

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации  
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Н.ЗУБОВА» Санкт-  
Петербургское отделение  
(СПО ФГБУ «ГОИН»)

УДК 551.468  
Рег. № НИОКР АААА-А20-120042190045-6  
от 21/04/2020  
Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФГБУ «ГОИН»  
\_\_\_\_\_ И.В. Ивачёв  
«    » декабря\_2023 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Развитие моделей, методов и технологий мониторинга гидрохимического состояния и  
загрязнения морей России и оценки гидрологического и гидрохимического состояния морей  
и морских устьев рек

по теме  
РАЗРАБОТКА НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
ДЛЯ ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИЛИВОВ НА АКВАТОРИЯХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ  
(Шифр 4.6.14 ЦНТП Росгидромета на 2020-2024 гг.)  
(промежуточный, этап 4)

Книга 14

Руководитель НИР,  
Директор ФГБУ «ГОИН»

\_\_\_\_\_ И.В. Ивачёв

Санкт-Петербург 2023

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Отв. исполнитель и.о. директора	_____	С.Ю. Бородин (редакция)
	Подпись, дата	
Исполнители темы:		
исполнитель, д.г.н.	_____	Е.А. Захарчук (введение, заключение)
	подпись, дата	
исполнитель, зав. лаб., к.г.н.	_____	Н.А. Тихонова (введение, глава 2, заключение)
	подпись, дата	
исполнитель, зав. лаб., к.г.н.	_____	А.В. Рубчеля (заключение)
	подпись, дата	
исполнитель, зав. лаб., д.г.н.	_____	Г.Н. Войнов (введение, глава 1, глава2, глава 3, глава 4, глава5, заключение)
	подпись, дата	
исполнитель, зав. лаб., к.г.н.	_____	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">О.П. Савчук</span> (введение)
	подпись, дата	
исполнитель, н.с.	_____	В.Н. Сухачев (введение, глава2, глава 3, редакция)
	подпись, дата	
исполнитель, н.с.	_____	М.В. Виноградов (введение, глава 1)
	подпись, дата	
исполнитель, н.с.	_____	К.Г. Смирнов (введение, глава1, заключение)
	подпись, дата	
исполнитель, н.с.	_____	В.С. Травкин (введение, глава1)
	подпись, дата	

## РЕФЕРАТ

Отчет 16 стр., 3 табл., 1 рис., 24 источников.

Рассмотрены особенности применения модифицированной версии расширенного гармонического анализа морских приливов по МНК по версии СПО ГОИН, учитывающей сезонную изменчивость основных и мелководных волн приливов в годовом цикле. На примере анализа и предвычисления приливов в Баренцевом море показана его более высокая точность описания кривой прилива. Отмечена также эффективность способа калибровки приливов при контроле, оценке качества и коррекции наблюдений на полярных станциях, приведении длительных рядов в базах данных к однородным массивам. Приведены результаты оценки сезонной изменчивости волн приливов  $M_2$  и  $K_1$ .

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

**ПРИЛИВЫ. ГАРМОНИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ. БАРЕНЦЕВО МОРЕ. БАЗА ДАННЫХ. ОДНОРОДНЫЙ МАССИВ.**

**Объектом исследования являются моря Российской Арктики, а конкретно в данном году Баренцево море.**

**Предмет исследования** приливы Баренцева моря. Гармонический анализ ежечасных наблюдений за уровнем на полярных станциях за весь период наблюдений (по возможности).

**Цель данной научно-исследовательской работы** состоит в создании принципиально новых методов предвычисления приливов с использованием полного разложения приливного потенциала по Картрайту [1] и современного описания сложных и мелководных составляющих волн морских приливов [2,3]. Разработка индивидуальных (для конкретного пункта) программ предвычисления приливов по нетрадиционной форме расчета приливов. В перспективе предлагаемая подобная форма предвычисления приливов должна дополнить (или заменить для основных портов) традиционные Таблицы Приливов.

**Метод исследования:** гармонический анализ приливов с помощью метода наименьших квадратов по новой версии ААНИИ; расширенный гармонический анализ приливов по новой версии СПО ГОИН; не стандартный гармонический анализ приливов для ежечасных рядов длительностью в нодальный цикл (19 лет) с выделением структуры потенциала.

