

УДК 551.466.7(261.243)

## НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИЛИВАХ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

*Г.Н. Войнов*

Санкт-Петербургское отделение Государственного океанографического института им.  
Н.Н. Зубова, [voinovgn@mail.ru](mailto:voinovgn@mail.ru)

Представлены гармонические постоянные приливов с помощью МНК по версии ААНИИ для 21 пункта Финского залива по данным длительных наблюдений за уровнем моря. При этом в 14 пунктах использованы ежечасные ряды с длительностью более 10 лет (до 35). Все базы данных уровня приведены к однородным временным рядам с контролем случайных ошибок. В пяти пунктах значения гармонических постоянных волн определены впервые. Даны новые значения гармонических постоянных приливных волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ . В целом точность полученных констант прилива не менее чем на порядок лучше полученных ранее, в XX веке. Проведено сравнение новых результатов с таковыми данными из других работ.

*Ключевые слова:* приливы Финского залива, гармонические постоянные волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ .

## THE NEW OF DATA OF TIDES IN THE GULF OF FINLAND IN THE BALTIC SEA

*G.N. Voinov*

Zubov State Oceanographic Institute

Harmonic constants of tides  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  using the least-squares method of AARI version for 21 points of the Gulf of Finland based on long-term sea level observations are presented. At that, in 14 points hourly rows with a duration of more than 10 years (up to 35) were used. All level databases are brought to homogeneous time series with control of random errors. In five points, the values of harmonic constants of tides are determined for the first time. New harmonic constants of tidal waves  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  are given. In general, the accuracy of the obtained tide constants is no less than an order of magnitude better than previously obtained in the XX century. Comparison of new results with those from other studies was carried out.

*Keywords:* tides in the gulf of Finland, harmonic constants of tides  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ .

### Введение

Первым исследователем приливов Финского залива был Амелунг [2]. Он изучал изменчивость прилива в Кронштадте без применения гармонического анализа, а только по визуальной связи колебаний уровня моря с астрономическими фазами и склонением Луны. Виттинг [38] применил гармонический анализ и получил гармонические постоянные ряда волн приливов для 11 пунктов из обработки годовых ежечасных серий за различные годы за период 1898—1907 гг., из них четыре пункта пришлось на Финский залив. В целом по 28 пунктам Виттинг построил первые приближенные котидальные линии изофаз волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  (карты изолиний амплитуд им не построены). В Финском заливе Виттинг предположил амфидромию в приливах волн  $M_2$  и  $S_2$ . Для суточных волн амфидромия располагалась в южной части Балтийского моря, а в Финском заливе наблюдалась стоячая волна.

Якоби [27, 28] определил константы четырех основных волн прилива в Кронштадте и устье р. Невы (Горный институт) по результатам обработки методом Дарвина нескольких серий с периодом 15 сут каждая. Он высказал сомнение в достоверности результатов анализа Виттинга по Кронштадту. Лисицина [33, 34] получила оценки констант шести основных волн прилива в Ботническом и Финском заливе за период 1928—1935 гг. из годовых ежечасных серий (в Финском заливе анализ выполнен для шести пунктов).

Дефант [30] построил приливную карту (только изолинии фаз) для волны  $M_2$  по методу Штернека по данным Виттинга и Лисицыной. Он обосновал физическую природу приливов: суточные приливы формируются как собственные волны, а полусуточные образуются в виде суперпозиции собственной волны с волной Северного моря.

Магаард и Краусс [35] получили оценки четырех волн прилива с помощью кросс-спектра годовых ежечасных серий уровня моря в 31 пункте Балтийского моря за 1958 г. и представили карты изолиний фаз четырех главных волн прилива (карты изоамплитуд не приведены). Карты изофаз до настоящего времени считались наиболее достоверными и часто использовались в последующие годы при выполнении исследований по приливам Балтийского моря.

В Советском союзе оценка приливов по годовым сериям не проводилась. Различные характеристики приливов Балтийского моря и Финского залива обсуждались в работах [1—5, 14, 18—21, 23—28]. В работе [19] приведены оценки констант для пяти пунктов, полученные из месячных серий по методу Дудсона, но наша проверка показала, что для Таллинна и Ленинграда они недостоверны.

В Справочнике [23] раздел по приливам составлен А.Е. Михайловым по опубликованным источникам (во многом заимствован из работы Магаарда и Краусса). В Справочном издании [24] приведен более широкий обзор по приливам Балтийского моря, составленный А.Е. Михайловым на основании тех же работ, и представлен ряд карт с характеристиками приливов. Новых сведений о приливах не приведено.

В монографии [31] приведены карты изофаз волн  $M_2$  и  $O_1$ , построенные по результатам численного моделирования, но карты изоамплитуд не даны.

В работе автора [12] впервые была произведена оценка достоверности имеющих (опубликованных) гармонических постоянных основных волн приливов в отдельных пунктах Финского залива на основе новых сведений о приливах, полученных с помощью гармонического анализа по методу наименьших квадратов (МНК) результатов многолетних наблюдений за уровнем моря в 20 пунктах. В работе также были приведены новые предварительные эмпирические котидальные карты основных волн прилива  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  (карты изолиний амплитуд построены впервые) в Финском заливе. В следующей работе автора [13] приведена оценка сезонной изменчивости волны  $M_2$  в пяти пунктах Финского залива, где период наблюдений составлял 20—30 лет.

