

## СТРУКТУРА ПОЛУСУТОЧНЫХ И СУТОЧНЫХ ПРИЛИВОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

*д-р геогр. наук Г.Н. ВОЙНОВ<sup>1,2</sup>, К.Г. СМИРНОВ<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup> — ФГБУ «Государственный океанографический институт», Санкт-Петербургское отделение

<sup>2</sup> — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: pvs@aari.ru

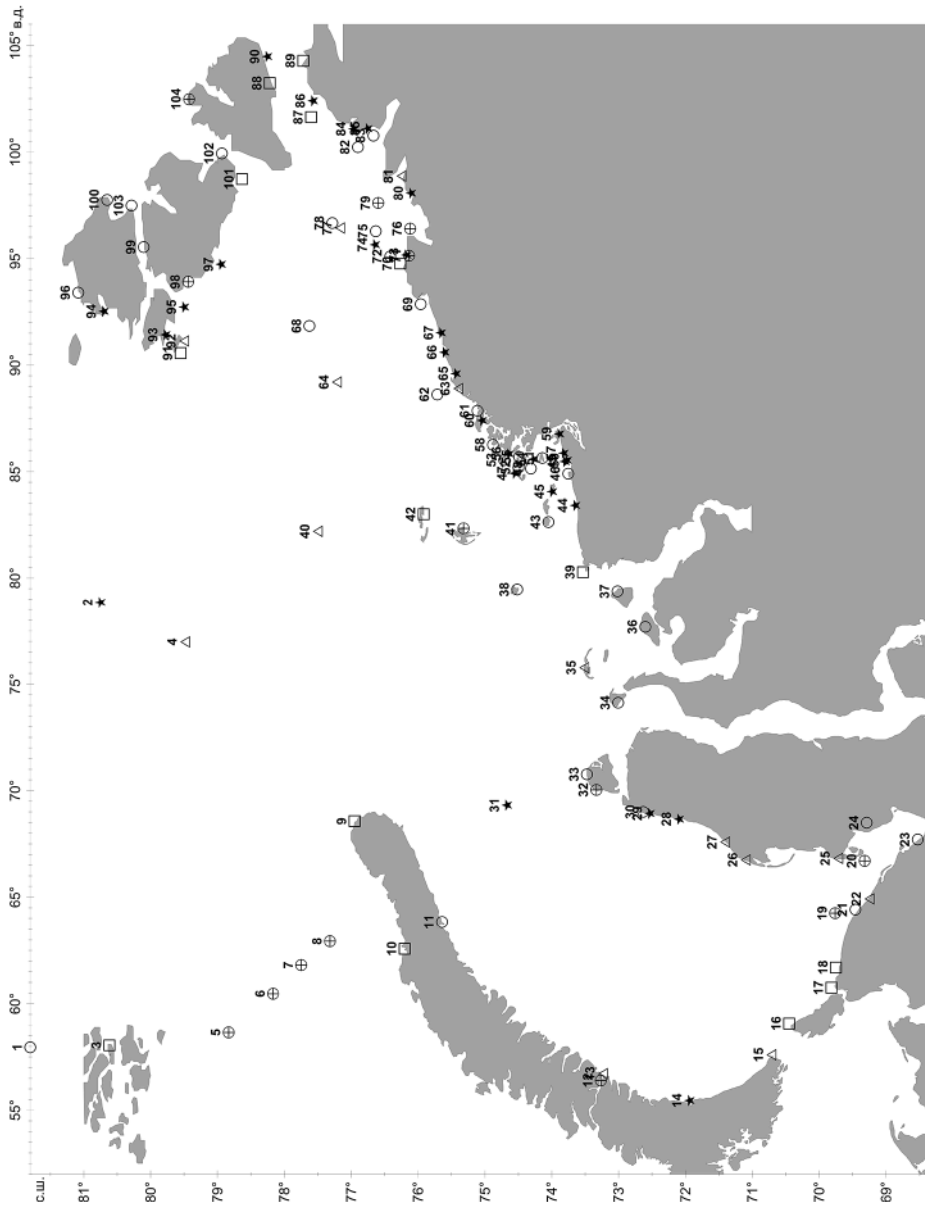
### ВВЕДЕНИЕ

Основные черты формирования и распространения полусуточных приливов в Карском море (для волны  $M_2$ ) и в целом необходимые для этого сведения о приливах были установлены в середине XX в. (Диесперова, 1954; Коптева, 1956). В дальнейшем эти сведения обсуждались в ряде работ по численному моделированию (Kowalik, 1979, 1981; Gjevik, Straume, 1989; Kowalik, Proshutinsky, 1994; Padman, Erofeeva, 2004; Каган и др., 2010). В отношении исследования структуры суточных приливов возникали затруднения, связанные с недостаточной точностью определения констант этих приливов из кратковременных наблюдений в условиях малых величин амплитуд суточных приливов (в основном 2–3 см). В результатах воспроизведения разными авторами структуры суточных приливов с помощью численных методов отмечаются большие расхождения (Schwidorski, 1981; Gjevik, Straume, 1989; Kowalik, Proshutinsky, 1994; Padman, Erofeeva, 2004). Исторический обзор исследований приливов в Карском море до середины XX в. дан в (Диесперова, 1954; Коптева, 1956), а за последующее время — в (Войнов, 1999, 2003) и здесь нами подробно не освещается. Подчеркнем, что реальное расположение и само существование амфидромических систем Карского моря в указанных и других работах никогда не подтверждалось по данным наблюдений за уровнем в открытом море. По существу амфидромические системы оставались гипотетическими теоретическими построениями.

