

УДК 551.466.7(268.52)

Г.Н. Войнов

ПРИЛИВЫ В ОБСКОЙ ГУБЕ (КАРСКОЕ МОРЕ). III. ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ПРИЛИВЫ

Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, СПб. отделение,
voinovgn@mail.ru

G.N. Voinov

TIDES IN THE GULF OF OB (KARA SEA). III. LONG-PERIOD OSCILLATIONS AND TIDES

В последней части работы представлены новые сведения о долгопериодных колебаниях (гармониках) Sa, Ssa, Sta, Sqa и приливах M_N , Mm, MSf, Mf на всех постах в Обской губе. Как показано в этой статье, средние месячные уровни моря формируются долгопериодными колебаниями гармоник Sa, Ssa, Sta, Sqa. Рассмотрены особенности формирования месячных (Mm) и полумесячных (MSf, Mf.) приливов. Установлено существенное влияние ледяного покрова (припая) в Обской губе на гармонические постоянные месячного и полумесячного приливов по сравнению со статическими значениями.

Ключевые слова: долгопериодные колебания (гармоники) и приливы Sa, Ssa, Sta, Sqa, M_N , Mm, MSf, Mf. Обская губа (Карское море).

The last part of the research presents new data on long-period oscillations (harmonics) Sa, Ssa, Sta, Sqa and tides M_N , Mm, MSf, Mf on all stationary posts in the gulf of OB. As shown in this paper, the monthly mean sea level are formed from long-period oscillations Sa, Ssa, Sta, Sqa. Characteristic features of the spatial distribution of monthly (Mm) and fortnightly (MSf, Mf) tides are considered. The essential influence of ice cover (the fast ice) in the gulf of Ob on the harmonic constants of the monthly and fortnightly tides were established in comparison to the static values.

Keywords: Long-period oscillations (harmonics) and tides Sa, Ssa, Sta, Sqa, M_N , Mm, MSf, Mf. The Gulf of Ob (Kara Sea).

Введение

В третьей (последней) части работы представлены результаты гармонического анализа долгопериодных колебаний и приливов на стационарных постах Обской губы [1, 2]. При этом были использованы наблюдения за весь период наблюдений, который несколько различается на станциях (табл. 1). Методика гармонического анализа представлена в работах [3, 4]. Здесь применялся комбинированный

способ формирования среднесуточных значений уровня на станциях – при наличии ежечасных и срочных наблюдений они были рассчитаны с помощью нерекурсивных фильтров, в остальных случаях использовался имеющийся в фондах ААНИИ архив среднесуточных значений.

Корректное выделение долгопериодных волн зависит от однородности временных рядов в отношении высотной основы измерений. В процессе гармонического анализа приливов мы проводили контроль временного хода остаточных (наблюдения минус предвычисления) ежечасных и срочных рядов [1]. Наши оценки последовательных средних значений уровней по месяцам и годам на станциях сравнивались с полученными в работах [8, 9], в которых рассматривались ряды среднемесячных и среднегодовых уровней. В ряде случаев в среднесуточные значения вносились поправки.

Полученные нами оценки среднегодовых значений уровней и их изменчивость во времени подтверждают выводы, полученные в [9], о неоднозначном тренде уровня на постах. Поэтому мы не рассматриваем здесь детально этот вопрос.

Долгопериодные колебания и приливы

В табл. 1 даны периоды наблюдений на станциях с установленным нулем поста. На некоторых станциях имелись наблюдения за более продолжительный период, но они не использовались в нашей работе в случаях неустановленной высотной основы (ст. Каменный за 1956–1961 гг.) или при выполнении двухсрочных измерений в сутки (ст. Новый Порт до 1977 и после 2012 гг.). Также не приведены результаты гармонического анализа на ст. Ямбург, вследствие непродолжительного периода четырехсрочных наблюдений [1].

Таблица 1

Сведения о наблюдениях на стационарных постах в Обской губе, использованных для анализа долгопериодных приливов

Станция	Период наблюдений, годы	Число лет
Нгарка (60 лет ВЛКСМ)	1979–1992	14
Тамбей	1976–1992	20
Тадибеяха	1955–1992	39
Сеяха	1967–1992	27
Каменный	1977–1992	18
Новый Порт	1977–1992	36
Антипаюта	1971–1992	18

В долгопериодном классе приливов в целом 7 (8) волн (S_a , S_{sa} , S_{ta} , S_{qa} , M_m , M_{Sf} , M_f) превысили 95 % доверительный интервал. На двух станциях был получен нодальный прилив M_N .

