

ОЦЕНКА ПРИЛИВОВ В НОВОМ ПОРТУ (ОБСКАЯ ГУБА) ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА УРОВНЕМ ЗА ПЕРИОД 1977–2012 гг.

д-р геогр. наук Г.Н.ВОЙНОВ^{1,2}, канд. техн. наук А.А.ПИСКУН²

¹ — ФГБУ Государственный океанографический институт, Санкт-Петербургское отделение, Санкт-Петербург

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: piskun@aari.ru

Изложены результаты применения способа контроля и коррекции многолетних срочных наблюдений за уровнем моря по наблюдениям в бухте Новый Порт за 1977–2012 гг. Отмечена эффективность метода при оценке качества материалов наблюдений за уровнем моря и приведении временных рядов в базах данных к однородным массивам. С помощью нового способа получены устойчивые оценки составляющих волн приливов в бухте Новый Порт и получен многолетний ход (36 лет) амплитуды и фазы волны M_2 .

Ключевые слова: приведение срочных наблюдений к однородным рядам, оценка качества наблюдений, приливы, гармонические постоянные приливы в бухте Новый Порт, сезонный ход волны M_2 , многолетний ход амплитуды и фазы волны M_2 , Обская губа.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения за колебаниями уровня в бухте Новый Порт Обской губы были начаты в 20–30-е гг. XX в. в связи с описью и съемкой берегов и промерами глубин при производстве гидрографических работ. Эти наблюдения также выполнялись специальными портоизыскательскими экспедициями с целью освоения и развития Северного морского пути. Однако эти измерения производились кратковременными сериями длительностью 15 или 30 суток (в единичных случаях до 2–3 месяцев) только в летний, навигационный период (июль–сентябрь) и носили нерегулярный характер. При этом измерения колебаний уровня моря выполнялись следующими способами: по футштоку (рейке) или по сваям, а с 1970-х гг. с помощью самописца уровня моря СУМ (типа «Валдай») или по мареографу ГМ-28 (гидростатического типа). Эти наблюдения и в настоящее время представляют большую ценность для исследования приливов. Сведения о наблюдениях за колебаниями уровня в Обской губе в целом по 1950 г. приведены в (Коптева, 1953), а результаты обработки приливов гармоническим анализом помещены в справочнике (Коптева и др., 1952).

Регулярные круглогодичные срочные наблюдения за уровнем моря были организованы в бухте Новый Порт с 1977 г. (см. рис. 1). Пост оборудован водомерной рейкой, укрепленной на сваях пирса на расстоянии 100 м от берега при глубине около 2,0 м. С образованием устойчивого припая наблюдения за уровнем моря выполняются по подвесной водомерной рейке в майне с подогревом, расположенной в 200 м к востоку от берега. Пост привязан к Балтийской системе высот. Высотная основа в



Рис. 1. Расположение урванного поста в Обской губе Карского моря.

районе урванного поста Новый Порт по состоянию на 2012 г. представлена основным репером (год закладки не установлен) и контрольным (репер Государственной геодезической сети, заложен в 1966 г.).

Оценка качества материалов наблюдений, опубликованных в изданиях Государственного водного кадастра (ЕДМ), и состояния высотной основы поста Новый Порт дана в (Пискун, 2004; 2010; Голованов и др., 2012). При этом качество данных по уровню оценивалось на основе анализа устойчивости высотной основы ряда постов и их сопряженности. Новая методика контроля и коррекции срочных наблюдений за уровнем моря, разработанная в (Войнов, 2009), позволила провести детальный анализ качества этих данных с целью приведения наблюдений к однородным рядам. В табл. 1 приведены все использованные нами материалы ежечасных и срочных данных.

В 2000-е гг. началось освоение шельфа арктических морей. Для гидрометеорологического обеспечения производства работ на шельфе, строительства инженерных сооружений и портов требуются различные оценки и прогнозы колебаний уровня и приливов и результаты статистических расчетов, основанные на данных однородных

Таблица 1

Сведения о ежечасных и срочных наблюдениях за уровнем моря в бухте Новый Порт, использованные в настоящей работе

Год	Период	Дискретность измерений, ч	Продолжительность, сут.	Способ измерений
1938	01.07–30.09	1	91	Рейка
1939	01.07–25.09	1	87	Рейка
1977	04.08–15.08	1	12	ГМ-28
1979	01.04–30.09	1	206	ГМ-28
1977–2012*	01.01–31.12	6	365 (всего 36 лет)	Рейка

Примечание. * — в отдельные годы имеются перерывы в наблюдениях.

наблюдений за уровнем. Без однородных рядов наблюдений невозможны выполнение научно-исследовательских работ и расчет надежных характеристик режима уровня.

Целью данной работы является приведение многолетних рядов срочных наблюдений в бухте Новый Порт за период 1977–2012 гг. к однородным рядам с объективной оценкой качества этих данных на основе методологии, изложенной в (Войнов, 2009). В результате обработки представлены новые достоверные оценки констант волн короткопериодных и долгопериодных приливов, а также получен сезонный ход основных волн приливов и исследована устойчивость амплитуды и фазы (угла положения) волны M_2 в многолетнем плане за период 36 лет.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

Обработка ежедневных серий с целью разработки модели прилива. Первая серия ежедневных наблюдений за уровнем моря в Новом Порту за 15 сут была получена в 1921 г. (Стахевич, 1926). Качество наблюдений было невысоким, точность хода часов плохая. Гармонический анализ наблюдений выполнялся по методу Дарвина. Контроль вычислений производился с помощью визуального сравнения наблюдений и предвычисленного ряда. Очевидно, что такой прием позволял выявить только грубые промахи при вычислении основных полусуточных волн, а ошибки расчета суточных волн, имеющих намного меньшие по величине амплитуды, оставались невыявленными. Как следствие этого, в работе (Стахевич, 1926) углы положений суточных волн K_1 и O_1 в бухте Новый Порт даны с ошибками в 180° .

