

СПОСОБ РАСЧЕТА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ ВОЛН ПРИЛИВОВ ПРИ ИХ МАЛОЙ ВЕЛИЧИНЕ (НА ПРИМЕРЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ)

д-р геогр. наук Г.Н.ВОЙНОВ

ФГБУ «Государственный океанографический институт», Санкт-Петербургское отделение

Изложен способ расчета сезонной изменчивости основных волн приливов в условиях их малой величины. Способ основан на приеме представления сезонного хода конкретной волны прилива новыми сложными волнами.

Представлены константы сезонного хода волны M_2 в пяти пунктах Финского залива.

Ключевые слова: приливы, сезонная изменчивость волны M_2 , Балтийское море, Финский залив.

ВВЕДЕНИЕ

История исследования приливов Балтийского моря превышает столетие [Witting, 1911]. Балтийское море имеет наиболее старую и развитую сеть постов наблюдений за уровнем моря по сравнению с другими морями России [Справочное издание, 1992]. Продолжительность наблюдений на ряде постов Финского залива достигает 60 лет и более. Известно, что приливы здесь имеют небольшую величину. Каждая из амплитуд основных полусуточных (M_2 , S_2) и суточных волн (K_1 , O_1) в Финском заливе в отдельности не превышает 1–3 см [Войнов, 2012]. До настоящего времени сезонный ход основных волн прилива в Балтийском море не исследовался. Причина этого не совсем очевидна. Почти до конца 80-х гг. XX в. эта задача была не выполнима с технической стороны (не было мощных вычислительных устройств). В настоящее время сдерживающим условием является отсутствие полных баз данных ежечасных (или срочных) серий уровня моря по сети постов и неоднородность имеющихся архивов временных рядов этих наблюдений [Войнов, 2011].

В случае недостаточной информации для получения устойчивых оценок сезонного хода основных волн прилива (в первую очередь, ограниченность периода наблюдений) нами предлагается использование средних годовых оценок констант групп волн, вызывающих модуляцию основных волн в годовом цикле или, что то же самое, их сезонный ход. В этом случае сезонный ход волн прилива рассчитывается по предвычисленным годовым сериям на 5–10 лет.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОЛНЫ ПРИЛИВА M_2 В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

С формальной стороны сезонный ход волны M_2 можно представить как следствие ее модуляции в течение года под влиянием нескольких сложных волн [Войнов, 1999; Войнов, 2003; Войнов, 2011]. Эти волны не разделяются от волны M_2 при анализе месячных серий и полностью разделяются только при анализе годовых серий. При предвычислении прилива с этими сложными волнами мы получим сезонный ход

прилива, адекватный наблюдениям. Однако амплитуды и фазы сложных волн имеют большой разброс, вызванный как малой величиной этих волн, так и его индивидуальностью в конкретном году. Здесь вполне уместно сравнение с расчетом сезонного хода уровня по средним месячным значениям за отдельные годы. Требуется большой ряд средних месячных значений за период не менее 10–15 лет для получения устойчивых оценок среднего месячного хода уровня моря.

В нашем распоряжении имелись данные уровня моря для пунктов в восточной части Финского залива, где продолжительность ежечасных рядов составляла 13–34 года. Эти временные ряды исследовались для выделения приливов с помощью гармонического анализа по МНК. На первом этапе временные ряды были приведены к однородным массивам [Войнов, 2011]. Сразу заметим, что без этой процедуры дальнейшие шаги бесполезны. Для снижения воздействия неперіодических колебаний уровня моря применялся фильтр нижних частот. Этот фильтр подавляет колебания с периодом более 1,7 сут. и фактически полностью пропускает приливную часть спектра, начиная с суточного диапазона. С целью изучения межгодовой и сезонной изменчивости основных волн приливов анализ проводился по годовым и месячным сериям. При изучении сезонной изменчивости выяснилось, что для получения устойчивых оценок средних месячных значений волны M_2 при ее наблюдаемой величине около 1–2 см требуется иногда провести анализ месячных серий временных рядов за 20–30 и более лет.

