

СПОСОБ ПРИВЕДЕНИЯ ЕЖЕЧАСНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ К ОДНОРОДНЫМ РЯДАМ С ПОМОЩЬЮ КАЛИБРОВКИ ПРИЛИВОВ

д-р геогр. наук Г.Н. ВОЙНОВ^{1,2}

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

² — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: voinovgn@mail.ru

Изложены основные принципы контроля и корректировки многолетних ежечасных наблюдений за уровнем моря. Основу нового способа составляет калибровка квазиприливного компонента прилива на основе модели прилива в конкретном пункте. 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 на ряде пунктов с сомнительными исходными материалами наблюдений.

Ключевые слова: приливы, гармонические постоянные, калибровка приливов

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX и начале XXI века мы видим появление нового направления в классическом гармоническом анализе приливов — анализ прилива многолетних временных рядов с применением расширенных версий расчета по методу наименьших квадратов (МНК) на современных компьютерах. В настоящее время сняты практически все технические и программные ограничения применения МНК, связанные ранее с выполнением супер-расширенного гармонического анализа приливов на рядах длительностью 30 и более лет и разной дискретностью измерений (Войнов, 1999, 2011а, 2011б, 2011в, 2013; Crawford, 1995; Foreman et al., 2009; Muller, 2011; Ray, 2001; Woodworth, 2010).

Однако достоверные результаты таких анализов в виде временных рядов средних месячных и/или средних годовых оценок амплитуд и фаз (углов положений) основных и второстепенных волн прилива и, в особенности, тонкая структура отдельных групп прилива с нодальным разрешением по частоте $360^\circ/(19 \text{ г} \cdot 365 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч})$ напрямую и исключительно зависят от качества наблюдений, соответствия их условиям однородности.

Известно, что база первичных данных уровня моря в арктических морях, имеющаяся в ВНИИГМИ-МЦД, не приведена к условию однородности и не имеет оценки качества наблюдений за уровнем моря (Войнов, 1999, 2011в, 2013). Конечно, это весьма сложная и трудно решаемая проблема. Производство наблюдений за уровнем в арктических морях сопряжено с серьезными затруднениями вследствие суровых климатических условий, отсутствия почти повсеместно капитальных сооружений

для наблюдений, плохой и морально устаревшей приборной базы. В наблюдениях встречается много пропусков в периоды становления припайного льда и в периоды его разрушения. Время измерений на каждом пункте многократно менялось по распоряжению руководства Гидрометслужбы или региональных УГМС. Состояние реперов и качество нивелировок оставляет желать лучшего.

Наличие на ряде станций годовых серий наблюдений, показывающих при обработке существенное занижение или аномальное завышение амплитуды основных волн прилива (Войнов, 2011б, 2013), привело нас к гипотезе об основной причине этого широко распространенного явления (наряду с другими, обсуждаемыми в (Войнов, 2011б, 2013; Woodworth, 2010)). Производство всего комплекса научных наблюдений за уровнем моря часто по природным условиям было просто невозможно. Здесь мы имеем в виду программу обязательных четырехсрочных измерений уровня моря по рейке футштока, необходимых для развязки мареограмм. На большинстве станций в лучшем случае это делалось 1–2 раза в сутки (в летний период, как правило, чаще). Одного или двух измерений в сутки было недостаточно для точной развязки мареограмм. Отсюда возник артефакт в виде искажения масштаба ленты самописца (мареограммы). Как следствие, кривая ежечасных наблюдений в мезомасштабном диапазоне колебаний приобретала уменьшенный или увеличенный вид. Однако можно скорректировать амплитуду и величину прилива в целом при наличии эталонных качественных серий наблюдений и восстановить ряды наблюдений во всем диапазоне колебаний уровня моря.

В 90-е гг. XX в. в ААНИИ был разработан новый методический подход к обработке и анализу данных о морских приливах (Войнов, 1999, 2011а, 2011б). 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 наблюдением описании сезонной изменчивости приливных колебаний уровня моря для районов с сильно выраженным или аномальным ходом констант волн в годовом цикле (Войнов, 1999, 2011а).

Важным звеном новой методологии, которая была разработана независимо от метода, изложенного в (Crawford, 1995; Ponchaut et al., 2001), но совпадает с ним в основных этапах (кроме описания и оценки сезонного хода и некоторых деталей анализа и контроля), является контроль и коррекция ежечасных наблюдений по остаточному ряду и скользящему гармоническому анализу с оценкой сезонного хода основных волн прилива.

Однако во многих случаях использованной ранее методологии было недостаточно для полного восстановления сомнительных наблюдений в спектре короткопериодных колебаний прилива (от 2 до 29 ч).