Недавно появилось обстоятельное и самое полное исследование по приливным колебаниям уровня в Балтийском море [16], основанное на результатах многолетних наблюдений, где приведены константы четырех главных волн приливов

в 35 пунктах, причем 15 станций расположены в Финском заливе. Эти константы определены с помощью гармонического анализа по МНК и являются наиболее достоверными сведениями о приливах. В этой работе также впервые исследовано распределение энергии спектра приливных колебаний уровня в диапазоне частот от долгопериодных до высших приливов.

Не умаляя новизны, обширности и оригинальности работы [16], все же отметим, что в ней не дана оценка достоверности тех сведений о приливах, которые опубликованы в различных работах, в том числе и в Таблицах приливов [25]. Также не исследована сезонная и многолетняя изменчивость основных волн прилива.

Имевшаяся в Санкт-Петербургском отделении ГОИН база данных уровня моря ранее не была приведена к условиям однородности. Это вызывало различные недоразумения в научной работе с такими данными. Гармонический анализ приливов по новой версии ААНИИ [7—11] явился действенным методом, с помощью которого удалось привести все временные ряды в Финском заливе к однородному виду. Результаты анализа приливов многолетних данных наблюдений за уровнем моря явились основой настоящей работы. Полученные гармонические постоянные составляющих долгопериодных и короткопериодных приливов позволяют дать новую характеристику приливов Финского залива, оценить сезонную и многолетнюю изменчивость. Но это исследование является предметом отдельной самостоятельной работы.

В настоящей работе представлены гармонические постоянные главных суточных ( $K_1$  и  $O_1$ ) и полусуточных ( $M_2$  и  $S_2$ ) волн для 21 пункта и выполнена оценка достоверности всех полученных ранее сведений о приливах в нескольких пунктах.

### Использованные материалы

Регулярные наблюдения за уровнем Балтийского моря, как известно [15], велись с начала XIX века в Кронштадте, Таллинне и в других пунктах. В табл. 1 представлены сведения о пунктах (рис. 1) и периоде анализа, а также другие характеристики тех данных о колебаниях уровня моря, которые имелись в нашем распоряжении и подвергались гармоническому анализу приливов по нашей версии МНК [11].

Из табл. 1 видно, что в ряде пунктов автором были использованы материалы за 2007—2011, иногда по 2015 г. Эти материалы получены по сайту BOOS Международной базы данных, созданной по проекту «Система Балтийского моря» [29]. Эти материалы были приведены к нулю Балтийской системы высот и имели пропуски, вызванные сбоями при передаче данных. Поэтому необходима коррекция данных перед дальнейшей обработкой.

К сожалению, публикации материалов наблюдений за уровнем охватывают начало и середину XX века — это Сборник ежечасных уровней в Ханко за 1897—1903 г. по сети наблюдений Финляндии [32]; данные шестисрочных мареографных и футшточных наблюдений в Ежегодниках [36]. Сеть наблюдений СССР отражена в Водных кадастрах, Гидрометеорологических ежегодниках с начала

Пункты с годовыми сериями,  
привлеченные к гармоническому анализу по МНК

Номер п/п	Пункт	Период анализа	Дискретность, часы	Число лет	Примечание
1	Ристна	1958—1978	1	21	СУМ; МРК-1978—1982
2	Лехтма	2007—2011	1	5	СУМ
3	Палдиски	2007—2011	1	5	СУМ
4	Таллинн	1967—1969,	1	3	СУМ; W-1899, 1902; L-1928—1935; M-1958; МРК-1978—1994
		1975—1978	1	4	
		2006—2015	1	10	
5	Кунда	1967—1978	6	12	Рейка футштока
6	Гогланд	1977—1989	1	13	СУМ; МРК-1992—1994
7	Силламяе	2007—2011	1	5	СУМ
8	Мощный	1980—1983	1	4	СУМ; МРК-1980—1983
9	Нарва	1967—1970	1	4	СУМ; МРК-1977—1991
10	Шепелево	1989—2007, 2010	1	20	СУМ; МРК-1989—2006
11	Кронштадт	1977—2011	1	35	СУМ; W-1899, 1903; Я; МРК-1992—2006
12	Ломоносов	1977—1989, 2010	1	14	СУМ; МРК-1992—2006
13	Горный институт	1977—2011	1	35	СУМ; Я; M-1958; МРК-1977—2007
14	Невская устьевая	1978—1989, 2010	1	13	СУМ; МРК-1992—2003
15	Озерки	1980—1989, 2010	1	10	СУМ
			6	1	
16	Приморск	1936—1939 1980—1987	4	4	L-1928—1935; МРК-1980—1987
			1	8	
17	Выборг	1977—2007, 2010	1	32	СУМ; L-1932—1935 МРК-1992— 2006
18	Хамина	1963—1970 1997—2015	4	8	СУМ; L-1932—1935; M-1958; МРК-1993—2008
			1	19	
19	Хельсинки	1963—1965; 1997—2015	4	3	СУМ; W-1904—1907 L-1928—1935; M-1958; МРК-1993—2008
			1	19	
20	Ханко	1897—1903; 1963—1970 2007—2013	1	7	СУМ; W-1899, 1902, 1903; L-1932—1935; M-1958; МРК-1992—2008
			4	8	
			1	7	
21	Дегербю	1961—1968 2007—2011	4	8	СУМ L-1943; M-1958; МРК-1993—2008
			1	5	

*Примечания:* 1. СУМ — самописец уровня моря. 2. Гармонические постоянные основных волн в пункте также приведены в следующих работах: W — Witting [38]; L — Lisitzin [34]; M — Magaard and Krauss [35]; Я — Якоби [27—28]; МРК — Медведев, Рабинович, Куликов [16]. Указаны периоды обработки.

