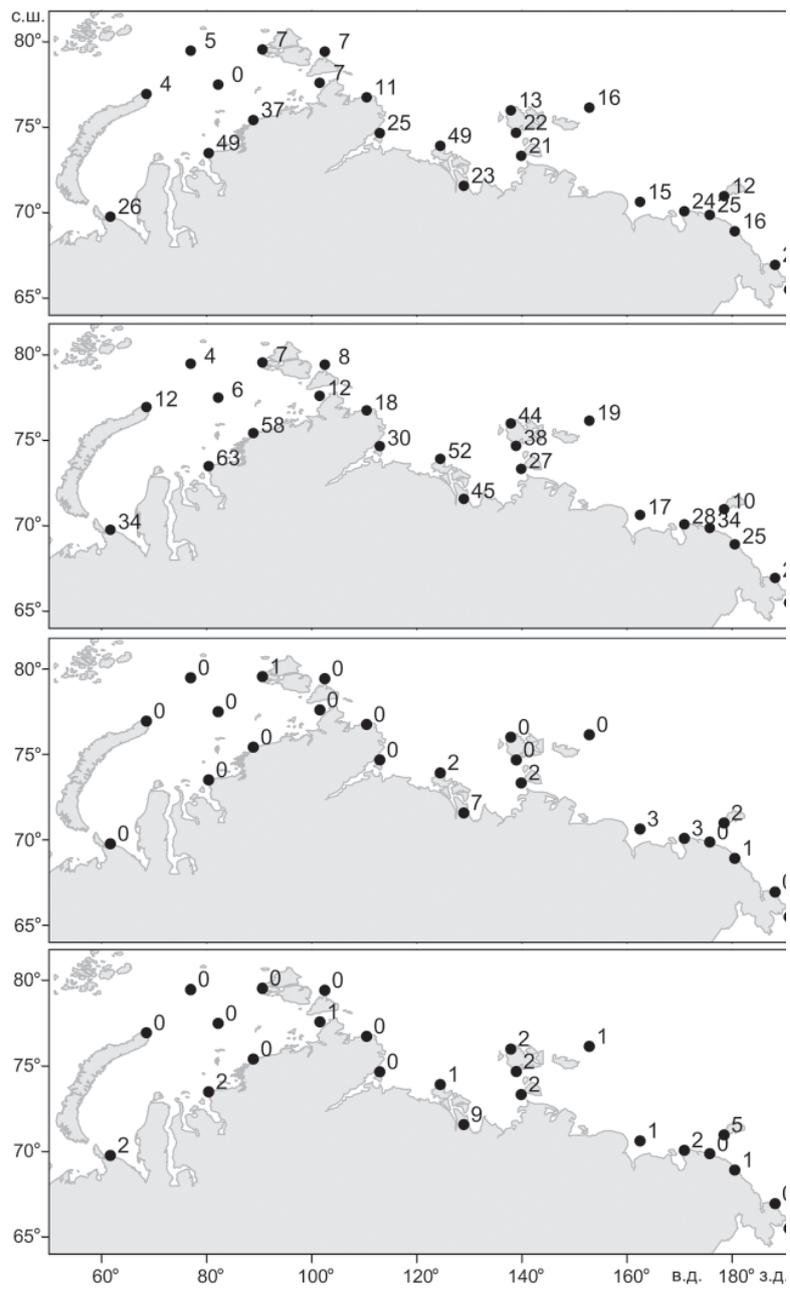


Рис. 3. Число случаев (в %) от общего количества сезонов отдельных лет (1962–1984 гг.), когда коэффициенты максимальной корреляции между синоптическими колебаниями уровня и тангенциальным напряжением ветра (*a*), уровнем и горизонтальным градиентом атмосферного давления (*б*), уровнем и дивергенцией тангенциального напряжения ветра (*в*), уровнем и ротором тангенциального напряжения ветра (*г*) в береговых пунктах морей сибирского шельфа имели значения $\geq 0,6$.