Цель работы — полностью осветить проблему амфидромических систем Карского моря на основе наблюдений за уровнем в открытом море, полученных в экспедициях в юго-западной части Карского моря в 2012 г. (Миронов, 2012).

### НАТУРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО УРОВНЮ МОРЯ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

*Материалы XX в.* Частично, но не в полном объеме характеристики использованных материалов по уровню моря ранее нами приводились в (Войнов, 1999, 2003). На рис. 1 и в табл. 1 приведены пункты наблюдений (104) и сведения о периоде обработки и виде наблюдений. Здесь показаны только наблюдения с периодом обработки более 15 суток, а материалы с меньшей продолжительностью не приведены, но они иногда использовались нами при построении котидальных карт. В табл. 1 также не включены



83 Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений за уровнем моря: □ — группа I, △ — группа II, ⊕ — группа III, ○ — группа IV, ★ — группа V.

## Классификация наблюдений за уровнем моря по методу обработки и анализа

Признак	Название пункта (номер на рис. 1)
Группа I	Хейса (3), Желания (9), Русская Гавань (10), Болванский Нос (16), Югорский Шар (17), Амдерма (18), Диксон (39), Известий ЦИК (42), Правды (70), Гейберга (87), Солнечная (88), Челюскина (89), Голомянный (91), Краснофлотские (101)
Группа II	Визе (4), Выходной (13), Меншикова (15), Усть-Кара (22), Марре-Сале (25), Харасавэй (26), Моржовая (27), Вилькицкого (35), Уединения (40), Стерлегова (63), Исаченко (64), Русский (77), Усть-Таймыра (81), Домашний (92), Песчаный (104)
Группа III	МО4 (5), МО3 (6), МО2 (7), МО1 (8), Маточкин Шар (12), Б-2 (19), Б-1 (20), Белый (32), Большой (41), Заря (71), Теттермана (76), Тыртова (79), Ватутина (98)
Группа IV	Рудольфа (1), Благополучия (11), Няру-Яха (23), Яра-Яха (24), Пайндте (30), Омбей-Яха (33), Шокальского (34), Олений (36), Сибирякова (37), Свердрупа (38), Западный Каменный (43), Моржово (46), Большой Гольцман (48), Зверобой (51), Круглый (52), Олений-М (53), Песцовый (55), Колосовых (58), Неожиданностей (61), Кравкова (62), Кирова (68), Незаметная (69), Джекмана (72), Петерсена (75), Пилота Алексеева (78), Вайгач (82), Таймыр (83), Ракета (96), Гряда (99), Розы Люксембург (100), Оловянный (102), Бухтеева (103)
Группа V	Ушакова (2), Абросимова (14), Вылкин Нос (21), Ионда (28), Пяк (29), А-29 (31), Талая (44), Расторгуева (45), Северный Плавниковый (47), Зверобой (49), Громадского (50), Рыбные (54), Медуз (56), Половинка (57), Входной (59), Михайлова (60), Воскресенского (65), Накатная (66), Ломоносова (67), Боневи (73), Добрыня Никитич (74), Книповича (80), Кит (84), Дика (85), Гансена (86), Таймыра (90), 20 (93), Шар (94), 11 (95), 41 (97)

полностью данные для проливов Маточкин Шар, Карские Ворота, Югорский Шар, акваторий Байдарацкой губы, Обской губы и Енисейского залива, представляющих объекты отдельного изучения.

В качестве основы для обработки и анализа использовалась база отдела океанологии ААНИИ за 1975–1985 гг. (многолетние ежечасные ряды для сети полярных станций) и архив срочных измерений за 1980–2000 гг, любезно предоставленные И.М. Ашиком. 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 1975 г. и восстановлена нами при наличии случайных программных пропусков по материалам, хранящимся в фондах ААНИИ с 1950–1960-х по 1980 г. Привлекались к обработке материалы наблюдений за уровнем моря, опубликованные в выпусках I–VII трудов Арктического института (Материалы по изучению приливов, 1935–1952 гг.). В этих выпусках помещены материалы практически всех кратковременных наблюдений в Карском море по 1948 г.

Ценные данные о приливах в недостаточно изученных акваториях Карского моря содержались в материалах наблюдений, выполненных Гидрографическими экспедициями за 1950–1980 гг., которые были переданы В.И. Пересыпкиным в ААНИИ. Эти наблюдения были получены при обеспечении гидрографических работ полярными гидрографами Архангельской и Диксонской гидрографических баз, а также Гидрографическим предприятием ММФ. В основном наблюдения выполнялись в зимний период с припайного льда в районах шхер Минина, архипелага Норденшельда и на островах Северной Земли. Наконец, были использованы исторические материалы

наблюдений, помещенные в различных публикациях. Все перечисленные выше материалы включены в табл. 1.