Более продолжительные ежедневные данные о колебаниях уровня в Новом Порту, пригодные к обработке гармоническим анализом, были получены в период экспедиционных работ в июле–сентябре 1938 и 1939 гг. (см. табл. 1). Эти наблюдения за 1938 г. частично были обработаны по методу Дарвина (две серии) и помещены в (Коптева и др., 1952). Как видно из результатов этой обработки, константы основных волн существенно различаются между двумя сериями, что вносит неопределенность в возможность их применения.

В целом причиной малой достоверности исторических результатов гармонического анализа приливов по методу Дарвина, помимо его собственных недостатков, была недостаточная разработанность методологии и плохое качество наблюдений.

Практически все материалы исторических наблюдений (точнее, их копии) сохранились в фондах ААНИИ. Поэтому эти материалы нами были заново обработаны по новой методологии (Войнов, 2011). В пунктах Обской губы была получена сезонная изменчивость основных суточных и полусуточных волн приливов (рассчитаны средние векторные значения гармонических постоянных на каждый месяц года) и определены долгопериодные приливы. В случае наличия нескольких серий наблюдений в отдельном месяце эти оценки определялись как средние векторные значения на данный месяц.

Для ежедневных временных рядов колебаний уровня моря нами разработан способ контроля и редакции случайных выбросов (Войнов, 2011). Контроль по программе временных рядов производился с заданием критерия отклонения более 6 см. Далее ежедневные временные ряды подвергались фильтрации фильтром Д49 нижних частот для подавления влияния непериодических колебаний. С целью устранения срезки при фильтрации (48 значений ряда теряется) временные ряды предварительно дополнялись в начале и конце рядов с помощью предвычисления. Затем по полученным квазиприливным компонентам временных рядов производился

гармонический анализ приливов с помощью МНК по методике, разработанной в ААНИИ (Войнов, 2011).

Обработка срочных наблюдений с целью уточнения модели прилива. Срочные наблюдения за 1977–2012 гг. обрабатывались по методике, изложенной в (Войнов, 2009). На первом этапе были составлены отдельные таблицы с результатами месячных и годовых анализов по волнам M_2 , N_2 , K_1 , O_1 . По каждому месяцу имелись ряды амплитуд и фаз этих волн за 36 лет. Затем были рассчитаны средние векторные значения этих волн для каждого месяца года. При этом отбрасывались аномальные выскакивающие значения. Предварительная информация о средних месячных константах волн, включая волны S_2 и ряд мелководных волн, а именно: M_4 , MS_4 , M_6 , была получена ранее из ежечасных наблюдений за апрель–сентябрь. При формировании списков средних месячных значений констант суточных волн K_1 и O_1 для зимнего периода, где амплитуды этих волн не выше 0,5 см, мы использовали в качестве реперных (опорных) значений характер и степень сезонного хода волн у м. Каменный.

Приведение срочных наблюдений к однородным рядам. Уже по предварительным результатам гармонического анализа приливов стало ясно, что наблюдения не только в ряде месяцев отдельных лет, но и в целом за ряд лет в конце 1980-х и в 1990-е гг. имеют неудовлетворительное качество и непригодны для оценки приливов, исследования неперiodических колебаний уровня и вообще проведения каких-либо статистических расчетов. Мы здесь не будем обсуждать причины низкого качества наблюдений, они известны (Комчатов и др., 2011; Войнов, 2015).

Методология приведения срочных наблюдений к однородным рядам с помощью ревизии квазиприливной компоненты, выделенной из данных с помощью фильтра низких частот, и квазиприливной компоненты предвычисленного ряда, также полученного по такому же фильтру, как и значения весовой характеристики этого фильтра, приведены в (Войнов, 2009). В этой же работе обращено внимание на выбор критерия — допустимого расхождения в значениях на любой срок между квазиприливными компонентами наблюдений и предвычислений. Понятно, что от величины критерия зависит степень коррекции данных срочных наблюдений.

Были испытаны разные подходы к выбору критерия. Возможно применение статистических оценок, например, в качестве критерия можно использовать среднее квадратическое отклонение за текущий месяц, полученное по квазиприливной компоненте предвычисленного ряда. Более надежен эмпирический подход. Критерий априори должен быть установлен максимальным по величине (будет меньше исправлений), но при этом он должен быть таким, чтобы восстановить близкий к среднему (норме) сезонный ход прилива в конкретном году в летний (июль–сентябрь) и зимний (октябрь–июнь) периоды.

Для годовых серий с хорошим качеством (сезонный ход волн близок к норме) устанавливался критерий для зимнего периода 5 см, а для летнего периода 14 см. Для годовых серий с низким качеством наблюдений критерий составлял соответственно 4 см и 10 см. Для показательного случая нами было выбрано два месяца срочных наблюдений за август за разные годы с хорошим и плохим качеством наблюдений, которые представлены соответственно на рис. 2 и 3.

