

Научная статья

УДК 551.466.78

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-1-33-47



EDN: QLKIMW

Для цитирования:

Войнов Г.Н., Лебедев Н.В., Морозова С.М. Приливы вдоль западного побережья Новой Земли // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 1. С. 33-47.

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-33-47>

Получена: 01.02.2024

Принята: 16.02.2024

Опубликована: 29.03.2024

For citation:

Voinov G.N., Lebedev N.V., Morozova S.M. Tides along the western coast Novaya Zemlya. Russian Arctic, 2024, vol. 6, no. 1, pp. 33-47. (In Russian).

<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-33-47>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки

ПРИЛИВЫ ВДОЛЬ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
НОВОЙ ЗЕМЛИГ.Н.Войнов*^{1,2}, Н.В.Лебедев², С.М.Морозова³

¹ Санкт-Петербургское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», Санкт-Петербург, Россия

² Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: *voinovgn@mail.ru

Аннотация

Приведены новые оценки гармонических постоянных прилива на летний период (август) и зимний период (апрель) по многолетним наблюдениям за уровнем моря, произведенные в пунктах: Русская Гавань, мыс Лагерный, Малые Кармакулы, губа Белушья, губа Черная. Дана характеристика сезонной изменчивости приливов в пунктах Русская Гавань, Малые Кармакулы, губа Белушья. Рассмотрены особенности распространения приливных волн приливов M_2 и K_1 вдоль западного побережья Новой Земли. Показано, что на акватории от Русской Гавани до губы Белушьей наблюдается стоячий вид приливной волны. Результаты наблюдений подтверждают наличие узловой зоны прилива в районе о-ва Междушарский.

Ключевые слова: волны M_2 , K_1 , гармонические постоянные, приливы, сезонный ход, Новая Земля

TIDES ALONG THE WESTERN COAST NOVAYA ZEMLYA

G.N. Voinov*^{1,2}, N.V. Lebedev², S.M. Morozova³

¹ St-P. branch of FSBI "N.N. Zubov state oceanographic institute", St. Petersburg, Russia

² Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

³ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

E-mail: *voinovgn@mail.ru

Abstract

New estimates of harmonic constants of the tide for the summer (August) and winter (April) periods are proposed at the Russkaya Gavan, cape Lagerniy, cape Maliye Karmakuli, bay Belushya, bay Chernaya. The harmonic analysis of the tide was carried out using the least squares method according to the AARI version. Hourly level observations at the Russkaya Gavan post for the entire observation period from 1966 to 1991 brought to a homogeneous form using the calibration method. Comparison of the average seasonal course of the tide in the annual cycle based on the results of tide analysis shows significant differences.

Keywords: M_2 , K_1 tides, harmonic constants, seasonal variations tide, Novaya Zemlya

Введение

Исследование приливов морей Северного Ледовитого океана (СЛО) и в том числе на побережье Новой Земли являлось целью работ Великой северной экспедиции [1]. Первые инструментальные наблюдения за уровнем моря по футштоку в проливе Маточкин Шар были произведены Ф.П. Литке в 1823 г. [2]. Началом систематических регулярных наблюдений за уровнем моря на Новой Земле следует считать 1877 г. в связи с открытием полярной станции (п/ст.) Малые Кармакулы [3]. Однако измере-

ния уровня моря производились только 3 раза в сутки и не могли быть обработаны методами гармонического анализа, используемыми в то время.

Первое обобщающее исследование приливов СЛО и на Новой Земле представлено в классической работе А.М. Бухтеева [4]. В этом труде даны результаты обработки и гармонического анализа уровня с помощью метода Дарвина в губе Белушьей и губе Крестовой на Новой Земле.

Более длительные наблюдения за уровнем моря на Новой Земле стали проводиться в XX веке. В работах Гидрографической экспедиции Северного Ледовитого океана (ГЭСЛО) были получены наблюдения за уровнем в губе Черной (1921 г.), у м. Лагерный в проливе Маточкин Шар (1924 г.) и в проливе Карские Ворота. В работе В.Ю. Визе [5] приведены результаты обработки и гармонического анализа наблюдений за уровнем, выполненных в экспедиции Г.Я. Седова при зимовке в бухте Фоки в 1912-1913 гг.

Обобщение всех сведений о приливах на Новой Земле на начало XX в. дано в работе Вс.А. Березкина [6]. В этой работе выполнено сравнение характеристик прилива в 5 пунктах вдоль побережья Новой Земли от бухты Фоки до губы Черной. Был сделан вывод о движении приливной волны вдоль западного побережья Новой Земли с юга на север, что в целом не соответствует действительности. Также была предложена котидальная карта Баренцева моря, построенная по данным о прикладных часах, собранных по побережью Баренцева моря и Новой Земли. Конечно, эта карта не могла правильно отражать структуру приливной волны M_2 ввиду отсутствия наблюдений в открытом море.

В результате деятельности полярных станций и обширных экспедиционных исследований Баренцева моря к середине XX в. был собран большой массив материалов по уровню и течениям, которые послужили основой Справочника по гидрологическому режиму Баренцева моря и отдельных его районов [7]. В Справочнике опубликованы гармонические постоянные 8 основных суточных и полусуточных волн для 9 пунктов вдоль западного побережья Новой Земли. Для этих пунктов даны сведения о характере и величине приливов. Гармонический анализ прилива выполнялся по кратковременным сериям продолжительностью 30 или 15 суток с помощью метода Дарвина. Мелководные волны не помещены в таблицы. Однако не подлежит сомнению их влияние на точность расчета времен и высот полных и малых вод прилива и полное описание кривой приливных колебаний уровня. Заметим, что ни по одному пункту на Новой Земле не была установлена сезонная изменчивость прилива в годовом цикле.

Исследование приливных явлений Баренцева моря с середины XX в. проводилось с помощью гидродинамического моделирования. Но обзор работ по численным моделям не является задачей настоящей работы. Результаты отдельных таких работ будут привлекаться для интерпретации полученных нами новых результатов гармонического анализа наблюдений. Новые сведения о константах приливов необходимы для калибровки численных моделей.

Прошло почти столетие после публикации первого исследования приливов на Новой Земле [6]. В то время наблюдения за уровнем моря были получены на более доступном для экспедиционных работ западном побережье. Еще не было известно о существовании сезонной изменчивости гармонических постоянных прилива. Наблюдения выполнялись кратковременными сериями в 15 или 30 суток, необходимых для гармонического анализа прилива по методу Дарвина.

Собранные к началу XXI в. материалы наблюдений на п/ст. Русская Гавань и п/ст. Малые Кармакулы совместно с наблюдениями в губе Белушьей и губе Черной позволяют по-новому осветить наши знания о приливах, раскрыть особенности сезонной изменчивости гармонических постоянных прилива, ревизовать старые данные с помощью новой более гибкой и более точной методологии гармонического анализа.

Целью настоящей работы является изучение особенностей формирования и распространения приливной волны вдоль западного побережья Новой Земли на основе новых результатов гармонического анализа прилива в ряде пунктов. Также будет рассмотрен характер приливов и сезонная изменчивость констант основных волн прилива в пунктах: Русская Гавань, Лагерный, Малые Кармакулы, губа Белушья, Озерная.

Данные наблюдений и методы их анализа

В качестве основы для обработки и анализа наблюдений за уровнем моря использовалась база СПО ГОИН (многолетние ежечасные и срочные ряды для сети полярных станций). База ежечасных данных основывалась на выборке из базы данных ВНИИГМИ-МЦД.

База имела пропуски отдельных лет или месяцев и была частично дополнена за годы до 1977 г., а также восстановлена нами при наличии случайных программных пропусков по материалам, хранящимся в фондах ГОИН и ААНИИ с 1950-1960-х гг. по 1980 г. Временные ряды наблюдений в них не приведены к единому времени и одному нулю поста. Также отсутствует реальная оценка качества данных.

В 1954 г. и 1955 г. организация «Ленгипроарктика» при производстве изыскательных работ в Белушьей губе выполнила длительные ежечасные наблюдения за уровнем моря с помощью самописцев уровня моря (СУМ). Эта же организация в 1955 г. вела кратковременные ежечасные наблюдения за уровнем моря с установкой СУМ в губе Черной. По неизвестной нам причине эти материалы оказались не востребованными и не были обработаны гармоническим анализом.

На п/ст. мыс Лагерный (западный вход в пролив Маточкин Шар) и п/ст. бухта Озерная (пролив Карские Ворота, Новая Земля) в 30-е годы велись нерегулярные наблюдения за уровнем в разное время года. Обе станции функционировали несколько лет и были закрыты. Материалы этих наблюдений за уровнем моря и результаты гармонического анализа опубликованы в выпусках I, II, IV-VII трудов Арктического института [8-12]. Эти же результаты анализа продублированы в Справочнике [7].