Лунный деклинационный (нодальный) прилив M_N

Только на станциях Тадибеяха (39 лет) и Новый Порт (36 лет) длина использованных рядов позволяет получить надежные оценки этого прилива. Амплитуда

и фаза прилива M_N на ст. Тадибеяха и ст. Новый Порт соответственно равны 0,96 см – 290,1 ° и 4,39 см – 290,4 °.

Величины амплитуд теоретического статического прилива на этих станциях равны соответственно 1,01 и 0,95 см. Теоретическое значение фазы нодального прилива в высоких широтах должно быть равным 0 °. Эти данные не подтверждают соответствия нодального прилива статической теории. При этом величина амплитуды статического (равновесного) прилива определялась для линий потенциала от сферических гармоник 2-й степени по формуле:

$$|\eta_{ст}| = H_e \gamma_2 \sqrt{(5/4\pi) (3/2 \sin^2 \varphi - 1/2)}, \quad (1)$$

где H_e – коэффициент потенциала линии гармоники по Картрайту; коэффициент $\gamma_2 = 0,692$ содержит числа Лява, учитывающие изменение потенциала вследствие эластичного отклика твердой земли; φ – географическая широта.

С методической точки зрения интересно оценить искажение характеристик нодального прилива под влиянием статического эффекта атмосферного давления. Для этого были выбраны временные ряды (4 срока в сутки) атмосферного давления из базы данных ААНИИ за период анализа наблюдений за уровнем моря. Далее эти ряды подвергались обработке фильтром низких частот для выделения тренда (долгопериодных колебаний). Полученные значения осреднялись по каждому суткам, и затем был произведен гармонический анализ по МНК среднесуточных рядов. То есть была произведена та же процедура, которая применялась к обработке данных уровня моря.

Значения исправленного нодального прилива M_N определялись как векторная сумма констант прилива M_N и констант атмосферного давления на частоте этого прилива (табл. 2). Этот прием тождествен прямому введению поправок на атмосферное давление в исходные ряды наблюдений за уровнем моря [4].

Таблица 2

Амплитуды Н, см, и фазы g, град. (в нулевом поясе) нодального прилива уровня моря, атмосферного давления на частоте этого прилива и исправленного нодального прилива на ст. Тадибеяха и ст. Новый Порт

Пункт	Уровень M_N		Давление M_N		Исправл. прилив M_N	
	Н	g	Н	g	Н	g
Тадибеяха	0,96	290,1	0,41	68,9	0,71	312,2
Новый Порт	4,39	290,4	0,97	81,2	3,57	298,0

Исправленные значения нодального прилива M_N стали ближе к теоретическим значениям. Но все же остались отклонения как в амплитуде, так и в фазе. В большей степени они видны для ст. Новый Порт. Здесь вероятной причиной может быть низкое качество наблюдений в ряде лет [5]. На надежном определении амплитуд и углов положений в сильной степени сказывается неустойчивость нуля поста на станции, и при постепенном его изменении с одним знаком при анализе получаются сильно завышенные амплитуды прилива. Есть также влияния сложных мелководных волн.

Причиной несоответствия наблюдаемого нодального прилива статической теории может быть присутствие в приливе M_N мелководных долгопериодных

составляющих, вызванных нелинейным взаимодействием основных приливов, таких как $M_2 - O_1' - K_1$, $M_2 - M_2'$ или $O_1 - O_1'$. Но подобные влияния по приближенной оценке гравитационной и мелководной компонент в нелинейном приливе MS_f не должны превышать 0,2 см [3, 4].

Следует иметь в виду, что уровень шума вблизи частоты гармоника M_N остается высоким даже при анализе рядов с продолжительностью 36–39 лет, что также приводит к искажению оценок прилива.

Сезонные гармоники

(годовая Sa , полугодовая Ssa , третьгодовая Sta и четвертьгодовая Sqa)

Сезонный ход уровня моря по наблюдениям рассматривался в [8, 9]. Здесь мы изложим альтернативный подход к описанию сезонного хода с помощью использования результатов гармонического анализа приливов. Наши эксперименты показали, что средний сезонный ход уровня, определенный стандартным способом по результатам осреднения значений средних месячных величин уровня моря по наблюдениям за 20–30 лет тождествен среднему сезонному ходу уровня, полученному осреднением по месяцам предвычисленных колебаний уровня моря, полученных по четырем сезонным гармоникам, вычисленных по МНК за аналогичный период.

В табл. 3 приведены результаты гармонического анализа по МНК среднесуточных рядов уровня моря для станций Обской и Тазовской губ. В этой таблице даны амплитуды и фазы (углы положений) гармоник, описывающих сезонный ход колебаний уровня моря. Приведенные оценки констант приливов (колебаний) отражают средние условия (стационарную часть колебаний) за период наблюдений в основном за 1980–1990 гг. (см. табл. 1).