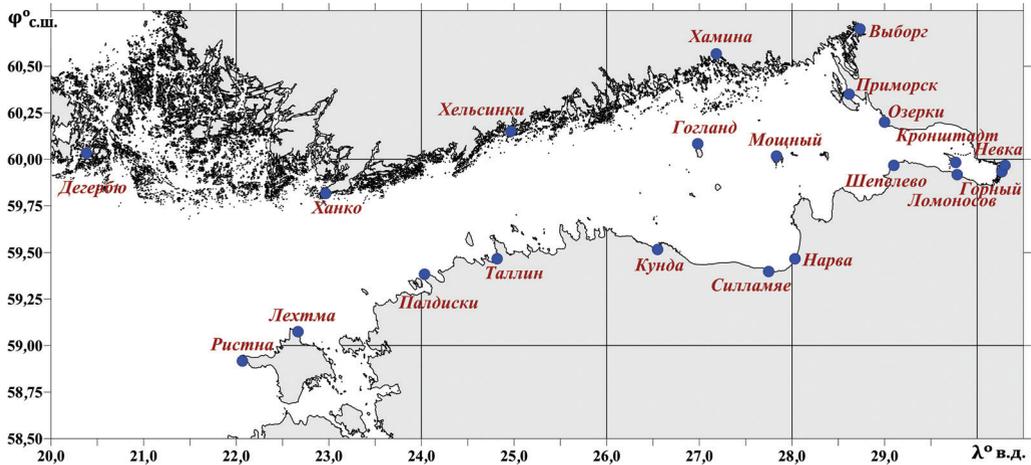


Рис. 1. Пункты наблюдений за уровнем моря в Финском заливе.

наблюдений и затем в Ежемесячниках с 1961 по 1975 г. С 1976 г. публикация исходных ежечасных и срочных наблюдений на сети была прекращена. В настоящее время публикуются только среднесуточные значения уровня моря.

В конечном итоге мы располагали данными 343 годовых серий в 21 пункте Финского залива. Однако многолетние ряды наблюдений длительностью более 10 лет имелись в нашем распоряжении только для 13 пунктов, расположенных в основном в восточной части Финского залива (см. табл. 1). Для расширенного анализа долгопериодных колебаний уровня была создана дополнительно база среднесуточных значений уровня в пунктах Хамина, Хельсинки, Ханко и Дегерью за 1950—1970 гг. по [36].

Здесь отметим, что реальным затруднением в проведении исследования является неполнота имеющейся в СПО ГОИН базы данных наблюдений за уровнем моря в Балтийском море, и в частности в Финском заливе. База данных уровня в проекте BOOS [29] находится в настоящее время в стадии развития.

### Методика анализа

В 1990-е годы в ААНИИ был разработан новый комплексный методический подход к обработке и анализу морских приливов [7, 8]. В дальнейшем были опубликованы версии метода для анализа нерегулярных наблюдений, анализа срочных наблюдений [9—11]. Для первичного контроля данных обработка позволяет обнаруживать случайные ошибки (выбросы) и производить интерполяцию этих ошибок. Практика применения этого метода показала, что более надежные результаты получаются при контроле остаточных рядов, а не исходных.

В настоящей работе расширенный гармонический анализ морских приливов по МНК производится по новой методике с включением волн, описывающих сезонную изменчивость основных и мелководных волн. Принципиальное отличие новой версии расширенного гармонического анализа морских приливов состоит

в адекватном описании сезонной изменчивости приливных колебаний уровня моря для районов с сильно выраженным или аномальным ходом констант волн в годовом цикле [10].

В дополнение к известным опубликованным спискам волн для гармонического анализа приливов при производстве расширенного гармонического анализа по МНК многолетних рядов наблюдений был предложен список новых сложных волн, позволяющий строго учитывать сезонную изменчивость основных волн приливов [10].

Важным звеном новой методологии является контроль и редакция ежечасных и срочных наблюдений по остаточному ряду и скользящему гармоническому анализу.

В пунктах Хамина, Хельсинки, Ханко, Дегербю, для которых имелись данные шестисрочных наблюдений, применялась разработанная нами версия гармонического анализа по МНК. Вследствие наложения частот число волн в анализе было сокращено до 57 (из годовой ежечасной серии выделялось 92 волны). При этом вследствие наложения частот приливы с периодом менее 8 ч прямо из анализа не выделяются.

Эксперименты с анализом по новой версии предвычисленных рядов с дискретностью 1 и 4 часа показали удовлетворительное выделение основных волн приливов. Конечно, это будет справедливо только для анализа приливов Балтийского моря, где амплитуды высших приливов очень малы и наложением частот от них можно пренебречь.

При анализе многолетних рядов их необходимо было приводить к однородным рядам, то есть на каждом отдельном пункте временной ряд наблюдений должен иметь одинаковую высотную привязку, единое время и не содержать ошибок приводки нуля поста и выбросов. Как показала наша практика обработки данных наблюдений за уровнем моря, главная проблема интерпретации результатов анализа состоит в точном определении времени наблюдений. Однако в публикуемых данных этот параметр иногда даже не указывается. При этом на одном пункте в разные годы может быть установлено разное время. Например, в Таллинне в 1967 г. наблюдения проводились по времени 3-го пояса, в 1977—1978 гг. — по времени 2-го пояса, а в 2007—2011 гг. — по Гринвичу, или нулевому поясу.