На рис. 1 показано расположение пунктов наблюдений за уровнем моря, используемых в данной работе, а в табл. 1 даны сведения о временных рядах наблюдений для каждого пункта.

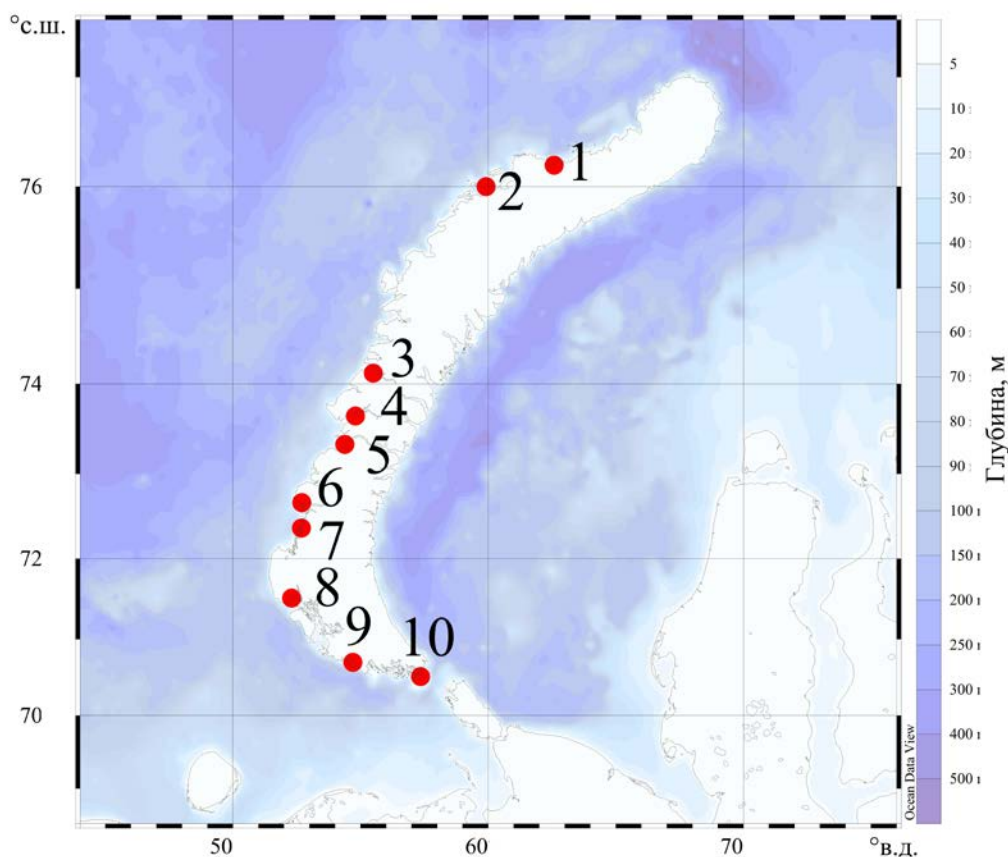


Рисунок 1. Пункты наблюдений за уровнем моря по западному побережью Новой Земли: 1 - п/ст. Русская Гавань, 2 - бухта Фоки, 3 - губа Крестовая, 4 - губа Митюшиха, 5 - п/ст. м. Лагерный, 6 - залив Пуховый, 7 - п/ст. Малые Кармакулы, 8 - губа Белушья, 9 - губа Черная, 10 - п/ст. Озерная

Таблица 1.

Сведения о временных рядах наблюдений за уровнем моря вдоль западного побережья Новой Земли

Пункт наблюдений	Географические координаты		Период анализа, годы	Источник
	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)		
1. п/ст. Русская Гавань	76° 12'	62° 35'	1933 1966-1991	Справочник [7] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
2. Бухта Фоки	76° 00'	59° 55'	1912-1913	Визе В.Ю. [1]
3. Губа Крестовая	74° 07'	55° 30'	1910	Бухтеев А.М. [4]

Пункт наблюдений	Географические координаты		Период анализа, годы	Источник
	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)		
4. Губа Митюшиха	73° 39'	54° 48'	1926	Справочник [7]
5. п/ст. Мыс Лагерный (пролив Маточкин Шар)	73° 20'	54° 23'	1924, 1935, 1936, 1937	Справочник [7]
6. Залив Пуховый	72° 40'	52° 42'	1926	Справочник [7]
7. п/ст. Малые Кармакулы	72° 22'	52° 41'	1939, 1940 1977-2012	Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
8. Губа Белушья	71° 31'	52° 18'	1896 1954-1955	Бухтеев А.М. [4] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
9. Губа Черная	70° 42'	54° 42'	1921 1955	Березкин Вс.А. [6] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)
10. п/ст. Озерная (пролив Карские Ворота, Новая Земля)	70° 31'	57° 21'	1936-1937	Справочник [7] Войнов Г.Н. (база СПО ГОИН)

В настоящее время в океанологии широко используется программа гармонического анализа прилива в MATLAB [13]. По существу, эта программа является модифицированной программой Форемана [14]. Однако в целом в этой и других программах гармонического анализа приливов не полностью учитывается сезонная изменчивость приливов, которая проявляется во многих районах Мирового океана, но наиболее сильно выражена в арктических морях на мелководье (в шельфовой зоне). Без учета этой изменчивости невозможно адекватно наблюдениям описать в годовом цикле морские приливы в прибрежных районах и на акваториях многочисленных заливов и проливов на трассе Северного морского пути.

В 90-е годы в АНИИ был разработан новый методический подход к обработке и анализу морских приливов [15]. В дальнейшем были опубликованы версии метода для анализа нерегулярных наблюдений, анализа аномальных мелководных приливов, анализа срочных наблюдений [16]. Расширенный гармонический анализ морских приливов 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. 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) [17].

Однако во многих случаях использованной ранее методологии было недостаточно для полного восстановления сомнительных наблюдений. Ухудшение качества наблюдений за уровнем моря на полярных станциях начало происходить в середине 80-х годов и поначалу было связано с моральным старением измерительных устройств, но затем приобрело системный характер. В 90-е годы в связи с резким сокращением финансирования сети полярных станций ряд станций был закрыт, а на оставшихся произошло неизбежное в таких случаях резкое падение качества наблюдений. В них нередки случаи необъяснимо резких сдвигов нуля поста, что свидетельствует об ошибках нивелировок или их отсутствии.

Выявился дополнительный симптом низкой квалификации наблюдателей: пренебрежение учета истинного времени измерений при развязке мареограмм. *Поправки времени зачастую вообще перестали вводить при обработке лент мареографа.* Это выявляется по результатам скользящего гармонического анализа по месяцам в виде аномального ухода фазы волны M_2 . Поэтому был разработан способ калибровки приливов [18].

При производстве срочных измерений их действительное время может отличаться от нормы в пределах 30–40 мин до или после целого часа. В основу способа калибровки (для ежечасных рядов) и способа ревизии срочных измерений [16] положен феномен устойчивости во времени сезонного хода амплитуд и фаз волны M_2 в годовом цикле, а также и других волн прилива в конкретном пункте моря. Поэтому средние месячные оценки констант волны M_2 с их разбросом (средним квадратичным отклонением) служат эталоном для контроля качества данных. Ниже дадим краткое изложение приемов гармонического анализа на полярных станциях и временных пунктах наблюдений (табл. 1).

Гармонический анализ прилива на п/ст. Русская Гавань. На первом этапе были получены гармонические постоянные по всем годовым и месячным сериям за период 1966-1991 гг. В результате были выявлены аномальные сомнительные оценки в ряде месячных серий, подлежащие приведению к условиям однородности с помощью способа калибровки. В целом в 11 годовых сериях в разные месяцы года была произведена фазовая калибровка с помощью прямого и обратного преобразования Фурье. В 4 годовых сериях была выполнена амплитудная калибровка. В окончательном виде по 22 годовым сериям (в 4 сериях пропуски превышали 75%) получены оценки средних годовых констант волн и средние месячные (векторные) константы. То есть можно производить предвычисление прилива по двум вариантам: по модели прилива на основе полного анализа за весь период наблюдений и модели прилива на основе средних месячных констант. В первом варианте используются 83 волны в диапазоне от долгопериодного класса по 1/8-суточный класс, а во втором варианте 32 волны (но возможно подключение долгопериодных волн). Оба варианта дают близкие результаты кривой прилива, но первый вариант предпочтительнее для получения остаточного ряда непериодических колебаний уровня в научных целях.