Таблица 3

Амплитуды H , см, и фазы g , град (в нулевом поясе), годовой Sa , полугодовой Ssa , третьгодовой Sta и четвертьгодовой Sqa волн для станций Обской и Тазовской губ

Пункт	Sa		Ssa		Sta		Sqa	
	H	G	H	g	H	g	H	g
Нгарка (60 лет ВЛКСМ)	3,61	273	7,03	184	3,79	310	1,90	152
Тамбей	4,25	269	6,44	181	4,35	339	2,88	133
Тадибеяха	5,55	218	7,62	190	6,60	347	5,09	152
Сеяха	7,48	201	7,39	192	6,76	344	4,48	163
Каменный	7,49	192	10,03	190	5,55	354	4,28	141
Новый Порт	8,98	183	7,09	205	4,21	346	1,60	132
Антипаюта	15,84	185	16,60	194	12,49	349	10,56	153

Из данных табл. 3 видно, что по величине преобладают годовая и полугодовая гармоники, амплитуда которых для акватории Обской губы составляет от 4 до 10 см. Причем значения амплитуд возрастают от морского края к вершине Обской губы. Меньшие по величине значения наблюдаются в северной части (Нгарка и Тамбей) и большие значения отмечаются в южной части (Каменный и Новый Порт). В Тазовской губе на станции Антипаюта наблюдаются самые большие

значения амплитуд волн S_a и S_{sa} , достигающие 16 см. Значения фаз годовой и полугодовой волн приблизительно одинаковы в границах северного, среднего и южного участков Обской губы.

Значения амплитуд третьегодового (период 121,7 сут.) и четвертьгодового (период 91,3 сут.) колебаний в Обской губе варьируют от 2 до 7 см (см. табл. 3). В Тазовской губе в Антипаюте наблюдаются самые большие значения амплитуд этих волн, достигающие 11–12 см. Также значения фаз волн приблизительно одинаковы в границах северного, среднего и южного участков Обской губы.

Как известно, солнечная годовая гармоника S_a (период 365,26 сут.) в основном связана с сезонными изменениями гидрометеорологических факторов: плотности воды, колебаний атмосферного давления, изменений ветрового режима, а также другими причинами. В то же время приливная часть гармоники S_a практически неотделима от годовых колебаний гидрометеорологических факторов. С формальной точки зрения гармоника S_a в своей основе не является приливной. Величина ее статической амплитуды на широте 75° равна всего 0,194 см.

Однако физические механизмы, образующие годовую волну и ее обертоны, в совокупности остаются фиксированными во времени, и поэтому, хотя межгодовые вариации в амплитуде и фазе этой волны сравнительно велики, все же средние оценки по многолетним периодам являются в общем устойчивыми. Таким образом, нет достаточных оснований для исключения этой гармоники и других ее обертонов из предвычислений долгопериодного прилива.

Процедура расчета сезонного хода уровня производилась программно и состояла из следующих этапов. Предвычисление рядов выполнялось по четырем гармоникам (S_a , S_{sa} , S_{ta} , S_{qa}) на заданный период с дискретностью 6 ч, затем полученные временные ряды осреднялись по каждому суткам с целью получения среднесуточных значений. Наконец, из среднесуточных значений рассчитывались последовательные средние месячные значения. Если предвычисление производится на ряд лет, то средние месячные значения осредняются по месяцам.

Но нет необходимости в расчете предвычисленных временных рядов на какой-то заданный период лет. Достаточно выполнить процедуру на один любой календарный год. Все характерные особенности сезонного хода видны даже из годового предвычисленного ряда. Как известно, все солнечные сезонные гармоники от годовой до четвертьгодовой содержат в астрономической части аргумента значение средней долготы Солнца (s) или кратную ей величину. Также в нашей версии, как и в потенциале, включена в аргумент средняя долгота солнечного перигея (p_1) в волны S_a , S_{ta} , S_{qa} , кроме волны S_{sa} . Поскольку значение s остается практически постоянным на начало любого года, а значение p_1 остается таковым же в пределах столетия, то в ходе рассчитанного сезонного хода практически не будет различий между годами.

Мы рассчитали сезонный ход условно на 1990 г. для 7 станций по данным табл. 3. Средний отсчетный уровень задавался равным нулю. На всех станциях присутствует сильно выраженное годовое колебание с минимумом в апреле и максимумом в июне. Вторичные пики не везде видны и наблюдаются на северном и среднем участках в августе (минимум). В табл. 4 приведена выборка значений максимумов и минимумов сезонного хода колебаний уровня в годовом цикле.