### Основные результаты гармонического анализа

Средние векторные оценки гармонических постоянных четырех основных волн прилива ( $O_1$ ,  $K_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ) в Финском заливе для 21 пункта приведены в табл. 2.

Следует заметить, что результаты анализа годовых серий с дискретностью 4 ч (шесть сроков в сутки) не использовались при получении средних оценок констант прилива. Основным назначением этих сведений было изучение сезонной и межгодовой изменчивости констант основных волн приливов. В идеальном случае устойчивые значения констант прилива следует определять за период нодального цикла (около 19 лет). Однако такая возможность была реализована только для пунктов Ристна, Шепелево, Кронштадт, Горный институт, Выборг, Хамина, Хельсинки, Ханко. Менее устойчивые оценки констант волн прилива были получены для пунктов Таллинн, Гогланд, Ломоносов, Невская устьевая, Озерки. Результаты

Таблица 2  
Средние значения амплитуды ( $H$ ) и фазы ( $g$ ) в нулевом поясе основных приливных волн в Финском заливе

Номер п/п	Пункт	$\varphi^\circ$ с.ш.	$\lambda^\circ$ в.д.	$O_1$		$K_1$		$M_2$		$S_2$	
				$H$ см	$g^\circ$						
1	Ристна	58,917	22,067	0,61	255,0	0,49	264,2	1,19	187,9	0,49	194,3
2	Лехтма	59,075	22,667	0,75	276,3	0,87	291,4	1,50	193,8	0,67	204,3
3	Палдиски	59,383	24,033	1,15	304,3	1,15	323,9	1,16	206,0	0,41	224,1
4	Таллинн	59,467	24,817	1,61	315,3	1,39	333,4	0,75	228,1	0,32	237,5
5	Кунда	59,517	26,550	2,46	321,3	2,21	341,4	0,81	330,4	0,27	339,0
6	Гогланд	60,083	26,983	2,31	338,3	2,06	349,9	0,93	8,7	0,29	16,3
7	Силламяе	59,398	27,749	2,86	322,8	2,72	338,2	1,19	333,1	0,39	341,7
8	Мошный	60,017	27,833	2,58	338,3	2,35	356,9	0,97	7,9	0,33	20,5
9	Нарва	59,467	28,033	2,65	325,3	2,38	345,6	1,16	345,0	0,15	289,2
10	Шелелево	59,967	29,100	2,88	335,0	2,93	354,2	1,64	6,9	0,57	15,4
11	Кронштадт	59,983	29,767	3,04	343,8	2,97	1,8	1,90	25,7	0,77	36,7
12	Ломоносов	59,917	29,783	2,87	343,5	2,86	356,5	2,06	26,0	0,95	36,8
13	Горный институт	59,933	30,267	2,99	353,7	3,19	14,5	2,01	48,0	0,90	56,5
14	Невская устьевая	59,967	30,300	2,65	352,3	2,84	4,7	1,98	41,8	0,98	51,2
15	Озерки	60,200	29,000	2,61	353,5	2,46	0,7	1,34	34,0	0,51	43,2
16	Приморск	60,350	28,617	2,64	347,5	2,36	355,4	1,45	25,7	0,52	36,8
17	Выборг	60,700	28,733	2,63	359,2	2,78	24,9	1,41	62,3	0,46	66,8
18	Хамина	60,567	27,183	2,52	343,3	2,54	5,4	1,15	29,9	0,39	42,4
19	Хельсинки	60,150	24,967	1,84	346,9	1,81	10,9	0,35	116,1	0,12	147,3
20	Ханко	59,817	22,967	0,87	2,3	0,73	24,4	1,28	176,2	0,51	198,9
21	Дегербу	60,033	20,383	0,34	82,8	0,47	103,9	0,94	193,2	0,32	212,1

гармонического анализа для остальных пунктов автор расценивает как подлежащие уточнению на основе данных более длительных наблюдений. Тем не менее и эти результаты можно использовать в научных и практических целях, так как оценка достоверности всех оценок констант прилива в 15 пунктах, произведенная при сравнении результатов автора с результатами, приведенными в работе [16], не выявила существенных расхождений между ними.

В рамках настоящей статьи невозможно представить ошибку амплитуды и фазы каждой волны на конкретной станции — для этого необходима специальная публикация. Здесь мы ограничимся общими оценками. Оценка ошибок (среднего квадратического отклонения, или СКО) констант волн производилась согласно рекомендациям работы [37]. При этом расчет СКО осуществлялся с помощью Фурье-анализа остаточного ряда за весь период наблюдений, но ввод по программе производился по годовым блокам. Для сокращения выводимой информации Фурье-анализ выполнялся только в пределах частотных полос приливов. Степень разрешения Фурье-анализа при длине временных рядов более 5—10 лет позволяет произвести индивидуальную оценку СКО для каждой волны прилива. Тем не менее мы посчитали такой подход излишним и оценивали СКО в целом по каждому классу прилива.

По теории ошибка констант волн прилива зависит от длины используемых рядов и их дискретности. С увеличением длины ряда СКО должна уменьшаться. При уменьшении количества значений выборки из ряда одинаковой длины СКО будет возрастать. В действительности СКО имеет очень большой разброс при одинаковой длине ряда в разных пунктах. Не касаясь вопроса о качестве измерений уровня в пунктах (у нас нет полных сведений об устройствах), влияющего на уровень шума, отметим преобладающее влияние интенсивности сгонно-нагонных колебаний и сейш, которая сильно варьирует между годами, на уровень СКО.