Из кривых рис. 2 видно, что квазиприливные компоненты наблюдений и предвычислений (прилива) почти полностью идентичны между собой. По результатам

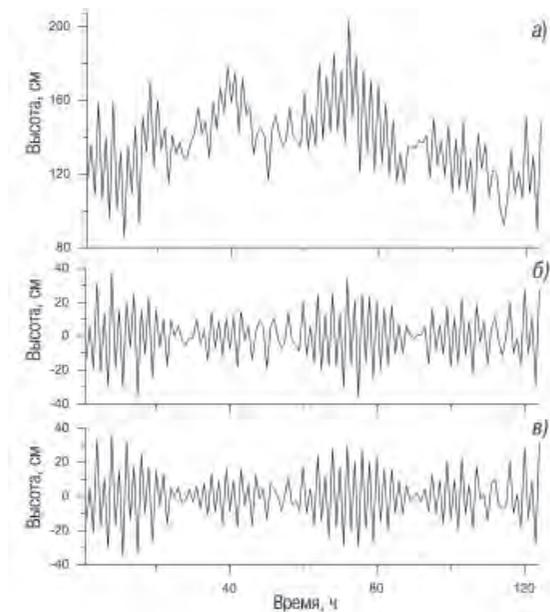


Рис. 2. Временной ход высоты срочных колебаний уровня моря в бухте Новый Порт в августе 1979 г. по данным наблюдений (а), квазиприливной компоненте наблюдений (б), квазиприливной компоненте прилива (в). По оси ординат — шкала времени с дискретностью 6 ч (31 сут. — 124 единицы шкалы).

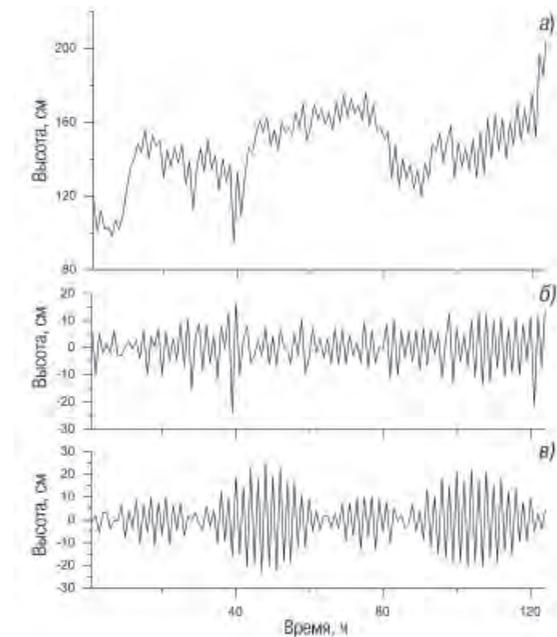


Рис. 3. Временной ход высоты срочных колебаний уровня моря в бухте Новый Порт в августе 1998 г. по данным наблюдений (а), квазиприливной компоненте наблюдений (б), квазиприливной компоненте прилива (в). По оси ординат — шкала времени с дискретностью 6 ч (31 сут. — 124 единицы шкалы).

анализа по МНК амплитуда и фаза волны M_2 в августе 1979 г. были равны соответственно 15,13 см и 61° (при норме 14,45 см и 66°). При применении критерия 14 см только 4 значения из 124 сроков за месяц подлежат коррекции. Замены вносятся в исходный и квазиприливный ряды.

На рис. 3 представлен случай наблюдений низкого качества. Даже по виду кривой наблюдений очевидно, что ход приливных колебаний уровня сильно нарушен. По результатам анализа по МНК амплитуда и фаза волны M_2 в августе 1998 г. были равны соответственно 7,28 см и 56° . Из сопоставления кривых квазиприливных компонент наблюдений и предвычислений (см. рис. 3) следует, что здесь были пропущены не отдельные сроки (как на рис. 2), а уже полные сутки. Таких значений всего было 49 (или около 12 сут. в целом) при критерии 10 см. После внесения коррекции значения волны M_2 стали 13,44 см и 69° . Но если бы был применен критерий 14 см, то значения волны M_2 были бы 11,14 см и 69° , что существенно отклоняется от нормы по амплитуде.

В результате коррекции срочных наблюдений изменения вносятся в диапазоне мезомасштабных колебаний уровня (точнее — на периодах менее 1,7 сут.), а колебания в масштабе многолетней и синоптической изменчивости остаются без изменений. Причем в спектре мезомасштабных колебаний мы вносим коррекцию только в приливный сигнал, а непериодические колебания на периодах от 2 ч до примерно 29 ч в большинстве случаев срезаются. Подобные колебания можно сохранить только при визуальной ревизии рядов (что является громоздкой ручной процедурой) и наличии в сомнительных случаях синхронных наблюдений на близлежащих станциях (в нашем случае м. Каменный).

Однако перспективы опоры на синхронные ряды плохие. В срочных наблюдениях на м. Каменный за 1980–1990-е гг. нами обнаружены те же самые проблемы с качеством данных, которые отмечены в Новом Порту (см. табл. 6).

Методика обработки и анализа долгопериодных приливов. Для выделения этого класса приливов использовались среднесуточные значения уровня за весь период наблюдений (на первом этапе за 1977–1988 гг., затем после коррекции срочных данных за период 1977–2012 гг.). Применялась методика, изложенная в (Войнов, 2002). В долгопериодном классе 6 волн (Mn, Sa, Ssa, Sta, Msf, Mf) превысили 95-процентный доверительный интервал. При этом годовая, полугодовая и третьегодовая гармоники описывают сезонный ход уровня моря.