Таблица 4

Значения максимумов, минимумов и размах (см) в годовом цикле сезонного хода уровня на станциях Обской и Тазовской губ

Пункт	Максимум июнь	Минимум апрель	Размах
Нгарка (60 лет ВЛКСМ)	8	-12	20
Тамбей	11	-13	24
Тадибеяха	20	-14	34
Сеяха	21	-13	34
Каменный	23	-13	36
Новый Порт	19	-9	28
Антипаюта	48	-23	71

Из данных табл. 4 видно, что размах сезонных колебаний растет от северного к южному участкам Обской губы. В Новом Порту наблюдается уменьшение размаха колебаний, что может быть связано с низким качеством наблюдений [5]. Наибольший размах сезонных колебаний, достигающий 71 см, отмечается в Тазовской губе, в Антипаюте.

Характеристика особенностей сезонного хода уровня и физические механизмы их вызывающие не являются задачей нашего исследования.

Результаты анализа долгопериодных приливов Mm , MSf , Mf представлены в табл. 5.

Таблица 5

Гармонические постоянные приливов Mm , MSf , Mf в Обской и Тазовской губах.

Амплитуда H , см, и фаза (угол положения) g , град (в нулевом поясе). В скобках отмечены сомнительные значения (амплитуда меньше 95 % доверительного интервала)

Пункт	Mm		MSf		Mf	
	H	G	H	g	H	g
Нгарка (60 лет ВЛКСМ)	1,62	260,1	1,34	192,2	1,55	257,2
Тамбей	(0,18)	(195,1)	2,13	160,4	1,69	292,3
Тадибеяха	1,10	216,4	1,02	180,4	1,41	289,1
Сеяха	0,76	212,7	(0,42)	(78,3)	1,46	330,3
Каменный	0,93	247,3	0,85	228,5	1,78	309,6
Новый Порт	(0,31)	(209,9)	0,98	335,9	1,06	323,7
Антипаюта	1,46	171,1	1,06	44,8	1,81	353,2
Среднее векторное	0,98±0,57	222,4±33	–	–	1,34±0,59	308,36±25

Лунный месячный прилив Mm

Лунный эллиптический прилив Mm имеет период 27,55 сут. Из табл. 5 видно, что какой-либо закономерности в распространении этого прилива в Обской губе не замечается. Приблизительно можно считать, что в Обской губе, как и в Карском море, наблюдается стоячий вид приливной волны прилива Mm . Наблюдаемый разброс значений амплитуд и фаз может быть приписан большими ошибками расчета при малой длине рядов (Нгарка и Каменный), следствием низкого качества

наблюдений (Новый Порт и Тамбей), воздействием непериодических колебаний атмосферного давления и ветра на периодах месячного прилива.

Среднее векторное значение прилива Mm для семи станций составляет для амплитуды $0,98 \pm 0,57$ см и угла положения $222,4 \pm 33$ °. Статическая амплитуда прилива Mm по теории в среднем равна 1,83 см (с учетом широтного и γ_2 коэффициентов), а фаза должна быть равна 180 °. Отношение наблюдаемой к статической амплитудам составляет 0,54, а превышение фазы в сравнении с статической, по наблюдениям, достигает +42 °. Для Карского моря в целом в среднем отношение амплитуд (наблюдения к теории) и сдвиг фаз этого прилива от теоретического значения были соответственно равны 0,97 и +19 ° [4].

Лунный полумесячный прилив Mf

Лунный деклинационный прилив Mf имеет период 13,66 сут. В распространении этого прилива можно заметить некоторое увеличение фазы к вершине губы. В настоящее время трудно интерпретировать это явление, как случай поступательной волны вследствие несинхронных и неодинаковых периодов анализа по станциям. Поэтому приближенно можно рассчитать среднюю оценку прилива Mf по всем станциям.

Среднее векторное значение прилива Mf для семи станций составляет для амплитуды $1,34 \pm 0,59$ см и угла положения $308,36 \pm 25$ °. Статическая амплитуда прилива Mf по теории в среднем равна 3,28 см (с учетом широтного и γ_2 коэффициентов), а фаза должна быть равна 180 °. Отношение наблюдаемой к статической амплитудам составляет 0,39, а превышение фазы по наблюдениям достигает +128 °. Для Карского моря в целом в среднем отношение амплитуд (наблюдения к статической) и сдвиг фаз этого прилива от теоретической были соответственно равны 0,70 и +56 ° [4]. Из сравнения этих характеристик для Карского моря и Обской губы следует, что в Обской губе происходит сильное гашение амплитуды прилива Mf и увеличивается сдвиг фазы от теоретического значения.