В табл. 3 в обобщенном виде представлены значения СКО для ежечасных данных и шестисрочных серий в зависимости от длины рядов для суточного и полусуточного классов прилива. В суточном классе СКО приведено для волн  $O_1$  и  $K_1$ , а в полусуточном для волн  $M_2$  и  $S_2$ . Причем СКО для угла положения рассчитывалось по амплитуде волны в классе, имеющей меньшее значение (см. табл. 2).

Таблица 3

Средние значения СКО для суточного (волны  $O_1$  и  $K_1$ ) и полусуточного (волны  $M_2$  и  $S_2$ ) классов прилива в зависимости от длины рядов при разной дискретности наблюдений

Длина ряда, лет	Суточный класс		Полусуточный класс		Дискретность, ч
	$\pm H$ , см	$\pm g^\circ$	$\pm H$ , см	$\pm g^\circ$	
4–5	0,04 (21)–0,20 (8,9)	7 (21)–5 (8, 9)	0,02 (21)–0,03 (1–3)	3–4	1
7–12	0,06 (20)–0,17 (16)	4 (20)–4 (16)	0,02 (4)–0,03 (16, 20)	3–4	1
14–20	0,10 (6)–0,14 (12)	3 (6)–3 (12)	0,02 (10)–0,04 (14)	2–4	1
30–35	0,10 (11)–0,11 (17)	2 (11)–2 (17)	0,02 (11)–0,03 (13)	2	1
3–4	0,14 (19)–0,18 (16)	4 (16, 19)	0,03 (19)–0,04 (16)	12	4
7–8	0,04 (21)–0,12 (18)	6 (21)–4 (18)	0,02	4	4

*Примечание.* В скобках указаны номера характерных пунктов в соответствии с табл. 1 и 2.

Из табл. 3 видно, что для СКО в случае суточных волн характерна большая изменчивость, что связано не только с продолжительностью временных рядов, но и с конкретным периодом наблюдений. Максимальное значение СКО для амплитуды суточных волн составляет  $\pm 0,20$  см в пункте Мощный, а соответствующая ошибка фазы для этих волн будет равна  $5^\circ$ . Преобладающее по величине СКО для суточных волн не превышает  $\pm 0,10$  см, а ошибка фазы составит при этом  $2\text{—}3^\circ$ .

В случае полусуточных волн изменчивость СКО заключена в основном в пределах  $\pm 0,01\text{—}0,03$  см. При этом значение СКО, как правило, не превышает  $\pm 0,03$  см, а ошибка фазы будет не более  $3\text{—}4^\circ$ .

**Сравнение значений новых гармонических постоянных  
с ранее определенными Виттингом, Лисициной, Магаардом и др.,  
Медведевым и др. для отдельных пунктов**

В пунктах Ристна, Таллинн, Гогланд, Мощный, Нарва, Выборг, Приморск, Шепелево, Ломоносов, Кронштадт, Горный институт, Невская устьевая, Хамина, Хельсинки, Ханко, Дегербю имелись списки гармонических постоянных основных волн, полученные ранее (см. табл. 1). Поэтому возникло естественное желание сопоставить значения констант волн с нашими оценками. Стоит сразу отметить, что подобное сравнение не может быть полностью объективным. Разными авторами применялись различные методы гармонического анализа и обработки данных. Также не всегда возможно использовать такие же периоды анализа. Тем не менее прием прямого сравнения интересен тем, что позволяет выявить явные ошибки.

Начнем с Кронштадта, являющегося главным опорным пунктом наблюдений за уровнем моря в Финском заливе. Сведения по приливам для этого пункта наиболее часто цитировались во всех исследованиях приливов и представлены в Таблицах приливов [25] по Виттингу [38].

В табл. 4 сопоставлены константы приливов четырех основных волн приливов (здесь и далее средние оценки за период обработки), определенных Виттингом [38], Якоби [28], Медведевым и др. [16] и автором. В значениях амплитуды и фазы волн, определенных за разные периоды времени, присутствует некоторый

Таблица 4

Амплитуда ( $H$ ) и фаза ( $g$ ) по нулевому поясу основных волн прилива  
в Кронштадте по данным разных авторов

Волна	Якоби, 4 серии за 1912—1913 гг.		Виттинг, 1899, 1903 гг.		Медведев и др., 1992—2006 гг.		Войнов, 1992—2011 гг.	
	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$
$O_1$	2,3	324,7	4,82	223,2	3,05	343	3,04	343,8
$K_1$	2,4	359,9	2,80	2,2	3,05	4	2,97	1,8
$M_2$	2,0	29,4	1,71	275,4	1,93	25	1,90	25,7
$S_2$	0,8	50,7	1,13	84,4	0,79	36	0,77	36,7

*Примечание.* Курсивом отмечены сомнительные значения.

разброс, вызванный межгодовой изменчивостью. Тем не менее из табл. 5 видно, что Виттинг допустил ошибку в определении углов положения полусуточных волн, хотя значения амплитуды близки к реальным. Также у Виттинга неверно определена фаза прилива  $O_1$ , а амплитуда завышена на 73 %. Достоверность волн  $M_2$  и  $O_1$  у Виттинга мала, так как получена по анализу серии за 1903 г. Поэтому сомнения Якоби относительно неточных констант прилива по Виттингу были справедливыми.