В первом приближении по полученным константам прилива на каждый месяц были предвычислены годовые ряды на несколько лет, и по ним был произведен гармонический анализ по МНК с выделением волн, описывающих сезонную изменчивость основных суточных и полусуточных волн прилива (Войнов, 2011). Однако расчеты по полученной модели прилива показали недостаточно точное описание сезонного хода волны M_2 в месяцы очень резкого изменения амплитуд и фаз. Это пока единственный обнаруженный нами случай неполной адекватности описания временного хода предвычисленного прилива с помощью сложных волн и реального среднего сезонного хода волны M_2 по месяцам года. По существу обнаруженное нами явление тождественно явлению Гиббса в Фурье-анализе.

Поэтому в дальнейшем для контроля и коррекции срочных наблюдений была разработана программа предвычисления прилива в Новом Порту по спискам констант волн для каждого месяца года. В эти списки были включены долгопериодные приливы. Эта же программа использовалась для заполнения пропусков в отдельных годах.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРИЛИВОВ

По результатам анализа ежечасных серий получены новые оценки гармонических постоянных волн в бухте Новый Порт для летнего периода. Здесь приведены эти оценки только для августа. Рамки настоящей работы не позволяют привести оценки приливов для остальных месяцев года.

Из табл. 2 следует, что характер прилива в августе в Новом Порту полусуточный с выраженным влиянием мелководных волн прилива. Другие выводы по результатам анализа будут даны ниже. Главной особенностью поведения прилива является резко выраженный сезонный ход.

Таблица 2

Результаты анализа наблюдений за приливами в бухте Новый Порт за август

Волна	Угловая скорость, град/ч	Амплитуда		Угол положения	
		H	\pm с.к.о.	g	\pm с.к.о.
Q_1	13,398661	0,73	0,22	119	18
O_1	13,943035	0,95	0,32	326	20
P_1	14,958931	0,79	0,10	136	8
K_1	15,041068	2,40	0,32	136	8
MNS_2	27,423834	0,44	0,20	120	26
$2N_2$	27,895354	0,59	0,33	97	32
μ_2	27,968208	0,72	0,40	97	32
N_2	28,439729	2,19	0,17	15	5
ν_2	28,512583	0,42	0,03	15	5
M_2	28,984104	13,45	0,46	71	2
L_2	29,528479	1,36	0,46	113	20
T_2	29,958933	0,28	0,02	159	4
S_2	30,000000	4,78	0,36	159	4
K_2	30,041067	1,30	0,09	159	4
MSN_2	30,511375	0,25	0,14	270	32
$2SM_2$	31,015896	0,51	0,36	71	41
MO_3	42,927140	0,31	0,14	154	27
MK_3	44,025173	0,25	0,13	182	30
MN_4	57,423834	0,27	0,08	351	18
M_4	57,968208	1,71	0,31	71	10
SN_4	58,439729	0,19	0,16	196	48
MS_4	58,984104	1,38	0,22	166	10
S_4	60,000000	0,19	0,12	296	38
M_6	86,952313	0,24	0,05	98	13
$2MS_6$	87,968208	0,29	0,02	163	5
M_8	115,936417	0,07	0,05	291	44

Примечания. 1. Приведены волны с амплитудой, превышающей одно с.к.о. в данной частотной полосе прилива. 2. Волны P_1 , K_2 , N_2 и ν_2 даны во втором приближении по известным теоретическим соотношениям. 3. Для всех волн для расчета нодальных параметров учитывались только составляющие волн от второго члена потенциала (приливов второй степени) по Картрайту (Дудсону). 4. H — амплитуда, см; g — угол положения, град., с.к.о. — значения среднего квадратического отклонения (векторного). 5. Средние векторные оценки рассчитаны по результатам анализа ежечасных месячных серий за 1938, 1939, 1979 гг. Углы положений приведены к нулевому поясу.

Явление сезонной изменчивости приливов в Обской губе было обнаружено в работе (Коптева, 1953). Приведенные в этой работе результаты в общем были ориентировочными, предварительными оценками и не везде были достоверными. Полученные в нашей работе новые оценки позволяют провести ревизию ранних оценок и взглядов.

В целом явление сезонного хода прилива практически полностью связано с развитием припайного льда. Имеется прямая корреляция между сезонным ходом амплитуд и фаз основных волн прилива и развитием припайного льда. Ранее это было установлено в пунктах, где имелись круглогодичные измерения уровня, — в Тамбее, Сеяхе, Тадибеяхе, Каменном. В Новом Порту эти данные до 1977 г. отсутствовали. Поведение прилива в зимний период ранее было неизвестно.

Влияние ледяного покрова на характеристики прилива. Прежде всего уточним общие черты распространения прилива в летний и зимний периоды. В табл. 3 даны оценки времени движения волны прилива M_2 для зимы и лета по данным, полученных в нашей работе. При расчете были использованы котидальные карты волны M_2 для летнего (август) и зимнего (апрель) периодов, построенные нами по результатам обработки исторических и современных данных наблюдений. Расстояние отсчитывалось от изолинии 270° (август), расположенной по линии м. Дровяной — о. Шокальского, по срединной линии Обской губы и составило 530 км до м. Каменный и 660 км до бухты Новый Порт. Изменение фаз бралось суммарное по пунктам вдоль западного берега Обской губы и было равно 401° и 521° для августа и 494° и 655° для апреля соответственно для м. Каменный и б. Новый Порт.

Таблица 3

Время движения прилива волны M_2 для зимнего и летнего периода в пунктах Обской губы

Пункт	Время, t (ч), лето (август)	Время, t (ч), зима (апрель)	Разность (запаздывание), Δt
Каменный	13,8	17,0	3,2
Новый Порт	18,0	22,6	4,6

В целом по данным табл. 3 видно, что в августе волна прилива проходит Обскую губу от морского участка (м. Дровяной) до Нового Порты за 18 ч, а в апреле к Новому Порту волна приходит позже на 4,6 ч.