*Методика обработки.* Основным недостатком базы данных ВНИИГМИ-МЦД (также отдела океанологии ААНИИ) является неоднородность временных рядов, что не дает возможности получения достоверных оценок приливов при прямой первичной обработке по программам анализа приливов. Поэтому все ряды предварительно проходили проверку и контроль по специальной методологии (Войнов, 2011). В результате применения новой методологии обработки и анализа наблюдений обнаружено большое количество сомнительных наблюдений и брака на станциях, материалы которых прошли технический контроль в методических (морских) отделах различных территориальных УГМС, ААНИИ, а также последующий объективный контроль в ВНИИГМИ-МЦД (Войнов, 2013).

Результаты анализа приливов по 1948 г., помещенные в (Материалы по изучению приливов, 1935–1952), не всегда достоверны, так как методы анализа и контроля в то время были недостаточно разработаны. Например, длительное время неверно интерпретировались данные о приливах на зимовках судов «Таймыр» и «Вайгач» в 1914–1915 гг. в Карском море (Войнов, 2010). Можно привести ряд случаев с ошибками во времени измерений (неверная запись пояса наблюдений). Детальное описание обработки и анализа приливов содержится в (Войнов, 1999, 2003, 2013).

По информативности, надежности оценок констант приливов, возможности раскрытия структуры приливов, в том числе изучения сезонного и межгодового хода основных волн приливов, результаты обработки сведены в следующие группы (табл. 1).

Группа I. Для 14 пунктов с многолетними ежечасными сериями (от 8 до 20 лет в каждом пункте). Получены гармонические постоянные и оценки с.к.о. амплитуд и фаз по МНК до 92 волн приливов в спектре от долгопериодных частот по 1/6-суточный класс. Рассчитан сезонный и межгодовой ход основных волн приливов. При этом сомнительные годовые серии с количеством брака более 50 % не включались в итоговую обработку. Как правило, падение качества наблюдений шло с середины 1980-х гг., но на разных станциях имело индивидуальный характер.

В группе II для 15 пунктов обработаны многолетние регулярные срочные серии (от 3 до 33 лет в пунктах) совместно с кратковременными ежечасными сериями, охватывающими в ряде лет годовой или полугодовой цикл. Получены константы приливов и оценки с.к.о. амплитуд и фаз по МНК от 57 до 85 волн приливов. Рассчитан сезонный и межгодовой ход основных волн приливов. Применялась комплексная методика обработки регулярных срочных и нерегулярных ежечасных наблюдений (Войнов, 2009). При этом срочные серии с браком более 50 % не включались в обработку для получения конечных результатов.

Группа III. В 13 пунктах имелись ежечасные серии длительностью более полугода или кратковременные ежечасные серии в ряде лет с итоговым охватом годового или полугодового цикла. Получены константы приливов по МНК и оценки с.к.о. амплитуд и фаз до 85 волн приливов. Сезонный ход основных волн получен приближенно.

Группа IV. В 32 пунктах наблюдения состояли из ежечасных серий от 15 суток до 2–3 месяцев каждая в зимний и/или летний период. Получены константы приливов по МНК и оценки с.к.о. амплитуд и фаз до 57 волн приливов. Сезонный ход основных волн получен только для отдельных сезонов года (зимнего или летнего) приближенно.

Группа V. Наконец, для 30 пунктов имелись только единичные ежечасные серии с продолжительностью более 15 суток. В основном константы прилива получены по МНК с набором волн, выделяемых обычно из месячных серий (до 34 волн во втором приближении). Иногда применялся способ расчета по передаточным функциям прилива с использованием близлежащего реперного пункта. Сезонный ход определен выборочно по месяцу анализа.

*Материалы 2012 г. и их обработка.* В рамках гидрометеорологических исследований на НИС «Фриггоф Нансен» (Миронов, 2012) и НИС «Иван Петров» с помощью 5 автоматических буйковых станций были произведены измерения уровня в июле–августе 2012 г. Измерения выполнялись по датчику гидростатического давления устройства АДСР с дискретностью 20 минут (ст. 3–5) или 1 час (ст. 1–2), а продолжительность наблюдений составила от 24 до 29 суток (см. табл. 2; рис. 2). Данные были переведены в метрическую систему после учета поправок за атмосферное давление. Гармонический анализ измерений колебаний уровня моря проводился по методу наименьших квадратов (МНК) по методике, разработанной в ААНИИ (Войнов, 1999).

Таблица 2

Сведения о наблюдениях за уровнем моря в 2012 г.

Номер на карте	Глубина, м	Горизонт, м	Период наблюдений
1	138	78	31.07–23.08
2	176	47	31.07–24.08
3	60	59	08.07–04.08
4	100	99	05.08–04.09
5	18	17	05.08–25.08

При выборе списка волн для анализа в целом мы следовали критерию Рэлея. Отступление от этого правила было сделано для волны  $N_2$ , которая, как показали эксперименты, надежно разрешается по этим рядам (критерий Рэлея требует 28 суток). Однако такие волны, как  $Q_1$ ,  $J_1$ ,  $L_2$ ,  $\mu_2$  и другие, не были включены в анализ, так как они разрешаются не надежно по имеющимся данным. Но их амплитуда в этой акватории Карского моря мала и не влияет на разрешение других волн. В целом было выделено 20 волн в суточном, полусуточном, 1/3-суточном, 1/4-суточном и 1/6-суточном классах прилива.