Здесь изложено дальнейшее развитие приемов восстановления сомнительных наблюдений с помощью амплитудной калибровки прилива.

НОВЫЙ ПОДХОД МЕТОДА КОНТРОЛЯ И КОРРЕКЦИИ ВРЕМЕННЫХ ЕЖЕЧАСНЫХ РЯДОВ УРОВНЯ МОРЯ С ПОМОЩЬЮ СПОСОБА КАЛИБРОВКИ ПРИЛИВОВ

В итоге выполнения экспериментов по калибровке прилива мы рекомендуем следующую последовательность обработки и гармонического анализа ежечасных наблюдений за уровнем моря для их контроля и коррекции.

1. Создание модели прилива на основе анализа годовых ежечасных серий с хорошим (эталонным) качеством наблюдений.

2. Разделение годового ряда наблюдений на тренд (долгопериодные колебания) и короткопериодный прилив (квазиприливной компонент) с помощью прямого и обратного фильтра низких частот.

3. Расчет предвычисленной годовой серии на требуемый год наблюдений по модели прилива и выделение из нее квазиприливной компоненты с помощью обратного фильтра низких частот.

4. Гармонический анализ по МНК (без астрономической части) последовательно за каждые сутки квазиприливной компоненты наблюдений и квазиприливной компоненты предвычисленного ряда.

5. Визуальный просмотр (ревизия) совмещенных синхронных рядов квазиприливных компонент предвычисления и наблюдений.

6. Гармонический анализ по МНК (без астрономической части) исправленной годовой серии по месячным сериям для квазиприливной компоненты наблюдений и квазиприливной компоненты предвычисленного ряда.

7. Амплитудная калибровка временного ряда квазиприливной компоненты наблюдений.

8. Создание восстановленного (скорректированного) ряда наблюдений как арифметической суммы тренда (пункт 2) и квазиприливной компоненты после калибровки.

9. В заключение производится гармонический анализ годовой и месячных серий восстановленного ряда.

Необходимые пояснения по пунктам.

Пункт 1. В список волн для предвычисления (модель прилива) отбираются только значимые составляющие основных и второстепенных волн в классах от долгопериодного по 1/6-суточный. Критерий значимости рассчитывается по Фурье-анализу остаточных годовых серий. Модель прилива включает волны, адекватно наблюдениям описывающие сезонный ход (изменчивость) прилива. Технология приведена в (Войнов, 2011а, 2011б). Также производится расчет среднего сезонного хода амплитуд и фаз (углов положения) основных волн прилива (M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1) на основе годовых серий с эталонными результатами.

Пункт 2. Фильтр низких частот (класса нерекурсивных фильтров) построен нами по технике взвешивания идеального фильтра окном Кайзера (Хэмминг, 1987). Параметр окна Кайзера α задавался равным 10, а число членов окна $m(0)$ равно 240. При таком задании значений параметра и окна уровень 50 % в переходной зоне частотной характеристики приходится на частоту 9,0 град/ч (период 1,66 сут.). Фильтр эффективно подавляет приливные колебания — в полосе непропускания уровень пульсаций не выше -100 dB (0,0000068) ($1\text{dB} = 20\lg(H(q))$, где $H(q)$ — частотная характеристика фильтра). Фильтр практически не искажает колебания с периодом более 1,7 сут. (уровень пропускания выше 80 %). Частотная характеристика этого фильтра дана на рис. 1 вместе с таковой для других известных в океанологии фильтров. Видно по кривым рис. 1, что известные фильтры Дудсона и Гровза имеют плохую частотную характеристику в переходной зоне и большие всплески в полосе непропускания. Фильтр Картрайта имеет более приемлемую кривую в переходной зоне, но при этом пропускает до 4 % на крайней частоте суточных приливов.

При фильтрации ежечасных данных нашим фильтром происходит потеря по 240 значений ряда слева и справа (10 сут. в начале и 10 сут. в конце ряда). Для ком-

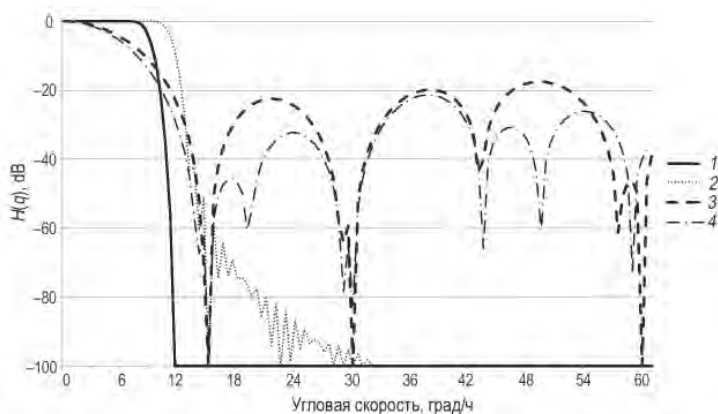


Рис. 1. Частотная характеристика фильтров низких частот: 1 — фильтр низких частот в нашей работе; 2 — фильтр низких частот по Картрайту с $m(0) = 168$; 3 — фильтр низких частот Дудсона (39 весов); 4 — фильтр низких частот Гровза (Д49).