В табл. 4 приведены значения характера прилива, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 для лета (август) и зимы (апрель) в двух пунктах Обской губы.

Таблица 4

Значения характера прилива, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах Обской губы

Пункт	$(H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2} + H_{S_2})^*$		H_{S_2} / H_{M_2}		H_{M_4} / H_{M_2}	
	Август	Апрель	Август	Апрель	Август	Апрель
Каменный	0,176	0,213	0,369	0,391	0,138	0,09
Новый Порт	0,184	0,536	0,355	0,533	0,127	0,08

Примечание. * — при значении отношения $> 0,25$ и $< 1,50$ прилив смешанный, в основном полусуточный.

В качестве критерия характера (формы) прилива использован критерий Куртье, так как критерий Дуванина в силу неполноты (нет волны S_2) для наших данных дает в ряде случаев неверные определения формы прилива. Из этой таблицы видно, что

в зимний период значение критерия возрастает и характер прилива меняется. То есть в летний период прилив носит полусуточный характер, а в зимний период в Новом Порту происходит переход к смешанному виду с преобладанием полусуточного характера.

Во временном ходе приливных колебаний уровня наиболее выражено фазовое неравенство приливов. Величина отношения амплитуд волн H_{S_2}/H_{M_2} , отвечающая за ход фазового неравенства прилива (цикл сизигия–квадратура), также существенно различается в летний и зимний периоды. В зимний период (в апреле) величина отношения увеличивается. Это означает, что в этих пунктах изменчивость прилива в цикле сизигия–квадратура становится более выраженной в зимний период по сравнению с летним.

Наконец, величина отношения мелководных волн H_{M_4}/H_{M_2} демонстрирует поведение кривой прилива и отвечает за продолжительность времени падения и времени роста прилива. Наиболее выражены мелководные волны в летний период, когда их величина для основных волн M_4 и M_{S_4} достигает в Новом Порту около 1,7 см и 1,4 см (для м. Каменный соответствующие значения достигают 3 см). В зимний период наблюдается очень сильное гашение амплитуд мелководных волн и их амплитуда для отдельной волны не превышает 0,1 см. Такое поведение отражается на значениях критерия H_{M_4}/H_{M_2} (см. табл. 4), который в зимний период более чем на порядок меньше, чем в летний период.

Мелководный прилив с периодом 4 ч не играет заметной роли в описании кривой прилива, так как по величине волна M_6 даже в летний период не превышает 0,2 см. В зимний период его амплитуда падает в разы и он практически полностью затухает.

Таким образом, наши данные подтверждают теоретические положения о влиянии ледяного покрова на спектр волн прилива в зависимости от периода волны (Крылов, 1948; Максимов, 1953). Волны под ледяным покровом гасятся тем сильнее, чем короче период (длина) волны. В наименьшей степени трансформируются суточные волны, и в наибольшей степени мелководные волны. Это касается всех характеристик или параметров прилива: распространения амплитуд и фаз конкретной волны прилива, ее характера и всех производных величин.

Сезонная изменчивость волны M_2 по срочным наблюдениям. Результаты гармонического анализа месячных серий наблюдений за уровнем моря позволили выявить среднюю сезонную изменчивость гармонических постоянных основных волн прилива. Для получения устойчивых оценок этой изменчивости необходимы регулярные многолетние и, предпочтительно, ежечасные наблюдения за уровнем моря. Для пункта Новый Порт были использованы скорректированные ряды срочных наблюдений за период 19 лет с 1977 по 1995 г.

Сезонный ход амплитуды представлен также в виде относительного изменения (dH) ее средней величины (H) как $dH = (H_m - H_r) / H_r$ (%), где H с индексом «м» — среднее векторное значение из всех серий за данный месяц, а с индексом «г» — 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 σ_g :

$$\sigma_H = [\sigma_A^2 (\cos g)^2 + \sigma_B^2 (\sin g)^2]^{1/2}, \sigma_g = \sigma_H/H, \quad (1)$$

где σ_A — с.к.о. для компоненты $H \cdot \cos g$, а σ_B — с.к.о. для компоненты $H \cdot \sin g$; $H = \{(H \cdot \cos g)^2 + (H \cdot \sin g)^2\}^{-1/2}$, $\text{tg}(g) = (H \cdot \sin g)/(H \cdot \cos g)$.

Таблица 5

Оценки средних значений амплитуд (H) и фаз (g) волны M_2 (в нулевом поясе) и их сезонный ход в бухте Новый Порт за период 1977–1995 гг.

Месяц	Средние оценки		Сезонный ход	
	H , см	G , град	dH , %	dg , град
I	0,82	86,3	-77,4	11,4
II	0,66	136,7	-81,9	61,8
III	0,47	171,9	-87,1	97,0
IV	1,05	229,4	-71,2	154,5
V	1,29	222,9	-64,4	148,0
VI	0,97	88,0	-73,2	13,0
VII	13,06	75,3	259,5	0,3
VIII	14,45	66,2	297,8	-8,7
IX	11,72	70,0	222,8	-4,9
X	2,27	79,1	-37,4	4,1
XI	1,51	84,3	-58,3	9,3
XII	0,85	85,6	-76,5	10,7

По формуле (1) были получены средние месячные оценки и их изменения от месяца к месяцу в годовом цикле. Эти оценки для волны M_2 даны в табл. 5.