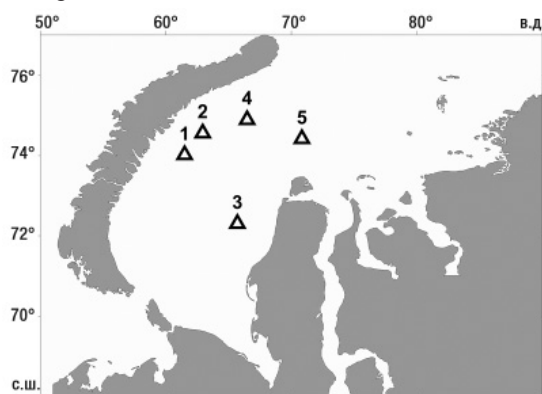


Рис. 2. Расположение пунктов наблюдений за уровнем моря в 2012 г.

В процессе обработки временных рядов были заменены обнаруженные случайные выбросы на интерполяционные оценки (Войнов, 2011). Влияние неперiodических колебаний частично устранялось с помощью суточного фильтра низких частот Гровза. Результаты по волнам  $K_1$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  во втором приближении исправлялись от влияния второстепенных волн соответственно  $\pi_1$ ,  $S_1$ ,  $\psi_1$ ,  $\phi_1$ ,  $P_1$ ;  $K_2$ ,  $T_2$ ,  $R_2$ ;  $v_2$  по теоретическим соотношениям.

### НОВЫЕ КАРТЫ ПРИЛИВОВ ВОЛН $M_2$ И $K_1$ ПО ИМЕЮЩИМСЯ ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА XX ВЕК

*Полусуточная волна  $M_2$ .* Впервые амфидромическая структура прилива  $M_2$  в юго-западной части Карского моря была выявлена в работе (Беренбейм, 1953). Она присутствует во всех без исключения работах по численному моделированию приливов. Имеются только различия в расположении центра амфидромии по данным этих работ, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3

#### Расположение центров амфидромии волны $M_2$ в юго-западной части Карского моря по данным разных авторов

Номер п/п	Широта северная	Долгота восточная	Автор карты, год
1	74° 00′	66° 00′	Беренбейм Д.Я., 1953
2	73° 25′	61° 50′	Диесперова Р.А., 1954
3	73° 15′	63° 30′	Коптева А.В., 1958
4	72° 50′	64° 00′	Май Р.И., 2009*
5	72° 30′	63° 00′	Каган Б.А., 2007 (по карте)
6	73° 18′	62° 21′	Войнов Г.Н., 2013

*Примечание.\** — неопубликованные данные, личное сообщение.

В этой таблице даны сведения из тех работ, где можно было получить приближенно эти оценки, так как практически везде координаты амфидромий не приводились, а снять их с карт нельзя без больших ошибок. Причем, как правило, в численных расчетах использовались сведения о приливах, опубликованные в Таблицах приливов в 1941 и 1958 гг., которые даны в них только для летнего периода (август–сентябрь).

Карты изоамплитуд и изофаз приливов  $M_2$  и  $K_1$  ранее были построены нами преимущественно на основе средних годовых оценок приливов. В случаях, где в пунктах имелись только среднемесячные оценки приливов, они приводились к среднегодовым с помощью демодуляции (Войнов, 1999, 2003). То есть эти карты свободны от сезонной изменчивости приливов. Можно по-разному относиться к результатам эмпирических построений, но основные черты и локальные особенности распространения и формирования приливов они отражают объективно в силу наличия большого количества достоверной информации с достаточным пространственным разрешением. Поэтому эти карты могут быть ориентиром для контроля численных расчетов.

В Карском море прилив  $M_2$  является доминирующим и дает хорошее первое приближение приливного движения в море. По рис. 3а видно, что полусуточный прилив в море формируется под влиянием приливной волны из Северного Ледовитого океана (СЛО), входящей между Землей Франца-Иосифа и Северной Землей, и приливной волной из моря Лаптевых, входящей через проливы Вилькицкого и Шокальского.