На рис. 3 для каждой станции представлено количество случаев в процентах от общего числа трехмесячных реализаций, когда коэффициенты максимальной корреляции между синоптическими колебаниями уровня и анемобарическими силами имели высокие значения ($\geq 0,6$). Хорошо видно, что в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов генерация волновых возмущений в поле уровня моря чаще всего осуществляется под действием сил тангенциального напряжения ветра и горизонтального градиента атмосферного давления, хотя, в зависимости от района, частота случаев высокой корреляции с этими метеорологическими предикторами значительно меняется. Например, на станции о. Уединения за все 23 года ни в один из 92 рассматриваемых сезонов высокая корреляция ($\geq 0,60$) между ζ и $\bar{\tau}_w$ вообще не отмечалась (см. рис. 3*а*). Результаты, представленные на рис. 3 (*в, з*) свидетельствуют также о том, что формирование синоптических колебаний уровня моря под воздействием дивергенции и завихренности поля тангенциального напряжения ветра весьма редкое явление. Так, в Карском море и море Лаптевых выделяются обширные регионы (см. рис. 3 (*в, з*)), где ни разу за рассматриваемый нами 23-летний период не отмечалось случаев высокой корреляции между колебаниями уровня моря синоптического масштаба и ротором и дивергенцией тангенциального напряжения ветра. Лишь в районе станции Тикси в 7–9 % случаев наблюдается высокая корреляция между колебаниями уровня и ротором и дивергенцией тангенциального напряжения ветра.

Анализ рис. 3 (*а, б*) показывает также, что в морях сибирского шельфа выделяются два района, где значительно чаще отмечается высокая корреляция между волнообразными колебаниями уровня синоптического масштаба и силами тангенциального напряжения ветра и горизонтального градиента атмосферного давления. В Карском море это центральная часть материкового побережья в районе станций Диксон и м. Стерлегова, а в море Лаптевых – районы, прилегающие к дельте реки Лены (о. Дунай и Тикси), а также к Новосибирским островам (о. Котельный и Санникова). Здесь повторяемость случаев высоких значений коэффициентов взаимной корреляции достигает 37–49 % для уровня моря и тангенциального напряжения ветра и 38–63 % для уровня и горизонтального градиента атмосферного давления.

Если мы обратимся к рис. 4, где изображены средние многолетние поля солёности на поверхности морей сибирского шельфа [Климатические поля термохалинных характеристик моря Лаптевых, 2007; Атлас термохалинных характеристик Карского моря, 2008; ЭСП по океанографии Чукотского моря, 2009], то увидим, что выявленные нами регионы, где чаще всего отмечаются случаи высокой корреляции между волнообразными колебаниями уровня синоптического масштаба и анемобарическими силами, соответствуют районам наибольшего распреснения морских вод за счет материкового стока, связанного, прежде всего, со стоком рек Оби и Енисея в Карском море и Лены – в море Лаптевых. В связи с этим в указанных акваториях, по сравнению с другими районами морей сибирского шельфа, отмечается наиболее резкая стратификация. Например, мористее о. Диксон и дельты Лены даже в зимний период изменение средней многолетней условной плотности от поверхности до дна достигает более 10 у.е., в то время как в других районах Карского моря вертикальный перепад плотности в несколько раз меньше [Атлас термохалинных характеристик Карского моря, 2008; Климатические поля термохалинных характеристик моря Лаптевых, 2007].

Таким образом, в арктических морях на морских акваториях, прилегающих к устьевым участкам рек Оби, Енисея и Лены, складываются наиболее благоприятные