При использовании констант по Виттингу, кроме неверного расчета предвычисленной кривой, неправильно определялись возраст полусуточного и суточного приливов и другие характеристики негармонических постоянных прилива. Так, в работе [18] истинные предвычисленные колебания в Кронштадте имеют отличный от указанного на приведенном в этой работе графике ход кривой (сдвиг около 6 ч) и не увеличиваются к концу периода. Возраст полусуточного и суточного приливов здесь по нашим данным равен 13—14 ч, а не составляет 6 дней 19 ч и 4 дня 20 ч соответственно, как указано в [18].

Отметим, что при использовании констант по Виттингу, кроме неверного расчета предвычисленной кривой, неправильно определялись возраст полусуточного и суточного приливов и другие характеристики негармонических постоянных прилива. Так, в работе [18] истинные предвычисленные колебания в Кронштадте имеют отличный от указанного на приведенном в этой работе графике ход кривой (сдвиг около 6 ч) и не увеличиваются к концу периода. Возраст полусуточного и суточного приливов здесь по нашим данным равен 13—14 ч, а не составляет 6 дней 19 ч и 4 дня 20 ч соответственно, как указано в [18].

Из табл. 4 видно, что многие исследователи в своих работах применяли ошибочные данные, не зная об этом. Конечно, не составляло особого труда проверить обработку и получить правильные результаты. Просто удивительно, что в XX веке этого так никто и не сделал. Между тем есть примеры качественной обработки результатов наблюдений по методу Дарвина по схеме 30 сут. В работе [5] приведены результаты обработки трех месячных серий данных наблюдений за уровнем моря в пункте о. Западный Березовый (вблизи Приморска). Наша независимая обработка этих данных (в работе Буторина [5] помещены материалы наблюдений) подтвердила его результаты (в пределах ошибок метода Дарвина). Полученные константы приливов хорошо соответствуют также сведениям Лисицыной [34] и Медведева и др. [16] по Приморску.

В табл. 5 приведены константы основных волн прилива в пункте Горный институт (Ленинград) по сведениям из работ Якоби [28], Магаарда — Краусса [35], Перескокова и Спидченко [19], Медведева и др. [16] и нашей обработке. Виттинг и Лисицына данные для этого пункта не анализировали. Из табл. 5 следует, что ранее составить представление о приливах в Ленинграде было вряд ли возможно. Сведения в указанных выше работах [28, 35, 19] сильно различаются по значениям амплитуды и фазы всех волн.

В данных Якоби нет радикальных отклонений от нормы, хотя есть уходы фазы волн  $M_2$  и  $O_1$ . Результаты, представленные в работе [19], совершенно выпадают из общей картины и по амплитуде, и по фазе.

Таблица 5

Амплитуда ( $H$ ) и фаза ( $g$ ) по нулевому поясу основных волн прилива по данным разных авторов для станции Горный институт (Ленинград)

Волна	Якоби 6 серий 1913—1916, 1918—1920 гг.		Перескоков, 30 сут, метод Дудсона		Магаард и Краусс, 1958 г.		Медведев и др., 1977—2007 гг.		Войнов, 1992—2011 гг.	
	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$
$O_1$	3,1	294,3	6,6	255,0	3,17	334*	2,84	352	2,99	353,7
$K_1$	3,4	357,3	2,8	261,0	4,14	19*	3,07	12	3,19	14,5
$M_2$	2,6	4,7	4,0	165,0	1,94	15*	2,02	47	2,01	48,0
$S_2$	1,6	46,2	1,3	253,0	1,22	360*	0,91	56	0,90	56,5

*Примечание.* Курсивом отмечены сомнительные значения, звездочкой — значения, снятые с карт изолиний волн.

Наконец, сведения Магаарда и Краусса [35] (как уже выше отмечалось, только для амплитуды) также расходятся с нашими данными по амплитудам суточных волн (завышены на 15 % для  $O_1$  и на 40 % для  $K_1$ ), а фазы полусуточных волн расходятся на  $30^\circ$  и более. В работе [35] отсутствует таблица углов положений, а в приведенной информации указаны сдвиги фаз волн между произвольно выбранными соседними пунктами (обоснования нет). Поэтому фазы были сняты скарт котидальных линий, приведенных в работе [35], и ошибка снятия может составлять  $10^\circ$  и более.

Из табл. 5 видно, что результаты автора за период 20 лет практически совпадают с результатами за 31 год Медведева и др. [16]. Отсюда следует, что устойчивость оценок констант прилива, полученных автором за период нодального цикла, очень высокая.

Для пункта Ханко имеются константы приливов, определенные Виттингом [38], Лисициной [34], Магаардом [35] за разные периоды, что представляет особый интерес с точки зрения достоверности этих данных. Константы основных волн прилива по данным разных работ приведены в табл. 6. Константы Виттинга в целом не расходятся со значениями автора, и отклонение в фазе волны  $O_1$  не может быть признано ошибочным. То же относится и к данным Лисициной. Различия со значениями автора вызваны, судя по всему, естественным разбросом, обусловленным метеорологическими факторами, которые должны сказываться при такой небольшой амплитуде волн. Сказанное выше относится и к данным Магаарда, полученным не методом гармонического анализа, а методом спектрального анализа. Из табл. 6 видны небольшие расхождения между результатами автора и данными из работы [16]. По мнению автора, они связаны с разными периодами обработки и межгодовой изменчивостью констант волн прилива внутри нодального цикла.