В табл. 1 даны сведения о сезонном ходе амплитуды и фазы волны M_2 в Кронштадте по средним значениям (среднее векторное) за 34 года (408 месячных серий). Сезонный ход амплитуды представлен в виде относительного изменения (dH) ее средней величины (H) как $dH = (H_m - H_r)/H_m$ (%), где H_m – среднее векторное значение из всех серий за данный месяц, H_r – среднее векторное за весь период. Сезонный ход фазы (dg) дан в виде отклонения средней величины из всех серий за данный месяц от средней за весь период $dg = (g_m - g_r)$. Среднее квадратическое отклонение (с.к.о. или σ) для амплитуды и фазы рассчитывались по формулам ошибок векторного среднего. Для этого средняя и индивидуальные месячные значения амплитуды и фазы преобразовывались в компоненты $H \cdot \cos g$ и $H \cdot \sin g$. По ним рассчитывалась стандартная ошибка для амплитуды σ_H , и затем для фазы $\sigma_G = \sigma_H/H$ (рад):

$$\sigma_H = \left[\sigma_A^2 \cdot (\cos g)^2 + \sigma_B^2 \cdot (\sin g)^2 \right]^{1/2},$$

где σ_A – с.к.о. для компоненты $H \cdot \cos g$, а σ_B – с.к.о. для компоненты $H \cdot \sin g$.

Доверительный 95 % интервал рассчитан по формуле $\epsilon = 1,96 \cdot \sigma/N^{1/2}$, где N – число месячных серий в данном месяце (в Кронштадте $N = 34$).

Из данных табл. 1 видно, что амплитуда волны M_2 достигает максимума в августе и фаза имеет наибольшее значение в мае, а минимум амплитуды отмечается в феврале, фазы – в октябре–ноябре. Такое проявление сезонного хода не является классическим и близко к 3-му аномальному типу по классификации, предложенной в работе [Войнов, 2003]. Сезонный ход амплитуды в некоторые месяцы (например, май и сентябрь) отклоняется от кривой. Но аналогичные отклонения наблюдаются в сезонном ходе волны M_2 в пункте Шепелево, полученном за 19 лет (1989–2007 гг.). Может возникнуть вопрос об устойчивости во времени полученного сезонного хода. Расчеты показали, что определение сезонного хода по двум почти независимым 19-летним периодам (1977–1995 и 1992–2010 гг.) дает близкие между собой результаты, в основных чертах совпадающие с представленными в табл. 1.

Средние месячные константы (амплитуда и фаза) волны M_2 в Кронштадте за период 1977–2010 гг., оценки разброса, точности и их сезонный ход

Месяц	Амплитуда, см			Угол положения (фаза), град.			Изменения хода	
	H	с.к.о.	ϵ	G	с.к.о.	ϵ	dH	dg
I	1,81	0,56	0,19	22,0	17,9	6,0	-5,4	-1,2
II	1,71	0,49	0,16	25,3	16,5	5,4	-10,6	2,1
III	1,81	0,43	0,14	25,3	13,5	4,5	-5,2	2,0
IV	1,96	0,38	0,13	27,3	11,1	3,7	2,7	4,1
V	1,88	0,32	0,11	28,2	9,8	3,3	-1,7	5,0
VI	1,94	0,33	0,11	28,0	9,6	3,2	1,4	4,8
VII	2,09	0,36	0,12	27,3	9,9	3,3	9,4	4,1
VIII	2,11	0,32	0,11	21,9	8,8	3,0	10,5	-1,3
IX	1,93	0,54	0,18	20,2	15,9	5,3	0,8	-3,0
X	2,04	0,54	0,18	15,7	15,1	5,1	6,7	-7,5
XI	1,94	0,52	0,17	15,8	15,3	5,1	1,4	-7,5
XII	1,78	0,55	0,18	22,1	17,7	5,9	-6,6	-1,1

Примечание. Фазы здесь и далее приведены к нулевому поясу.

В пункте Горный сезонный ход (средний за 34 года) по величине и расположению максимумов и минимумов в амплитуде и фазе также почти тождествен Кронштадту. Однако значения с.к.о. как амплитуды, так и фазы в Горном несколько выше, вследствие большего развития непериодических колебаний, в особенности нагонов. Сезонный ход амплитуды и фазы волны M_2 для всех упоминаемых в работе пунктов представлен на рис. 1.

