

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ И РЕДАКЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ УРОВНЯ МОРЯ

д-р геогр. наук Г.Н.ВОЙНОВ

ФГБУ «Государственный океанографический институт», Санкт-Петербургское отделение,
Санкт-Петербург, voitovgn@mail.ru

Изложены основные принципы контроля и редакции многолетних ежечасных наблюдений за уровнем моря. Основу новой методики составляет новая версия гармонического анализа морских приливов по методу наименьших квадратов. Отмечена эффективность метода при оценке качества материалов наблюдений за уровнем моря и приведении временных рядов в базах данных к однородным массивам.

Ключевые слова: Приливы, наблюдения за уровнем моря, гармонический анализ, обработка и редакция наблюдений.

ВВЕДЕНИЕ

В 1990-е гг. в ААНИИ был разработан новый методический подход к обработке и анализу морских приливов [Войнов, 2003а; Войнов, 1999]. В дальнейшем были опубликованы версии метода для анализа нерегулярных наблюдений [Войнов, 2004], анализа аномальных мелководных приливов [Войнов, 2007], анализа срочных наблюдений [Войнов, 2009]. В работе [Войнов, 2003б] дано теоретическое описание с алгоритмом обработки метода редакции выбросов на основе представления временного ряда тригонометрическим полиномом по методу наименьших квадратов (МНК). Этот метод позволяет обнаруживать случайные ошибки (выбросы) и производить интерполяцию этих ошибок. Метод может применяться для данных наблюдений за уровнем моря с различным режимом прилива.

В настоящей работе расширенный гармонический анализ морских приливов по методу наименьших квадратов 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 наблюдениям описании сезонной изменчивости приливных колебаний уровня моря для районов с сильно выраженным или аномальным ходом констант волн в годовом цикле [Войнов, 2011].

КОНТРОЛЬ И РЕДАКЦИЯ ЕЖЕЧАСНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ

Для первичного контроля данных и их редакции производится поиск выбросов и замена их значений на интерполяционную оценку оператора. Но в тех крайне редких случаях, когда выбросы следуют друг за другом с интервалом менее 3 часов, метод не позволяет сразу правильно распознать такие ситуации. Поэтому необходим или повторный контроль ряда, или, что предпочтительнее, контроль выбросов по остаточной кривой.

Анализ остаточной кривой необходим и потому, что только способа контроля выбросов недостаточно для обнаружения многих других скрытых ошибок и брака. К ним относятся различные сбои в работе измерительного устройства, ошибки измерения времени вследствие неверного хода часов, а также вносимые при неправиль-

ной привязке времени при обработке мареограмм, ошибки при нивелировке нуля поста, длительные сбои в работе уровня поста вследствие засорения колодца футштока и просто фальсификация измерений, когда ложные мареограммы искусно рисовались от руки по срочным наблюдениям.

Способ проверки качества наблюдений по остаточной кривой не является новым и давно применяется в гармоническом анализе приливов. Этот способ использовался в работах [Топорков, 1959; Crawford, 1995; Lennon, 1965]. В последней работе процедура анализа остаточной кривой была ориентирована на применение ЭВМ и приспособлена для систематической обработки и анализа данных наблюдений за уровнем моря на сети уровневых постов.

Реализация всех возможностей контроля данных наблюдений с помощью гармонического анализа и последующего анализа остаточной кривой осуществлялась ранее не в полной мере из-за большого вычислительного процесса. Только с появлением мощных персональных компьютеров и разработкой нами соответствующего программного обеспечения стало возможным полностью раскрыть возможности этого способа. Существенное отличие используемой нами процедуры контроля данных заключается в применении суперрасширенного гармонического анализа, позволяющего практически с абсолютной точностью описать кривую прилива и получить детальную остаточную кривую. Поясним это подробнее.

При гармоническом анализе по МНК месячных серий наблюдений за уровнем моря можно вычислить прямо около 26 значений гармонических постоянных волн. По теоретическим соотношениям можно расширить этот список на 9 дополнительных волн [Спидченко, 1978]. Напомним, что по методу Дарвина ранее получали из таких серий гармонические постоянные 8 основных волн прилива, и поэтому остаточная кривая из месячных серий, полученная на основе этих волн, содержала большой приливной остаток. К тому же долгопериодный прилив не выделяется по месячным сериям наблюдений.

