

ОКЕАНОЛОГИЯ
OCEANOLOGY

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-6-19>
УДК 551.466.713



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

ПРИЛИВЫ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ
В РАЙОНЕ О. БЕЛЫЙ

Г.Н. ВОЙНОВ^{1,2*}, О.А. МОРОЗОВА², А.В. НЕСТЕРОВ³, К.А. КОРНИШИН³, Я.О. ЕФИМОВ⁴

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

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

³ ПАО «НК «Роснефть»», г. Москва, Россия

⁴ ООО «Арктический научный центр», г. Москва, Россия

*voinovgn@mail.ru

Резюме

В настоящей работе впервые было проведено исследование приливных колебаний уровня в южной части Карского моря на акватории к северу от о. Белый по данным длительных наблюдений на притоленной автономной буйковой станции (ПАБС) за период 2014–2016 гг. Гармонический анализ приливов проводился с помощью метода наименьших квадратов по версии ААНИИ. На основании результатов скользящего гармонического анализа по месячным и годовым сериям было установлено, что наблюдения на ПАБС следует разделить на два независимых ряда. При этом была подтверждена однородность колебаний уровня второго ряда. Рассмотрены основные характеристики прилива двух рядов уровня и установлен вид и характер сезонной изменчивости основных волн прилива. Были получены оценки гармонических постоянных и основные характеристики прилива по наблюдениям за уровнем моря в районе о. Белый в Карском море. Определены наиболее вероятные координаты ПАБС по эмпирическим приливным картам волны M_2 , после ее смещения с первоначального места установки. Новые значения гармонических постоянных восьми главных волн прилива позволили оценить эмпирические котидальные карты этих волн, полученные ранее.

Ключевые слова: гармонические постоянные, Карское море, основные характеристики прилива, приливные колебания уровня, сезонный ход приливной волны M_2 .

Для цитирования: Войнов Г.Н., Морозова О.А., Нестеров А.В., Корнишин К.А., Ефимов Я.О. Приливы в южной части Карского моря в районе о. Белый // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. Вып. 1. С. 6–19. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-6-19>.

Поступила 30.10.2019

После переработки 20.01.2020

Принята 19.02.2020

TIDES IN THE SOUTHERN AREA OF THE KARA SEA IN THE VICINITY OF THE BELYI ISLAND

GENNADY N. VOINOV^{1,2*}, OLGA A. MOROZOVA², ALEXANDER V. NESTEROV²,
KONSTANTIN A. KORNISHIN³, YAROSLAV O. YEFIMOV⁴

¹ Zubov State Oceanographic Institute, St. Petersburg, Russia

² State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

³ PAO (Public Joint Stock Company) "Rosneft", Moscow, Russia

⁴ OOO (Limited Liability Company) "Arctic Research Center", Moscow, Russia

*voinovgn@mail.ru

Summary

A number of promising hydrocarbon deposits are known in the south-western part of the Kara Sea. A safe development of these deposits requires hydrometeorological support, including sea-level observations. The paper deals with sea-level data of autonomous anchored buoy station. The period of observation is about 2 years, and the observation dataset is divided into 2 periods due to the displacement of the buoy station. The coordinates of the first position of the buoy station are known but they had been changed after the displacement (possibly due to the action of the ice ridge keels).

Data from two time series of observations are studied by harmonic analysis, using the method of least squares by AARI version. According to the average monthly and mean annual values of the main tides it is found that the data includes two independent series. It is determined that the second series may be considered uniform. In order to locate of the anchored buoy station we calculated new coordinates using the empirical tidal charts of the M_2 wave.

As a result, the harmonic constants of the eight main tidal waves for the Belyi Island area are presented for the first time. The new data confirms the amphidromic system in tides O_1 and Q_1 , between the Zhelaniya Cape and the Belyi Island. According to the new data the maximum seasonal variation in the range of M_2 tide was observed in June, and the minimum of the phase angle was observed in July. This unusual seasonal variation of the M_2 tide corresponds to previous observations data from the Uedinenia Island.

Keywords: coastal tides, harmonic constituents, main characteristics of the tide, seasonal variation of the M_2 tide, the Kara Sea.

For Citation: Voinov G.N., Morozova O.A., Nesterov A.V., Kornishin K.A., Yefimov Ya.O. Tides in the southern area of the Kara Sea in the vicinity of the Belyi island. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2020, 66 (1): 6–19. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-6-19>.

Received 10.30.2019

Revised 01.20.2020

Accepted 02.19.2020

ВВЕДЕНИЕ

В акватории Восточно-Приновоземельских лицензионных участков, расположенных в юго-западной части Карского моря, выявлено несколько перспективных на углеводороды структур [1]. Освоение нефтегазовых месторождений требует гидрометеорологического обеспечения, для этого по заказу ПАО «НК «Роснефть»» в 2014 г. была поставлена на годичный период притопленная автономная буйковая станция (ПАБС 8), измеряющая, помимо колебаний уровня моря, течения, дрейф льда и волнение (рис. 1).