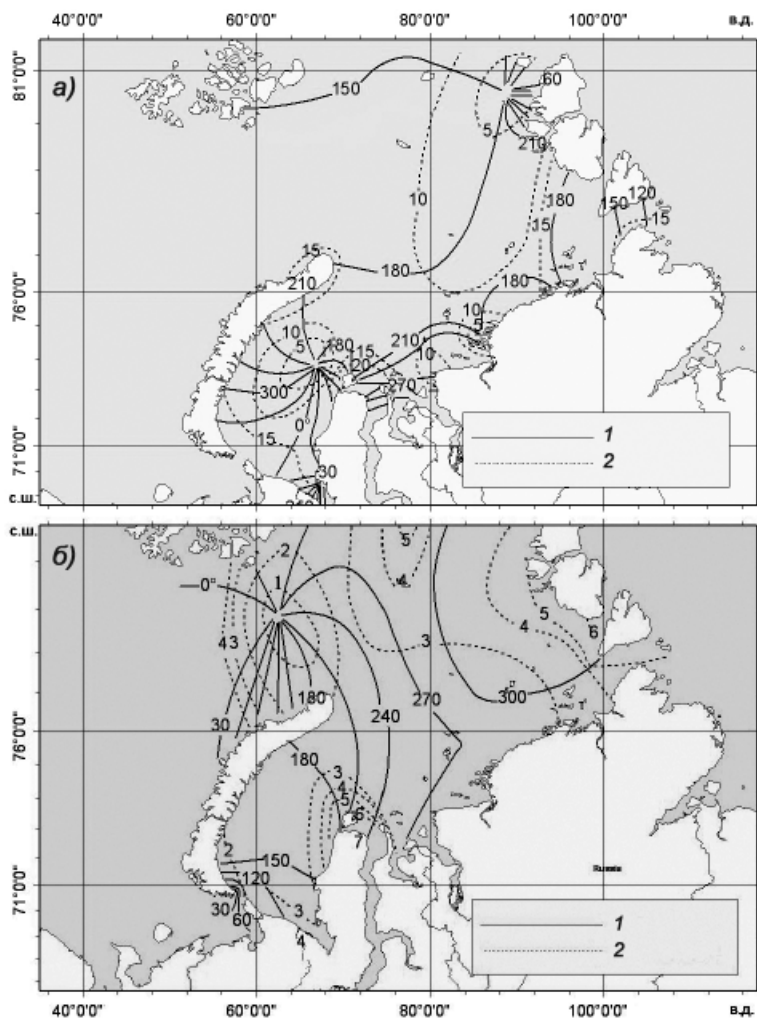


Рис. 3. Изофазы (1) по времени 0 пояса (град.), и изоамплитуды (2) составляющих волн  $M_2$  (а) и  $K_1$  (б).

В проливах Карские Ворота и Югорский Шар приливная волна (полусуточная) идет в Баренцево море.

Распределение прилива  $M_2$  характеризуется наличием двух амфидромических систем (см. рис. 3). Главная амфидромия расположена в юго-западной части моря и определяет структуру прилива и приливного течения в этой и центральной частях моря. Вторая амфидромия образуется вблизи северной оконечности Северной Земли и влияет на распространение волны в северо-восточной части моря. Обе амфидромические системы имеют вращение линий изофаз в направлении против часовой стрелки и соответствуют теоретическому представлению как амфидромия Тейлора.

Вследствие сильного отражения приливной волны от берега образуется узловая зона в Байдарачьей губе, которая трансформируется в неполную вырожденную амфидромия. Области с малыми значениями амплитуд прилива  $M_2$  (около или менее

10 см), но без амфидромических структур формируются в районах о. Шокальского, о. Диксон и шхер Минина.

*Суточный прилив  $K_1$ .* На акватории Карского моря преобладает прогрессивно-стоячий характер колебаний прилива  $K_1$  и волна прилива распространяется с юго-запада на северо-восток (рис. 3б). Непосредственно в Карском море не образуется ни одной амфидромической системы, но формируется узловая зона в проливе Карские Ворота. В этом проливе происходит сильная трансформация приливной волны и наблюдается большая изменчивость величины амплитуды прилива от 10 см у о. Вайгач (губа Долгая) до 1 см вблизи мыса Меншикова на Новой Земле.

На большей части акватории Карского моря величина амплитуды прилива  $K_1$  составляет 2–3 см и увеличивается до 4–6 см вдоль западного побережья Северной Земли, а также в районе о. Белый и достигает 8 см на севере Обской губы. Наблюдается также зона локального усиления в северной части моря на мелководье в районе о-вов Визе и Ушакова.

На северо-востоке Баренцева моря между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа образуется амфидромическая система, в которой увеличение изофаз происходит против часовой стрелки. На большей части акватории Карского моря преобладают полусуточные приливы. Области с неправильными полусуточными приливами расположены в районе амфидромических систем волны  $M_2$ . Небольшие зоны с неправильными полусуточными приливами наблюдаются в южной части пролива Бориса Вилькицкого, вдоль западного побережья о. Октябрьской Революции, а также в проливах Карские Ворота и Югорский Шар. Единственным ограниченным районом с преобладанием приливов суточного характера является пролив Красной Армии (Северная Земля).

Прилив в Карском море имеет выраженную сезонную изменчивость (Войнов, 2003). В сезонном ходе главных полусуточных волн прилива преобладает классический вид вариаций амплитуд и фаз. То есть наибольшие величины амплитуд наблюдаются в августе–сентябре (иногда в июле), и в эти же месяцы, как правило, происходит уменьшение фаз прилива. Размах колебаний амплитуд волны  $M_2$  в среднем составляет 10–15 % средней годовой величины, а фаз — 10–20°. Имеются большие региональные особенности в величине сезонного хода констант приливов. В некоторых районах (архипелаг Норденшельда) наблюдается аномальное проявление сезонного хода, когда максимум амплитуд приходится на май–июнь.

*Полусуточная волна  $M_2$  для августа.* Понятно, что для правильного отражения режима приливов и их сезонного хода следует строить приливные карты для каждого сезона, а в пределе и для каждого месяца года. В первом приближении достаточно получить картину приливов для августа и марта — в среднем для экстремальных периодов проявления сезонной изменчивости полусуточных приливов. Поэтому по нашим новым данным для августа была построена эмпирическая карта изофаз и изоамплитуд для юго-западной части Карского моря.