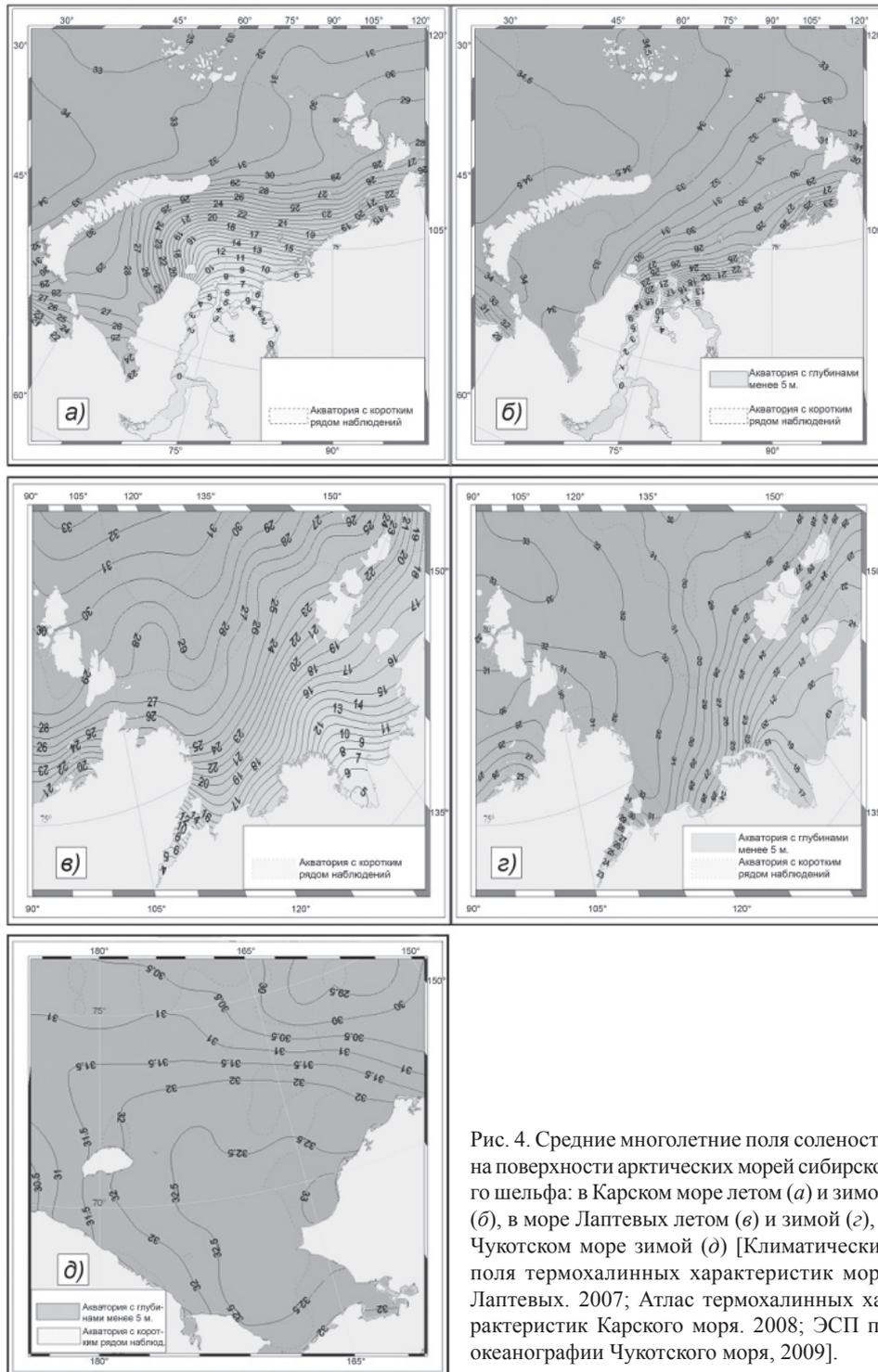


Рис. 4. Средние многолетние поля солёности на поверхности арктических морей сибирского шельфа: в Карском море летом (а) и зимой (б), в море Лаптевых летом (в) и зимой (г), в Чукотском море зимой (д) [Климатические поля термохалинных характеристик моря Лаптевых. 2007; Атлас термохалинных характеристик Карского моря. 2008; ЭСП по океанографии Чукотского моря, 2009].

условия для генерации под действием анемобарических сил бароклинных топографических волн, которые проявляются в значительных волнообразных колебаниях уровня моря синоптического масштаба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в данной статье результаты позволяют предложить следующую трактовку механизмов генерации волнообразных колебаний уровня синоптического масштаба в арктических морях сибирского шельфа. Максимальная продолжительность штормов в этих морях варьирует от 6 часов до нескольких суток [Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, 1986], поэтому штормовые нагоны здесь формируются не в синоптическом, а в более высокочастотном – мезомасштабном диапазоне (периоды изменчивости часы – сутки [Монин, 1972]). Из-за очень большой изменчивости ветра формирование сгонно-нагонных колебаний уровня в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов имеет слабо выраженный характер, и отклик водных масс на воздействие анемобарических сил является, главным образом, не локальным, а волновым. Сравнение эмпирических и теоретических дисперсионных соотношений низкочастотных волн показало, что природные условия шельфовой зоны исследуемых морей наиболее благоприятны для генерации в поле уровня бароклинных топографических волн, для существования которых наиболее приемлемы условия выраженной стратификации водных масс [Захарчук, 2008]. Поэтому передача энергии от анемобарических возмущений к движению морских вод в синоптическом диапазоне пространственно-временных масштабов происходит не везде, а только в тех районах арктических морей, где формируются условия с резкой стратификацией. Такими районами, как показали полученные выше результаты взаимного корреляционного анализа, являются акватории, прилегающие к устьевым участкам рек Оби, Енисея и Лены. Именно здесь чаще всего отмечаются случаи высокой корреляции между колебаниями уровня моря синоптического масштаба и метеорологическими предикторами. Эти районы в арктических морях можно рассматривать как своеобразные энергоактивные зоны синоптического масштаба. Водные массы данных акваторий при прямом воздействии анемобарических сил выводятся из равновесного состояния, после чего начинают действовать возвращающие силы, связанные с совместным эффектом изменчивости донной топографии, вращения Земли и сил плавучести, приводящие к генерации в поле уровня моря вынужденных бароклинных топографических волн. Эти волны могут генерироваться также и в результате резонанса между анемобарическими силами и собственными колебаниями бассейна, которые, по-видимому, связаны со свободными топографическими волнами. Такой резонанс возможен, когда скорости и направления перемещающихся над арктическими морями атмосферных циклонов и антициклонов будут равны фазовым скоростям свободных топографических волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В.* Физико-статистическое исследование непериодических колебаний уровня арктических морей: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Л.: 1969. 19 с.
- Алексеев Г.В.* Статистический анализ влияния ветровых полей на уровень в арктических морях // Проблемы Арктики и Антарктики. 1973. Вып. 41. С. 30–35.