При гармоническом анализе годовых ежечасных серий современная техника анализа позволяет получить до 170 гармонических постоянных волн в спектре от долгопериодного класса по 1/12-суточный мелководный класс. В арктических морях (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское) мелководные волны 1/7–1/12-суточных классов малы по величине (за исключением единичных акваторий) и не имеют значимого влияния в приливных колебаниях уровня. Поэтому эти волны можно не включать в гармонический анализ годовых серий. Однако для описания кривой прилива в Баренцевом и Белом морях и некоторых акваторий арктических морей с большой величиной мелководного прилива (Обская губа, бухта Нордвик) требуется использовать до 225 волн прилива [Войнов, 2011].

В дополнение к известным опубликованным спискам волн для гармонического анализа приливов [Руководство, 1994; Doodson, 1928; Foreman, 1977; Rossiter, Lennon, 1968] при производстве расширенного гармонического анализа по МНК многолетних рядов наблюдений нами предложен список новых сложных волн, позволяющий строго учитывать сезонную изменчивость основных волн приливов [Войнов, 2003 ϵ]. В табл. 1 даны сведения о параметрах новых волн, описывающих сезонный ход величины прилива.

Таким образом, 5 основных суточных и полусуточных волн – M_2 , S_2 , N_2 , K_1 и O_1 , обычно используемых в качестве средних месячных величин констант волн, не являются волнами в чистом виде, а на самом деле представляют группы волн и включают в себе дополнительно 23 второстепенные волны (см. табл. 1).

В районах с большой величиной прилива, как правило, развиваются нелинейные взаимодействия основных волн, приводящие к развитию аномальных мелководных приливов. В [Войнов, 2007] впервые в мировой практике обнаружена

Таблица 1

Параметры второстепенных волн, модулирующих основные суточные и полусуточные волны при анализе кратковременных серий наблюдений

Волна	Числа Дудсона							Частота, град/час	Период отделения от основной волны, сут.
	τ	S	h	P	N'	p_1	Θ		
Группа волны M_2									
$MStA_2$	2	0	-3	0	0	1	0	28,8609002	121,8
$OP_2 (MSK_2)$	2	0	-2	0	0	0	180 (0)	28,9019669	182,6
$\gamma_2 (2N\mu_2)$	2	0	-2	2	0	0	180 (0)	28,9112505	205,6
$MST_2 (H_1)$	2	0	-1	0	0	1	0 (180)	28,9430375	365,3
\dot{M}_2	2	0	0	0	0	0	0	28,9841042	—
$MST_2 (H_2)$	2	0	1	0	0	-1	0	29,0251708	365,3
MKS_2	2	0	2	0	0	0	0	29,0662414	182,6
$MSta_2$	2	0	3	0	0	-1	0	29,1073081	121,8
Группа волны S_2									
$T_2 (2SR_2)$	2	2	-3	0	0	1	0 (180)	29,9589333	365,3
S_2	2	2	-2	0	0	0	0	30,0000000	—
$R_2 (2ST_2)$	2	2	-1	0	0	-1	180 (0)	30,0410666	365,3
K_2	2	2	0	0	0	0	0	30,0821372	182,6
Группа волны N_2									
NA_2	2	-1	-1	1	0	1	0	28,3986628	365,3
N_2	2	-1	0	1	0	0	0	28,4397294	—
Na_2	2	-1	1	1	0	-1	0	28,4807961	365,3
ν_2	2	-1	2	-1	0	0	0	28,5125831	205,9
Группа волны K_1									
$\pi_1 (TK_1)$	1	1	-3	0	0	1	270	14,9178646	121,8
P_1	1	1	-2	0	0	0	270	14,9589313	182,6
$S_1 (TP_1)$	1	1	-1	0	0	1	90	15,0000019	365,3
K_1	1	1	0	0	0	0	90	15,0410686	—
$\phi_1 (RP_1)$	1	1	1	0	0	-1	90 (270)	15,0821353	365,3
$\psi_1 (KP_1)$	1	1	2	0	0	0	90	15,1232059	182,6
$KSta_1$	1	1	3	0	0	-1	90	15,1642726	121,8
Группа волны O_1									
$M\psi_1$	1	-1	-1	0	0	1	270	13,9019688	365,3
O_1	1	-1	0	0	0	0	270	13,9430355	—
$M\dot{S}_1$	1	-1	1	0	0	-1	270	13,9841022	365,3
$MP_1 (\tau_1)$	1	-1	2	0	0	0	90	14,0251728	182,6
$Osta_1$	1	-1	3	0	0	-1	270	14,0662395	121,8

Примечание. Под числами Дудсона (Картрайта) подразумеваются следующие шесть независимых переменных: τ – средние лунные сутки, s – средняя долгота Луны, h – средняя долгота Солнца, p – средняя долгота перигея Луны, N' – отрицательная долгота восходящего узла Луны, p_1 – средняя долгота перигелия Солнца, Θ – постоянная для приведения аргументов (углов) волн к функции \cos .