Режим приливов в южной части Карского моря в XIX в. изучался по данным нерегулярных наблюдений за уровнем моря, полученным исключительно на береговых и островных станциях. Регулярные круглогодичные ежедневные и срочные наблюдения за колебанием уровня Карского моря были организованы на полярных станциях в 50–70-е гг. XX в. В это же время получены немногочисленные кратковременные ряды наблюдений за уровнем в открытом море в экспедициях Арктического института, Управления Главсевморпути и Гидрографического предприятия ММФ. По данным, полученным с береговых станций и из экспедиций, был установлен основной характер распространения приливной волны M_2 в юго-западной части Карского моря, выявлена сезонная изменчивость прилива под влиянием ледяного покрова [2–4]. Применяемая в то время методика обработки прилива не позволяла выявить ошибки расчета суточных волн, имеющих небольшие амплитуды (2–3 см). В ряде работ по численному моделированию также наблюдаются большие расхождения в структуре суточных приливов [5–7].

В результате применения метода наименьших квадратов по версии ААНИИ, который лишен ряда недостатков ранее применяемых классических методов для гармонического анализа приливов, были получены новые оценки характеристик приливов в спектре от долгопериодных до суточных мелководных, представлены новые котидальные карты долгопериодных, суточных и полусуточных волн приливов [8].

В XXI в. первые длительные наблюдения за уровнем в открытом море были получены в 2012–2013 гг. и охватывали юго-западную часть Карского моря. В работе [9] представлена структура полусуточных и суточных приливов в юго-западной части Карского моря на основе этих наблюдений в летний сезон.

Представленные нами результаты существенно дополняют сведения о приливах и подтверждают в общих чертах полученные ранее приливные карты основных волн прилива, представленные в работе [9]. В отношении приливных карт волн O_1 и Q_1 новые сведения в открытом море являются важными, так как ранее привлекались результаты в основном кратковременных береговых наблюдений, из которых константы приливов O_1 и Q_1 достоверно не определяются. Авторами впервые были рассчитаны гармонические постоянные прилива для района о. Белый. Одним из ключевых результатов исследований в данной работе является определение вероятных координат смещенной ПАБС по эмпирическим приливным картам волны M_2 и установление однородности наблюдений на ПАБС после смещения.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными для анализа приливов в районе о. Белый послужили наблюдения на ПАБС 8, которая была установлена в 2014 г. в точке с координатами $73^\circ 56,7'$ с.ш., $73^\circ 04,8'$ в.д., и наблюдения, полученные на той же ПАБС (ПАБС 8_2) после ее смещения в точку с координатами $74^\circ 02'$ с.ш., $73^\circ 00'$ в.д.

До 2017 г., когда сотрудниками ООО «Фертоинг» во время проведения полевых работ на побережье о. Белый был обнаружен гидролокатор верхнего обзора для профилирования льда (ГПЛ), ПАБС 8 считалась полностью утраченной. По информации, полученной с датчиков давления и наклона ГПЛ, было видно, что ПАБС 8 была смещена с первоначального места установки, причем в точку с меньшей глубиной (см. рис. 1, рис. 2). Предположительно основной снос станции происходил с 6 ч 40 мин 31 марта 2015 г. до 23 ч 0 мин 2 апреля 2015 г. (в течение 65,3 часов) и составил приблизительно 6,0 миль (около 11 км) в направлении на север. Такой расчет