Согласно классификации кривых сезонного хода констант полусуточных волн прилива в арктических морях (Войнов, 2011), в Новом Порту наблюдается классический тип с выраженным максимумом амплитуды в августе и минимумом фазы в этот же месяц (см. табл. 5).

Таблица 5 демонстрирует предельный аномальный вид сезонной изменчивости прилива. В зимний период — с октября и по июнь — прилив практически не выражен, в апреле амплитуда волны M_2 равна 1,0 см, а средняя сизигийная величина прилива равна 3,3 см. Сразу же после взлома припая в начале июля прилив становится выраженным, достигает максимума в августе (в среднем), когда амплитуда волны M_2 равна 14,4 см, а средняя сизигийная величина равна 36 см и скачкообразно гасится где-то в середине октября при становлении припайного льда. Таким образом, в зимний период амплитуда волны и в целом величина прилива на порядок меньше, чем в летний период. Размах изменения фазы волны M_2 между апрелем и августом достигает 163° . Для м. Каменный, расположенного в 130 км к северу, изменение фазы между апрелем и августом в среднем равно 98° , а изменение величины прилива между летним и зимним периодами составляет разы. Полное затухание прилива в зимний период происходит предположительно в районе м. Виткова.

Сезонный ход амплитуды и фазы волн полусуточных приливов S_2 и N_2 в общих чертах соответствует таковому у волны M_2 . В большей степени подобие кривых хода амплитуды и фазы и сезонного хода их изменений в годовом цикле наблюдается для волны S_2 и в меньшей степени для волны N_2 . В целом максимум амплитуд и их относительных значений отмечается в августе, и также минимум фаз и их отклонений от

средних годовых значений наступает в этот же месяц. Причина имеющихся расхождений, на наш взгляд, обусловлена случайными отклонениями и большим разбросом вследствие малых значений амплитуд этих приливов, в особенности в зимний период.

Сезонная изменчивость суточных волн K_1 и O_1 по наблюдениям. Кривые сезонного хода значений относительных амплитуд и значений отклонений фаз от средних в годовом цикле выражены не так четко, как для полусуточных волн. Во-первых, не наблюдается такой же однозначности результатов, как для полусуточных волн. Это становится понятным, если принять во внимание величины амплитуд волн этих приливов и величины разброса средних оценок за каждый месяц. Качество имеющихся наблюдений не позволяет получить устойчивые оценки волн с амплитудой около 0,5 см для зимнего периода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ В БУХТЕ НОВЫЙ ПОРТ ЗА ПЕРИОД 1977–2012 гг.

В качестве критерия качества наблюдений использовано общее число замен сомнительных значений (брака) в году. В качестве прямого показателя качества дана также средняя за год амплитуда и фаза (угол положения) волны M_2 . Средняя многолетняя (норма) за период анализа 1977–1988 гг. составила по амплитуде 3,75 см и по фазе $76,5^\circ$. Трудно интерпретировать физический смысл этой величины для условий аномальной изменчивости прилива, но приближенно она близка к средней векторной за 12 месяцев по данным табл. 5. То есть основной вклад в результирующую величину вносит прилив в летний период. Поэтому при большом количестве брака даже в одном месяце в летнем периоде средняя за год амплитуда волны M_2 занижается.

Ранее при производстве гармонического анализа в пунктах Карского моря средняя фаза волны M_2 за год и ее изменения как внутри года (сезонный ход), так и между годами (многолетний ход) служили индикатором постоянства времени измерений (Войнов, 2009). В условиях аномального сезонного хода и низкого качества наблюдений в Новом Порту эта функция становится невозможной (см. табл. 6).

Из табл. 6 видно, что резкое ухудшение качества наблюдений произошло в 1989 г. Небольшое относительное улучшение, казалось, произошло в 1990–1992 гг. Однако в эти годы отмечалось уменьшение величины прилива в летний период и в целом за год, что, конечно, не являлось природным явлением. Несмотря на относительно небольшие количества замен в годах с 1977 по 1988-й (в сравнении с периодом с 1989 по 2003 г.), нельзя признать хорошими наблюдения в 1977–1978 гг., 1982–1983 г. и в 1987 г. Амплитуда волны M_2 в эти годы была существенно ниже нормы, а фаза варьировала в необъяснимых природными явлениями пределах. С 1989 по 2003 г. продолжалось еще более сильное падение амплитуды волны M_2 с полностью нерелевантными колебаниями фазы между годами.

С 2004 по 2011 г. качество наблюдений существенно улучшилось, и именно в этот период стали снова отмечаться перерывы в наблюдениях, что вполне естественно для периодов разрушения и становления припайного льда. К сожалению, в 2012 г. качество наблюдений вновь резко снизилось.

По данным табл. 6 видно, что с 2005 г. отмечается рост фазы волны M_2 , амплитуда также несколько увеличивается в сравнении с нормой. В отсутствие дополнительной информации об условиях наблюдений, было бы преждевременно давать этому явлению какую-либо оценку.