Гармонический анализ прилива на п/ст. Малые Кармакулы. Как уже отмечалось выше, наблюдения на этой станции сначала выполнялись 3 раза в сутки и были почти не пригодны к гармоническому анализу. В нашем распоряжении имелся временной ряд за 1977-2012 гг., где дискретность измерений составляла 6 часов. Привлекались также кратковременные ежечасные серии в 1939 и в 1940 гг. Эти серии оказались очень полезными для привязки по времени срочных измерений и корректировки сезонного хода основных волн, так как наблюдения были выполнены в летнее и зимнее время. Для контроля срочных измерений необходимо сначала создать модель прилива с включением волн, не выделяемых вследствие наложения частот, а также мелководных волн с периодом 6 час и менее вследствие проблемы частоты Найквиста [16]. Поэтому гармонический анализ производился с двумя приближениями.

В начале из анализа были исключены годы с низким качеством наблюдений: 1977, 1981-1982, 1989-1994, 2009-2012. В наблюдениях отсутствовали измерения в двух годовых сериях. В остальных общее количество пропусков составило около 6%. Пропуски заменялись на предвычисленные значения. Затем проводился контроль по месячным сериям каждого года с отдельным критерием в летний и зимний периоды. В целом количество сомнительных значений, подлежащих замене на предвычисленные, составило 23% всего ряда. Здесь, также как и на п/ст. Русская Гавань, были сформированы две модели констант прилива: на основе средних за весь период наблюдений и средние месячные константы на весь годовой цикл.

Гармонический анализ прилива в пункте губа Белушья. Продолжительность ежечасных наблюдений составила 518 суток (с 1 августа 1954 г. по 31 декабря 1955 г.). Наблюдения имели высокое качество. Пропуски составили несколько часов. По расширенной версии гармонического анализа было выделено 79 волн, превышающих 95% доверительный интервал.

По этому набору волн был дополнен 1954 г. и из двух годовых серий определен сезонный ход основных волн прилива.

Гармонический анализ прилива в пункте губа Черная. Здесь была выполнена ежечасная серия с 12 мая по 13 августа 1955 г. (94 суток). Имелся небольшой пропуск в конце июня. Гармонический анализ проводился по стандартной версии. Было выделено 39 волн, превышающих 95% доверительный интервал. Вследствие кратковременности периода невозможно получение волн, описывающих сезонный ход прилива. Но можно определить тенденцию сезонного хода по результатам анализа 4 месячных серий.

Гармонический анализ прилива на п/ст. Лагерный и п/ст. Озерная был проведен по кратковременным ежечасным сериям наблюдений за уровнем моря по совокупности всех измерений в конкретном пункте по способу, изложенному в [19]. Этот способ позволяет получить более широкий список волн в сравнении с отдельным анализом кратковременной серии. В случае наличия наблюдений за разные годы в различные сезоны года можно выделить волны, описывающие сезонный ход прилива. Надежность выделения таких волн проверяется по мере обусловленности матрицы при решении системы нормальных уравнений.

На п/ст. Лагерный гармонический анализ проводился по сериям за 1924, 1936 (3 серии) и 1937 годы. Всего включено в совместный анализ 5 серий. На п/ст. Озерная совокупность наблюдений для гармонического анализа состояла из 4 серий: 1936, 1937 (2 серии), 1938 годы. Гармонические постоянные из совокупных анализов позволяют провести реконструкцию кратковременных серий до отдельных полных месячных серий. В конечном итоге был реконструирован сезонный ход основных волн прилива на п/ст. Лагерный и п/ст. Озерная.

Результаты анализа и их интерпретация

Наблюдения за уровнем моря по футштоку в проливе Маточкин Шар, произведенные Ф.П. Литке в 1823 г., кроме определения по ним прикладного часа более не использовались. В работе [2] не указано место установки футштока и нет описания условий наблюдений, не ясно время, по которому велись наблюдения. В створе места стоянки судна находился мыс Лагерный, поэтому с большой вероятностью можно предположить, что наблюдения по футштоку производились именно там. Выполнить гармонический анализ Адмиралтейским способом по суточной серии невозможно из-за больших пропусков (42%). Но можно оценить по этим наблюдениям устойчивость гармонических постоянных во времени. С этой целью по новым гармоническим постоянным для м. Лагерный был предвычислен ряд уровня за период с 9 по 11 августа 1823 г.

Результаты сравнения двух рядов прилива: исторического и предвычисленного по современным константам прилива дан на рис. 2.

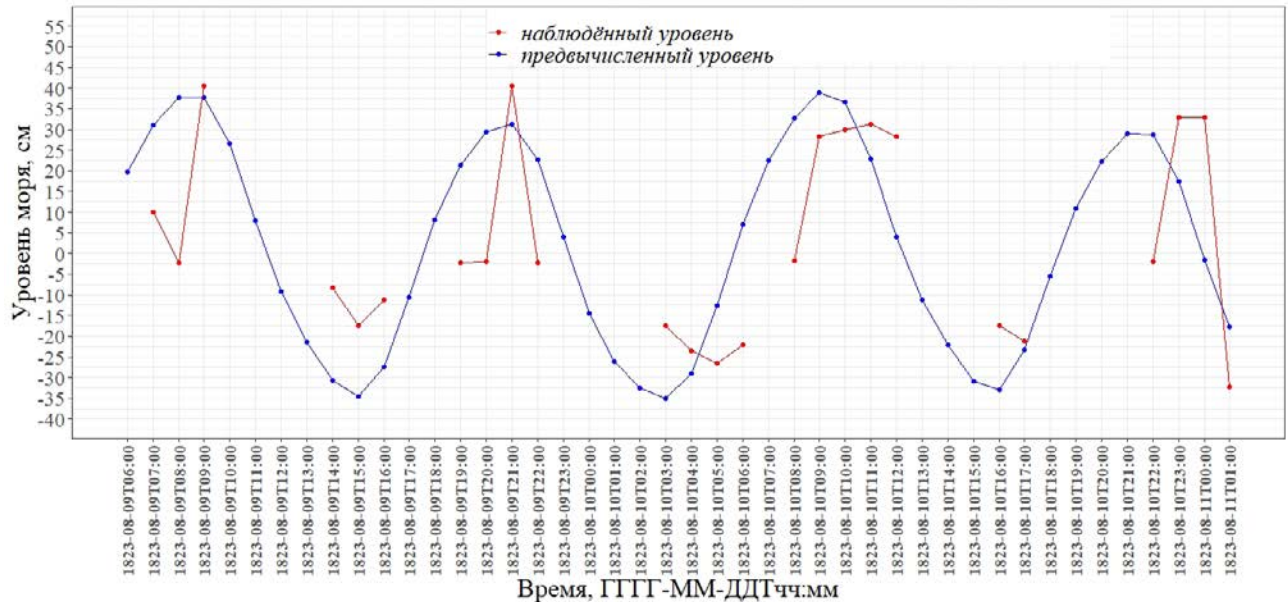


Рисунок 2. Наблюдения за уровнем в проливе Маточкин Шар за период с 09 августа 07:00 по 11 августа 01:00, 1823 год

Из рис. 2 видно, что в первые сутки (09 августа) соответствие кривых наблюдений и предвычислений удовлетворительное, но на вторые сутки наблюдений виден сдвиг на 1 час в моментах малых и полных вод, который стал еще большим на третьи сутки. Остается неясной причина такого расхождения в конце суток наблюдений, которое может объясняться как сбой (ошибка) при прекращении наблюдений вследствие ухудшения погодных условий.

Выше нами отмечался серьезный недостаток в опубликованных результатах анализа приливов как в Справочнике [7], так и в Материалах [8-13]: отсутствие констант мелководных волн M_4 , MS_4 , M_6 . Для наглядности был предвычислен ряд на август 2019 г. в губе Белушьей с двумя наборами волн: 32 волны (выделяются по месячной серии) и 19 волн (без всех мелководных волн). Дискретность расчета задавалась в 6 минут.

На рис. 3а показаны кривые прилива в губе Белушьей в летний период при задании для предвычисления всех 32 волн, выделяемых из месячных серий, и только для 19 волн без мелководных составляющих. На рис. 3б и 3в показаны расхождения в моментах и временах полных (ПВ) и малых (МВ) вод в течение месяца между двумя кривыми.