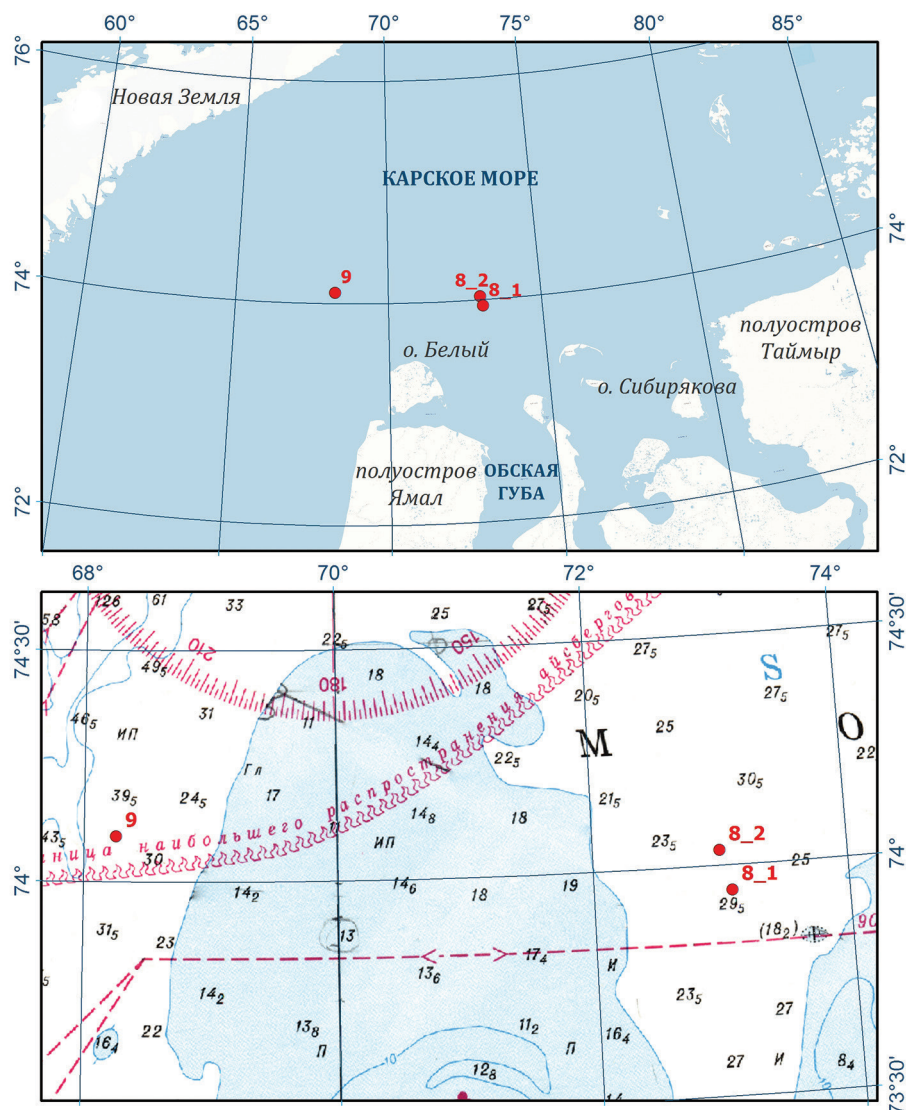


Рис. 1. Расположение ПАБС на акватории лицензионных участков в южной части Карского моря: 8_1 — первоначальное место установки ПАБС 8; 8_2 — местоположение ПАБС 8 после смещения; 9 — ПАБС 9

Fig. 1. Location of the autonomous bottom buoy stations in the water area of the licensed sections in the southern part of the Kara Sea: 8_1 — the initial location of the autonomous bottom buoy station 8, 8_2 — the location of the autonomous bottom buoy station 8 after displacement, 9 — autonomous bottom buoy station 9

основан на сведениях о течениях на поверхности и горизонте 19 м на одной из ближайших к ПАБС 8 станций — ПАБС 9 (см. рис. 1), где в указанный выше период наблюдалось результирующее течение на север со средней скоростью 4,8 см/с. По приливной карте волны M_2 [8–9] было определено, что ПАБС сместилась в точку