Местоположение центра амфидромии волны  $M_2$  определялось по методу Штернека–Некрасова — с помощью функций  $H\cos g$  и  $H\sin g$  (Некрасов, 1975). Пересечение нулевых изолиний этих функций дает центр амфидромии. Центр амфидромии волны  $M_2$  для августа расположен в координатах 73° 18' с.ш. и 62° 21' в.д. Гармонические постоянные для расчета приведены в табл. 4. В этой таблице даны оценки средних векторных значений за август для волны  $M_2$ , а для волны  $K_1$  приведены среднегодовые оценки констант. Степень надежности оценок для разных станций не одинаковая и



зависит от принадлежности к группе обработки (см. табл. 1). Самыми надежными следует считать оценки констант для станций в группах I–III. Для станций в группах IV–V они получены с меньшей степенью достоверности.

Таблица 4

**Гармонические постоянные волны  $M_2$  (за август) и волны  $K_1$  (среднегодовые оценки) в Карском море.  $H$  — амплитуда (см),  $g$  — угол положения в 0 поясе (град.)**

Номер п/п	Номер по табл. 1	Название пункта	Волна $M_2$		Волна $K_1$	
			$H$	$g$	$H$	$g$
1	9	Желания	16,82	166,8	1,37	193,7
2	11	Русская гавань	17,50	210,1	2,82	176,0
3	13	Выходной	15,82	293,3	1,84	155,5
4	14	Абросимова	17,28	310,0	0,84	203,4
5	15	Меншикова	20,65	335,5	0,49	352,7
6	16	Болванский Нос	19,44	338,5	3,35	104,9
7	17	Югорский Шар	18,71	350,2	3,84	118,3
8	18	Амдерма	20,42	347,3	3,52	116,3
9	19	Б-2	19,19	344,1	2,79	106,2
10	20	Б-1	15,44	41,7	4,48	132,0
11	23	Няру-Яха	44,44	153,0	7,70	147,2
12	24	Яра-Яха	25,35	188,8	6,24	142,8
13	21	Вылкин Нос	22,12	6,0	4,67	112,2
14	22	Усть-Кара	19,72	50,7	3,96	145,4
15	25	Марре-Сале	13,79	337,0	3,98	159,6
16	26	Харасавэй	15,46	23,7	3,56	150,4
17	27	Моржовая	16,19	25,8	3,48	164,8
18	30	Пайндте	21,80	69,8	5,32	160,1
19	31	АБС-56	17,6	193,3	4,57	202,4
20	32	Белый	24,47	122,6	5,85	183,2
21	33	Омбей-Яха	42,15	167,7	4,51	211,3
22	41	Большой	11,28	192,1	2,28	275,1
23	42	Известий ЦИК	10,05	185,3	2,41	270,0
24	40	Уединения	9,22	173,3	2,54	296,9

На рис. 4 приведены карты изолиний амплитуд ( $a$ ) и изофаз ( $b$ ) волны  $M_2$  для августа. Данные обработки за 2012 г. не использовались для построения этих карт с целью проведения независимой экспертной оценки. Эти значения нанесены на карты для контроля и сравнения. Видно по рис. 4, что значения амплитуд для всех станций 2012 г. имеют отклонения от карт изолиний в пределах 1 см. Практически эта ошибка близка к 95 %-ному доверительному интервалу ошибок амплитуд волны для пяти станций ( $\pm 0,28... \pm 0,77$  см). В отношении фаз видно удовлетворительное качественное согласие, а имеющиеся расхождения на ст. 1 и 5 могут быть обусловлены недостатками анализа кратковременных наблюдений на этих станциях.

В целом новые результаты за 2012 г. вполне удовлетворительно вписываются в карты изолиний, построенные по береговым наблюдениям. Таким образом, реальность амфидромической структуры полностью подтверждается.

Тем же приемом, как и для построения карт прилива  $M_2$  для августа, был определен центр амфидромии по константам прилива на апрель. Центр амфидромии волны

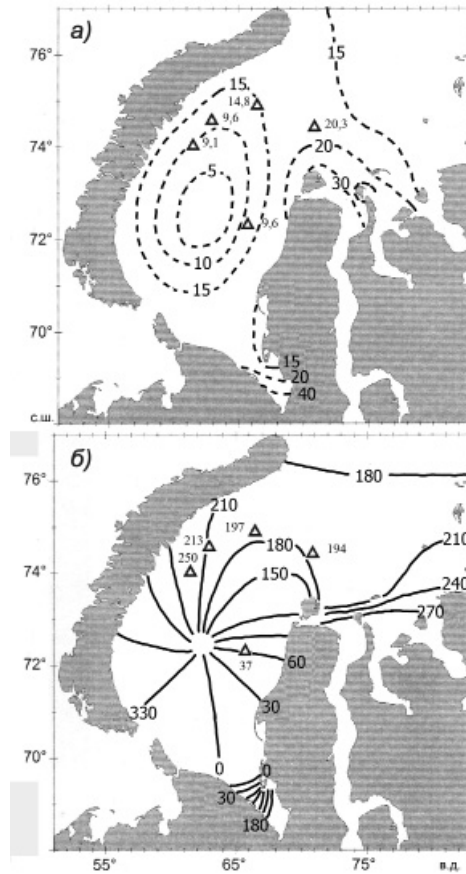


Рис. 4. Распределение прилива волны  $M_2$  в августе: *а* — изоамплитуды, см; *б* — изофазы по времени 0 пояса, град. В пунктах открытого моря даны результаты анализа данных 2012 г.