**Область внедрения** может состоять из внедрения гармонических постоянных в оперативную практику для обеспечения безопасности плавания судов. Остаточные ряды (наблюдения минус предвычисления) необходимы для изучения неперiodических колебаний уровня моря.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ. .7	
2. МЕТОД ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНИХ ЕЖЕЧАСНЫХ И СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ.....	8
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНОЙ ПОЛУСУТОЧНОЙ ВОЛНЫ M2 В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.....	9
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНОЙ СУТОЧНОЙ ВОЛНЫ K1 В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.....	11
5. УТОЧНЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛУСУТОЧНЫХ И СУТОЧНЫХ ВОЛН ПРИЛИВА. ....	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	13
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	15

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в программах гармонического анализа приливов [4–11] и её версии в МАТЛАБе [9], а также в монографии [8] предложено включать в анализ прилива до 149 гармоник в спектре классов от долгопериодного до 1/12–суточного. Однако в целом в этих 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 1994 г. в ААНИИ был разработан новый методический подход к обработке и анализу морских приливов [12]. В дальнейшем были опубликованы версии метода для анализа нерегулярных наблюдений, анализа аномальных мелководных приливов, анализа срочных наблюдений [2,3]. 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. Однако во многих случаях использованной ранее методологии было недостаточно для полного восстановления сомнительных наблюдений. Поэтому был разработан способ калибровки приливов [13].

Как известно, политические и экономические процессы, происшедшие в нашей стране в 90-е годы XX века, негативно сказались на состоянии наблюдений на сети полярных станций. Ушли специалисты, морально устарели приборы или пришли в негодность. Следствием этого стало падение качества наблюдений за уровнем моря.

Выявился дополнительный симптом низкой квалификации наблюдателей: пренебрежение учета истинного времени измерений при развязке мареограмм. Поправки времени вообще перестали вводить при обработке лент мареографа. Это выявляется по результатам скользящего гармонического анализа по месяцам в виде аномального ухода фазы волны  $M_2$ . Эти результаты показывают, что при производстве срочных измерений их действительное время может отличаться от нормы на 30–40 мин до или после целого часа, а в ряде случаев и на большую величину. Также нередко необъяснимо резкие сдвиги нуля поста, что свидетельствует об ошибках нивелировок или их отсутствии [14].

Качество наблюдений заметно упало в 70-е гг, с которого в наблюдениях обнаружилось резкое увеличение систематической ошибки времени измерений, что однозначно

свидетельствовало о нарушении обработки мареограмм. Поэтому без трансформации временных рядов с помощью способа калибровки [13] ими нельзя пользоваться в научных целях и при инженерных изысканиях.

## 1. МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ.

В качестве основы для обработки и анализа использовалась база ЕСИМО (данные ВНИИГМИ-МЦД) за период с 1977 г., а до 1977 г. база СПО ГОИН и частично ААНИИ. База ЕСИМО имела пропуски отдельных лет или месяцев и была дополнена за годы до 1977 г. по материалам, хранящимся в фондах ААНИИ и ГОИН. В таблице 1 представлены сведения о временных рядах использованных в настоящей работе наблюдений за уровнем моря. В Баренцевом море были привлечены к обработке и анализу наблюдения на 17 станциях. На подавляющем большинстве станций ряды наблюдений были не менее 19 лет. Только на 2 станциях по условиям работы на этих станциях временные ряды составили 7 лет (Индига) и 4 (бухта Тихая) года.