Статистические оценки, полученные по временным рядам разностей ПВ и МВ между полным и ограниченным расчетами прилива, дают следующее. Среднее квадратичное отклонение (с.к.о.) разностей высот составляет за месяц $\pm 1,39$ см. Максимум разностей ПВ достигает +4,0 см, а минимум равен -3,0 см. С.к.о. разностей времен ПВ и МВ за месяц равно ± 37 мин. При этом максимум достиг +2,0 ч, а минимум — -1,9 ч. Как видно из этих оценок, расхождения настолько большие, что расчет прилива без мелководных волн дает плохие результаты не адекватные наблюдениям.

На первый взгляд кажется неожиданным такое сильное проявление эффекта мелководных волн. Но согласно классической работе [20] есть простое объяснение этому эффекту, который возникает как проявление действия редуцированных множителей мелководных волн на их амплитуду, рассчитываемых как квадраты (при периоде 4 ч), кубы (при периоде 6 ч) и т.д. по редуцированному множителю волны M_2 .

По методике, описанной выше, с помощью гармонического анализа получены оценки средних гармонических постоянных. В таблице 2 дана выборка 11 наиболее значимых составляющих на летний период (август) и зимний период (апрель).

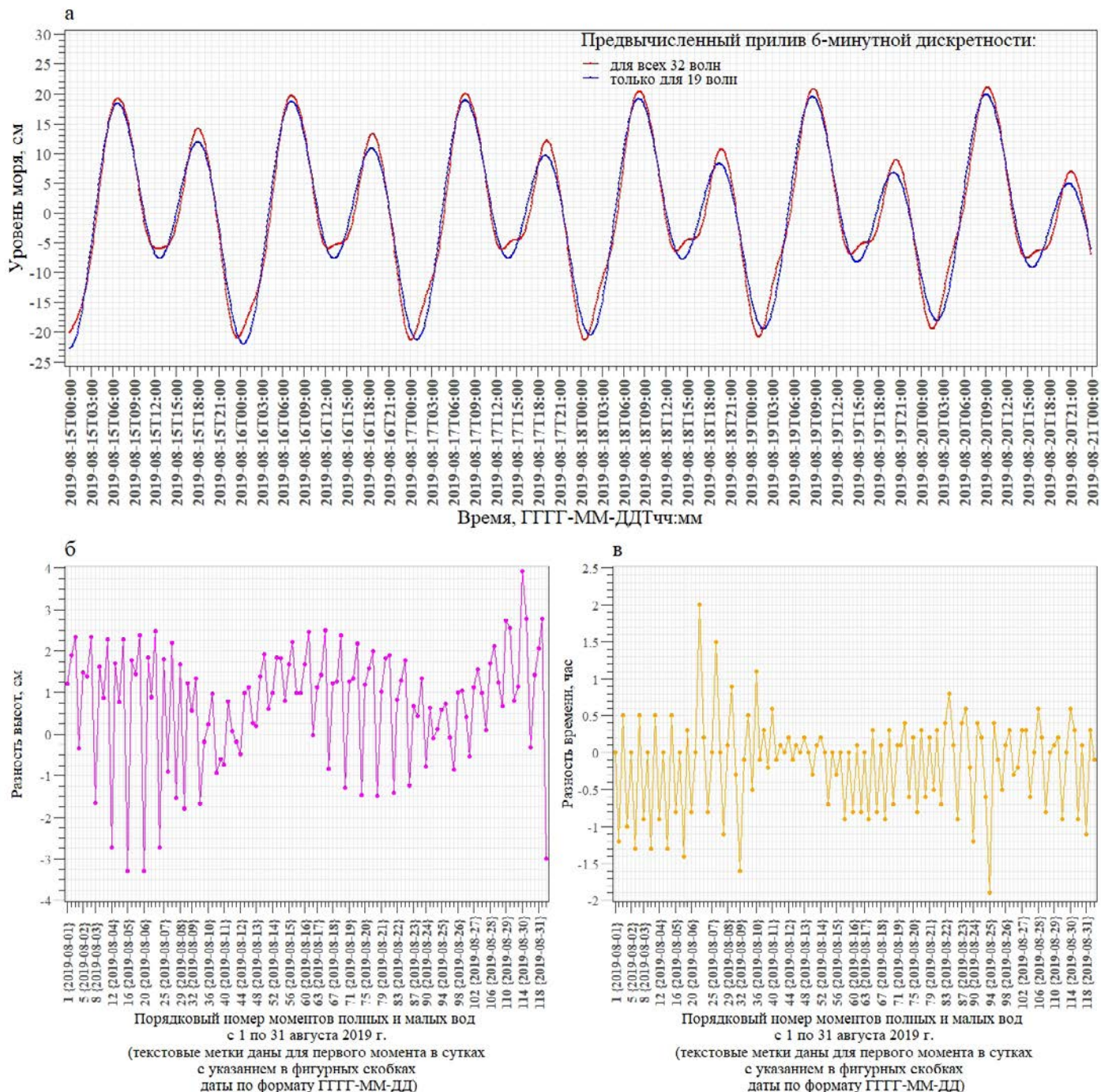


Рисунок 3. Кривые предвычисленного прилива с дискретностью 6 минут по набору для 32 волн и 19 волн (без мелководных приливов) для августа 2019 г. в губе Белушьей в сизигию (а). Кривые разностей высот (б) и времен (в) полных и малых вод двух временных рядов в августе 2019 г.

Таблица 2. Гармонические постоянные прилива по многолетним наблюдениям в пунктах: Русская Гавань, Лагерный, Малые Кармакулы, Белушья, Черная, Озерная для летнего периода (август) и зимнего периода (апрель). Характеристики: H – амплитуда, см; g – угол положения, град.

Характеристика	Волны										
	Q_1	O_1	P_1	K_1	N_2	M_2	S_2	K_2	M_4	MS_4	M_6
п/ст. Русская Гавань (август)											
H	1,0	2,4	0,6	1,8	2,6	15,0	6,8	1,9	0,6	0,4	0,2
g	165	207	79	79	137	158	205	205	229	273	100
п/ст. Русская Гавань (апрель)											
H	0,8	2,6	0,6	2,0	2,8	15,4	6,3	1,7	0,5	0,4	0,3
g	145	207	107	107	131	165	212	212	219	249	102

Характеристика	Волны										
	Q_1	O_1	P_1	K_1	N_2	M_2	S_2	K_2	M_4	MS_4	M_6
Мыс Лагерный (август)											
H	0,8	1,2	1,6	4,8	4,1	23,4	7,0	1,9	0,9	0,4	0,9
g	108	143	6	6	127	180	228	228	28	62	261
Мыс Лагерный (апрель)											
H	0,4	0,6	1,7	5,1	5,4	20,2	6,4	1,7	0,8	0,3	0,6
g	64	127	29	29	133	178	225	225	39	116	282
п/ст. Малые Кармакулы (август)											
H	0,8	1,6	1,9	5,8	5,0	27,1	8,5	2,3	1,2	0,7	0,7
g	107	143	6	6	128	161	208	208	357	55	323
п/ст. Малые Кармакулы (апрель)											
H	1,0	0,5	2,0	6,2	5,0	25,0	8,1	2,2	1,1	0,3	0,6
g	74	132	9	9	131	155	210	210	359	85	356
губа Белушья (август)											
H	0,5	0,9	2,9	8,9	1,6	11,8	4,4	1,2	1,9	1,4	0,5
g	56	39	8	8	124	176	198	198	1	96	16
губа Белушья (апрель)											
H	0,6	0,8	2,7	8,2	2,2	11,0	3,5	1,0	1,6	1,1	0,6
g	75	66	9	9	155	177	203	203	354	63	22
Губа Черная (август)											
H	0,2	1,3	3,3	9,8	1,5	9,8	4,8	1,3	1,1	0,7	0,9
g	9	309	12	12	345	330	90	90	78	130	36
Губа Черная (май)											
H	0,5	0,8	2,8	8,4	1,5	7,5	2,8	0,8	1,1	0,5	0,7
g	135	313	10	10	310	330	96	96	80	129	47
п/ст. Озерная (август)											
H	0,3	4,2	0,4	1,3	3,0	20,5	8,4	2,3	0,3	0,4	0,4
g	270	337	11	11	325	349	57	57	133	68	63
п/ст. Озерная (апрель)											
H	0,3	3,3	0,5	1,6	3,0	19,5	7,8	2,1	0,1	0,4	0,4
g	156	335	357	357	334	353	58	58	292	18	74

Примечание. Волны P_1 , K_2 , N_2 даны во втором приближении по известным теоретическим соотношениям. Углы положений приведены к нулевому часовому поясу.

По данным табл. 2 рассчитаны характеристики негармонических постоянных прилива, которые необходимы для описания его особенностей. В табл. 3 приведены значения характера прилива, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 , величины сизигийного прилива для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах с результатами анализа за летний и зимний периоды.