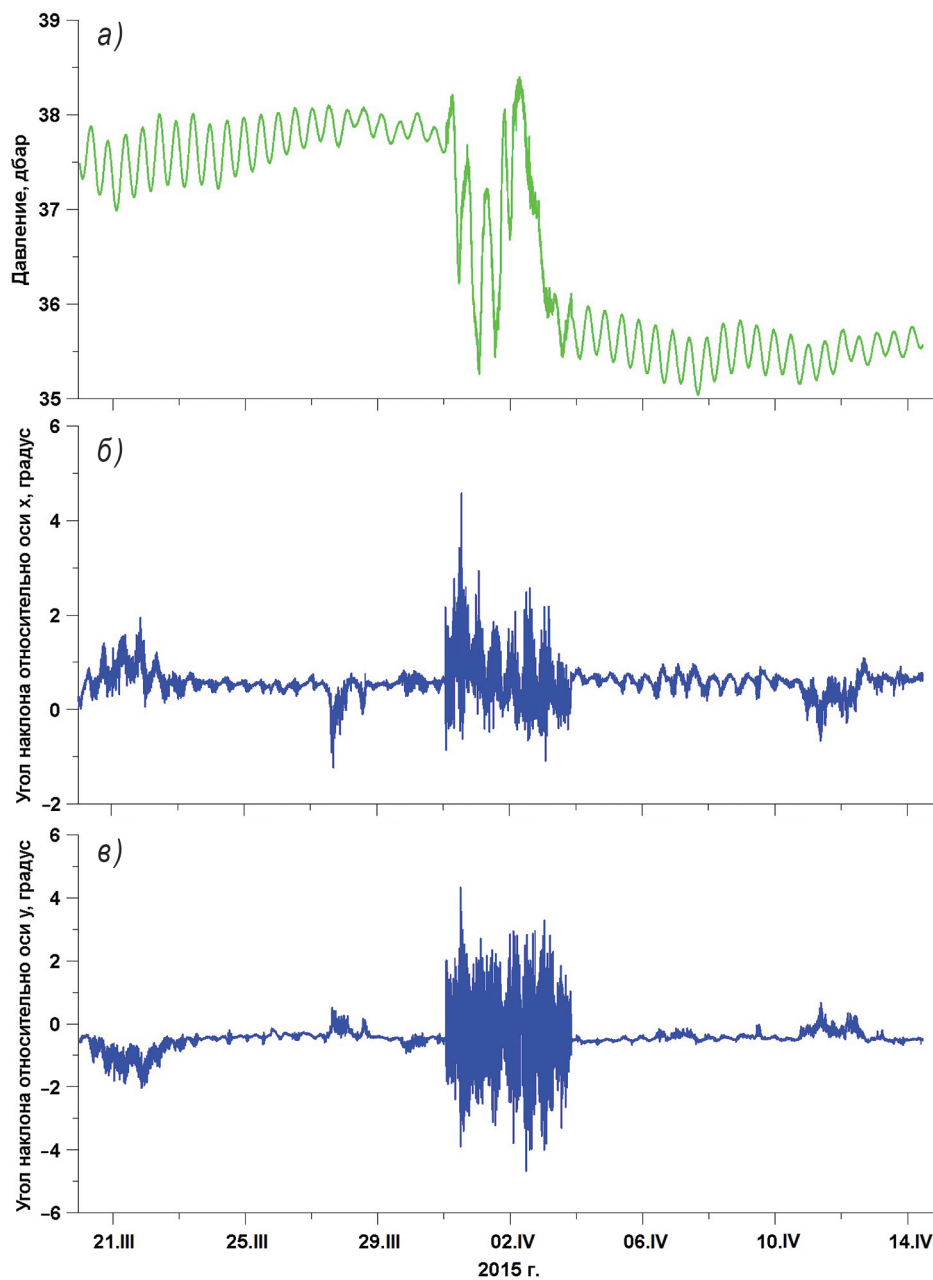


Рис. 2. Давление по ГПЛ (*a*) и угол наклона ГПЛ (*б* — относительно оси *x*, *в* — относительно оси *y*)

Fig. 2. Pressure according to the IPS-5 (*a*) and the slope angle of the IPS-5 (*б* — relative to the *x* axis, *в* — relative to the *y* axis)

с координатами — $74^{\circ}02'$ с.ш., $73^{\circ}00'$ в.д. Эти координаты определены нами по изменению фазы волны M_2 между ее средней оценкой по ряду № 1 (ПАБС 8_1) — $220,1^{\circ}$ (см. табл. 4) и оценкой из первой годовой серии ряда № 2 (ПАБС 8_2) — $211,62^{\circ}$ (см. табл. 2), которая составила $8,5^{\circ}$. Такое изменение фазы определяет смещение ПАБС на 6,8 мили (около 12,6 км) в направлении на северо-северо-запад.

На основании анализа значений средних месячных и средних годовых оценок основных волн прилива авторами было установлено, что наблюдения, полученные до смещения ПАБС и после, следует рассматривать как два строго независимых временных ряда. Первый ряд получен в месте постановки ПАБС и имеет продолжительность с 18 сентября 2014 г. по 31 марта 2015 г. (194 суток), а второй ряд (после перемещения ПАБС) охватывает период с 1 апреля 2015 г. по 23 июля 2016 г. (479 суток).

МЕТОД АНАЛИЗА И ОЦЕНКА ОДНОРОДНОСТИ ДАННЫХ

В наблюдениях за уровнем моря на ПАБС 8 в обоих рядах встречались как случайные выбросы, так и периоды сомнительных измерений в виде аномальных значений уровня. В ААНИИ разработана методика выявления и устранения подобных сомнительных измерений с помощью оценок результатов гармонического анализа по МНК отдельных годовых серий и отдельно месячных реализаций и контролю остаточного ряда (наблюдения минус предвычисления) [8, 10].

В арктических морях, как правило, сложные и мелководные волны в диапазоне спектра от 1/7-суточного до 1/12-суточного пренебрежимо малы по величине (менее 0,1 см). Поэтому в анализ отдельной годовой серии были включены только волны прилива от долгопериодного класса до 1/6-суточного класса (всего 92 волны или гармоники).

Поскольку дискретность измерений уровня составляла 10 минут, то на первом этапе проводилась процедура подавления высокочастотного шума с помощью сглаживающего фильтра [11]. Далее гармонический анализ приливных колебаний уровня выполнялся по временному ряду № 1 и по временному ряду № 2.

В обоих временных рядах присутствуют редкие случайные выбросы и несколько аномальных участков колебаний уровня, которые могут существенно исказить оценки констант волн прилива. Поэтому случайные выбросы выявлялись и устранялись на интерполяционные оценки по программе анализа выбросов, которая применялась не к наблюдаемому ряду, а к остаточному (наблюдения минус предвычисления). Во втором приближении производились выявление и замена аномальных участков уровня моря на предвычисленные значения [10]. Проблема обнаружения аномальных временных участков в наблюдениях за уровнем океана является самостоятельным научным направлением [12]. При наблюдениях на буйковых станциях от раскачки системы станции при действии волнения или сильного течения на заглубленный буй могут возникать колебания, приводящие к искажению показаний датчика гидростатического давления. Это проявляется в виде кратковременных аномальных участков временного хода уровня, которые необходимо заменять на предвычисленные значения для получения устойчивых оценок констант прилива.