Результаты оценки качества срочных наблюдений, представленные в табл. 6, не внушают оптимизма. Они отражают экономические и иные процессы, проис-

**Распределение количества случаев брака и в целом брака и пропусков
в исходных рядах уровня в Новом Порту за 1977–2012 гг. (в процентах длины ряда)**

Год	1	2	H	g	Год	1	2	H	g
1977	31,5	68,4	<u>1,94</u>	67	1995	59,4	59,4	<u>0,62</u>	35
1978	29,3	36,7	<u>2,07</u>	49	1996	58,1	58,1	<u>1,63</u>	121
1979	20,1	20,1	2,97	75	1997	67,7	67,7	<u>1,10</u>	80
1980	28,3	32,2	3,22	86	1998	62,3	62,3	<u>1,50</u>	45
1981	4,5	4,5	2,91	89	1999	61,2	61,2	<u>1,05</u>	22
1982	34,0	35,6	<u>2,03</u>	82	2000	63,8	63,8	<u>0,55</u>	300
1983	30,4	33,3	<u>2,77</u>	54	2001	61,6	61,6	<u>1,04</u>	80
1984	16,5	39,2	3,85	60	2002	71,7	71,7	<u>0,69</u>	41
1985	33,3	69,4	3,64	67	2003	73,3	73,3	<u>1,14</u>	6
1986	32,8	32,8	3,16	59	2004	50,9(41,8)	77,3	4,61	78
1987	40,8	40,8	<u>2,31</u>	75	2005	35,5	42,0	5,14	97
1988	39,2	39,2	3,14	85	2006	33,4	43,3	3,99	99
1989	50,1	50,1	<u>2,02</u>	103	2007	39,4	46,6	3,12	108
1990	32,6	32,6	<u>2,55</u>	77	2008	33,3	43,3	3,79	111
1991	32,0	32,0	<u>0,42</u>	158	2009	34,3	39,0	4,07	110
1992	39,0	39,0	<u>2,05</u>	84	2010	36,1	42,8	4,51	125
1993	43,8	43,8	<u>0,74</u>	85	2011	33,4	47,8	4,89	109
1994	59,0	59,0	<u>1,74</u>	67	2012	64,4	72,3	<u>1,38</u>	95

Примечания: 1 — количество брака (замен, сомнительных значений) в наблюдениях; 2 — общий процент пропусков и брака за год, H — средние за год значения амплитуды (см), g — фаза (угол положения) волны M_2 (в градусах по нулевому поясу). Жирным шрифтом выделены самые некачественные данные. Подчеркнуты anomalно заниженные значения амплитуды. Для 2004 г. в скобках даны сведения за август–декабрь.

ходившие в конце XX и начале XXI в. на уречьях пунктах. Обратим внимание, что наша методология позволяет обнаружить недостатки в материалах наблюдений, которые невозможно обнаружить традиционными методами, рекомендованными наставлением (Наставление, 1984) при проведении экспертизы материалов публикуемой части Водного кадастра.

МНОГОЛЕТНИЙ ХОД АМПЛИТУДЫ И ФАЗЫ (УГЛА ПОЛОЖЕНИЯ) ВОЛНЫ M_2 ЗА АВГУСТ С 1977 ПО 2012 г.

Устойчивость констант составляющих волн прилива (гармонических постоянных) является одной из главных проблем океанологии. Все данные, опубликованные в Таблицах приливов, как правило, получены в XX в. или даже раньше. Всегда остается неясным вопрос: насколько достоверны и неизменны эти данные. Отражаются ли изменения глобального уровня в Мировом океане и изменения в площади ледяного покрова в СЛО в последние десятилетия на формировании и распространении приливов? Для ответа на этот вопрос требуются многолетние ряды наблюдений за уровнем моря. В Обской губе Карского моря наблюдения за уровнем моря на всех станциях, кроме бухты Новый Порт, были прекращены в начале 1990-х гг. Поэтому многолетние результаты гармонического анализа прилива в Новом Порту являются единственными в этом плане и представляют несомненный интерес.

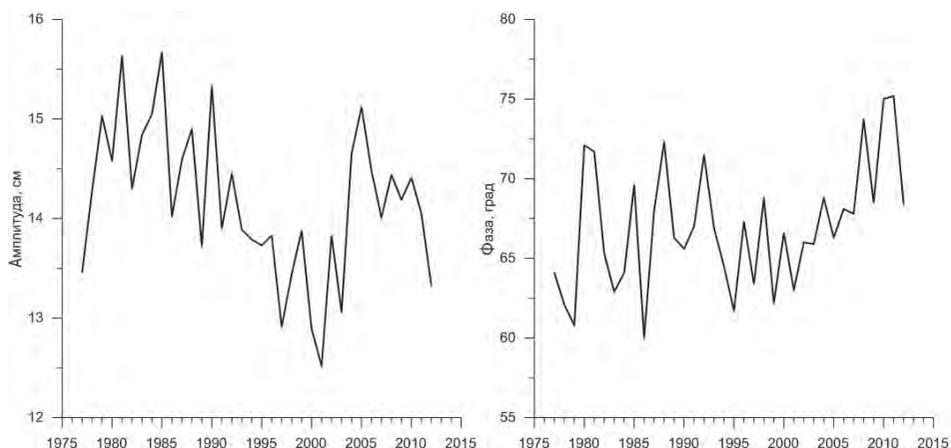


Рис. 4. Временной ход амплитуды и угла положения волны M_2 в августе в бухте Новый Порт.

Средние годовые оценки даже волны M_2 после коррекции все же не обладают необходимой устойчивостью во времени вследствие очень большого разброса в результатах анализа по исходным данным (см. табл. 6). Гораздо более устойчивые оценки волны M_2 наблюдаются в средних месячных результатах анализа за август. Именно эти значения использованы для изучения многолетней изменчивости констант прилива и представлены на рис. 4.