пенсации потери ряда мы дополняем перед фильтрацией временные ряды справа и слева предвычисленными значениями со склейкой рядов на границах.

При использовании фильтра низких частот и обратного фильтра низких частот справедливо тождество: наблюдения $\equiv$ тренд + квазиприливной компонент. Оно соблюдается с точностью задания исходного ряда.

Пункт 3. Как правило, расчет производится по оценкам констант волн, полученных как средние векторные значения за ряд лет. Однако нами выявлен факт индивидуального сезонного хода основных волн прилива в конкретном году, отличающийся от среднего. Поэтому иногда требуется подстройка (по возможности) сезонного хода уровня (непериодические колебания) и сезонного хода (изменчивости) прилива для данного года (Войнов, 2011а, 2011б).

Пункт 4. При гармоническом анализе за сутки (24 ч) выделяются 6 волн: по одной из основных классов прилива — A_0 , K_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_6 (амплитуда волн более высоких классов в арктических морях пренебрежимо мала). Предварительный контроль значений амплитуд и фаз волны M_2 из наблюдений производится по сравнению с таковыми для предвычислений (как эталона) для обнаружения сомнительных величин и соответствующих им участков наблюдений с браком.

Контроль значений амплитуд и фаз волны M_2 (как ведущей в арктических морях, где практически нет акваторий с суточным характером прилива) производится отдельно по рядам этих значений. Отмечаются аномальные значения амплитуд или фаз из наблюдений, которые отсутствуют в предвычислении.

Кривые значений амплитуд и фаз волны M_2 имеют периодичность (в сизигийно-квадратурном цикле) от волн S_2 , N_2 , K_2 , но она должна быть одинаковой у рядов из наблюдений и предвычислений в идеальном случае отсутствия брака и случайных возмущений уровня и не мешает идентификации отклонений различной природы (см. рис. 2).

Пункт 5. Визуальный просмотр идет с акцентом на сутках с сомнительными результатами из пункта 4, и производится замена их в случае принятия решения о браке на предвычисленные значения. Нарушения, вызванные плохой работой самописца, или фальсификация наблюдений хорошо идентифицируются. Также становятся по-

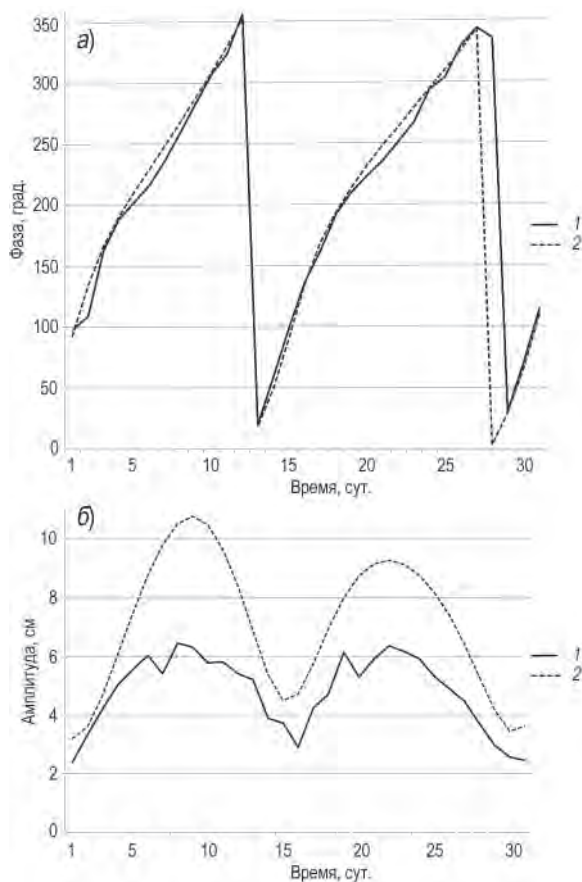


Рис. 2. Кривые фаз (а) и амплитуд (б) волны M_2 за март 1981 г.: 1 — наблюдения, 2 — предвычисления.

нятыми случайные изменения амплитуд и фаз за счет неперiodических колебаний. Они оставляются без изменений.