В результате во временном ряду № 1 почти 3,5 суток было заменено на предвычисленные значения и около 13 суток — во временном ряду № 2. При этом наибольшее количество замен пришлось на апрель и июль – август 2015 г. (почти 8 суток). Причем в большинстве случаев наблюдалась взаимосвязь между усилением скорости течения до 65–70 см/с по данным наблюдениям на ПАБС 9 и появлением

аномальных временных участков колебаний уровня. Но имелись и случаи, не связанные с усилением течений, которые могут быть приписаны техническим сбоям в работе прибора.

Гармонический анализ временного ряда № 1 (18.09.2014 – 31.03.2015)

Особенность гармонического анализа неполных годовых серий (от нескольких месяцев до полугода и более) состоит в получении не совсем достоверных первичных смещенных оценок констант основных волн в условиях их заметной сезонной изменчивости. На оценки констант основной волны M_2 оказывают влияние второстепенные спутниковые волны, которые полностью разделяются только в годовых сериях. Этот факт детально описан в работе [8]. Для получения истинных оценок основных волн прилива необходимо провести их демодуляцию — очистку от влияния волн, вызывающих сезонную изменчивость. Необходимые для демодуляции соотношения были получены по результатам гармонического анализа временного ряда № 2, они приведены в таблице 1.

Таблица 1

Отношение амплитуд (dH) и разности фаз (dG) сложных волн к волне M_2

Table 1

The ratio of the amplitudes (dH) and the phase angles differences (dG) of complex waves to the M_2 wave

Волна	dH	dG
MTS_2	0,077	35,4
MST_2	0,1334	149,4
OP_2	0,0169	64,8
MKS_2	0,0380	136,7

Из данных табл. 1 видно, что наибольшее соотношение амплитуд сложных волн к волне M_2 наблюдается у волны MST_2 , которая отвечает за годовую периодичность амплитуды волны M_2 совместно с волной MTS_2 . Менее выраженной является полугодовая периодичность в годовом ходе амплитуды и фазы волны M_2 , формируемая волнами OP_2 и MKS_2 .

По программе демодуляции [8] с использованием указанных в табл. 1 соотношений амплитуд и разностей фаз была получена исправленная оценка констант волны M_2 . По результатам прямого анализа получили амплитуду 20,22 см и фазу 222,9°, а исправленные значения равны соответственно 20,78 см и 220,1°.

В целом 52 волны по амплитуде были выше 95 % доверительного интервала в своей полосе частот. К этому списку были добавлены четыре сложных волны. При использовании в предвычислении этих четырех волн, описывающих сезонный ход волны M_2 в годовом цикле, происходит качественное улучшение остаточного ряда: в нем полностью исчезает приливной остаток, который присутствует при расчете прилива по стандартной схеме.

Гармонический анализ временного ряда № 2 (01.04.2015 – 23.07.2016)

Основная проблема при гармоническом анализе ряда № 2 заключалась в установлении его однородности в отношении приливных колебаний уровня. Поэтому был проведен скользящий гармонический анализ со сдвигом в один месяц и окном в 1 год (366 или 365 суток). Всего было сформировано 5 годовых серий с периодом, близким к тропическому году (365,24 суток), и последняя из них была на 5 суток

короче года, но при анализе по МНК такое различие в длине ряда не оказывает значительного влияния на точность оценок констант прилива. Результаты анализа для волны M_2 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средние за год оценки амплитуды (H) и фазы (G в 0 поясе) для волны M_2 по результатам скользящего гармонического анализа прилива пяти годовых серий для временного ряда № 2

Table 2

The average annual amplitude (H) and phase angle values (G refers to Greenwich) for M_2 wave according to the results of a tide's moving harmonic analysis of five annual series for the time series No 2

№ годовой серии	Период анализа годовой серии	H , см	G , град
1	01.04.2015 – 30.03.2016	18,81	211,62
2	01.05.2015 – 30.04.2016	18,84	210,99
3	01.06.2015 – 30.05.2016	18,81	210,37
4	01.07.2015 – 30.06.2016	18,79	209,84
5	30.07.2015 – 23.07.2016	18,75	209,43
Разность между 1 и 5 сериями		–0,06	–2,19

Данные табл. 2 свидетельствуют о незначительном расхождении всех пяти оценок констант прилива волны M_2 между отдельными сериями, поэтому временной ряд № 2 можно считать однородным. Действительно, в остаточном ряду (наблюдения минус предвычисления) нигде не выявляется приливной остаток, который обязательно проявился бы в неоднородном ряду.

В целом на ПАБС 8_2 выделено 68 волн в классах прилива от долгопериодного до 1/6-суточного, которые по амплитуде были выше 95 % доверительного интервала в своей полосе частот.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРИЛИВОВ В РАЙОНЕ О. БЕЛЫЙ

Приводимые ниже выборочные оценки гармонических постоянных восьми основных волн прилива в двух точках (ПАБС 8_1 и ПАБС 8_2) являются достаточной базой для расчета общих характеристик прилива и основой для калибровки численных моделей.