сезонная изменчивость основных мелководных волн прилива – M_4 , MS_4 , MN_4 , M_6 , $2MS_6$, $2MN_6$. Предложены новые неизвестные ранее мелководные сложные волны, введение которых в анализ и прогноз приливов позволяет описывать сезонный ход мелководных волн. Они даны в табл. 2. В этой таблице в группах волн даны и ранее применявшиеся известные мелководные волны, но они не описывали сезонного хода основных мелководных волн.

Расширенный гармонический анализ морских приливов производится по новой методике с включением волн, описывающих сезонную изменчивость основных и мелководных волн. Принципиальное отличие новой версии расширенного

Таблица 2

Параметры дополнительных мелководных волн, модулирующих основные волны в группах при анализе месячных серий наблюдений

Волна	Комбинация основных волн	Угловая скорость, град/ч	Период отделения от основной волны, сут.
Группа волны MN_4			
$MSNK_4$	$M_2+S_2+N_2-K_2$	57,3416964	182,6
* $MSNR_4$	$M_2+S_2+N_2-R_2$	57,3827670	365,2
* $MNKR_4$	$M_2+N_2+K_2-R_2$	57,4649043	365,2
Mv_4	M_2+v_2	57,4966873	205,9
Группа волны M_4			
* $2MTK_4$	$M_2+M_2+T_2-K_2$	57,8450044	121,7
$2MSK_4$	$M_2+M_2+S_2-K_2$	57,8860711	182,6
* $2MTS_4$	$M_2+M_2+T_2-S_2$	57,9271417	365,2
* $2MST_4$	$M_2+M_2+S_2-T_2$	58,0092751	365,2
$2MKS_4$	$M_2+M_2+K_2-S_2$	58,0503457	182,6
* $2MKT_4$	$M_2+M_2+K_2-T_2$	58,0914124	121,7
Группа волны MS_4			
* $2SMK_4$	$S_2+S_2+M_2-K_2$	58,9019669	182,6
* MT_4	M_2+T_2	58,9430375	365,2
* MR_4	M_2+R_2	59,0251709	365,2
MK_4	M_2+K_2	59,0662415	182,6
Группа волны $2MN_6$			
$2MSNK_6$	$M_2+M_2+S_2+N_2-K_2$	86,3258006	182,6
* $2MSNR_6$	$M_2+M_2+S_2+N_2-R_2$	86,3668712	365,2
* $2MSNT_6$	$M_2+M_2+S_2+N_2-T_2$	86,4490046	365,2
$2Mv_6$	$M_2+M_2+v_2$	86,4807915	205,9
$2MNKS_6$	$M_2+M_2+N_2+K_2-S_2$	86,4900752	182,6 (1615,7)
Группа волны M_6			
$3MSK_6$	$M_2+M_2+M_2+S_2-K_2$	86,8701753	182,6
* $3MTS_6$	$M_2+M_2+M_2+T_2-S_2$	86,9112459	365,2
* $3MRS_6$	$M_2+M_2+M_2+R_2-S_2$	86,9933793	365,2
$3MKS_6$	$M_2+M_2+M_2+K_2-S_2$	87,0344549	182,6
Группа волны $2MS_6$			
$2M2SK_6$	$M_2+M_2+S_2+S_2-K_2$	87,8860711	182,6
* $2MT_6$	$M_2+M_2+T_2$	87,9271417	365,2
* $2MR_6$	$M_2+M_2+R_2$	88,0092751	365,2
$2MK_6$	$M_2+M_2+K_2$	88,0503457	182,6

Примечание. * – новые сложные волны.

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, 2011]. Это достигается за счет включения ряда новых сложных волн, модулирующих основные волны прилива M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 в годовом цикле, а также для районов аномальных мелководных приливов и основных мелководных волн M_4 , MS_4 , MN_4 , M_6 , $2MS_6$, $2MN_6$. Список волн этой модели морских приливов достигает 225 составляющих (для реализаций с периодом 1 год и более), что не имеет аналога в мировой практике анализа морских приливов по наблюдениям.

Важным звеном новой методологии, которая была разработана независимо от метода, изложенного в [Crawford, 1995; Ronchaut et al., 2001], но совпадает с ним в основных этапах (кроме описания сезонного хода и некоторых деталей анализа и редакции), являются контроль и редакция ежечасных и срочных наблюдений по остаточному ряду и скользящему гармоническому анализу.