Атлас термохалинных характеристик Карского моря: Электронно-справочное пособие. Федеральная целевая программа «Мировой океан», подпрограмма «Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане» (ЕСИМО). СПб., 2008. CD-ROM.

Белоненко Т.В., Захарчук Е.А., Фукс В.Р. Градиентно-вихревые волны в океане. СПб.: Изд.-во СПбГУ, 2004. 214 с.

Войнов Г.Н., Захарчук Е.А. Долгопериодные приливы и шельфовые волны в Чукотском море // Метеорология и гидрология. 1999. № 12. С. 65–76.

Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Тома: 7, 11, 12, 13. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 280 с.

Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 280 с.

Захарчук Е.А. Об интенсивности колебаний уровня Карского моря в разных временных масштабах // Метеорология и гидрология. 2001. № 7. С. 73–88.

Захарчук Е.А. Синоптическая изменчивость уровня и течений в морях, омывающих северо-западное и арктическое побережья России. СПб.: Гидрометеиздат, 2008. 359 с.

Климатические поля термохалинных характеристик моря Лаптевых: Электронно-справочное пособие. Федеральная целевая программа «Мировой океан», подпрограмма «Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане» (ЕСИМО). СПб., 2007. CD-ROM.

Монин А.С. Классификация нестационарных процессов в океане // Изв. АН СССР. 1972. № 7. С. 26–30.

Мустафин Н.В. Методика прогноза сгонно-нагонных колебаний уровня для арктических морей // Тр. Центр. института прогнозов. 1965. Вып. 142. С. 86–92.

Привальский В.Е. О спектре нерегулярных колебаний уровня моря // Труды ГОИН. 1970. Вып. 103. С. 74–76.

Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Книга II. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 780 с.

Рожков В.А. На пути к статистической гидрометеорологии // Труды ГОИН. № 209. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. С. 217–247.

Тареев Б.А. Динамика бароклинных возмущений в океане. М.: Изд.-во МГУ, 1974. 187 с.

Электронно-справочное пособие по океанографии Чукотского моря. Федеральная целевая программа «Мировой океан», подпрограмма «Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане» (ЕСИМО). СПб., 2009. CD-ROM.

Voinov G.N., Zakharchuk E.A. Large-Scale Variations of Sea Level in the Laptev Sea // Kassens H., Bauch H.A., Dmitrenko I., Eicken H., Hubberten H.-W., Melles M., Thiede J., Timokhov L. (eds.). Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 25–36.

Zakharchuk E.A. Non-Tidal Sea Level Oscillations // Volkov V.A., Johannessen O.M., Borodachov V.E., Voinov G.N., Pettersson L.H., Bobylev L.P., Kouraev A.V. (eds.). Polar Seas Oceanography. An integrated case study of the Kara Sea. Chichester, UK: Praxis Publishing, 2002. P. 61–77.

E.A.ZAKHARCHUK, N.A.TIKHONOVA

FEATURES OF GENERATION OF THE TOPOGRAPHIC WAVES IN THE SEA LEVEL FIELD OF SIBERIAN SHELF ARCTIC SEAS UNDER INFLUENCE ANEMOBARIC FORSES

Based on the statistical methods, the features of the generation under the influence of anemobaric forces of the wavelike sea level fluctuations of synoptic scale, which are identified as

baroclinic topographic waves, are studied. Considerable nonstationarity a relationship of sea level fluctuations with various meteorological processes is detected. It is shown that the energy transfer from anemobaric perturbations to the movement of sea water in the synoptic range of spatial and temporal scales are more often in areas of the Arctic seas, where conditions are registered with sharp stratification, which are most favorable for the generation and evolution of baroclinic topographic waves. Results of cross-correlation analysis show that such areas are the waters adjacent to the estuaries of the rivers Ob, Yenisei and Lena.

Keywords: The Arctic seas of Russia, sea level oscillations, synoptic variability, baroclinic topographic waves, statistical analysis, cross-correlation analysis, anemobaric forces, generation mechanisms of the synoptic level fluctuations.