Таблица 1. Сведения об исходных временных рядах наблюдений за уровнем моря

Пункт наблюдений	Координаты		Период анализа, годы	Число лет анализа
	Широта северная	Долгота Восточная		
Баренцево море				
Нью-Алесунд	78° 56'	11° 57'	2000-2018	19
Баренцбург	78° 04'	14° 15'	1977-1997	21
Лиинахамари	69° 38'	31° 22'	1977-1996	20
Мурманск	68° 58'	33° 04'	1977-1997	21
Кислогубская ПЭС	69° 24'	33° 06'	1977-1991	15
Полярное	69° 12'	33° 28'	1977-1996	20
Териберка	69° 12'	35° 06'	1978-1996	19
Иоканьга	68° 06'	39° 30'	1977-1993	17
Индига	67° 42'	48° 46'	1977-1989*	7
Бугрино	68° 48'	49° 20'	1977-1996**	20
Малые Кармакулы	72° 22'	52° 41'	1977-1996**	20
Бухта Тихая	80° 21'	52° 48'	1954-1957	4
Мыс Константиновский	68° 36'	55° 30'	1977-1990*	11
О-в Варандей	68° 48'	57° 58'	1978-1994*	11
О-в Хейса (ГМО им. Кренкеля)	80° 36'	58° 00'	1972-1991	20
Мыс Белый Нос	69° 36'	60° 13'	1962-1980**	19
Русская Гавань	76° 12'	62° 35'	1973-1991	19

Примечание \*. – в ежечасных сериях наблюдений имеются пропуски; \*\* - привлечены срочные измерения уровня.

## **2. МЕТОД ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНИХ ЕЖЕЧАСНЫХ И СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ МОРЯ.**

В 90-е годы в ААНИИ был разработан новый методический подход к обработке и анализу морских приливов. В дальнейшем были опубликованы версии метода для анализа нерегулярных наблюдений, анализа аномальных мелководных приливов, анализа срочных наблюдений [3,15–18]. 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 наблюдением описании сезонной изменчивости приливных колебаний уровня моря для районов с сильно выраженным или аномальным ходом констант волн в годовом цикле. Однако во многих случаях использованной ранее методологии было недостаточно для полного восстановления сомнительных наблюдений. Поэтому был разработан способ калибровки приливов [13].

Здесь приходится констатировать факт низкого качества наблюдений почти на всех полярных станциях как в советское время, так и в настоящее [14,19,20]. В особенности плохие измерения получены при срочных наблюдениях за уровнем моря. Производство таких наблюдений в 21 веке является анахронизмом. Выполнение научных исследований на исходном материале в подобных случаях приводит к нереальным оценкам прилива [19,20]. Поэтому в необходимых случаях отдельные годовые серии трансформировались с помощью способа калибровки.



### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНОЙ ПОЛУСУТОЧНОЙ ВОЛНЫ M<sub>2</sub> В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.

В 2003 г. в работе Войнова Г.Н. [21] была предложена впервые в мировой практике классификация сезонной изменчивости приливов арктических морей - Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Были привлечены материалы, как правило, ежечасных наблюдений за уровнем моря в 19 пунктах за период в основном 1977-1990 гг.

В последнее десятилетие в рамках тем ЦНТП было выполнено более полное исследование сезонной изменчивости приливов Баренцева моря на более полном периоде наблюдений за уровнем моря.

В целом размах сезонной изменчивости прилива в Баренцевом море увеличивается с севера на юг и наиболее существенен на юго-востоке моря.

Как видно из данных рис. 1 на станциях Мурманского прибрежного района (Лиинахамари, Мурманск, Кислогубская ГЭС, Полярное, Териберка, Иоканьга) наблюдается аномальный 3 тип сезонного хода с максимумом амплитуды в августе с увеличением от средней (нормы) на 3-4% и минимумом фазы в марте с уменьшением всего на 1-2 градуса от средней годовой величины.

На севере Баренцева моря на о-ве Шпицберген (Нью-Алесунд, Баренцбург) размах сезонного хода выражен слабо, и он протекает по аномальному 2 типу. Выделяется аномальный сезонный ход прилива на ст. Русская Гавань (север Новой Земли), где максимум амплитуды виден в апреле и достигает 3%, а минимум фазы наблюдается в сентябре. Ранее предпринимались попытки определения здесь сезонного хода волны M<sub>2</sub> (Каганский, 1965), но вследствие крайне малого ряда устойчивые оценки не были получены. В бухте Тихой и на о-ве Хейса сезонный ход близок к классическому типу.

В южной и юго-восточной части Баренцева моря проявляются наибольшие различия типа кривых сезонного хода. Наиболее резко выраженный аномальный сезонный ход волны M<sub>2</sub> отмечается в Печорском заливе (м. Константиновский) и на юге Новой Земли (м. Белый Нос). Здесь максимум амплитуды до 31% от нормы происходит в июле (Печорский залив), а минимум фазы до 11 град виден также в июле.