Недостаточность расчета приливов по стандартным версиям МНК продемонстрирована в работе [Спидченко, Боренко, 1978] на примере предвычисления прилива по набору из 60 волн для Архангельска, полученных из анализа годовой ежечасной серии. Этот стандартный набор волн не позволяет описывать сезонный ход прилива и эффективен только там, где нет сезонной изменчивости прилива. В работе [Спидченко, Боренко, 1978], к сожалению, не указано, по годовой или месячной серии проведен расчет ошибок предвычисленного уровня. По данным этой работы, ошибки в высотах полных и малых вод, превышающие 30 см, составили 32 %, а максимальная ошибка расчета уровня по высоте оказалась равной 80 см. Неучет сезонного хода констант прилива в большей степени проявился в расхождениях с наблюдениями моментов полных и малых вод. Так, ошибки времени моментов полных и малых вод в 46 % превышали 1 ч и в 4 % составляли 3–4 ч [Спидченко, Боренко, 1978]. Явление «манихи» (приостановка или падение прилива во время его роста на 13 ч) в стандартных предвычислениях не описывалось и не могло быть представлено по старому набору волн.

В работе [Войнов, 2007] проверена точность описания прилива по новой версии МНК с учетом среднего сезонного хода суточных, полусуточных и мелководных волн на независимом годовом ежечасном ряде в Архангельске и Кандалакше. По годовому предвычисленному ряду в Архангельске ошибки в величинах высот полных и малых вод, превышающие ± 30 см, составили 13,7 %, но максимальная ошибка расчета оказалась равной 90 см. В пределах интервала 30 мин находилось 95,9 % всех случаев расхождений в моментах полных и малых вод, а максимальное отклонение по времени достигло 78 мин. Явление «манихи» в расчете совпало с наблюдениями в 75,8 % случаев.

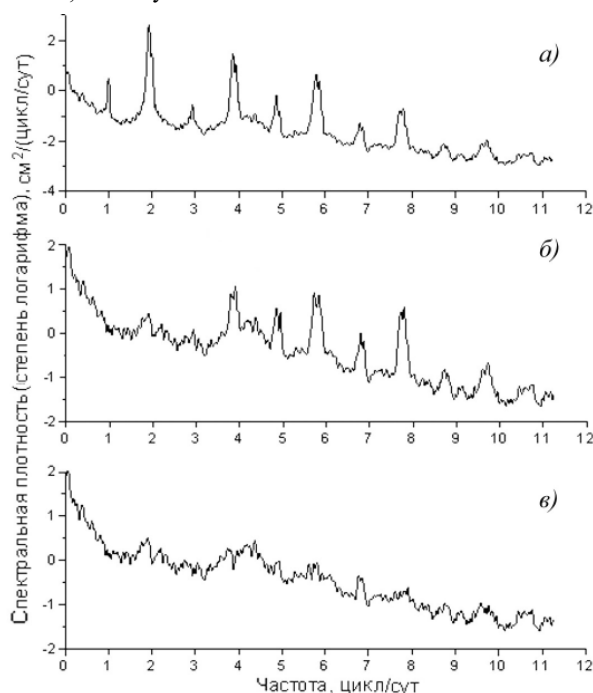


Рис. 1. Спектр годовой ежечасной серии в Кандалакше за 1977 (а), спектр остаточного ряда этой серии (наблюдения минус предвычисления) по обычной версии МНК (б), спектр остаточного ряда по новой версии МНК (в). Разрешение спектра 0,07 цикла в сутки. Число степеней свободы равно 20

На рис. 1 даны спектры временного ряда ежечасных наблюдений за уровнем моря в Кандалакше (Белое море) за 1977 г. и остаточных рядов, полученных по стандартной версии МНК (рис. 1б) и новой версии МНК (рис. 1в). В остаточном ряду, полученном по стандартной версии анализа, остаются пики энергии на частотах $1/4$ – $1/8$ суточных приливов. Рис. 1в демонстрирует высокую эффективность описания кривой прилива, что проявляется в практически полном исключении приливных пиков в остаточном ряду.