В монографии В.М. Альтшулера (Альтшулер, 1966) применялся схожий прием, названный им способом фильтрации приливов. В этой работе использовался для анализа адмиралтейский метод анализа приливов за сутки и сравнение производилось с теоретической кривой прилива (потенциала). В нашем способе, с одной стороны, задача упрощается (применяется МНК без астрономии) и не ведется определение гармонических постоянных, что связано с большими усложнениями алгоритма расчета. С другой стороны, задача решается строго, так как сравнение идет с реальным приливом (который сильно расходится с теоретической кривой потенциала).

Пункт 6. Для определения оценок средних значений амплитуд волны M_2 (наблюдения и предвычисления), необходимых для калибровки прилива, следует выбрать период осреднения.

За наименьший оптимальный период анализа нами выбран календарный месяц. Этот период является минимальным для строгого разделения основных волн прилива. Также в пределах месяца можно приближенно считать неизменными константы основных волн прилива в условиях их сезонной изменчивости.

Гармонический анализ месячных серий в нашем способе выделяет 23 волны, разрешаемые по критерию Рэлея. Хотя в дальнейшем используются результаты только для волны M_2 , но список волн сделан полным для точного выделения этой волны (при анализе месячной серии группы волн и отдельные волны влияют друг на друга).

Пункт 7. Коэффициент для калибровки определяется по отношению значений амплитуд волны M_2 между рядами квазиприливных компонент наблюдений и предвычисления по каждому месяцу отдельно.

С целью сохранения естественного сезонного хода амплитуды, который в конкретном году иногда отличается от среднего, рассчитываемого по предвычислению, мы рекомендуем применять калибровку в случае значимого расхождения амплитуд (предвычисление—наблюдения) в каждом месяце. Было бы неоправданным усложнением применять статистические критерии для определения уровня значимости. Но приближенно можно считать значимой разность амплитуд в каждом месяце, превышающую среднюю сезонную изменчивость амплитуды волны M_2 между месяцами. Эта изменчивость сильно варьирует в различных акваториях и в среднем составляет от 5 до 15–20 % величины амплитуды волны M_2 в заданном месяце. Конечно, при этом должны быть заранее известны оценки среднего сезонного хода этой волны.

Пункт 8. При этом мы полагаем, что в масштабе многолетней и синоптической изменчивости колебаний уровня (точнее — на периодах более 1,7 сут.) наблюдения не искажаются. Данный тезис подтверждается на экспериментах, выполненных нами по тестированию и применению способа калибровки.

Пункт 9. Следует полностью методологии, применявшейся ранее (Войнов, 2011а, 2011б). Основным приемом здесь является обязательный контроль остаточного ряда. Также необходима проверка скорректированных значений амплитуд и фаз волны M_2 (иногда других волн) по месячным сериям. Другие полезные комментарии по применению способа калибровки даны ниже в примерах.

ТЕСТИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА КАЛИБРОВКИ

Проверка эффективности способа калибровки была выполнена для станций, где ранее были выявлены сомнительные наблюдения, которые не удалось привести к однородным по прежней методологии (Войнов, 2011б, 2011в). Были привлечены наблюдения с различной величиной и характером прилива и разной степенью выраженности сезонной изменчивости прилива в годовом цикле: с небольшой величиной прилива (случай 1), для наблюдений со средней величиной прилива (случай 2) и для данных с большой величиной прилива (случай 3).

Случай 1. Величина сизигийного прилива составляет 26 см летом и 19 см зимой. Характер прилива смешанный, в основном полусуточный с заметным влиянием суточных волн. Сезонный ход полусуточных волн прилива выражен заметно и имеет классический вид — максимум амплитуд и минимум фаз наблюдается в августе.

По ежечасным наблюдениям за уровнем моря на п/ст остров Голомянный (79° 33' с.ш., 90° 37' в.д.) за 1963–2012 гг. были получены по каждой годовой серии оценки средних годовых и месячных амплитуд и фаз основных и второстепенных волн прилива. В табл. 1 представлены выборочные результаты этих анализов.