$M_2$  для апреля расположен в координатах  $72^\circ 56'$  с.ш. и  $62^\circ 30'$  в.д. По сравнению с августом он (центр) сместился на 23 мили к югу. Поэтому мы не можем констатировать каких-либо радикальных отличий картины распространения прилива  $M_2$  в летний и зимний периоды в открытой части моря. Однако в среднем значения фаз у восточного побережья Новой Земли в апреле увеличиваются на  $9\text{--}15^\circ$ , а вдоль западного побережья Ямала уже на  $20\text{--}30^\circ$ . Более подробно проблему сезонной изменчивости приливов здесь мы не будем обсуждать.

*Уточненная карта суточного прилива  $K_1$ .* В работе (Войнов, 2003) было установлено, что суточные приливы имеют иную, чем полусуточные приливы, сезонную изменчивость. В целом сезонный ход констант суточных приливов определяется гораздо менее надежно вследствие небольших величин амплитуд этих волн. Поэтому для открытой части Карского моря строить карты с учетом сезонной изменчивости суточных приливов мы считаем нецелесообразным. Но в мелководных районах, где в зимний период устанавливается припай (например, Байдарацкая губа, Обская губа, Енисейский залив), режим приливных явлений сильно изменяется в годовом цикле, и здесь их надо рассчитывать на каждый месяц года.

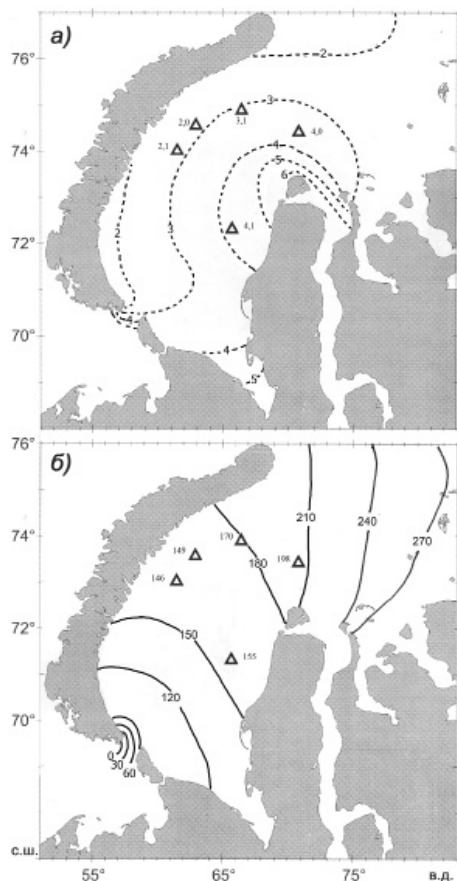


Рис. 5. Распределение прилива волны  $K_1$  (средние за год). *a* — изоамплитуды, см; *б* — изофазы по времени 0 пояса, град. В пунктах открытого моря даны результаты анализа данных 2012 г.

Карты изолиний амплитуд и фаз волны даны на рис. 5. Они построены по среднегодовым оценкам и поэтому не полностью сопоставимы с данными наблюдений за 2012 г., которые относятся к августу. Однако и здесь наблюдается хорошая совместимость с независимо построенными картами. Видно по рис. 5 вполне удовлетворительное согласие для карты амплитуд. Расхождение с картой изолиний не превышает 0,5 см, что не выходит за пределы 95 %-ного доверительного интервала ошибок амплитуд волны для 5 станций ( $\pm 0,58... \pm 1,04$  см). Для карты изофаз отклонения на ст. 1 и 2 также не превышают 95 % доверительные интервалы ошибок фаз для этих станций ( $\pm 32$  и  $\pm 41$  градуса).

В целом подтверждается увеличение амплитуды к западному побережью п-ва Ямал и о. Белый, а также и увеличение фаз с юго-запада моря на северо-восток. В проливе Карские Ворота в районе мыса Меншиков наблюдается узловая зона, но формирования амфидромии не происходит.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдения за уровнем в открытом море в 2012 г. вполне удовлетворительно подтверждают амфидромическую структуру волны  $M_2$  в юго-западной части Кар-

ского моря как по распределению амплитуд, так и по распределению фаз (углов положений). Структура прилива волны  $M_2$  в зимний период (на апрель), полученная по материалам наблюдений за XX в., не показывает радикальных отличий от летнего периода. Не происходит вырождения амфидромии, что получается при расчете на моделях в условиях покрытия всего моря припайным льдом (Kowalik, 1981; Kowalik, Proshutinsky, 1994; Padman, Erofeeva, 2004; Каган и др. 2010). Однако это не означает, что сезонную изменчивость прилива в Карском море можно не учитывать. Ошибки при расчетах приливов в практических целях, возникающие от пренебрежения сезонным ходом прилива, будут существенно превосходить таковые от численной реализации моделей приливов.