Величина отношения оценок дисперсий амплитуд какой-либо волны, рассчитанных по результатам анализа рядов с длиной N_1 (месяц) и N_2 (год), будет по теории обратно пропорциональна значению их отношения N_2/N_1 . Отсюда оценка ошибки амплитуды волны, полученной из годовой серии, должна уменьшиться в 3,46 раза по

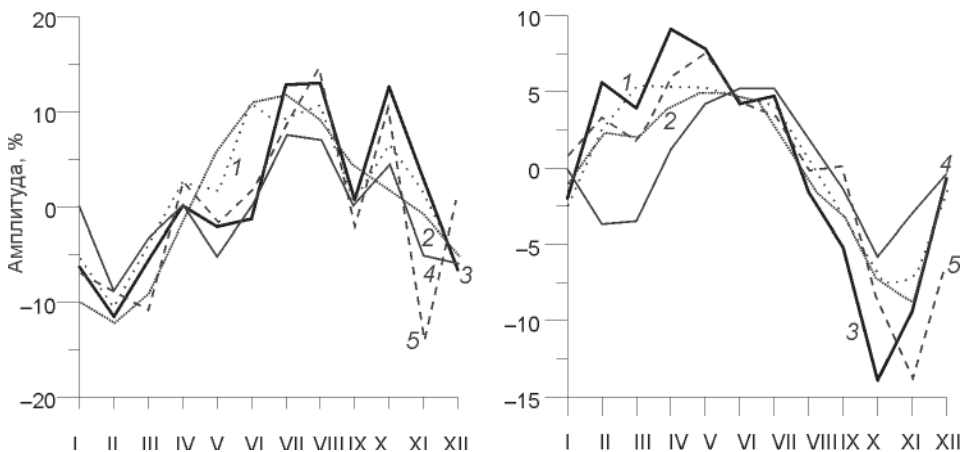


Рис. 1. Сезонный ход амплитуд (а) и фаз (б) волны M_2 в Финском заливе: 1 – Гогланд (предыдущее число), 2 – Кронштадт, 3 – Горный, 4 – Шепелево, 5 – Гогланд.

сравнению с таковой для месячной серии. При наблюдениях за уровнем моря точность снятия данных, как правило, составляет ± 1 см. По теории дисперсия шума в отсчетах уровня достигает $0,3333 \text{ см}^2$. Отсюда значения неустранимых ошибок в амплитуде для результатов анализа ежечасных месячных серий (в среднем длина месяца 730,5 ч) и годовых (в среднем длина года 8766 ч) составят соответственно $\pm 0,04$ см и $\pm 0,012$ см. При анализе серии за 19 лет ошибка снизится до $\pm 0,003$ см. Эти значения являются пределом допустимой точности расчета амплитуды волны при заданной длине ряда.

Поэтому в случае наличия исходных данных с хорошим качеством точность выделения основных волн из годовой серии всегда будет выше, чем точность ее выделения из месячной серии. Эта аксиома лежит в основе предлагаемого нами способа. Если период наблюдений недостаточен для расчета устойчивых оценок средних месячных значений волны, то иногда лучше использовать средние годовые оценки сложных волн, модулирующих главные волны прилива. Поясним это на примере пункта о. Гогланд. Здесь имелся ряд ежечасных наблюдений за период 13 лет (1977–1989 гг.). В табл. 2 дан сезонный ход волны M_2 в этом пункте с оценками разброса (с.к.о.) и точности.

Таблица 2

Средние месячные константы (амплитуда и фаза) волны M_2 в Гогланде за период 1977–1989 гг., оценки разброса, точности и их сезонный ход