По данным этой таблицы виден существенный разброс в значениях средней годовой амплитуды в ряде лет. В основном амплитуды существенно занижены в сравнении с нормой. Объяснить такой разброс какими-либо природными факторами не удастся. Причем видно, что в целом в зимний период (март) занижение амплитуд

Таблица 1

Выборочные результаты гармонического анализа по МНК за разные годы и за месяцы экстремумов (март и август) годовых ежечасных серий за 1963–2012 гг. п/ст остров Голомянный для волны M_2 (H — амплитуда, см, g — угол положения, град. по 0 поясу)

Год	Средняя за год		Март		Август	
	H	g	H	g	H	g
1963 ¹	6,32	218,5	5,57	224,2	8,69	208,7
1965	6,84	219,6	6,21	224,5	9,45	213,2
1968 ¹	5,73	214,0	5,15	216,2	8,61	203,4
1972 ¹	6,44	218,1	4,94	224,2	8,72	208,4
1974	7,61	216,6	8,14	223,1	8,88	211,6
1976	7,67	216,4	6,82	219,4	9,12	209,8
1979	7,45	215,7	6,21	223,0	9,32	203,8
1980	7,55	217,5	6,61	220,2	8,52	207,5
1981 ¹	5,44	217,5	4,64	218,4	7,05	209,8
1985 ¹	4,74	208,5	4,86	206,0	7,18	207,1
1990 ¹	6,02	214,6	5,74	215,9	6,62	208,1
1995 ¹	5,96	211,9	5,00	214,7	7,23	198,3
2000 ¹	5,94	217,8	5,59	219,7	7,10	213,2
2005 ¹	6,54	218,6	5,90	221,5	9,04	209,6
2010 ¹	6,92	218,8	5,59	22,6	9,08	210,0
Средние 1963–1980 гг. ²	7,47	217,5	6,99	221,7	9,00	210,2

Примечания: 1 — занижены оценки амплитуды средней за год и за март и/или август; 2 — средние значения получены для эталонных серий.

наблюдается в большинстве лет (с 1981 г. во всех годовых сериях), а в летний период (август) амплитуды были ближе к норме. Это подтверждает высказанную выше гипотезу о причине этого, конечно, не природного эффекта.

До разработки способа калибровки приведение наблюдений к однородным рядам, например, за 1963, 1968, 1972, а также 1981–1985 гг. и далее по 2012 г. по старой методологии осуществлялось за счет замены сомнительных участков соответственно до 10 или 50 % и более годовой серии на предвычисленные значения, полученные по средним значениям констант волн прилива. С помощью способа калибровки и окончательному контролю остаточного ряда количество замен сомнительных наблюдений снизилось в разы.

Для наглядности ниже показаны фрагменты ключевых этапов способа калибровки. На рис. 2а, б приведены результаты анализа суточных циклов за март 1981 г. (этап 4).

Из поведения кривых на рис. 2а видно, что амплитуды волны M_2 во всех суточных циклах занижены. Обращают внимание отклонения амплитуд наблюдений 6–7, 18–21 марта. В кривых фаз (см. рис. 2б) виден явный сдвиг 28-го и менее выраженный 6–7 и 19–22 марта. Указанные сутки следует проверить по графикам квазиприливных компонент наблюдений и предвычислений. В результате подобной ревизии произведены частичные замены брака 7, 21–22 марта. 28 марта наблюдалось непериодическое колебание, которое оставлено без изменения.

В таблице 2 даны результаты расчета из 6 этапа нашего способа для 1981 г.

Оценки амплитуд и фаз волны M_2 для месячных серий за 1981 г.
(R — амплитуда, см; r — фаза, град на начало месяца)

Месяц	Предвычисление		Наблюдения	
	R	r	R	r
I	6,972	102,70	6,436	105,44
II	6,864	138,99	5,218	130,29
III	7,002	101,50	4,734	96,88
IV	7,237	137,34	5,494	135,08
V	7,214	149,27	5,619	148,50
VI	7,215	183,69	4,826	181,54
VII	7,872	190,72	5,949	191,13
VIII	8,898	222,57	7,186	220,94
IX	9,046	257,48	6,384	256,26
X	8,135	271,21	5,502	275,59
XI	7,224	311,30	4,666	316,94
XII	6,925	326,18	4,729	333,31

Из данных табл. 2 видно, что различия между амплитудами для квазиприливных компонент прилива в предвычислениях и наблюдениях в каждом месяце значимые (кроме января). Различия между фазами следует отнести к индивидуальной случайной изменчивости данного года. В отношении фаз мы, как правило, применяли коррективку времени в особых случаях. Ее (калибровку времени) мы применяли ранее для срочных наблюдений с помощью прямого и обратного преобразования Фурье.

Здесь нужно различать ошибки фаз (времени) двух видов — ошибка времени пояса и ошибка от неточного хода часов. В первом случае она (ошибка) выявляется по систематическому уходу фазы (времени) с одним знаком по всем или нескольким месяцам. Но в таких случаях (ошибка пояса измерений в 1 ч и более) проще произвести приводку годовой серии к требуемому поясу изначально (переоцифровка ряда). Ошибки времени измерений на периодах менее месяца выявляются и исправляются на этапе 4–5. Ошибки второго вида (уход времени менее 1 ч) отслеживаются на этапе 4 при контроле фаз за сутки из годовых серий наблюдений и предвычислений (см. рис. 2б), но окончательно могут быть идентифицированы уже на последней стадии обработки при контроле остаточного ряда.