Таблица 3.
Значения характера прилива по Куртье, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 , величины сизигийного прилива для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах Новой Земли

Пункт	$(H_{K1}+H_{O1})/(H_{M2}+H_{S2})^*$		H_{S2}/H_{M2}		H_{M4}/H_{M2}		Sg	
	август	апрель	август	апрель	август	апрель	август	апрель
Русская Гавань	0,193	0,212	0,453	0,409	0,040	0,026	43,8	43,6
Лагерный	0,197	0,214	0,299	0,317	0,038	0,039	61,1	53,9
Малые Кармакулы	0,208	0,202	0,314	0,324	0,044	0,044	71,6	66,7
Белушья	0,605	0,621	0,373	0,318	0,161	0,145	33,2	29,9
Черная	0,760	0,893	0,489	0,373	0,112	0,146	30,3	21,8
Озерная	0,190	0,179	0,410	0,400	0,015	(0,005)	57,9	54,7

Примечание. * — при значении отношения $>0,25$ и $<1,50$ прилив смешанный, в основном полусуточный. Sg — величина сизигийного прилива рассчитана по Гаррису [21]. В круглых скобках отмечены сомнительные значения.

Согласно данным в табл. 3 прилив в летний и зимний периоды вдоль западного побережья Новой Земли в целом носит правильный полусуточный характер. Лишь на акватории между губой Белушьей и губой Черной в районе у о-ва Междушарский, где образуется узловая зона прилива M_2 , прилив носит смешанный в основном полусуточный характер. В качестве критерия характера (формы) прилива использован критерий Куртье, так как критерий Дуванина в силу неполноты (нет волны S_2) для наших данных даёт в ряде случаев неверные определения формы прилива.

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), существенно не меняется между летним и зимним периодами. На северной части побережья фазовое неравенство наиболее сильно выражено и величина отношения наибольшая и колеблется от 0,41 до 0,45. В средней части побережья от губы Крестовой до п/ст. Малые Кармакулы величина отношения снижается до 0,31–0,32. Затем в южной части побережья величина отношения H_{S_2}/H_{M_2} повышается.

Возраст полусуточного прилива составляет около 2 суток. Аномальное значение возраста наблюдается в губе Черной и равно 5 суткам.

Величина отношения амплитуд суточных волн H_{O_1}/H_{K_1} , характеризующая тропическое неравенство приливов, изменяется в широких пределах. На большей части побережья величина отношения не превышает 0,09–0,28. Резкое увеличение отношения происходит на северной оконечности Новой Земли в Русской Гавани — 1,33 и в проливе Карские Ворота — 3,23. Такие значительные изменения объясняются с одной стороны ростом амплитуды прилива O_1 , а с другой стороны — уменьшением амплитуды прилива K_1 . В губе Черной понятие тропического неравенства теряет смысл — здесь величина суточного прилива практически одинакова во всем цикле этого неравенства, так как амплитуда волны O_1 мала.

Возраст суточного прилива в среднем достигает -2 суток. Поэтому влияние тропических приливов на кривую приливов достигает максимума за 2 суток до моментов максимальных склонений Луны. Но в итоге при полусуточном характере прилива в ходе приливных колебаний уровня возникает лишь небольшое суточное неравенство в последовательных полных и малых водах. Однако в губе Белушьей и губе Черной, где прилив приобретает смешанный характер, кривая прилива при тропических приливах имеет почти суточный вид: вторая полная вода становится малозаметной.

Параллактическое неравенство, связанное с моментами прохождения Луны через перигей или апогей, почти не выражено, так как амплитуда волны N_2 по величине везде гораздо меньше амплитуды волны S_2 .

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. Из данных табл. 2 следует, что мелководные волны между летним и зимним периодами меняются мало, а их величина для основных волн M_4 и MS_4 достигает около 2 см. 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 0,9 см.

Величина сизигийного прилива Sg возрастает в августе с севера на юг от 44 см в Русской Гавани до 72 см на п/ст. Малые Кармакулы. В узловой зоне в губе Черной наблюдается уменьшение величины прилива до 30 см. Далее к южной оконечности Новой Земли она увеличивается и в проливе Карские Ворота на п/ст. Озерная составляет 58 см. Величина квадратурного прилива в среднем в 2,14 раза меньше величины сизигийного прилива. Как правило в апреле наблюдается уменьшение величин прилива (особенности сезонного хода волн в годовом цикле будут рассмотрены ниже).

Наглядное представление об изменении амплитуд и фаз приливов M_2 и K_1 вдоль западного побережья Новой Земли видно по рис. 4 и рис. 5.

Полная картина изменений амплитуд и фаз приливов M_2 и K_1 необходима для оценки особенностей распространения приливных волн вдоль Новой Земли. Это позволяет установить соответствие численных моделей реальным наблюдениям. Для построения кривых на рис. 4 и рис. 5 использованы как новые результаты анализа (табл. 2), так и данные из работ [4–7] для пунктов: бухта Фоки, губа Крестовая, губа Митюшиха и залив Пуховый.

Из рассмотрения хода кривых амплитуд и фаз (углов положений) волны M_2 в летний и зимний периоды, которые практически параллельны между собой, следуют два главных вывода. Во-первых, приливная волна прилива M_2 не имеет существенных различий в распространении вдоль Новой Земли между летним и зимним периодами. Во-вторых, имеется только одна узловая зона этого прилива, расположенная вблизи губы Черной, и не меняющего местоположения между летним и зимним периодами.

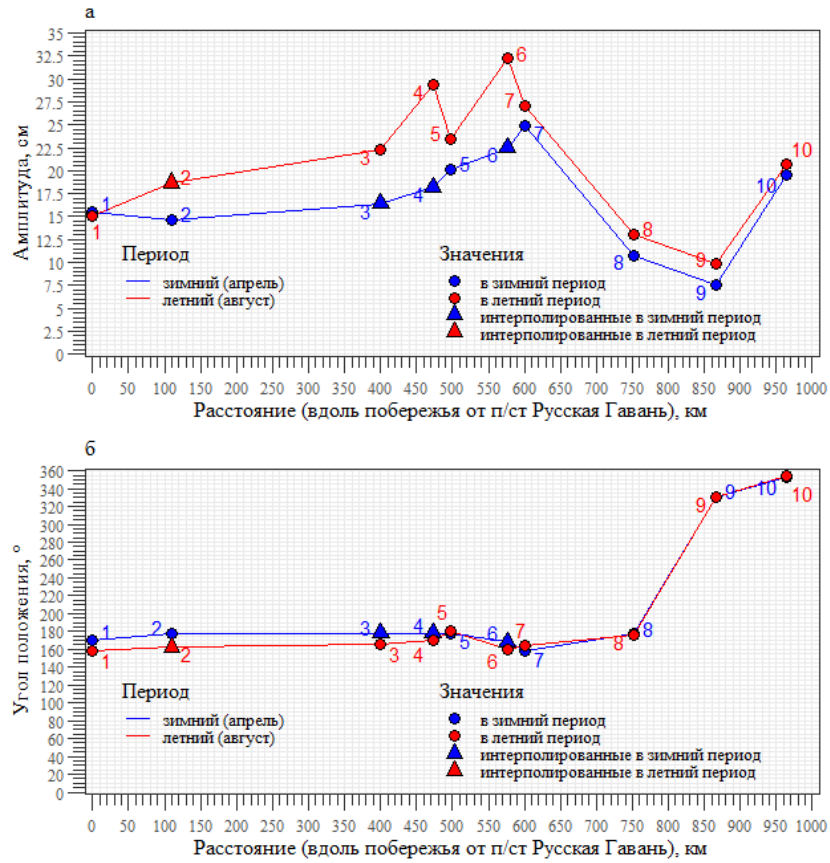


Рисунок 4. Изменение амплитуды (а) и угла положения (б) волны M_2 в летний период (август) и в зимний период (апрель) по западному побережью Новой Земли: 1 - п/ст. Русская Гавань, 2 - бухта Фоки, 3 - губа Крестовая, 4 - губа Митюшиха, 5 - п/ст. м. Лагерный, 6 - залив Пуховый, 7 - п/ст. Малые Кармакулы, 8 - губа Белушья, 9 - губа Черная, 10 - п/ст. Озерная