В пункте Ханко оказалось возможным оценить межгодовую изменчивость средних оценок констант волн по результатам обработки наблюдений на начало и середину XX века и начало XXI века (см. табл. 1). Здесь укажем, что значимый тренд в гармонических постоянных не выявился, а в табл. 2 даны средние результаты за три периода обработки в пункте Ханко.

Таблица 6

Амплитуда ( $H$ ) и фаза ( $g$ ) по нулевому поясу основных волн прилива в Ханко по данным разных авторов

Волна	Виттинг, 1899, 1902—1903 гг.		Лисицына, 1932—1935 гг.		Магаард и Краусс, 1958 г.		Медведев и др., 1993—2008 гг.		Войнов, 2007—2013 гг.	
	$H$	$g^\circ$	$H$	$g^\circ$	$H$	$g^\circ$	$H$	$g^\circ$	$H$	$g^\circ$
$O_1$	1,25	16,1	0,93	360,0	1,18	15*	0,81	8	0,85	1,8
$K_1$	0,80	12,1	0,69	36,0	0,79	30*	0,72	38	0,81	24,2
$M_2$	1,31	171,1	0,88	183,1	1,21	180*	1,22	182	1,44	176,5
$S_2$	0,44	205,6	0,44	198,1	0,69	210*	0,40	201	0,54	193,6

*Примечание.* Звездочкой отмечены значения, снятые с карт изолиний волн.

Таблица 7

Амплитуда ( $H$ ) и фаза ( $g$ ) по нулевому поясу основных волн прилива по данным разных авторов для Таллинна

Волна	Виттинг, 1899, 1902 гг.		Лисицына, 1928—1935 гг.		Магаард и Краусс, 1958 г.		Перескоков и Спидченко, 30 сут		Медведев и др., 1978—1994 гг.		Войнов, 2006—2015 гг.	
	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$ см	$g^\circ$	$H$	$g^\circ$
$O_1$	1,02	322,2	1,66	310,2	1,42	320*	1,7	29	1,65	320	1,67	317,3
$K_1$	1,47	332,2	1,33	339,2	1,57	320*	1,4	24	1,49	333	1,48	333,0
$M_2$	0,41	251,4	0,43	233,4	0,68	220*	0,8	344	0,70	227	0,73	226,9
$S_2$	0,19	242,4	0,28	248,4	0,40	220*	0,2	326	0,31	234	0,30	238,6

*Примечание.* Курсивом отмечены сомнительные значения, звездочкой — значения, снятые с карт изолиний волн.

Для Таллинна значения гармонических постоянных в основном главных волн прилива были ранее опубликованы Виттингом [38], Лисицыной [34], Магаардом и Крауссом [35] и Перескоковым и Спидченко [19]. Значения фаз приливов из данной работы [35] пришлось и в этом случае снять с карты.

Из значений констант, представленных в табл. 7, видно полное несоответствие значений фазы всех волн по [19] с данными всех остальных работ, хотя значения амплитуды не имеют очевидных ошибок. В целом результаты работ [34, 35, 38] следует признать достоверными. Следует отметить близкое согласие результатов автора и представленных в работе [16]. В табл. 2 для Таллинна приведены средние векторные оценки констант по трем периодам обработки (см. табл. 1), причем периоду 2006—2015 гг. придавался двойной вес.

## Выводы

Из табл. 5—7 (данные для Кронштадта, Ленинграда, Ханко и Таллинна) следует, что межгодовая изменчивость прилива в Финском заливе, если и существует, то находится в пределах, обусловленных изменчивостью астрономических факторов и ошибками расчета. Однако данные, полученные Виттингом для Кронштадта, Якоби для Ленинграда и Перескоковым и Спидченко для Ленинграда и

Таллинна, являются ошибочными. В целом надежные оценки прилива могут быть получены в результате обработки пяти и более годовых серий. Оценки, рассчитанные по одной годовой серии, как это было сделано у Магаарда и Краусса [35] или у Виттинга [38] (Якоби [27, 28] и Перескоков и Спидченко [19] обрабатывали только месячные серии), могут быть неустойчивыми. В принципе, как уже отмечалось выше, необходимо получить средние оценки констант прилива по всем пунктам по наблюдениям за период не менее 19 лет.

Понятно, что при расчете различных характеристик прилива по неверным значениям амплитуды и фазы волн, будет получена еще менее достоверная информация. Например, неправильное определение такой характеристики, как возраст прилива, приводило к неверному заданию периода расчета максимальных приливных колебаний уровня моря.

Новые сведения о приливах необходимы при обработке данных спутниковых альтиметрических измерений для корректного исключения приливов при расчете среднесуточных значений. Наконец, для исследования сгонно-нагонных и сейшевых колебаний уровня требуются точные остаточные ряды (наблюдения минус предвычисления).