В табл. 3 даны константы (амплитуды и фазы) восьми основных наибольших по величине волн прилива для ряда № 2.

В табл. 4 даны константы (амплитуды и фазы) восьми основных наибольших по величине волн прилива для ряда № 1.

Представленные в табл. 3 и табл. 4 основные волны полусуточного и суточного классов прилива позволяют полностью описать основные типы неравенства прилива и с достаточной для практических целей точностью предвычислить временной ход приливных колебаний уровня. Остальные второстепенные волны прилива, полученные в результате гармонического анализа, имеют скорее теоретический интерес. Например, мелководный прилив M_4 составляет на станциях всего 0,3–0,4 см.

Прежде всего по данным о константах основных волн из приведенных табл. 3 и табл. 4 видно, что приливная волна M_2 и приливная волна K_1 распространяются с севера на юг. Как амплитуды, так и фазы этих волн увеличиваются от ПАБС 8_2 к ПАБС 8_1. Это соответствует картине приливов волн M_2 и K_1 по эмпирическим картам [9].

Таблица 3

Средние годовые оценки амплитуды (H) и фазы (G в 0 поясе) прилива для волн $M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, P_1, O_1, Q_1$ за период апрель 2015 г. — июль 2016 г. (479 суток)

Table 3

The average annual amplitude (H) and phase angle values (G refers to Greenwich) for the $M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, P_1, O_1, Q_1$ waves over the period from April 2015 to July 2016 (479 days)

Волна	Гармонические постоянные			
	H , см	$\pm$ СКО, см	G , град	$\pm$ СКО, град
M_2	18,78	0,07	210,5	0,2
S_2	8,62	0,07	275,9	0,5
K_2	2,29	0,07	282,0	1,7
N_2	3,02	0,07	183,0	1,3
K_1	3,82	0,09	228,8	1,3
P_1	1,34	0,09	229,4	3,8
O_1	1,41	0,09	118,8	3,6
Q_1	0,53	0,09	5,8	9,7

Таблица 4

Средние оценки амплитуды (H) и фазы (G в 0 поясе) прилива для волн $M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, P_1, O_1, Q_1$ за период сентябрь 2014 г. — март 2015 г. (194 суток)

Table 4

The average amplitude (H) and phase angle values (G refers to Greenwich) of a tide for the $M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, P_1, O_1, Q_1$ waves over the period from September 2014 to March 2016 (194 days)

Волна	Гармонические постоянные			
	H , см	$\pm$ СКО, см	G , град	$\pm$ СКО, град
M_2	20,78	0,26	220,1	0,7
S_2	9,72	0,26	286,2	1,5
K_2	4,37	0,26	292,2	3,4
N_2	3,47	0,26	191,6	4,3
K_1	4,46	0,19	233,1	2,4
P_1	1,91	0,19	212,3	5,7
O_1	1,52	0,19	106,2	7,1
Q_1	0,73	0,19	297,7	14,8

Согласно данным табл. 3 и табл. 4, прилив в южной части Карского моря носит правильный полусуточный характер. Критерий Дуванина равен 0,29. Более широко используемый в мировой практике критерий Куртье, определяемый по отношению суммы амплитуд суточных волн K_1 и O_1 к сумме амплитуд полусуточных волн M_2 и S_2 , дает значение 0,19. Это также указывает на прилив полусуточного характера. Этот вывод находится в согласии с выводом, полученным ранее по данным полярных станций [8].

Фазовое неравенство приливов выражено хорошо, поскольку отношение амплитуд волны S_2 к волне M_2 составляет 0,46–0,47 в обеих точках. Параллактическое неравенство,

связанное с моментами прохождения Луны через перигей или апогей, выражено слабо, так как амплитуда волны N_2 по величине значительно меньше амплитуды волны S_2 .

Так как возраст полусуточного прилива равен 2,7 дням, а возраст суточного прилива равен 4,2 дням, то сизигийные и тропические приливы будут запаздывать на эти значения от соответствующих астрономических моментов сизигий и склонений Луны, а значит, совпадать полностью не будут. Вследствие большого значения возраста суточных приливов тропические приливы (суточные приливы имеют максимальный размах) наблюдаются в промежутке между максимальным склонением Луны и нулевым склонением Луны. Наоборот, равноденственные приливы (минимальное развитие суточных приливов) наблюдаются между нулевым склонением Луны и максимальным склонением Луны. Кривая прилива в течение суток при развитии тропических приливов будет иметь небольшое неравенство высот двух последовательных полных вод и небольшое неравенство высот у малых вод.