Феномен сезонного хода констант волны M_2 известен более полувека, но на практике в Таблицах приливов он (сезонный ход) не учитывается. Р.Коркан обнаружил это явление в Северном море в 1934 г. [Corkan, 1934], а Дж.Фьельстад (незаслуженно забытый) выявил в Восточно-Сибирском море в 1936 г. [Fjeldstad, 1936]. Отмеченный Корканом эффект устойчивости в межгодовом аспекте вида и характера сезонного хода волны в конкретном пункте позволяет его предвычислить. Однако имеется значительная доля плохой предсказуемости сезонного хода, связанной с его частичной зависимостью от ледовых и метеорологических условий и других факторов. То есть имеется индивидуальный сезонный ход величины прилива в конкретном году в данном пункте, зависящий от многих факторов. Изучение этой связи с целью *возможности предсказания сезонного хода основных волн приливов* является, с нашей точки зрения, ключевой проблемой точности прогноза приливов.

Согласно закону математической статистики в случае нормального распределения оценок гармонических постоянных (амплитуды и угла положения) дисперсия их ошибок будет обратно пропорциональна продолжительности измерений. Дисперсия ошибок в гармонических постоянных, выведенных из анализа серии длительностью N_1 суток, будет в N_2/N_1 раз отличаться от дисперсии ошибок из анализов серий длительностью N_2 суток. Поэтому точность определения волн из годовых серий значительно выше, чем таковая из месячных серий, и в остаточной кривой приливной остаток практически исключается.

При анализе многолетних серий наблюдений за уровнем моря выделяется тонкая структура прилива, составляющая основу нодальной коррекции. На практике она рассчитывается по теоретическим соотношениям разложения потенциала и применяется для анализа месячных и годовых серий. Дисперсия ошибок значений гармонических постоянных, выделенных из 19-летнего ряда, по теоретической оценке должна быть в 19 раз меньше дисперсии ошибок аналогичных значений, полученных из годовых серий. Поэтому остаточная кривая после такого анализа позволяет исследовать детальную структуру временного ряда.

Общий ход остаточных кривых и проявление кратковременных изменений уровня, полученных на основе результатов анализа месячного, годового и 19-летнего ряда наблюдений, могут существенно различаться между собой. Поэтому непериодическую компоненту ряда (остаточная кривая) при исследованиях неприливных колебаний уровня по возможности надо получать по результатам гармонического анализа многолетних рядов.

Контроль многолетних рядов ежечасных наблюдений за уровнем моря по используемому нами универсальному способу протекает на трех уровнях следующим образом.

1-й уровень – текущий контроль месячных серий наблюдений. На этом этапе выполняется гармонический анализ прилива для месячных серий в течение годового цикла. Для выявления и идентификации ошибок (помимо выбросов, устраненных ранее по предложенному выше методу) применяется визуальный графический контроль остаточного и, при необходимости, наблюденного и предвычисленного рядов уровня. Все идентифицированные случаи ошибок и сомнительные участки кривой оставляются в файлах наблюдений без изменений. Выбросы в наблюдениях, оставшиеся после первичного контроля, повторно редактируются. Пропуски

заполняются в первом приближении на предвычисленные значения. Создается *итоговая таблица со сведениями о константах (амплитудах и фазах) основных волн прилива по месяцам и годам.*

2-й уровень — текущий контроль годовых серий наблюдений. Здесь производится гармонический анализ годовых серий наблюдений. Далее по визуальному контролю остаточной кривой повторно проверяются все отмеченные на 1-м уровне контроля идентифицированные и сомнительные случаи ошибок и брака. На этом этапе хорошо идентифицированные случаи ошибок исправляются на предвычисленные значения, а сомнительные случаи оставляются для контроля на 3-м уровне. Пропуски повторно заполняются во втором приближении на предвычисленные значения со склейкой краевых значений. При этом для исправления брака и пропусков длительностью до нескольких суток склейка краевых значений осуществляется с помощью интерполяции по первым разностям между наблюдаемыми и предвычисленными значениями на конечных участках. Эти интерполированные первые разности значений прибавляются к предвычисленным величинам. Такая операция позволяет сохранить общий ход непериодической компоненты ряда в остаточной кривой. При браке и пропусках большей длительности склейка производится только на краевых участках, а внутри участка осуществляется простая замена на предвычисленные значения.

Отметим, что идентификация ошибок и брака зависит почти исключительно от точности и достоверности расчета остаточного ряда. В свою очередь качество остаточного ряда зависит от того, как сформирован предвычисленный ряд. В модель прилива для его расчета входит максимальное количество средних констант значимых волн, полученных за весь период наблюдений [Войнов, 2011]. Понятно, что оценки волн прилива (гармонические постоянные) тем надежнее, чем за более длительный период ряда они получены. Но было бы неверно применять их для расчета остаточного ряда в конкретном году. И вот почему. Сезонный ход полусуточных и суточных волн в конкретном году в данном пункте имеет индивидуальный характер, зависящий от многих факторов, и может сильно отличаться от среднего сезонного хода, описываемого средними константами волн. Да и сами основные волны имеют межгодовую изменчивость.