Распределение амплитуд и фаз суточного прилива  $K_1$  в юго-западной части Карского моря находится в согласии с наблюдениями открытого моря 2012 г. Известно, что суточные приливы в Карском море формируются как собственные, а их структура чувствительна к локальному изменению донной топографии (Kowalik, Proshutinsky, 1994). Этим, а также недостатком в точности ранее опубликованных данных по константам приливов объясняется расхождение в картине распространения прилива в результатах численных расчетов (Schwidorski, 1981; Gjevik, Straume, 1989; Kowalik, 1981; Kowalik, Proshutinsky, 1994; Padman, Erofeeva, 2004; Каган и др. 2010).

В отличие от полусуточных приливов суточные приливы в открытом море, с нашей точки зрения, не имеют рационально объясняемого сезонного хода. Периодичность (сезонная или межгодовая) в ходе амплитуд и фаз второстепенной волны прилива может возникать, как известно, просто от нестроого разделения основной волны от второстепенной в кратковременных анализах приливов.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беренбейм Д.Я.* Приливные явления в юго-западной части Карского моря // Тр. Арктич. ин-та. 1953. Т. 59. С. 149–171.
- Войнов Г.Н.* Приливные явления в Карском море. СПб.: Изд-во Русского географического общества, 1999, 109 с.
- Войнов Г.Н.* Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне арктических морей (на примере Карского и северо-восточной части Баренцева морей): Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. СПб.: РГМУ, 2003. 45 с.
- Войнов Г.Н.* О новой интерпретации сезонной изменчивости приливов арктических морей России // Метеорология и гидрология. 2003. № 9. С. 59–70.
- Войнов Г.Н.* О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. 2004. Т. 44. № 2. С. 172–178.
- Войнов Г.Н.* Гармонический анализ морских приливов по срочным наблюдениям за уровнем моря // Метеорология и гидрология. 2009. № 7. С. 79–91.
- Войнов Г.Н.* Результаты оценивания характеристик приливов Карского моря по данным экспедиции на гидрографических судах «Таймыр» и «Вайгач» в 1914–1915 гг. // Известия РГО. 2010. Т. 142. Вып. 6. С. 69–75.
- Войнов Г.Н.* Методика контроля и редакции многолетних временных рядов уровня моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4. С. 51–61.

- Войнов Г.Н.* О качестве многолетних наблюдений за уровнем на стационарной сети в прибрежной зоне морей северо-запада и арктических морей России // Тр. ГОИН. 2013. Т. 214. С. 223–236.
- Диесперова Р.А.* Приливы Северного Ледовитого океана // Тр. ГОИН. 1954. Вып. 19. 74 с.
- Коптева А.В.* Приливо-отливные течения и дрейф льдов Карского моря // Труды ААНИИ. 1958. Т. 89. 220 с.
- Каган Б.А., Тимофеев А.А., Софьина Е.В.* Сезонная изменчивость поверхностного и внутреннего  $M_2$  приливов в Северном Ледовитом океане // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2010. Т. 46. № 5. С. 703–714.
- Материалы к изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1935. Т. XXXVI. Вып. I. 51 с.
- Материалы к изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1936. Т. LII. Вып. II. 81 с.
- Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1937. Т. 81. Вып. III. 96 с.
- Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1938. Т. 119. Вып. IV. 83 с.
- Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1940. Т. 153. Вып. V–VI. 199 с.
- Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1952. Т. 42. Вып. VII. Карское море. 536 с.
- Мионов Е.У.* Гидрометеорологические исследования по программе «КАРА-ЛЕТО 2012» // Росс. поляр. иссл. 2012. № 3 (9). С. 13–15.
- Некрасов А.В.* Приливные волны в окраинных морях. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 247 с.
- Gjevik B., Straume T.* Model simulations of the  $M_2$  and  $K_1$  tide in the Nordic seas and the Arctic ocean // Tellus. 1989. Vol. 41. № 1. P. 73–96.
- Padman L., Erofeeva S.* A barotropic inverse tidal model for the Arctic ocean // Geophys. Res. Lett. 2004. Vol. 31. № 2. DOI: 10.1029/2003.GL019003.
- Kowalik Z.* A note on the co-oscillating  $M_2$ -tide in the Arctic Ocean // Deutsche hydrogr. Zeitschrift. 1979. Vol. 32. № 3. P. 100–112.
- Kowalik Z.* A study of the  $M_2$  tide in the ice-covered Arctic ocean // Modeling, Identification and Control. 1981. Vol. 2. № 4. P. 201–223.
- Kowalik Z., Proshutinsky A.Yu.* The Arctic ocean tides. In: The Polar oceans. Ed. O.M. Johannessen et al. American Geophysical Union, The Nansen cent. Geophysical monograph. Washington. 1994. Vol. 85. P. 137–158.
- Schwiderski E.W.* Global Ocean tides. Part IV: The diurnal Luni-Solar declination tide ( $K_1$ ). Naval surface weapon center. Dahlgren, Va. 1981. 87 p.