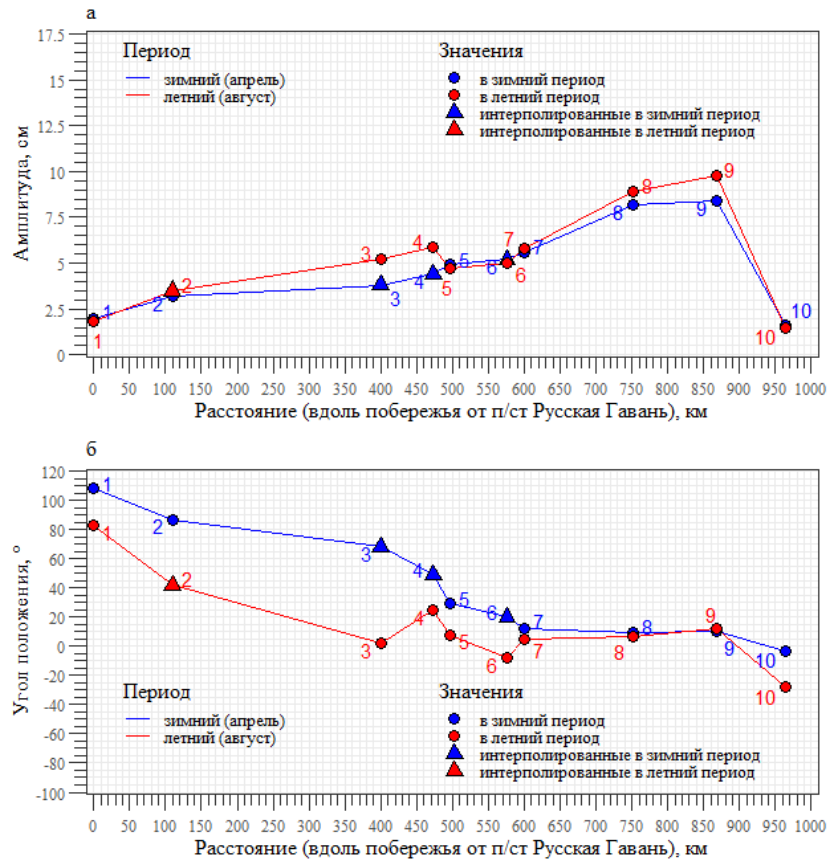


Рисунок 5. Изменение амплитуды (а) и угла положения (б) волны K_1 в летний период (август) и в зимний период (апрель) по западному побережью Новой Земли: 1 - п/ст. Русская Гавань, 2 - бухта Фоки, 3 - губа Крестовая, 4 - губа Митюшиха, 5 - п/ст. м. Лагерный, 6 - залив Пуховый, 7 - п/ст. Малые Кармакулы, 8 - губа Белушья, 9 - губа Черная, 10 - п/ст. Озерная

Интересным является феномен практической синхронности во времени приливных колебаний уровня вдоль западного побережья Новой Земли от Русской Гавани до губы Белушьей (рис. 4б). Это подтверждается тестовыми предвычислениями приливов и следует из данных табл. 2, в которой видно, что углы положений полусуточных волн M_2 , S_2 , N_2 близки между собой.

Приливная волна суточного прилива K_1 имеет другие особенности. Общая тенденция хода кривых амплитуд и фаз (углов положений) волны K_1 сохраняется между летним и зимним периодами. Приливная волна имеет поступательный вид движения и, несмотря на малые величины прилива в п/ст. Русская Гавань и п/ст. Озерная (рис. 5а), узловые зоны здесь не образуются, так как нет резкого изменения фаз. Величина амплитуды прилива K_1 последовательно возрастает с севера на юг вдоль Новой Земли и достигает максимума в 9,8 см в губе Черной, но затем резко уменьшается к проливу Карские Ворота.

По сложившимся представлениям приливы в Баренцевом море формируются атлантической приливной волной, приходящей из Гренландского и Норвежского морей [22]. На северные окраины моря влияет приливная волна из Полярного бассейна. Интерференция этих волн образует возникновение узловой зоны в южной части Новой Земли, но наблюдения не подтверждают формирование здесь полной амфидромии, каковая присутствует в некоторых результатах численного моделирования. Также видно, что между летним и зимним периодами не происходит видимых изменений структуры приливной волны.

Приливная волна прилива K_1 образует вблизи севера Новой Земли (к северо-западу от м. Желания) амфидромию с циклоническим вращением изофаз [15]. Это не противоречит данным наблюдений, поскольку у побережья полная узловая зона не образуется вследствие удаленности амфидромии от берега. Есть косвенные признаки узловой зоны: последовательное уменьшение амплитуды прилива K_1 и увеличение фазы с юга на север между губой Крестовой и бухтой Фоки (см. рис. 5 и табл. 2).

Сезонные вариации прилива M_2 в годовом цикле. Проблема сезонной изменчивости основных волн прилива в арктических морях и ее причины является ключевой в океанологии в последнее десятилетие. Для ее изучения были использованы многолетние ежечасные наблюдения за уровнем на п/ст. Русская Гавань, ежечасные наблюдения за два года в губе Белушьей и многолетние срочные измерения на п/ст. Малые Кармакулы (см. табл. 1). Кроме того был получен сезонный ход волны M_2 с помощью способа реконструкции на п/ст. мыс Лагерный и п/ст. бухта Озерная, но эти оценки предварительные.

Первый вывод, который следует из анализа вариаций прилива M_2 в годовом цикле на рис. 6, это полная индивидуальность сезонного хода как амплитуд, так и фаз на каждой станции. Второй вывод - это отсутствие проявления классического вида сезонного хода волны M_2 в годовом цикле с максимумом амплитуды в летний период и максимумом фазы в зимний период [24]. На п/ст. Русская Гавань в сезонном ходе фазы в годовом цикле максимум наблюдается в апреле и равен 5,6 град от нормы (рис. 6б), а минимум - в сентябре (-6,7 град от нормы). Однако амплитуда имеет максимум в апреле до 3,1% от нормы (рис. 6а), при этом второй менее выраженный максимум виден в сентябре.

Ранее в работе [23] была предпринята попытка определения особенностей изменчивости гармонических постоянных прилива волны M_2 на п/ст. Русская Гавань. В амплитуде ее не удалось обнаружить и был сделан вывод о случайном характере ее изменения. Причина такого вывода состояла в ограниченности использованных наблюдений. К гармоническому анализу была привлечена только одна полная годовая серия за 1958 г., а вторая серия за 1959 г. содержала 7 месяцев. Все же работа [23] имела полезные методические рекомендации. В ней впервые было показана ошибочность привлечения результатов обработки по методу Дарвина полумесячных серий как содержащих систематические ошибки в константах волн прилива.

На п/ст. Малые Кармакулы сезонный ход амплитуды волны M_2 в годовом цикле достигает максимума в августе и равен 6,0% от нормы (среднегодовой величины). Кривая изменчивости фазы носит аномальный вид и имеет максимум в июле +4,7 град от нормы.

Наконец, в губе Белушья сезонный ход волны M_2 имеет свои особенности. Амплитуда достигает максимума в июле и равна +13,7% от нормы, что является наибольшей величиной на рассмотренных станциях. Сезонный ход фазы имеет менее выраженный характер с минимумом в сентябре и максимумом в феврале.

На п/ст. м. Лагерный сезонный ход прилива в годовом цикле близок к таковому ходу на п/ст. Малые Кармакулы. Здесь амплитуда изменяется по классическому типу с максимумом в сентябре до 7,0% от нормы, а развитие фазы идет по аномальному виду с небольшим ростом в сентябре. Единственной станцией с классическим типом изменения и амплитуды, и фазы (максимум амплитуды и минимум фазы в августе)

является п/ст. Озерная в проливе Карские Ворота.

Согласно классификации типов сезонного хода в годовом цикле волны M_2 , предложенной в работе [24], в целом преобладает второй аномальный тип сезонной изменчивости. Он наблюдается в Русской Гавани и губе Белушьей. В Малых Кармакулах и Лагерном выявлен новый тип изменения сезонного хода прилива волны M_2 .

В отношении сезонного хода полусуточных волн S_2 и N_2 можем отметить в основном общие черты с сезонными изменениями прилива M_2 . Здесь не принимаются во внимание п/ст. Лагерный и п/ст. Озерная, где результаты сезонного хода по волнам S_2 и N_2 недостаточно достоверны.

Причины сезонной изменчивости гармонических постоянных полусуточных и суточных волн прилива в настоящей работе не рассматриваются. Обзор сведений по этой проблеме есть в работах [15, 24, 25]. В самых общих чертах заметим, что в отечественной океанологии в XIX и XX столетиях сложился стереотип об определяющем влиянии сезонных изменений дрейфующего льда на константы прилива. В начале XXI века появились работы, где сезонные вариации волны прилива M_2 объяснялись иными факторами, чем ледяной покров. Сезонная стратификация водных масс имеет существенное влияние на приливы, включая изменение степени трения сдвига, вариации диссипации трения и вариаций потока баротропной энергии.