Поэтому в модель прилива для предвычисления на год включаются не все оценки средних констант за весь период анализа. Остаточный ряд здесь рассчитывается по расширенному списку гармонических постоянных прилива, но с учетом индивидуального сезонного хода волн прилива M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 в конкретном году. То есть константы этих волн и второстепенных волн, описывающих их сезонный ход, берутся по оценкам констант за текущий год. При этом также задается *индивидуальный сезонный ход уровня, формируемый волнами S_a , S_{sa} , S_{ta} .* Для всех остальных волн используются средние многолетние константы. Это означает, что на каждую годовую серию для предвычисления формируется индивидуальный смешанный список констант прилива.

Если в месячных сериях были произведены исправления ошибок и повторные замены пропусков на предвычисленные значения, то выполняется новый гармонический анализ. Также после всех исправлений заново производится анализ годовых серий наблюдений. *Создается исправленная итоговая таблица с константами основных волн прилива по всем годам.*

3-й уровень — текущий контроль многолетних серий наблюдений. Это последний этап контроля данных. Гармонический анализ прилива идет за весь имеющийся в пункте период наблюдений с включением в решение системы нормальных уравнений гармоник, разрешаемых исходя из длительности общего периода. Визуальный просмотр остаточной кривой выявляет ошибки и брак любого происхождения, оставленные в качестве сомнительных на 2-м уровне контроля.

Производится очередная замена в пропусках длительностью более 10–15 суток на новые предвычисленные значения. В тех годовых сериях, где продолжительность пропусков превышала 10–15 суток, гармонический анализ выполняется еще раз. Если число ежечасных исправленных значений на этом этапе в сумме превышает месячную серию, то общий гармонический анализ производится повторно.

В строгом подходе все сомнительные участки и пропуски следует не заменять на предвычисления, а считать их как пропуски и провести гармонический анализ по версии МНК для данных с пропусками [Войнов, 2004], но тогда затруднительно использовать фильтрацию рядов. Замена плохих наблюдений даже в Амдерме, где она достигает 10,9 % ряда (с пропусками), не сказывается на полученных результатах. Здесь результаты тонкого анализа за период 1962–1981 гг. по версии с пропусками практически совпадают с полученными ранее за период 1962–1980 гг. [Войнов, 2011].

В редких случаях при интерпретации сомнительных данных применяется визуальный контроль синхронных остаточных рядов на 2–3-х близлежащих станциях.

СРЕДНИЙ СЕЗОННЫЙ ХОД КОНСТАНТ ОСНОВНЫХ ВОЛН ПРИЛИВА НА ИССЛЕДУЕМОМ ПУНКТЕ КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ

Как показывает практика анализа, в каждом пункте сезонный ход величины прилива и ее основных волн наряду с общими тенденциями имеет индивидуальные особенности [Войнов, 2011]. По этой причине следует использовать данную особенность для оценки качества отдельных месячных серий наблюдений за уровнем моря. Наиболее важное значение подобная оценка приобретает при анализе срочных данных [Войнов, 2009].

В целях сохранения всех редакций исходных файлов мы создавали двойной набор данных: исходных неисправленных и исправленных отредактированных с отдельной распечаткой внесенных исправлений. Наша практика контроля и редакции многолетних рядов наблюдений за уровнем моря на полярных станциях показала, что применявшийся ранее в ААНИИ технический визуальный контроль наблюдений, а также и приемы машинного контроля на ЭВМ, разработанные во ВНИИГМИ-МЦД, оказались неэффективными. По существу, прежние способы контроля выявляли только большие по величине выбросы, иногда сбои нивелировок или очевидный брак в наблюдениях, когда уровень поста «замерз» и терял сообщение с морем. Все остальные многочисленные случаи брака в работе измерительного устройства, в нарушении нормального функционирования уровня поста и брака в работе наблюдателей прошли незамеченными. В силу невозможности описания здесь всех типов выявленных ошибок, мы приведем в сводном виде наиболее распространенные. Эти типичные случаи в смоделированном виде представлены на рис. 2. Здесь не показаны наиболее серьезные случаи длительных нарушений работы уровня поста вследствие засорения колодца, которые идентифицируются в основном по результатам гармонического анализа, а также всевозможные нарушения в работе измерительных устройств, в особенности в зимний период, которые требуют отдельного описания.