На юге моря на ст. Варандэй наблюдается промежуточный между 3 и 1 типами сезонный ход соответственно амплитуды и фазы. Классический 1 тип сезонного хода отмечается только на ст. Бугрино и Индига. Здесь увеличение амплитуды волны M<sub>2</sub> в Бугрино в сентябре достигает 10% от нормы (средней годовой величины), а уменьшение фазы составляет в летний период не более 4 град.

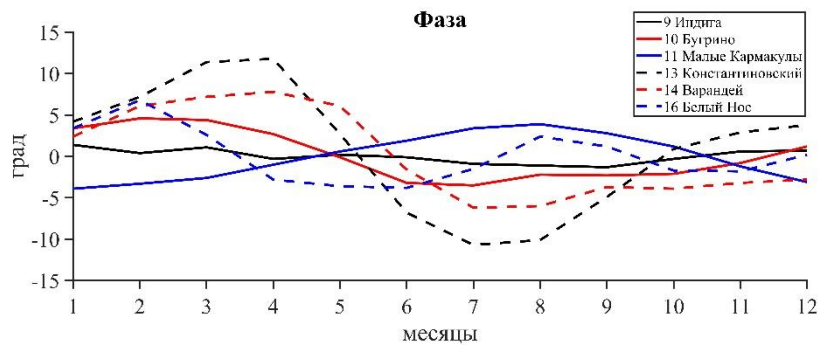
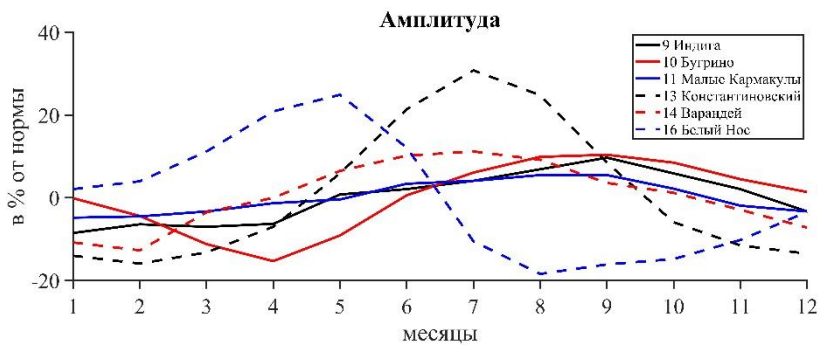
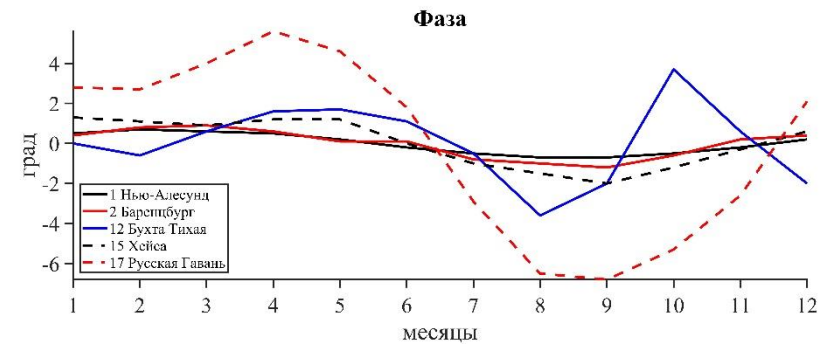
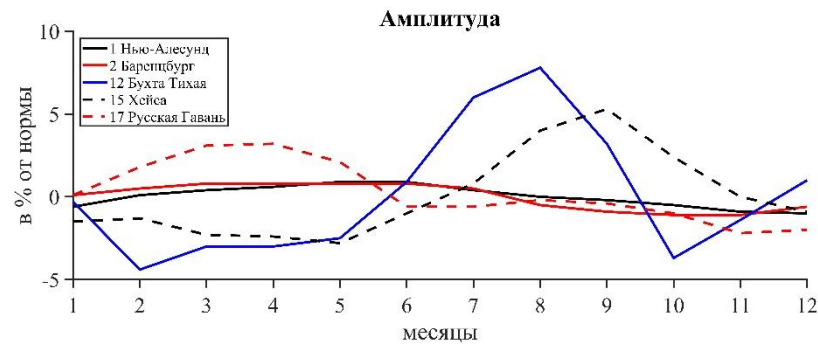
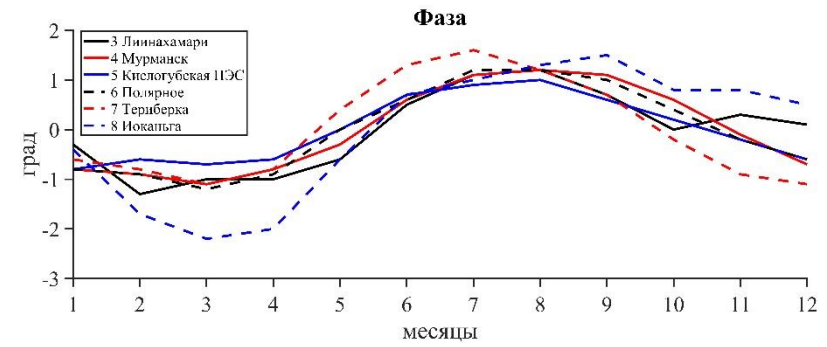
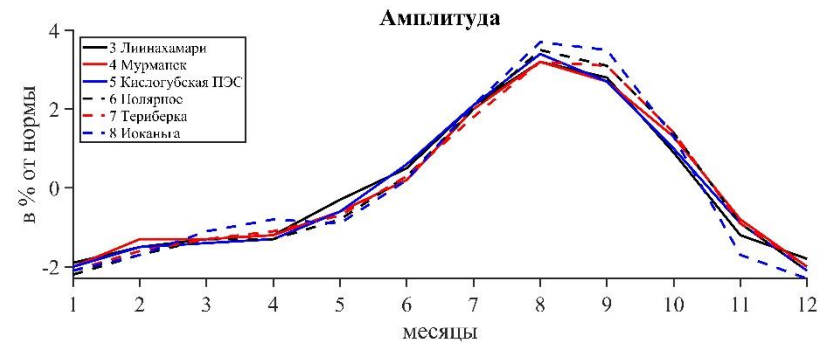