*Большую помощь в подготовке материалов к обработке и анализу оказал А.Н. Воробьев. Некоторые необходимые в работе основы карт Финского залива были выполнены Н.А. Тихоновой. Всем им автор выражает глубокую благодарность.*

### Список литературы

1. *Альтиулер В.М.* Максимальные приливные колебания Балтийского моря // Труды ГОИН. 1980. Вып. 152. С. 110—112.
2. *Амелунг Я.* О приливе и отливе в Санкт-Петербурге // Метеорологический сборник Российской академии наук. 1883. Т. 8, № 4. 14 с.
3. *Березкин В.А.* Опыт характеристики приливов у берегов морей СССР / В кн.: Исследование морей СССР. 1936. Вып. 24. С. 3—12.
4. *Березкин В.А.* Гидрологический режим Балтийского моря. Л.: Гидрометеониздат. 1954. 262 с.
5. *Буторин Н.В.* К изучению приливов в Финском заливе Балтийского моря // Ученые записки ЛВИМУ. 1955. Вып. 1. С. 71—78.
6. *Владимирский Н.П., Стахевич В.С.* Руководство по обработке и предсказанию приливов. Л.: изд-во Гидрогр. управл. ВМФ СССР, 1941. 347 с.
7. *Войнов Г.Н.* Приливные явления в Карском море. СПб: изд-во Русского географического общества, 1999. 109 с.
8. *Войнов Г.Н.* Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (на примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей) / Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. СПб: изд-во РГГМУ. 2003. 45 с.
9. *Войнов Г.Н.* Гармонический анализ морских приливов по срочным наблюдениям за уровнем моря // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 79—91.
10. *Войнов Г.Н.* Гармонический анализ морских приливов с описанием сезонной изменчивости основных суточных, полусуточных и мелководных волн // Труды ГОИН. 2011. Вып. 213. С. 169—178.
11. *Войнов Г.Н.* Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4. С. 51—61.

12. *Войнов Г.Н.* Приливы Финского залива / В сб.: Материалы Первой научн. конф. СПбГУ, «Год Финского залива — 2014». СПб, 2012. С. 57—62.
13. *Войнов Г.Н.* Способ расчета сезонной изменчивости основных волн приливов при их малой величине (на примере Балтийского моря) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 3 (93). С. 101—109.
14. *Каракулаков В.А., Суставов Ю.В.* Программа расчета приливных характеристик и ее реализация на примере анализа приливных колебаний уровня балтийского моря / В сб.: Работы Ленингр. и Петрозавод. ГМО. 1978. Вып. 8. С. 165—173.
15. *Лазаренко Н.Н.* Колебания уровня Балтийского моря // Труды ГОИН. 1961. Вып. 65. С. 39—127.
16. *Медведев И.П., Рабинович А.Б., Куликов Е.А.* Приливные колебания в Балтийском море // Океанология. 2013. Т. 53, № 5. С. 596—609.
17. *Медведев И.П.* Сезонные колебания уровня Балтийского моря // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 42—54.
18. *Михайлов Ю.Д.* Оценка приливных колебаний уровня в Таллине и Кронштадте // Труды ГОИН. 1962. Вып. 69. С. 87—91.
19. *Перескоков А.И., Спидченко А.Н.* Приливные колебания уровня у восточного побережья Балтийского моря // Изв. ВГО. 1981. Т. 113, вып. 3. С. 264—268.
20. *Помыткин Б.А.* Приливо-отливные колебания уровня в Финском заливе // Сборник работ Ленингр. ГМО. 1977. Вып. 9. С. 154—160.
21. *Рундо А.М.* Приливо-отливные явления в Ботническом и Финском заливах // Бюлл. Российского гидрологического института. 1921. № 9. С. 8—10.
22. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. СПб: Гидрометеоздат, 1994. 525 с.
23. Справочник. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 1. Балтийское море. Вып. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 175 с.
24. Справочное издание. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 3, вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб: Гидрометеоздат, 1992. 450 с.
25. Таблицы приливов. Т. 2. Гармонические постоянные для предвычисления приливов. Л.: изд-во Гидрограф. упр. ВМФ СССР. 1941. 295 с.
26. *Шокальский Ю.М.* Океанография. Л.: Гидрометеоздат. 1959. 538 с.
27. *Якоби Н.О.* Опыт определения гармонических постоянных приливных волн в устье р. Невы по данным лимниграфа Главной физической обсерватории // Известия Российского гидрологического института. 1923. № 6. С. 1—12.
28. *Якоби Н.О.* О приливах и отливах у Кронштадта и в устье р. Невы // Известия Российского гидрологического института. 1923. № 6. С. 13—20.
29. Baltic Operational Oceanographic System (BOOS). <http://www.Boos.org>.
30. *Defant A.* Physical oceanography. V. II. Pergamon Press. 1961. P. 372—377.
31. *Feistel R., Nausch G., and Wasmund N.* State and evolution of the Baltic Sea. 1952—2002. A detailed 50-year survey of meteorology and climate, physics, chemistry, biology and marine environment. Hoboken: Willey Interscience, 2008. 703 p.
32. Finnlandischer Hydrographische Biologische untersuchungen. Helsinki. 1906. № 4.
33. *Lisitzin E.* Die gezeiten des Bottnischen meerbusens // Fennia. 1943. B. 67. No. 4. S. 1—47.
34. *Lisitzin E.* Die gezeiten des Finnischen meerbusens // Fennia. 1944. B. 68. No. 2. 19 s.
35. *Magaard L. and Krauss W.* Spektren der Wasserstandsschwankungen der Ostsee im Jahre 1958 // Kieler Meeresforsch. 1966. B. 22. h2. S. 155—162.
36. Merentutkimuslatoksen Julkaisu. Vedenkorkeusarvoja. Helsinki. 1936—1939; 1950—1970.
37. *Pugh D.T.* Tides, surges and mean sea level. A handbook for engineers and scientists. New York^ J. Willey. 1987. 472 p.
38. *Witting R.* Tidvattnen Ostersjon och Finska viken // Fennia. 1911. V. 29. No. 2. 84 p.