Во временном ходе амплитуды волны M_2 можно видеть незначительную тенденцию к уменьшению амплитуды в конце ряда (в 2004–2011 гг.) в сравнении с периодом 1977–1992 гг., но здесь может сказываться влияние низкого качества наблюдений в 1993–2003 гг., которое было не полностью устранено коррекцией рядов и привело к занижению значений амплитуды. В многолетнем ходе угла положения заметно увеличение фазы с 2007 г. В настоящее время без знания условий наблюдений на станции еще нельзя делать вывод о достоверности этого явления. Зачастую подобные изменения фазы объясняются или изменением времени наблюдений, и/или не строгим выдерживанием времени сроков, что характерно для всех уровенных пунктов, где ведутся срочные наблюдения (Войнов, 2009).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ позволил вскрыть недостатки в данных по уровням воды, которые появились вследствие несоблюдения наставлений по производству наблюдений. Их, как правило, не удастся обнаружить традиционными методами, изложенными в наставлении применительно к экспертизе публикуемой части Водного кадастра (среднесуточных уровней). Установить такие нарушения позволяет лишь углубленная экспертиза с помощью приведенной здесь методики при условии наличия материалов непубликуемой части Водного кадастра (ежечасных и срочных данных наблюдений).

Применение новой методики позволило дать объективную оценку качества наблюдений и привести временные ряды срочных наблюдений к однородным рядам. В результате были получены надежные оценки короткопериодных приливов на каждый месяц года и оценки долгопериодных приливов за весь период наблюдений. Впервые даны характеристики прилива в зимний период года и установлена различная степень гашения волн разных классов (и периодов) под припаем.

В наименьшей степени припай оказывает влияние на волны суточного периода и в наибольшей степени — на мелководные волны высших классов с периодом 4 и 6 ч, которые в зимний период практически исчезают. Впервые установлен вид многолетней изменчивости констант основных волн прилива за период 36 лет. В частности, обнаружен тренд во временном ходе амплитуды волны M_2 с 2004 г. (в сторону уменьшения значений) и тренд угла положения с 2007 г. (в сторону возрастания величины). Однако значимость оценок тренда в настоящее время не может быть надежно установлена вследствие низкого качества наблюдений. Необходима постановка дополнительных ежечасных наблюдений за уровнем моря для подтверждения полученных результатов.

Можно констатировать, что программа наблюдений за уровнем моря, реализуемая в настоящее время на полярных станциях в виде срочных измерений по футштоку, безнадежно устарела со всех точек зрения и не обеспечивает задачу мониторинга арктических морей. Назрела необходимость технического переоснащения постов современными автономными измерительными комплексами с непрерывной регистрацией колебаний уровня моря.

Необходимо также приступить к качественному обновлению высотной основы постов, что означает переход к реперам более высокого класса и надежности с привязкой их к высокоточной геоцентрической системе координат с использованием спутниковых систем позиционирования GPS/ГЛОНАСС.

Авторы выражают признательность Л.А. Тимохову за полезные замечания, позволившие улучшить содержание работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Войнов Г.Н. Гармонический анализ долгопериодных приливов по срочным наблюдениям и среднесуточным значениям уровня моря // Метеорология и гидрология. 2002. № 4. С. 50–58.
- Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов по срочным наблюдениям за уровнем моря // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 79–91.
- Войнов Г.Н. Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4 (90). С. 51–61.
- Г.Н. Войнов. Способ приведения ежечасных наблюдений за уровнем моря к однородным рядам с помощью калибровки приливов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 68–80.
- Голованов О.Ф., Пискун А.А., Терехова Р.А. Состояние высотной основы гидрологической сети севера ЯНАО // Российские полярные исследования. 2012. № 4 (10). С. 38–41.
- Гидрологический ежегодник. 1965 г. Новосибирск: Западно-Сибирское Управление гидрометеорологической службы, 1968. Т. 6. Вып. 0–3. 476 с.
- Комчатов В.Ф., Лучков В.П. Вековая морская береговая гидрометеорологическая сеть — основа изучения гидрологического режима шельфовой зоны морей РФ и обеспечения гидрометеорологической безопасности // Тр. ГОИН. 2011. Вып. 213. С. 5–14.
- Коптева А.В., Бутенко А.К., Иванова З.К. Материалы по изучению приливов Арктических морей СССР // Тр. АНИИ. 1952. Т. 42. Вып. 7. 536 с.
- Коптева А.В. Уровень и течения Обской губы // Тр. АНИИ. 1953. Т. 59. С. 84–148.
- Крылов Ю.М. Распространение длинных волн под ледяным пологом // Труды ГОИН. 1948. Вып. 8 (20). С. 107–111.
- Максимов И.В. О зависимости элементов прилива от ледяного покрова моря // Ученые записки ВАМУ им. С.О. Макарова. 1953. Вып. IV. С. 115–129.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9. Ч. I. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 312 с.

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.

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.

Стахович В.С. Данные о приливах в устьях рек Енисея и Оби // Записки по гидрографии. 1926. Т. 51. С. 95–102.

G.N. VOINOV, A.A. PISKUN

THE VALUATION OF THE TIDES IN THE NEW PORT (THE GULF OF OB) ON THE SEA LEVEL DATA THE SPAN OF 1977–2012 YEARS

The results of treatment and correction of long-term data in the New Port sea level records are stated. Efficiency of a method at an assessment of quality of materials of long-term sea level records and reduction of time series in databases to uniform massifs is noted. By means of a new method steady estimates of the harmonic constants of the constituents in the New Port of sea level records are received.

Keywords: tides, tidal analysis, the seasonal variation in the M_2 tide, the trends of the M_2 tide, the Gulf of Ob, station New Port, sea level dataset.