Конечно, не существует абсолютных методов контроля и встречаются, но редко случаи расхождений в остаточной кривой, не поддающиеся полной идентификации. Они могут быть вызваны нелинейным взаимодействием прилива и метеорологического нагона или зыби, которые не описываются линейной моделью гармонического анализа приливов. Все такие сомнительные расхождения между наблюдениями и предвычисленным приливом оставались без изменений.

Опыт применения метода показал, что при наличии многолетних наблюдений и величине прилива более 10–20 см с его помощью выявляются не только случайные ошибки в данных, но и практически любые длительные сбои в функционировании уровня поста и просто брак в работе наблюдателей.

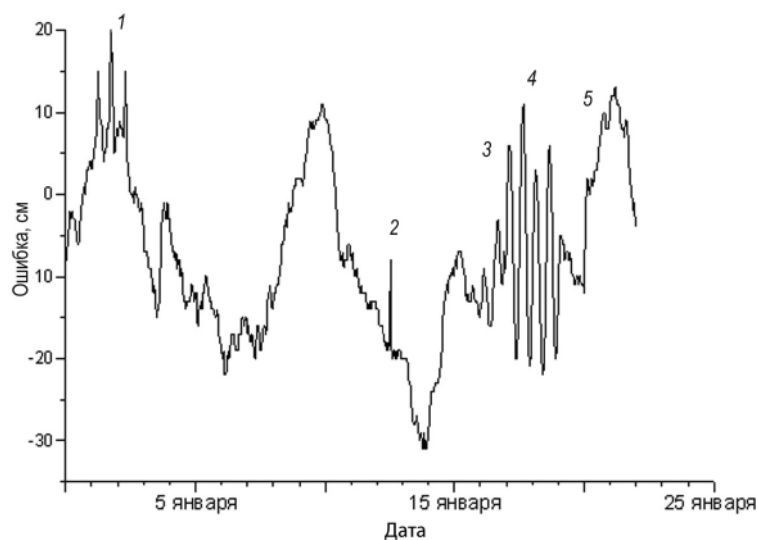


Рис. 2. Типичные случаи ошибок в ежечасных наблюдениях за уровнем моря, идентифицируемые по остаточной кривой: 1 — ложная мареограмма, полученная по срочным измерениям; 2 — выброс (просчет при заполнении таблицы данных); 3 — ошибка времени контрольных часов в 15 мин; 4 — ошибка времени в 1 ч при обработке мареограммы (неверное определение пояса наблюдений); 5 — ошибка при нивелировке поста

Во всех имеющихся к настоящему времени базах данных наблюдений за уровнем моря ВНИИГМИ-МЦД, территориальных УГМС имеется крайне серьезный недостаток. Эти базы не соответствуют их названию, а представляют собой лишь архивы файлов данных. Временные ряды наблюдений в них не приведены к единому времени и одному нулю поста. Также, как указывалось выше, отсутствует реальная оценка качества данных.

В качестве примера в табл. 3 даны сведения о качестве наблюдений за уровнем моря на некоторых станциях Баренцева и Карского морей при применении к ним изложенной выше методики. На всех станциях в табл. 3 многолетние ежечасные ряды за исследуемый период приведены к одному времени и единому нулю поста и являются однородными массивами. В этих рядах выявлены и заменены сомни-

Таблица 3

Сведения о качестве наблюдений за уровнем моря в пунктах Баренцева и Карского морей

Пункт	Широта, северная	Долгота, восточная	Период анализа, годы	Число лет	Число пропусков, сут	Число замен, сут	Общее число пропусков и замен (сут) в длине ряда
Полярное	69°12'	33°30'	1967–1992	26	0	94	94 (0,99 %)
Териберка	69°12'	35°06'	1953–1982	30	55	652	707 (6,4 %)
Обсерватория им. Кренкеля (о. Хейса)	80°37'	58°03'	1974–1991	18	22+366 (нет 1988)	30	418 (6,4 %)
Амдерма (Карское море)	69°48'	61°42'	1962–1981	20	360	637	797 (10,9 %)

тельные значения и восстановлены пропуски. В дальнейшем эти временные ряды были использованы для выполнения проекта РФФИ [Войнов, 2011].

Недавно при калибровке численной модели расчета наводнений Невской губы и использовании базы данных по уровню моря возникла неясность при расчетах градиентов уровня между станциями Кронштадт–Горный, Кронштадт–Выборг, Шепелево–Горный и т. д. Градиенты указывали на появление некоего нового неизвестного научного феномена в природном явлении с 1993 г.