Выполненная нами совместная оценка долгопериодных приливов по двум рядам показала, что только четыре волны (Sa , Ssa , Sta , Mf) превысили 95 % доверительный интервал, составивший $\pm 3,0$ см. Известно, что годовая, полугодовая и третьегодовая гармоники описывают сезонный ход уровня моря. При этом амплитуда годовой гармоники составляет 8,1 см, а полугодовой — 3,8 см.

Амплитуда полумесячного прилива Mf равна 6,4 см, что существенно превышает таковые значения, полученные по наблюдениям на станции Мыс Желания и станции Мыс Выходной (пролив Маточкин Шар) [8]. Причина этого заключается в воздействии метеорологических колебаний на частотах приливов, которые погашаются при наличии многолетних наблюдений. Но фазы этих приливов на ПАБС 8 близки к оценкам, полученным на полярных станциях.

Гармонические постоянные долгопериодных приливов позволяют выполнить оценку сезонного хода суммарного уровня. По константам этих приливов был произведен расчет среднесуточных значений уровня на период наблюдений, по которым были вычислены среднемесячные значения. Максимум сезонного хода уровня моря, который имеет в основном годовую периодичность, наблюдался в ноябре, а минимум отмечался в мае. Наши результаты расходятся с оценками сезонного хода уровня моря в работе [13]. В этой работе для южной части Карского моря считается характерным наступление максимума сезонного хода в июне, что объясняется влиянием стока реки Оби. Здесь надо пояснить, что описываемый нами сезонный ход относится к периоду сентябрь 2014 г. — июль 2016 г. В другие годы характер сезонного хода может быть иным, так как годовая и полугодовая гармоники имеют, как показывают многолетние наблюдения на полярных станциях, большой разброс от года к году [8]. Практический опыт выделения этих приливов по данным многолетних наблюдений за уровнем моря на береговых станциях свидетельствует о недостаточной устойчивости их оценок, полученных по единичным годовым сериям. Например, на полярной станции (п/ст) мыс Желания полугодовая гармоника в амплитуде имеет СКО $\pm 3,35$ см, а в фазе — $\pm 57,2^\circ$.

СЕЗОННЫЙ ХОД ПОЛУСУТОЧНЫХ ВОЛН ПРИЛИВА

Результаты анализа шести полных месячных серий ряда № 1 с октября 2014 г. по март 2015 г. не позволяют выполнить достоверную оценку сезонного хода основных волн прилива в годовом цикле. Можно только заметить, что имеющийся полугодовой ход амплитуд и фаз волны M_2 за октябрь — март по форме кривых подобен таковому для ряда № 2.

Сезонная изменчивость волны M_2

Результаты гармонического анализа месячных серий наблюдений за уровнем моря за период апрель 2015 г. – июль 2016 г. позволяют приближенно оценить сезонную изменчивость гармонических постоянных основных волн прилива. Эта оценка носит в определенной степени индивидуальный характер, относящийся к исследуемому периоду наблюдений. Здесь так же, как и при оценке сезонного хода суммарного уровня моря, требуются многолетние наблюдения. Средние месячные оценки констант волны M_2 и их средний сезонный ход на ПАБС 8_2 представлены в табл. 5.

Таблица 5

Оценки средних векторных значений амплитуд (H) и фаз (G в 0 поясе) волны M_2 и их сезонный ход на ПАБС 8_2 за период 2015–2016 гг.

Table 5

The average vector values of the amplitudes (H) and phases angles (G refers to Greenwich) of M_2 wave and their seasonal variation according to the autonomous bottom buoy station 8_2 for the period 2015–2016

Месяц	Средние оценки		Сезонный ход	
	H , см	G , град	DH , %	DG , град
I	17,90	219,6	–4,7	9,0
II	18,57	220,4	–1,1	9,8
III	18,55	220,6	–1,2	10,0
IV	19,38	221,3	3,3	10,6
V	20,36	215,9	8,5	5,2
VI	21,25	207,6	13,2	–3,0
VII	19,56	199,6	4,2	–11,1
VIII	18,57	200,1	–1,1	–10,5
IX	18,40	200,4	–2,0	–10,3
X	18,82	201,7	0,2	–9,0
XI	18,41	206,2	–1,9	–4,4
XII	18,02	215,0	–4,0	4,3

По данным табл. 5 видно, что максимум средней месячной амплитуды наблюдается в июне, когда амплитуда на 12 % превышает среднегодовую, минимум в январе — среднемесячная амплитуда на 5,7 % меньше среднегодовой. Таким образом, сезонный ход амплитуды прилива выражен значительно, с размахом величины в 18 %. В отношении изменчивости фазы волны M_2 полученные оценки менее надежны вследствие больших ошибок в расчете средних месячных значений. Максимум фазы с превышением на $10,6^\circ$ от средней за год наблюдается в апреле, а минимум отмечается в июле с отклонением от среднего на $-11,1^\circ$.

Сезонный ход констант полусуточных волн N_2 и S_2 в общих чертах идентичен таковому волны M_2 . Но полученные оценки менее надежны. Максимум амплитуд этих волн также наблюдается в июне и достигает у N_2 и S_2 соответственно 18,4 % и 13,9 %. Минимум фаз отмечается в августе или сентябре и равен соответственно $-14,8^\circ$ и $-9,4^\circ$.