Отметим, что в последнее время произошел качественный поворот в численном моделировании и самые продвинутые из них учитывают сезонную изменчивость приливов в СЛО [26].

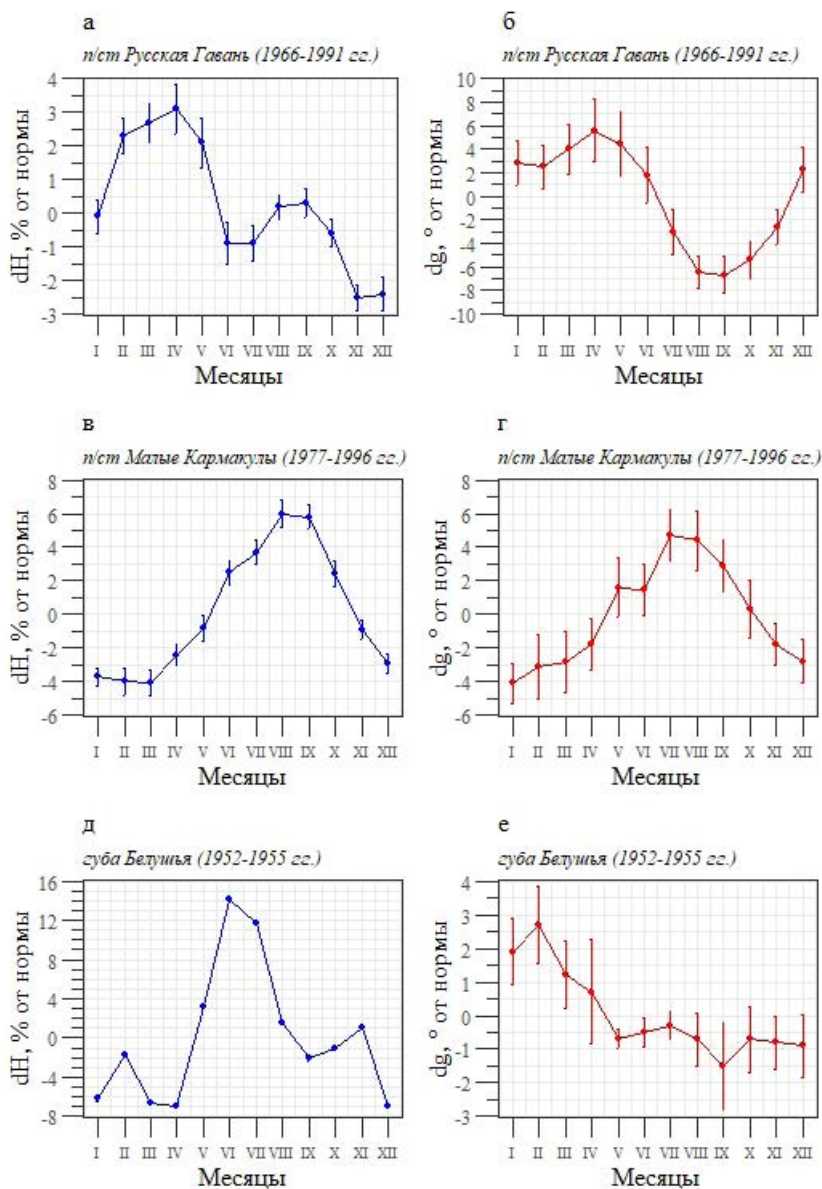


Рисунок 6. Сезонный ход относительных амплитуд dH (слева) и разности фаз dg (справа) волны M_2 вдоль западного побережья Новой Земли: Русская Гавань (а) и (б), Малые Кармакулы (в) и (г), губа Белушья (д) и (е). Вертикальные линии показывают значения средних квадратических отклонений

Выводы

В настоящей работе приведены гармонические постоянные для летнего (август) и зимнего (апрель) периодов для 6 пунктов: п/ст. Русская Гавань, п/ст. Лагерный, п/ст. Малые Кармакулы, губа Белушья, губа Черная, п/ст. Озерная. Даны константы 11 основных суточных, полусуточных и мелководных волн прилива, причем гармонические постоянные мелководных волн M_4 , MS_4 , M_6 даны впервые, так как ранее считалось, что ими можно пренебречь ввиду малости амплитуд. Однако на тестах показана роль мелководных приливов в точном описании кривой прилива и влиянии на расчет полных и малых вод (см. рис. 3).

Результаты гармонического анализа прилива, приведенные в Справочнике [7], иногда даны в виде средних значений, выведенных из отдельных серий для конкретного пункта. Такой прием осреднения в условиях сезонной изменчивости гармонических постоянных не всегда корректен. Средние (векторные) значения констант прилива следует определять из результатов анализа, выполненных в одинаковые месяцы года.

По сравнению кривых колебаний уровня из наблюдений Литке за 09-11 августа 1823 г. и предвычисленной по гармоническим постоянным п/ст. Лагерный на этот же период можно сделать вывод (конечно, с оговорками) об относительном постоянстве констант прилива в течение двух столетий. Но других материалов наблюдений для подобных сравнений не имеется.

Из рассмотрения хода кривых амплитуд и фаз (углов положений) волны M_2 в летний и зимний периоды (рис. 4 и рис. 5) вдоль побережья Новой Земли, которые практически параллельны между собой, следуют два главных вывода. Во-первых, приливная волна прилива M_2 не имеет существенных различий в распространении вдоль Новой Земли между летним и зимним периодами. Во-вторых, имеется только одна узловая зона этого прилива, расположенная вблизи губы Черной (в районе о-ва Междушарный). Она не меняется значимо между летним и зимним периодами. Поэтому те построения по численным моделям, которые показывают полную амфидромию на юге Новой Земли, не соответствуют наблюдениям.

Интересным является феномен практической синхронности во времени приливных колебаний уровня вдоль западного побережья Новой Земли от Русской Гавани до губы Белушья. С точки зрения кинематики приливного движения здесь располагается область стоячего колебания приливной волны M_2 .

Сведения о сезонной изменчивости прилива волны M_2 показывают большое разнообразие типов хода амплитуд и фаз в годовом цикле. Это является свидетельством действия разных гидрометеорологических факторов и/или преобладанием локальных особенностей режима уровня. Только по данным наблюдений определить это невозможно и необходимо использовать численные методы.

В целом величина размаха сезонного хода амплитуды волны M_2 в годовом цикле в губе Белушья достигает около 22% от нормы (среднегодовой величины). Максимум амплитуды наблюдается в июне (+13,7% от нормы), что является аномалией во времени наступления. В меньшей степени развивается сезонный ход на п/ст. Малые Кармакулы и составляет в августе +6% от нормы. Однако в сезонном ходе фазы происходит необычное увеличение ее в летний период с максимумом в июле (+4,7 град от нормы). Подобного вида аномалия ранее не наблюдалась [24].

В Русской Гавани сезонный ход амплитуды волны M_2 идет по аномальному варианту, а сезонный ход фазы по классическому виду. Причем в ходе амплитуды проявляется как годовая, так и полугодовая периодичности. Основной максимум амплитуды наблюдается в апреле и равен +3,1% от нормы, но есть менее выраженный второй максимум в сентябре. Более ярко вариация сезонного хода видна в фазе волны M_2 и размах ее равен 12 град.

Выше уже обсуждались физические механизмы сезонной изменчивости прилива в СЛО. Существует обоснованное мнение о влиянии сезонных вариаций площади дрейфующего льда в СЛО на приливную волну. Для подтверждения этой гипотезы в некоторых численных моделях рассматривается влияние припайного льда, прогнозируемого на весь изучаемый объект. Однако степень влияния припайного льда на приливную волну резко отличается от таковой дрейфующего льда. В действительности припайный лед образуется в зимний период на мелководных акваториях в заливах, губах, в устьях рек. В этих акваториях влияние припая на приливную волну очень существенное, но оно не приводит к видимым изменениям структуры приливной волны за пределами акваторий с припайным льдом. Это подтверждают приведенные в настоящей работе сведения.

По-видимому, для исследования сезонной изменчивости прилива следует при численном моделировании принимать во внимание не только эффекты сезонных вариаций дрейфующего льда, но и влияние изменений стратификации водных масс в годовом цикле, а также действие метеорологических факторов.