Проверка временных рядов уровня с помощью гармонического анализа показала, что ряды в Кронштадте, Выборге и Шепелево были «склеены» с разным временем наблюдений. В период с 1977 по 1992 г. время наблюдений было по 3 поясу (московскому декретному времени), а с 1993 г. ряды уровня имели время по 0 поясу (всемирное время). Понятно, что при любой научной работе с такими неоднородными рядами вместо исследования реальности можно делать «научные» открытия.

Приведенные случаи показывают эффективность предложенного нами метода контроля и редакции наблюдений за уровнем моря не только для объективной оценки их качества, но и возможности редакции исходных данных с целью приведения наблюдений к однородным рядам для получения полноценной информации для последующих исследований приливных и непериодических колебаний во всем спектре этих процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Войнов Г.Н.* Аномальные суточные приливы третьей степени в Баренцевом и Карском морях // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438. № 2. С. 271–274.
2. *Войнов Г.Н.* Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (на примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей): Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. РГМУ. СПб., 2003. 45 с.
3. *Войнов Г.Н.* Метод аппроксимации и интерполяции временных рядов ежечасных наблюдений за уровнем моря // Зап. по гидрографии. 2003. № 257. С. 59–65.
4. *Войнов Г.Н.* Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд-во Русского географического общества. 1999. 109 с.
5. *Войнов Г.Н.* О новой интерпретации сезонной изменчивости приливов арктических морей России // Метеорология и гидрология. 2003. № 9. С. 59–70.
6. *Войнов Г.Н.* О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. 2004. Т. 44. № 2. С. 172–178.
7. *Войнов Г.Н.* О сезонной изменчивости гармонических постоянных 1/4-суточных и 1/6-суточных волн приливов в Баренцевом и Белом морях // Метеорология и гидрология. 2007. № 4. С. 55–68.
8. *Войнов Г.Н.* Гармонический анализ морских приливов по срочным наблюдениям за уровнем моря // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 79–91.
9. *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.
10. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. СПб.: Гидрометеиздат. 1994. 525 с.
11. *Спидченко А.Н., Боренко Н.Н.* Некоторые данные о расчете приливных колебаний уровня в мелководных районах // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1978. № 55. С. 71–76.
12. *Спидченко А.Н.* Анализ и предвычисление приливов: Обзор. Сер. Океанология. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1978. 43 с.
13. *Топорков Л.Г.* О предельной точности предвычисления приливо-отливных колебаний уровня моря // Проблемы Арктики. 1959. Вып. 6. С. 29–36.
14. *Corkan R.H.* An annual perturbation in the range of tide // Proceedings of the Royal Society of London. 1934. Vol. A144. № 853. P. 537–559.

15. *Crawford W.R.* A technique for quality control and selection of tidal harmonic constituents // *Inter. Hydrogr. Rew.* 1995. Vol. LXXII. № 2. P. 135–150.
16. *Doodson A.T.* The analysis of tidal observations // *Phil. Trans. R. Soc. London.* 1928. Vol. A227. P. 223–279.
17. *Fjeldstad J.E.* Results of tidal observations. The Norwegian north polar expedition with the «Maud» 1918–1925, Scientific results, 1936. Vol. IV, № 4. Bergen. Geofys. Inst. 88 p.
18. *Foreman M.G.G.* Manual of tidal heights analysis and prediction. // *Pacific Marine Science Report* 77–10. Inst. Ocean Sci., Sidney, B.C., Canada. 1977. 97 p. Reprinted, 1984.
19. *Lennon G.W.* The treatment of hourly elevations of the tide using an IBM 1620 // *Inter. Hydrogr. Rev.* 1965. Vol. XLII. № 2. P. 125–148.
20. *Ponchaut F., Lyard F., and 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.
21. *Rossiter J.R. and Lennon G.W.* An intensive analysis of shallow-water tides // *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 1968. Vol. 16. P. 275–293.

G.N.VOINOV

METHODS FOR QUALITY CONTROL AND REVISION THE MULTIYEAR TIME SERIES OF SEA LEVEL OBSERVATIONS

The basic principles of control and revision multiyear of hourly sea level data are presented. At the heart of a new method are a new version of harmonic analysis of sea tides. The performance of this method in the use for quality control of sea level data and setting time series by a uniform series is noted.

Keywords: Tides, sea level data, harmonic analysis, treatment and reduction of sea level data.