Ниже на рис. 3б представлены графики колебаний квазиприливных компонент предвычисленного и наблюденного рядов до и после калибровки. Показан также фрагмент восстановленного ряда. Ход кривой на рис. 3а обнаруживает практически везде (кроме 3–4) занижение величины квазиприливной компоненты наблюдений. Здесь надо сказать о приближенном соответствии прилива, выделенного из наблюдений, предвычислению, так как в нем имеется временами неприливной вклад от сгоно-нагонных возмущений на частоте приливов, и также возможен незначительный вклад от внутренних приливов. Вклад от непериодических колебаний на частоте приливов (с периодом от нескольких часов до суток) может быть определен теоретически или на численной модели, но является совершенно иной проблемой. Можно считать эти вклады несущественными в нашей задаче, поскольку они являются случайными процессами и не оказывают ощутимого влияния на параметры прилива при осред-

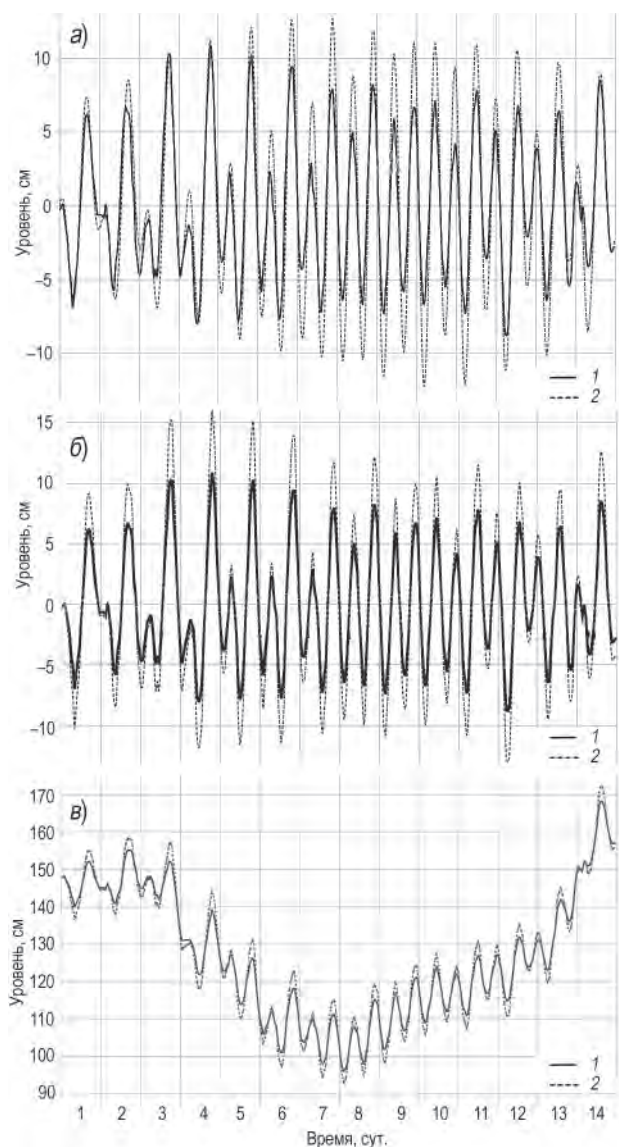


Рис. 3. Квазиприливные компоненты (а) наблюдений (1) и предвычисления (2) за период 1–14 марта 1981 г.; квазиприливной компонент (б) наблюдений до (1) и после (2) калибровки; восстановленные (тренд плюс квазиприливной компонент наблюдений после калибровки) наблюдения (в) и исходные наблюдения: 1 — наблюдения до калибровки, 2 — наблюдения после калибровки.

нении за месяц. По крайней мере проведенные нами эксперименты с калибровкой в различных пунктах подтверждают справедливость положений, лежащих в основе предлагаемого способа.