Месяц	Амплитуда, см			Угол положения (фаза), град.			Изменения хода	
	H	с.к.о.	ϵ	G	с.к.о.	ϵ	dH	dg
I	0,86	0,30	0,10	9,5	19,7	6,6	-6,9	0,7
II	0,84	0,19	0,06	12,2	12,8	4,3	-9,1	3,3
III	0,83	0,14	0,05	10,5	9,6	3,2	-10,9	1,7
IV	0,95	0,21	0,07	14,7	13,0	4,4	2,4	5,9
V	0,95	0,15	0,05	16,4	9,3	3,1	1,8	7,5
VI	1,03	0,09	0,03	13,2	6,1	2,0	11,2	4,3
VII	1,01	0,17	0,06	12,4	9,8	3,3	8,4	3,5
VIII	1,07	0,09	0,03	8,6	4,6	1,5	14,9	-0,2
IX	0,91	0,18	0,06	9,0	11,2	3,8	-2,1	0,2
X	1,03	0,13	0,04	0,1	7,4	2,5	10,6	-8,8
XI	0,79	0,13	0,04	-5,0	9,3	3,1	-14,7	-13,9
XII	0,94	0,26	0,09	3,0	15,7	5,3	0,9	-5,8

По данным табл. 2 и рис. 1 (линия 5) сразу виден выброс в изменении амплитуд в сентябре и ноябре, а в изменении фаз – в марте и ноябре-декабре от плавной кривой. Эти значения, по-видимому, носят случайный характер. Хотя в целом величины с.к.о. амплитуды в Гогланде меньше, чем в Кронштадте. Но значения средних месячных амплитуд здесь по величине меньше, и поэтому разброс в фазах оказался приблизительно одинаковым, а точность фаз ниже, чем в Кронштадте. В итоге нет полной определенности в сезонном ходе амплитуды и фазы.

Значения амплитуд и фаз, а также оценки разброса и точности сложных волн, вызывающих модуляцию волны M_2 в годовом цикле в Кронштадте, даны в табл. 3. Подробное описание сложных волн, вызывающих внутригодовую амплитудную и

Таблица 3

**Гармонические постоянные группы волны M_2 и их оценки в Кронштадте
(средние годовые за 34 года)**

Волна	Амплитуда, см			Угол положения (фаза), град.		
	H	с.к.о.	ε	G	с.к.о.	ε
OP_2	0,03	0,02	0,02	75,88	(229,0)	(39,3)
MTS_2	0,01	0,16	0,03	13,08	–	–
M_2	1,90	0,19	0,03	23,29	5,7	0,9
MST_2	0,18	0,12	0,02	238,25	41,4	7,1
MKS_2	0,02	0,12	0,02	359,25	(193,6)	(33,2)

фазовую модуляцию основных волн прилива дано в [Войнов, 2003]. Здесь отметим, что пара волн MTS_2 и MST_2 вызывают годовую, а пара волн OP_2 и MKS_2 – полугодовую модуляции волны M_2 .

Из данных табл. 3 видно, что реальную модуляцию на основную волну оказывает практически только волна MST_2 , а волны MTS_2 и MKS_2 достоверно не выделяются даже из наблюдений за 34 года. Волна OP_2 немного, но превышает доверительный интервал. В этом косвенно заключается причина того, что устойчивый сезонный ход волны M_2 в Кронштадте может быть получен при обработке очень длительных рядов наблюдений.

В Гогланде гармонические постоянные сложных волн определены за 13 лет наблюдений и сведения о них даны в табл. 4. Отметим, что качество наблюдений в Гогланде отличное и уровень шума в полосе частот полусуточных приливов значительно ниже, чем в Кронштадте. Это видно по значениям разброса (с.к.о.) в амплитуде и фазе для волны M_2 (см. табл. 3 и 4). Доверительный 95 % интервал для амплитуд волн здесь близок к предельно допустимому значению. Возможно, в данном случае точность снятия значений с мареограмм была не ± 1 см, а $\pm 0,5$ см. В отличие от Кронштадта в Гогланде на модуляцию волны M_2 оказывают влияние 3 волны: MST_2 , OP_2 и MTS_2 , но основной вклад делает волна MST_2 .