Рисунок 1. Сезонный ход волны M2 в Баренцевом море

#### **4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНОК СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОСНОВНОЙ СУТОЧНОЙ ВОЛНЫ $K_1$ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ.**

В сезонном ходе суточных волн  $K_1$  и  $O_1$  преобладает полугодовая периодичность (см. табл. 3). Однако может наблюдаться сочетание годовой изменчивости в амплитуде и полугодовой или годовой в фазе. На ряде пунктов прослеживается период в 3-4 месяца. При этом во всех случаях моменты наступления экстремальных значений амплитуд и фаз не совпадают во времени. Значения максимальных отклонений амплитуд от нормы лежат в основном в диапазоне 10-20%, а фаз – 6-16 град.

Наиболее согласованный между станциями вид изменчивости наблюдается на станциях Мурманского берега. Здесь присутствует полугодовой период в ходе амплитуд (с первыми максимумами в марте или феврале и вторыми максимумами в сентябре). В ходе фаз первый максимум или не выражен или виден в феврале, а второй максимум отмечается в августе. То-есть, существует сдвиг во времени между максимумами амплитуд и фаз.

В других районах Баренцева моря наблюдается различный вид хода кривых амплитуд и фаз волны  $K_1$ . Причины этого феномена будут осуждаться ниже.

В кривых сезонного хода амплитуд и фаз суточной волны  $K_1$  плохо выражен годовой ход, или вследствие присутствия более коротких периодов вид кривых становится неопределенным. Отметим также, что одинаковый тип сезонного хода констант волн  $K_1$  и  $O_1$  наблюдается только на 6 пунктах (32%). Как следует из оценки сезонной изменчивости волны  $M_2$  в Баренцевом море, нет соответствия вида и характера хода кривых суточной волны  $K_1$  с полусуточным приливом. Предварительный анализ данных не выявляет какой-либо зависимости сезонной изменчивости суточных волн от влияния ледяного покрова.

Позволяет ли такой результат говорить о разной физической природе формирования сезонного хода полусуточных и суточных волн прилива. Однозначно и полностью ответить на этот вопрос в настоящее время затруднительно.