В таблице 3 приведены результаты гармонического анализа наблюдений за 1981 г. с применением способа калибровки. При этом по контролю остаточного ряда

Оценки амплитуд и углов положений волны M_2 для месячных серий до и после калибровки (п/ст остров Голомянный, 1981 г.)
(H — амплитуда, см; g — угол положения, град в 0 поясе)

Месяц	Наблюдения исходные		После калибровки	
	H	g	H	g
I	6,25	225,0	6,70	221,2
II	5,21	210,9	6,89	212,8
III	4,64	218,4	6,89	219,2
IV	5,44	216,7	7,13	218,3
V	5,51	221,7	7,02	221,7
VI	4,66	217,3	7,20	217,9
VII	5,85	216,4	7,75	216,3
VIII	7,05	209,8	8,71	209,6
IX	6,23	209,8	8,96	210,0
X	5,41	217,8	8,02	216,4
XI	4,66	220,3	7,41	221,1
XII	4,70	228,7	6,86	227,3
Средняя за год	5,44	217,50	7,44	217,28

после калибровки было заменено в целом в годовой серии 30 сут. сомнительных участков на предвычисленные значения. В основном эти неверные значения были вызваны плохой работой самописца уровня в зимний период при низких температурах воздуха. Ранее эта годовая серия считалась полностью сомнительной и не принималась к расчету оценок прилива. Средние за год результаты гармонического анализа также стали достоверными.

Случай 2. Величина прилива в сизигию составляет 56 см. Характер прилива правильный полусуточный. Сезонный ход полусуточных волн слабо выражен и имеет классический вид.

В работе (Войнов, 2011б) был выявлен длительный брак в наблюдениях на п/ст мыс Болванский Нос (пролив Карские Ворота) начиная с 1974 г. В наблюдениях за

Таблица 4

Оценки амплитуд и углов положений волны M_2 для месячных серий до и после калибровки (п/ст мыс Болванский Нос (пролив Карские Ворота), 1970 г.)
(H — амплитуда, см; g — угол положения, град в 0 поясе)

Месяц	Наблюдения исходные		После калибровки	
	H	g	H	g
I	16,07	347,9	18,10	346,5
II	16,10	357,1	17,85	356,8
III	15,42	356,8	17,79	356,8
IV	15,31	357,7	17,48	357,7
V	15,43	357,5	17,86	357,6
VI	13,65	350,8	18,79	348,6
VII	18,55	342,3	18,81	341,4
VIII	18,93	344,0	19,49	343,0
IX	19,49	340,1	19,49	340,1
X	17,81	343,2	18,80	343,5
XI	17,11	347,4	17,90	346,3
XII	16,65	348,3	17,66	347,8
Средняя за год	16,62	348,95	18,24	348,74

1970 г. также было много сомнительных, но приведение к однородности ранее было выполнено по старому способу.

Из данных табл. 4 видно, что в наблюдениях в зимний период аномально занижена амплитуда волны M_2 . Это привело к сильному занижению оценки амплитуды этой волны за год. Проверка показала, что при применении способа калибровки в остаточном ряду сомнительных значений стало гораздо меньше — всего 10 сут. (вместо 108 сут. по прежней методологии).

Случай 3. Величина сизигийного прилива составляет 309 см. Характер прилива — полусуточный. Сезонный ход слабо выражен в амплитуде и имеет стандартный вид, а в фазе почти не виден и имеет нестандартный ход.

Мы применили способ калибровки к наблюдениям на п/ст Полярное (Баренцево море) к годовой серии за 1993 г. Именно с этого года (точнее с апреля), как было нами установлено в (Войнов, 2013), из-за нарушения в поплавковом устройстве самописца уровня моря в наблюдениях резко увеличилась величина прилива, которая не была связана с реальным явлением. Данный случай интересен необычной ситуацией, когда сомнительные наблюдения, а точнее брак, носили нестандартный характер. Длительное время эта ситуация оставалась нераспознанной, и в итоге наблюдения с 1993 и по 2002 г. (далее мы не имеем информации) стали неоднородными. Казалось, что здесь мало что можно сделать, и оставалось принять ситуацию, как она есть. Но с помощью способа калибровки можно, как показано ниже в табл. 4, и эти наблюдения привести к однородным.

По данным табл. 5 ясно виден ложный эффект увеличения амплитуды волны M_2 , который сохраняется в наблюдениях, выполненных по 2002 г. На основании модели прилива, разработанной по наблюдениям за 1977–1992 гг., и оценки среднего сезонного хода способ калибровки привел к норме значения амплитуд в апреле–декабре 1993 г. Контроль остаточного ряда, выполненный для исправленного ряда, выявил только 50 сут. сомнительных данных вместо всего периода за апрель–декабрь. Результаты анализа исправленной годовой серии показали весьма удовлетворительные оценки во всем спектре прилива.