Список литературы:

1. Визе В.Ю. Моря Советской Арктики. М.; Л.: Изд-во Главсевморпути, 1948. 416 с.
2. Литке Ф.П. Четырехкратное плавание в Северном Ледовитом океане на военном бриге «Новая Земля» в 1821-1824 годах. М.: Изд-во ОГИЗ, 1948. 334 с.
3. Саватюгин Л.М. Архипелаг Новая Земля. История, имена и названия. М.: Паулсен, 2017. 792 с.
4. Бухтеев А.М. Данные о приливах Северного Ледовитого океана (в пределах русских его берегов) и Белого моря // Записки по гидрографии. 1916. Т. XL. Вып.1. С. 86-128.
5. Визе В.Ю. Наблюдения над приливами, произведенные в 1912-1913 гг. полярной экспедицией Г.Я. Седова в бухте «Св. Фоки» на Новой Земле // Записки по гидрографии. 1918. Т. I (XLI). Вып.3. С. 335-360.
6. Березкин Вс.А. Приливы на Новой Земле // Записки по гидрографии. 1925. Т. L. С. 189-218.
7. Баренцево море. Гидрологический режим моря / Гидрологический справочник морей СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1955. Том 6. Вып. 3. Глава III. Гидрологический режим моря. 439 с.
8. Материалы к изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. Т. XXXVI. Вып. I. 51 с.
9. Материалы к изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. 1936. Т. LII. Вып. II. 81 с.
10. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935.1938. Т. 119. Вып. IV. 83 с.
11. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. 1940. Т. 153. Вып. V-VI. 199 с.
12. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР / Труды Арктического института. 1935. 1952. Т. 42. Вып. VII. Карское море. 536 с.
13. Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE // Comput. Geosci. 2002. Vol. 28. № 8. P. 929-937.
14. Foreman M.G.G. Manual of tidal heights analysis and prediction // Pacific Marine Science Report. 1977. Vol. 77-10. P. 97.
15. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд-во Русского географического общества, 1999. 109 с.
16. Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов по срочным наблюдениям за уровнем моря // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С.79-91.
17. Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов с описанием сезонной изменчивости основных суточных, полусуточных и мелководных волн // Труды Государственного океанографического института. 2011. Т. 213. С. 169-178.
18. Войнов Г.Н. Способ приведения ежечасных наблюдений за уровнем моря к однородным рядам с помощью калибровки приливов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 68-80.
19. Войнов Г.Н. О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. 2004. Т. 44. № 2. С. 172-178.
20. Doodson A.T., Warburg H.D. Admiralty manual of tides. London, His Majesty's stationery office Publ., 1941. 261 p.
21. Владимирский Н.П., Стахевич В.С. Руководство по обработке и предсказанию приливов. Л.: Изд. Гидрограф. управления ВМФ СССР, 1941. 347 с.
22. Зильберштейн О.И., Сафронов Г.Ф., Попов С.К. Исследование приливных движений в Баренцевом море на основе гидродинамического моделирования // Труды Государственного океанографического института. 2000. Вып. 207. С. 81-102.
23. Каганский А.С. Некоторые особенности изменчивости гармонических постоянных приливных колебаний уровня // Труды Государственного океанографического института. 1965. Вып. 85. С. 84-90.
24. Войнов Г.Н. О новой интерпретации сезонной изменчивости приливов арктических морей России // Метеорология и гидрология. 2003. № 9. С.59-70.
25. Muller M., Cherniawskiy J.Y., Foreman M.G.G. Seasonal variation of the M_2 tide // Ocean Dynamics. 2014. Vol.64. P. 159-177. DOI: 10.1007/s10236-013-0679-0
26. Каган Б.А., Софьина Е.В. Сезонная изменчивость приливной волны M_2 в Северном Ледовитом океане // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2009. № 4 (6). С. 31-37.

References:

1. Vize V.YU *Morya Sovetskoj Arktiki*. Moskva; Leningrad, Glavsevmorputi Publ., 1948, 416 p. (In Russian).
2. Litke F.P. *CHetyrekhkratnoe plavanie v Severnom Ledovitom okeane na voennom brige "Novaya Zemlya" v 1821-1824 godah*. Moskva, OGIZ Publ., 1948, 334 p. (In Russian).
3. Savatyugin L.M. *Arhipelag Novaya Zemlya. Istoriya, imena i nazvaniya*. Moskva, Paulsen Publ., 2017, 792 p. (In Russian).
4. Buhteev A.M. Dannye o prilivah Severnogo Ledovitogo okeana (v predelakh russkikh ego beregov) i Belogo moray. *Zapiski po gidrografii*, 1916, vol. XL, no. 1, pp. 86 - 128. (In Russian).
5. Vize V.YU. Nablyudeniya nad prilivami, proizvedennye v 1912-1913 gg. polyarnoj ekspeditsiej G.YA. Sedova v buhte "Sv. Foki" na Novoj Zemle. *Zapiski po gidrografii*, 1918, vol. I (XLI), no. 3, pp. 335-360. (In Russian).
6. Berezkin Vs.A. Prilivy na Novoj Zemle. *Zapiski po gidrografii*, 1925, vol. L, pp. 189-218. (In Russian).
7. Barencevo more. Gidrologicheskij rezhim moray. *Gidrologicheskij spravochnik morej SSSR*, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1955, vol. 6, no. 3, chapter III. Gidrologicheskij rezhim moray, 439 p. (In Russian).
8. Materialy k izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, vol. XXXVI, no. I, 51 p. (In Russian).
9. Materialy k izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1936, vol. LII., no. II, 81 p. (In Russian).
10. Materialy po izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1938, vol. 119, no. IV, 83 p. (In Russian).
11. Materialy po izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1940, vol. 153, no. V-VI, 199 p. (In Russian).
12. Materialy po izucheniyu prilivov arkticheskikh morej SSSR. *Trudy Arkticheskogo instituta*, 1935, 1952, vol. 42, no. VII, Karskoe more, 536 p. (In Russian).
13. Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Comput. Geosci*, 2002, vol. 28, no. 8, pp. 929-937.
14. Foreman M.G.G. Manual of tidal heights analysis and prediction. *Pacific Marine Science Report*, 1977, vol. 77-10, p. 97.
15. Vojnov G.N. *Prilivnye yavleniya v Karskom more*. SPb, Izd. Russkogo geograficheskogo obshchestva, 1999, 109 p. (In Russian).
16. Vojnov G.N. Garmonicheskij analiz morskikh prilivov po srochnym nablyudeniyam za urovnem morya. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2009, no. 7, pp.79-91. (In Russian).
17. Vojnov G.N. Garmonicheskij analiz morskikh prilivov s opisaniem sezonnoj izmenchivosti osnovnykh sutochnykh, polusutochnykh i melkovodnykh voln. *Trudy GOIN*, 2011, vol. 213, pp. 169-178. (In Russian).
18. Vojnov G.N. Sposob privedeniya ezhechasnykh nablyudenij za urovnem morya k odnorodnym ryadam s pomoshch'yu kalibrovki prilivov. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2015, vol. 2 (104), pp. 68-80. (In Russian).
19. Vojnov G.N. O garmonicheskom analize prilivov po neregulyarnym mnogoletnim nablyudeniyam za urovnem morya i techeniyami. *Okeanologiya*, 2004, vol. 44, no. 2, pp. 172-178. (In Russian).
20. Doodson A.T., Warburg H.D. *Admiralty manual of tides*. London, His Majesty's stationery office Publ., 1941, 261 p.
21. Vladimirskij N.P., Ctahevich V.S. *Rukovodstvo po obrabotke i predskazaniyu prilivov*. Leningrad.: Izd. Gidrograf. upravleniya VMF SSSR, 1941, 347 p. (In Russian).
22. Zil'bershtejn O.I., Safronov G.F., Popov S.K. Issledovanie prilivnykh dvizhenij v Barencevom more na osnove gidrodinamicheskogo modelirovaniya. *Trudy GOIN*, 2000, vol. 207, pp. 81-102. (In Russian).
23. Kaganskij A.S. Nekotorye osobennosti izmenchivosti garmonicheskikh postoyannykh prilivnykh kolebanij urovnya. *Trudy GOIN*, 1965, vol. 85, pp. 84-90. (In Russian).
24. Vojnov G.N. O novej interpretacii sezonnoj izmenchivosti prilivov arkticheskikh morej Rossii. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2003, no 9, pp. 59-70. (In Russian).
25. Muller M., Cherniawskiy J.Y., Foreman M.G.G. Seasonal variation of the M_2 tide. *Ocean Dynamics*, 2014, vol. 64, p. 159-177. DOI: 10.1007/s10236-013-0679-0
26. Kagan B.A., Sof'ina E.V. Sezonnaya izmenchivost' prilivnoj volny M_2 v Severnom Ledovitom okeane. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2009, vol. 4 (6), pp. 31-37. (In Russian).