Для прилива Mm выше также было обнаружено гашение амплитуды по сравнению с Карским морем, но в меньшей степени. По нашему мнению, уменьшение величины месячного и полумесячного приливов в Обской губе вызвано влиянием ледяного покрова. Примечательно, что в отношении этих приливов действуют те же закономерности, что и для суточных, полусуточных и мелководных приливов. Чем короче период волны, тем сильнее проявляется влияние ледяного покрова. Поэтому месячный прилив Mm гасится в меньшей степени, чем полумесячный прилив Mf .

Лунно-солнечный нелинейный полумесячный прилив MSf

Прилив MSf (период 14,76 сут.) имеет иную природу, чем приливы Mm и Mf . Он в основном образуется в результате нелинейного взаимодействия приливов как $S_2 - M_2$. Поэтому нет физического смысла в определении средних значений этого прилива для Обской губы. Статическая амплитуда прилива по теории составляет на широте 70 ° всего 0,21 см, но это амплитуда по потенциалу, а не нелинейного наблюдаемого.

Так как амплитуды приливов M_2 и S_2 уменьшаются к вершине Обской губы, то априори следует ожидать уменьшения образуемого этими волнами прилива MSf . Действительно, из данных табл. 5 видно незначительное уменьшение значений амплитуд на ст. Каменный и ст. Новый Порт.

В результатах гармонического анализа долгопериодных приливов содержатся данные о приливах Mtm (период 9,13 сут.) и Msw (период 7,09 сут.). Однако в основном значения амплитуд этих приливов не превышают границу 95 % доверительного интервала, и мы их не рассматриваем в нашей работе.

Заключение

Подтверждены теоретические положения [6, 7] о влиянии ледяного покрова на спектр волн прилива в зависимости от периода волны. Выявлено, что гашению подвергаются не только суточные, полусуточные и мелководные волны, но даже долгопериодные приливы. В отношении долгопериодных месячного Mm и полумесячного Mf приливов действуют те же закономерности, что и для короткопериодных приливов. Чем короче период волны, тем сильнее проявляется влияние ледяного покрова. Так, месячный прилив Mm имеет значение отношения наблюдаемой к статической амплитудам в среднем для Обской губы 0,54 (в Карском море это отношение равно 0,97), а полумесячный прилив имеет такое отношение 0,39 (в Карском море это отношение равно 0,70). Самое сильное гашение видно для 1/4-суточных и 1/6-суточных приливов. Волна M_4 , например, в августе в Сеяхе равна 3 см, а в апреле составляет всего 0,5 см.

Установлено, что сезонные долгопериодные гармоники (годовая Sa , полугодовая Ssa , третьгодовая Sta и четвертьгодовая Sqa) адекватно наблюдениям описывают средний сезонный ход среднего уровня моря.

Литература

1. Войнов Г.Н. Приливы в Обской губе (Карское море). I. Общая характеристика приливов // Учен. зап. РГГМУ, 2016. № 44. – С. 70–95.
2. Войнов Г.Н. Приливы в Обской губе (Карское море). II. Влияние ледяного покрова на характеристики приливов // Учен. зап. РГГМУ, 2016. № 45. – С. 43–46.
3. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. – СПб.: Изд-во Русского геогр. общества. 1999. – 109 с.
4. Войнов Г.Н. Лунные месячный и полумесячный приливы в арктических морях России // Океанология, 2007. Т. 47, № 5. – С. 674–684.
5. Войнов Г.Н., Пискун А.А. Оценка приливов в Новом Порту (Обская губа) по наблюдениям за уровнем за период 1977–2012 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2015. № 3 (105). – С. 51–65.
6. Крылов Ю.М. Распространение длинных волн под ледяным полем // Труды ГОИН, 1948. Вып. 8 (20). – С. 107–111.
7. Максимов И.В. О зависимости элементов прилива от ледяного покрова моря // Учен. зап. Высш. аркт. морского уч. им. С.О. Макарова, 1953. Вып. IV. – С. 115–129.
8. Пискун А.А. Качество многолетних данных по уровням на стационарной сети наблюдений в Обской и Тазовской губах // Тр. ААНИИ, 2004. Т. 449. – С. 307–322.
9. Пискун А.А. Состояние высотной основы и качество данных по уровням воды в Обско-Тазовской устьевой области // Проблемы Арктики и Антарктики, 2010. № 3 (86). – С. 97–113.