Таблица 5

Оценки амплитуд и углов положений волны M_2 для месячных серий до и после калибровки (на п/ст Полярное (Баренцево море), 1993 г.)
(H — амплитуда, см; g — угол положения, град в 0 поясе)

Месяц	Наблюдения исходные		После калибровки	
	H	g	H	g
I	111,97	127,0	114,58	126,8
II	113,57	127,2	114,25	126,7
III	111,03	125,2	117,43	125,5
IV	<u>122,15</u>	126,2	116,39	126,9
V	<u>126,72</u>	127,7	116,18	127,4
VI	<u>126,25</u>	127,7	118,60	127,4
VII	<u>128,52</u>	127,0	119,78	127,8
VIII	<u>129,22</u>	126,8	120,56	126,8
IX	<u>130,93</u>	127,8	120,08	127,7
X	<u>128,50</u>	125,3	117,64	126,1
XI	<u>126,66</u>	125,8	114,80	125,6
XII	<u>125,53</u>	125,8	114,60	125,6
Средняя за год	<u>123,21</u>	126,56	116,71	126,67

Примечание. Подчеркиванием выделены сомнительные результаты.

В приведенных выше примерах наблюдения носили в основном полусуточный характер. Способ калибровки применим и к приливам суточного характера. Но в таких случаях совместно с волной M_2 надо опираться на оценки волны K_1 .

Практика применения способа калибровки показывает, что при изучении межгодовых изменений констант прилива может проявляться эффект сглаживания средних годовых оценок амплитуд основных волн прилива (в частности, волны M_2), связанный с заложенными в его основу приемами обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами способ калибровки прилива показывает в приведенных здесь и других случаях эффективность не только для объективной оценки качества наблюдений за уровнем моря, но и возможности коррекции исходных данных с целью приведения ежечасных наблюдений к однородным рядам.

Способ оказался применим к ранее выявленным сомнительным данным, которые были оставлены без исправлений, так как прежняя методология приводила к очень большой ревизии вследствие существенного отклонения исходных рядов от предвычисленных значений.

Надежность способа калибровки основана на постоянстве оценок констант основных волн прилива. Поэтому следует знать условия наблюдений на исследуемом приливном пункте и учитывать изменения в местах производства наблюдений (модернизация установок для измерения уровня моря, изменения в приборной части измерений), которые могут привести к нарушению условий однородности.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альтиулер В.М. Практические вопросы анализа и расчета морских приливов. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 311 с.
- Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд-во Русского географического общества, 1999. 109 с.
- Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов с описанием сезонной изменчивости основных суточных, полусуточных и мелководных волн // Тр. ГОИН. 2011а. Вып. 213. С. 169–178.
- Войнов Г.Н. Аномальные суточные приливы третьей степени в Баренцевом и Карском морях // Доклады Академии наук. 2011б. Т. 438. № 2. С. 271–274.
- Войнов Г.Н. Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011в. № 4. С. 51–61.
- Войнов Г.Н. О качестве многолетних наблюдений на стационарной сети в прибрежной зоне морей северо-запада и арктических морей России // Тр. ГОИН. 2013. Вып. 214. С. 223–236.
- Хэмминг Р.В. Цифровые фильтры / Пер. с англ. М.: Недра, 1987. 221 с.
- Crawford W.R. A technique for quality control and selection of tidal harmonic constituents // Inter. Hydrogr. Rew. 1995. Vol. LXXII. № 2. P. 135–150.
- Foreman M.G.G., Cherniawsky J.Y., Ballantine V.A. Versatile harmonic tidal analysis: improvements and applications // J. of atmospheric and oceanic technology. 2009. Vol. 26. P. 806–817.
- Muller M. Rapid change in semi-diurnal tides in the North Atlantic // Geophysical research letters. 2011. Vol. 38. L11602. doi: 10.1029/2011gl047312.

Ponchaut F., Lyard F., Le Provost C. An analysis of the tidal signal in the WOCE Sea level dataset // J. atmosph. and oceanic technol. 2001. Vol. 18. P. 77–91.

Ray R.D. Resonant third-degree diurnal tides in the Seas of Western Europe // J. Phys. Oceanogr. 2001. Vol. 31. № 12. P. 3581–3586.

Woodworth P.L. A survey of recent changes in the main components of the ocean tide // Continental shelf research. 2010. Vol. 30. P. 1680–1691.

G.N. VOINOV

TECHNIQUES OF REDUCTION OF THE HOURLY SERIES OF THE SEA LEVEL RECORDS TO UNIFORM SERIES BY MEANS OF CALIBRATION OF THE TIDAL SIGNAL

The basic principles of treatment and correction of long-term hourly sea level records are stated. The basis of a new method is made by calibration of a quasitidal component of the tidal signal on the basis of tidal model in concrete point. 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 on a number of points with doubtful initial materials of sea level records are received.

Keywords: tides, tidal analysis, calibration of the tidal signal, sea level dataset.