Таблица 4

**Гармонические постоянные группы волны M_2 и их оценки в Гогланде
(средние годовые за 13 лет)**

Волна	Амплитуда, см			Угол положения (фаза), град.		
	H	с.к.о.	ε	G	с.к.о.	ε
OP_2	0,02	0,05	0,01	17,76	(95,7)	(26,5)
MTS_2	0,02	0,04	0,01	277,27	(161,2)	(44,7)
M_2	0,93	0,04	0,01	8,70	2,2	0,6
MST_2	0,11	0,05	0,01	218,32	28,1	7,8
MKS_2	0,01	0,05	0,01	75,68	–	–

Из данных табл. 1–4 можно определить повышение точности расчета амплитуд волны M_2 по годовым сериям в сравнении с месячными сериями. В Кронштадте отношение средней за 12 месяцев величины с.к.о. к значению с.к.о. из годовых серий равно $0,445/0,19 = 2,34$. В Гогланде это будет $0,170/0,04 = 4,25$. Получается, что средняя из этих двух оценок величина 3,30 будет близка к ранее полученной теоретической

оценке (3,46). Обратим внимание, что в значениях с.к.о. и точности, определенных для фаз, могут получаться сомнительные величины. Это связано с формулой расчета векторного с.к.о. для фазы. Она обратно пропорциональна амплитуде. Поэтому при очень малой ее величине рассчитываются сомнительные оценки.

РАСЧЕТ СЕЗОННОГО ХОДА ПО ПРЕДВЫЧИСЛЕННЫМ СЕРИЯМ НА ОСНОВЕ СРЕДНИХ ГОДОВЫХ КОНСТАНТ ПРИЛИВА

С целью получения сезонного хода основных волн прилива в случае не достаточно надежного выделения его из данных наблюдений применим следующий прием. Если провести предвычисление годовых серий с участием всех значимых сложных волн, затем выполнить гармонический анализ по МНК месячных серий за ряд лет, то можно рассчитать сезонный ход волны M_2 по этим результатам. То есть вся процедура расчета происходит не с наблюдениями, а с предвычисленными рядами.

В табл. 5 даны все полученные сведения по результатам анализа предвычисленных серий за 5 лет (1985–1989 гг.) и за 13 лет (1977–1989 гг.). По данным таблицы видно, что устойчивый сезонный ход формируется по результатам анализа месячных серий всего за 5 лет. Дальнейшее увеличение периода предвычисления и анализа практически не меняет сводные результаты по dH и dg . Полученный сезонный ход представляет плавное изменение по месяцам с максимумом амплитуды в июле и минимумом в феврале (см. рис. 1, линия 1). Фаза увеличивается до апреля и затем падает к ноябрю. В основном преобладает годовое колебание, что можно было предвидеть заранее по данным табл. 4. Волна с наибольшей амплитудой – MST_2 в группе формирует годовой ход.

В отношении других основных полусуточных волн не удалось получить устойчивых оценок сезонного хода. Причина заключается в крайней малости этих приливов, что приводит к большому разбросу амплитуд и фаз средних месячных значений, который крайне мало понижается с увеличением периода анализа. Например, средняя

Таблица 5

Средние месячные константы группы волны M_2 в Гогланде и их оценки по результатам анализа предвычисленных серий за 5 и 13 лет

Месяц	Амплитуда, см			Угол положения, град.			Изменения сезонного хода амплитуды и фазы			
	H	$\sigma(5)$	$\sigma(13)$	g	$\sigma(5)$	$\sigma(13)$	$dH(5)$	$dH(13)$	$dg(5)$	$dg(13)$
I	0,83	0,03	0,02	6,3	1,7	1,1	-10,7	-10,0	-2,2	-2,5
II	0,80	0,03	0,03	11,2	2,2	1,9	-13,3	-12,1	2,8	2,5
III	0,85	0,04	0,03	14,5	2,8	2,1	-8,7	-9,1	6,0	5,4
IV	0,91	0,01	0,01	14,3	0,7	0,9	-1,9	-1,6	5,8	5,4
V	1,00	0,02	0,02	13,3	1,1	1,0	7,6	6,0	4,8	5,3
VI	1,02	0,02	0,02	12,9	1,1	1,1	10,6	11,0	4,4	4,6
VII	1,04	0,02	0,02	12,2	1,1	0,9	12,0	11,6	3,7	4,1
VIII	0,99	0,01	0,02	9,1	0,7	1,1	7,4	9,2	0,6	0,6
IX	0,97	0,02	0,02	5,4	1,5	1,2	4,7	4,3	-3,1	-3,1
X	0,95	0,02	0,02	1,1	1,5	1,0	2,5	1,5	-7,4	-7,3
XI	0,92	0,01	0,01	-0,9	0,6	0,8	-0,8	-0,8	-9,6	-8,8
XII	0,89	0,01	0,01	1,7	0,5	0,8	-4,2	-5,1	-6,8	-7,2

за весь период амплитуда волны S_2 в Гогланде равна 0,29 см, а N_2 составляет всего 0,16 см. Амплитуды сложных волн в группах этих волн имеют на порядок меньшие значения и достоверно не выделяются. Наверное, нет необходимости в изучении очень малых изменений в годовом цикле этих малых приливов.