## 5. УТОЧНЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛУСУТОЧНЫХ И СУТОЧНЫХ ВОЛН ПРИЛИВА.

В таблице 2 и 3 приведена уточненная параметризация всего разнообразия сезонного хода основных полусуточных  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$  и суточных волн  $K_1$  и  $O_1$ . Видно из таблиц, что в полусуточных волнах преобладает классический вид сезонного хода с максимумом амплитуды и минимумом фазы в июле-сентябре. Однако в 29% случаев у волны  $M_2$  встречается аномальный вид сезонного хода волны.

Таблица 2. Распределение типов сезонного хода волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  и  $O_1$ , по новым сведениям, в Баренцевом море (17 станций) и Карском море (18 станций). В скобках указано число случаев в % общего числа пунктов.

Тип сезонного хода	Волна $M_2$ число случаев	Волна $S_2$ число случаев	Волна $N_2$ число случаев
1.	17 (49)	17 (59)	14 (40)
2.	10 (29)	1 (3)	8 (23)
3.	8 (23)	11 (38)	7 (20)
4.	0	0	3 (8)
5.	0	0	3 (8)

Таблица 3. Распределение типов сезонного хода волн  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  и  $O_1$ , по новым сведениям, в Баренцевом море (17 станций) и Карском море (18 станций). В скобках указано число случаев в % общего числа пунктов.

Тип сезонного хода	Волна $K_1$ Число случаев	Волна $O_1$ Число случаев
1.	18 (51)	15 (43)
2.	7 (20)	6 (17)
3.	10 (29)	14 (40)
4.	0	0

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С формальной точки зрения сезонный ход основных волн прилива может быть адекватно наблюдениям описан с помощью сложных нелинейных волн, выделяемых из годовых и многолетних наблюдений. Эти сложные волны полностью описывают любую форму (тип) сезонной изменчивости прилива и составляют главное отличие новой версии гармонического анализа по МНК (версия ААНИИ-ГОИН) от других версий, используемых в разных странах.

Начиная с середины последнего десятилетия проблема сезонной изменчивости приливов в Мировом океане выходит на первое место по количеству публикаций (в основном за рубежом). Из этих работ следует, что в Северном ледовитом океане на шельфе арктических морей наблюдается наиболее существенная по величине сезонная изменчивость приливов в годовом цикле, которая не связана с астрономическими причинами.

Ранее автор установил, что влияние дрейфующего ледяного покрова не оказывает существенного влияния на распространение приливной. Этот вывод был основан на всех имеющихся материалах наблюдений за течениями на АБС в арктических морях по 1979 г. и на материалах вековых наблюдений за приливами на полярных станциях в Баренцевом и Карском морях по 90-е годы.

В начале XXI века появились работы, где сезонные вариации волны прилива M2 объяснялись иными факторами, чем ледяной покров. В Северном море с помощью численных экспериментов на модели Флэзера [22] с усвоением не только береговых наблюдений, но и альтиметрических измерений миссии Топекс-Посейдон в открытом море на период 1992–1996 гг. была установлена зависимость сезонного хода волны M2 от метеорологических сил (рассчитываемых по полям реанализа). В этой работе [23] прилив генерировался на открытой границе в виде линейной суммы 26 волн прилива (но без сложных волн, модулирующих волну M2). Сезонная вариация волны M2 была идентифицирована как влияние мелководья со значительным воздействием метеорологических сил. Было установлено, что 60% сезонного хода на 12-ти береговых постах на юго-востоке Северного моря зависело от влияния метеорологических сил и только 40% изменений объяснялось нелинейным взаимодействием волн прилива в модели.