Однако основные суточные приливы K_1 и O_1 имеют амплитуды до 3 см, и их сезонный ход можно получить. В данной работе этот вопрос нами детально не рассматривается. Можно отметить, что проявление сезонного хода суточных приливов радикально отличается от такового у полусуточных.

РАСЧЕТ ВОЗМУЩЕНИЯ ВОЛНЫ M_2 ЗА СЧЕТ ГОДОВОЙ И ПОЛУГОДОВОЙ МОДУЛЯЦИИ ОТ СЛОЖНЫХ ВОЛН

Выше было показано, что сезонный ход волны M_2 описывается с помощью четырех сложных волн. Для исследования физических механизмов этого хода приходится принимать во внимание амплитуды и фазы каждой из этих волн в отдельности или во взаимосвязи. Альтернативное описание сезонного хода волны прилива позволяет упростить эту задачу. Сезонный ход амплитуды и фазы основной волны можно представить также в виде изменения скалярной величины возмущения этой волны от линейной комбинации двух, четырех и более гармоник.

Впервые такой подход использовался в работе [Corkan, 1934], но только для описания годовой модуляции волны M_2 под действием волн MA_2 и MB_2 (в нашей работе это волны MTS_2 и MST_2). Формулы, предложенные Корканом, не всегда дают правильный результат, и более строгий учет модуляции дан в работе [Woodworth et al., 1991], но только для двух волн в виде MA_2 и MB_2 .

Ниже дано аналитическое описание модуляции волны M_2 для набора волн. Как известно, общая формула предвычисления любой волны прилива (пренебрегая нодальными факторами, то есть $f=1$, $u=0$ для всех волн) имеет вид $H_i \cos(q_i \cdot t + V_i - g_i)$. Здесь H_i , g_i – гармонические постоянные волны, q_i – угловая скорость, V_i – астрономический аргумент на начало расчета. Суммарное колебание во времени группы этой волны можно представить в виде сложения высоты прилива от волны M_2 и от группы смежных волн, вызывающих ее годовую и полугодовую модуляцию:

$$h(t) = H_{M_2} \cos(q_{M_2} t + V_{M_2} - g_{M_2}) + S(t).$$

Здесь $S(t) = \sum H_i \cos(dq_i \cdot t + dV_i + dg_i)$ – суммарная величина модуляционной волны, где H_i – амплитуда модуляционной волны; dq_i – разность угловых скоростей между модуляционной и основной волной, dV_i – разность их аргументов, а dg_i – разность фаз (углов положений). Значения угловых скоростей основных и второстепенных волн и выражения для расчета астрономических аргументов даны в работе [Войнов, 2011].

Для наглядности и упрощения расчетов величины $S(t)$ нами дана вспомогательная таблица с разностями угловых скоростей пар волн и их астрономических аргументов.

Данные табл. 6 показывают, что в разности аргументов пар волн присутствуют только средняя долгота Солнца и средняя долгота его перигея. Поэтому не имеет значения год предвычисления, если производить расчет с 1 января на 0 ч. Результаты будут практически одинаковые для различных лет, так как средняя долгота Солнца (на начало года) год от года меняется в пределах 1 градуса, а средняя долгота перигея принимается постоянной величиной в течение столетия.

Значения разностей угловых скоростей (град./ч) и выражения для расчета астрономических аргументов разностей пар волн

Пара волн	dq_i	s	h	P	N'	P_1	Δ
OP_2-M_2	-0,0821373	0	-2	0	0	0	180
MTS_2-M_2	-0,0410667	0	-1	0	0	1	0
MST_2-M_2	0,0410667	0	1	0	0	-1	0
MKS_2-M_2	0,0821373	0	2	0	0	0	0

Примечание. s – средняя долгота Луны, h – средняя долгота Солнца, p – средняя долгота перигея Луны, N' – отрицательная долгота восходящего узла Луны, p_1 – средняя долгота перигея Солнца, Δ – постоянная для приведения аргументов (углов) волн к функции \cos .

В табл. 7 приведены значения возмущения $S(t)$, рассчитанные по значимым волнам в группе прилива M_2 для Кронштадта, Горного, Гогланда и Ханко. Из данных табл. 7 видно, что величина возмущения в пунктах не превышает 0,2 см по абсолютной величине, но, несмотря на это, правильно отражает полученные выше результаты сезонного хода волны M_2 . Подобная форма представления сезонного хода удобна тем, что она заменяет 4 второстепенные волны, имеющие каждая свою амплитуду и фазу, на одну скалярную величину. Она предпочтительна при отыскании регрессионных связей, раскрывающих физические причины сезонной изменчивости основных волн приливов. Эти причины до настоящего времени до конца не раскрыты не только в Балтийском море, но и в арктических морях России.

Таблица 7

Значения возмущения волны M_2 (в см) в пунктах Кронштадт, Горный, Гогланд и Ханко

Месяц	Кронштадт	Горный	Гогланд	Ханко
I	-0,17	-0,15	-0,10	-0,10
II	-0,18	-0,19	-0,11	-0,08
III	-0,14	-0,17	-0,08	-0,03
IV	-0,06	-0,11	-0,01	0,00
V	0,03	-0,02	0,05	0,01
VI	0,10	0,08	0,10	0,01
VII	0,14	0,16	0,10	0,03
VIII	0,15	0,19	0,08	0,07
IX	0,13	0,17	0,04	0,09
X	0,08	0,10	0,01	0,07
XI	0,00	0,01	-0,02	0,00
XII	-0,10	-0,08	-0,06	-0,07

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью предложенного выше способа был получен сезонный ход волны M_2 в пунктах, где продолжительность имеющихся временных рядов (10–14 лет) была недостаточна для получения устойчивого хода только по данным анализа месячных серий, а именно: Гогланд, Ханко, Озерки, Ломоносов, Невская. Мы уверены, что способ применим к любым акваториям арктических морей с выраженными приливами, где период наблюдений еще не полностью достаточен для прямого вывода

сезонного хода волны M_2 , но позволяет определить надежные оценки сложных волн, модулирующих эту волну.

Автор выражает признательность Л.А.Тимохову за полезные замечания, позволившие улучшить содержание работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд-во Русского географического общества, 1999. 109 с.

Войнов Г.Н. О новой интерпретации сезонной изменчивости приливов арктических морей России // Метеорология и гидрология. 2003. № 9. С. 59–70.

Войнов Г.Н. Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4. С. 51–61.

Войнов Г.Н. Приливы Финского залива // Наш общий Финский залив: Мат-лы I науч. конф. СПбГУ «Год Финского залива-2014». СПб., 2012. С. 57–62.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. III. Балтийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 450 с.

Corkan R.H. An annual perturbation in the range of tide // Proc. R. Soc., Lond. 1934. A144. № 853. P. 537–559.

Witting R. Tidvattnen i ostersjön och Finska viken // Fennia. 1911. Vol. 29. № 2. P. 1–84.

Woodworth P.L., Shaw S.M., Blackman D.L. Secular trends in mean tidal range around the British isles and along the adjacent European coastline // Geophys. J. int. 1991. Vol. 164. P. 593–609.

G.N.VOINOV

TECHNIQUES FOR COMPUTATIONS OF THE SEASONAL VARIATION IN THE MAIN CONSTITUENTS OF TIDES WITH THE SMALL RANGE OF TIDE (AS AN EXAMPLE OF THE BALTIC SEA)

Method of computations of the seasonal variation of the main constituents of tides under the small range of tide are presented. This method is based on the equivalency of approximation of the seasonal run of the specific constituent with the use of the new compound waves. The harmonic constants of the seasonal variation of the wave M_2 at five stations in the gulf of Finland are presented.

Keywords: tides, the seasonal variation in the M_2 constituent, the Baltic Sea, the gulf of Finland.