Совершенно иной, но весьма показательный подход к объяснению сезонной изменчивости волны M2 был продемонстрирован в работе [24]. На двумерной модели показано, что сезонная стратификация водных масс в Желтом и Восточно-Китайском морях отвечает за сезонную изменчивость волны M2. Известно, что водные массы в этих морях сильно стратифицированы в летний период и становятся однородными или хорошо

перемешанными в зимний период. Поэтому основные черты бароклиных приливных эффектов были изучены с помощью двумерной модели с изменяющейся стратификацией, определяемой в свою очередь толщиной верхнего слоя воды и разностью плотности между двумя слоями. Показано в работе, что бароклиные эффекты, возникающие из-за крупномасштабных горизонтальных градиентов уклона на разделе двух слоёв различной плотности связаны с распространением поверхностного баротропного прилива. В результате 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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cartwright D.E., Tayler R.J. New Computations of the Tide-generating Potential // *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. 1971. Vol. 23, № 1.
2. 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. Vol. 4. P. 55–68.
3. Войнов Г.Н. Гармонический анализ морских приливов с описанием сезонной изменчивости основных суточных, полусуточных и мелководных волн // *Труды Государственного океанографического института*. 2011. Vol. 213. P. 169–178.
4. Bell C., Vassie J.M., Woodworth P.L. TASK-tidal analysis software Kit-200. Proudman Oceanogr. Lab. PSMSL: 1999 ver. Proudman Oceanogr. Lab. PSMSL, 1996. P. 19.
5. Doodson A.T. The Analysis of Tidal Observations // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*. The Royal Society, 1928. Vol. 227. P. 223–279.
6. Foreman M.G. Manual for tidal heights analysis and prediction // *Tech. Rep. Pac. Mar. Sci.* 1981.
7. Godin G. The analysis of tides. Liverpool: Liverpool University press, 1972. 264 p.
8. Parker B.B. Tidal analysis and prediction. NOAA Special publication NOS CO-OPS 3. U.S. Department of Commerce, 2007. 378 p.
9. Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB and T\_Tide // *Comput Geosci*. 2002. Vol. 28.
10. Rossiter J.R., Lennon G.W. An Intensive Analysis of Shallow Water Tides // *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. 1968. Vol. 16, № 3.
11. Zetler B.D., Cummings R.A. A harmonic method for predicting shallow-water tides // *J Mar Res*. 1967. Vol. 25, № 1. P. 103–114.
12. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море // *Изд-во Русского географического общества*. 1999. Vol. 109. P. 103–114.
13. Войнов Г.Н. Способ приведения ежечасных наблюдений за уровнем моря к однородным рядам с помощью калибровки приливов // *проблемы Арктики и Антарктики*. 2015. Vol. 2, № 104. P. 68–80.
14. Войнов Г.Н. О качестве многолетних наблюдений за уровнем на стационарной сети в прибрежной зоне морей северо-запада и арктических морей России // *Труды Государственного океанографического института*. 2013. Vol. 2014. P. 223–236.
15. Voinov G.N. Harmonic analysis of tides from irregular multilayer sea level and current observations // *Oceanology (Wash D C)*. 2004. Vol. 44, № 2.

16. Voinov G.N. Harmonic tidal analysis for the nodal 18.61-year period with Amderma settlement taken as an example // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2006. № 1.
17. Voinov G.N. Seasonal variability of the harmonic constants of the quarter-diurnal and sixth-diurnal constituents in the Barents Sea and White Sea // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2007. Vol. 32, № 4.
18. Voinov G.N. Harmonic analysis of tides from standard observations of the sea level // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2009. Vol. 34, № 7.
19. Войнов Г.Н. Практика гармонического анализа приливов многолетних временных рядов (на примере полярной станции о. Голомянный, Карское море) // *проблемы Арктики и Антарктики*. 2016. Vol. 2, № 108. P. 16–33.
20. Войнов Г.Н., Наумов А.К. Приливы в юго-западной части Карского моря. Результаты применения способа калибровки приливов // *проблемы Арктики и Антарктики*. 2017. Vol. 4, № 114. P. 98–115.
21. Voinov G.N. New interpretation of seasonal variability of tides of the russian Arctic seas // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2003. № 9.
22. Flather R.A., Davies A.M. Note on a preliminary scheme for storm surge prediction using numerical models // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1976. Vol. 102, № 431.
23. Huess V., Andersen O.B. Seasonal variation in the main tidal constituent from Altimetry // *Geophys Res Lett*. 2001. Vol. 28, № 4.
24. Kang S.K. et al. Two-layer tidal modeling of the 25 Yellow and East China Seas with application to seasonal variability of the M2 tide // *J Geophys Res Oceans*. 2002. Vol. 107.