Согласно классификации кривых сезонного хода констант полусуточных волн прилива в арктических морях [8], в районе ПАБС 8_2 наблюдается аномальный тип

с выраженным максимумом амплитуды в июне и минимумом фазы в июле. Подобный вид сезонного хода (кроме изменения фазы) наблюдается также на п/ст о. Уединения [8].

В отношении суточных волн прилива K_1 и O_1 устойчивый ход их амплитуд и фаз не наблюдается вследствие большого разброса средних месячных значений амплитуд и фаз, и мы их не рассматриваем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная в [8,10] методика позволила идентифицировать материалы наблюдений за уровнем моря на ПАБС 8. Согласно результатам скользящего гармонического анализа было обнаружено, что массив данных следует разбить на 2 независимых ряда. При этом была установлена однородность второго ряда в отношении приливных колебаний уровня, то есть возможность использования этих данных для дальнейшего анализа приливов.

По эмпирическим приливным картам волны M_2 определены наиболее вероятные координаты ПАБС после ее смещения.

Представлены гармонические постоянные восьми основных волн прилива (в районе ПАБС 8_1 и ПАБС 8_2), которые являются новыми для южной части Карского моря и позволяют получить общие характеристики прилива, а также представляют интерес для калибровки численных моделей.

По данным о константах основных волн установлено, что приливная волна M_2 и приливная волна K_1 распространяются с севера на юг. Как амплитуды, так и фазы этих волн увеличиваются от станции 8_2 к станции 8_1, что соответствует картине приливов волн M_2 и K_1 по эмпирическим картам [8–9].

Новые данные подтвердили амфидромическую систему в приливах O_1 и Q_1 , расположенную между м. Желания и о. Белый, которая не имела надежного обоснования по результатам анализа кратковременных береговых наблюдений, вследствие малых амплитуд этих приливов [8].

Выявлен аномальный вид сезонной изменчивости полусуточного прилива, с максимумом амплитуды в июне и минимумом фазы в июле, подобный вид сезонного хода (кроме изменения фазы) наблюдается также на п/ст о. Уединения.

Конфликт интересов. Авторы статьи не имеют конфликта интересов.

Финансирование. Сбор данных выполнен в рамках летних экспедиций в Карское море при финансовой поддержке ПАО «НК «Роснефть»».

Competing interests. The authors have no competing interests.

Funding. The data have been collected within the summer expeditions in the Kara Sea with the financial support of Public joint stock company “NK Rosneft”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сочнев О.Я., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Миронов Е.У., Порубаев В.С. Межгодовая изменчивость продолжительности безледного периода в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. № 3 (65). С. 239–254.
2. Максимов И.В., Контева А.В. Основные итоги изучения уровня Северного морского пути // XXV лет научной деятельности Арктического института. Л.; М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. С. 144–159.
3. Контева А.В. Приливо-отливные течения и дрейф льдов Карского моря // Тр. ААНИИ. 1958. Т. 89. 220 с.

4. Диесперова Р.А. Приливы Северного Ледовитого океана // Труды ГОИН. 1954. Вып. 19. 74 с.
5. Gjevik B., Straume T. Model simulations of the M_2 and K_1 tide in the Nordic seas and the Arctic ocean // Tellus. 1989. V. 41. № 1. P. 73–96.
6. Kowalik Z., Proshutinsky A.Yu. The Arctic ocean tides // The Polar oceans / Ed. O.M. Johannessen et al. American Geophysical Union, The Nansen cent. Geophysical monograph. Washington, 1994. V. 85. P. 137–158.
7. Padman L., Erofeeva S. A barotropic inverse tidal model for the Arctic ocean // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. № 2. doi: 10. 1029/2003 GL019003.
8. Войнов Г.Н. Приливные явления в Карском море. СПб.: РГО, 1999. 109 с.
9. Войнов Г.Н., Смирнов К.Г. Структура полусуточных и суточных приливов в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 2 (100). С. 82–94.
10. Войнов Г.Н. Методика контроля и редакции многолетних рядов уровня моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 4 (90). С. 51–61.
11. Pugh D.T. Tides, surges and mean sea-level. New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley John & Sons Ltd. Chichester, 1987. 463 p.
12. Гетманов В.Г., Гвишиани А.Д., Камаев Д.А., Корнилов А.С. Алгоритмическое обнаружение аномальных временных участков в наблюдениях за уровнем моря // Физика Земли. 2016. № 2. С. 114–126.
13. Воробьев В.Н., Кочанов С.Ю., Смирнов Н.П. Сезонные и многолетние колебания уровня морей Северного Ледовитого океана. СПб.: РГТУ, 2000. 114 с.

REFERENCES

1. Sochnev O.Ja., Kornishin K.A., Efimov Ja.O., Mironov E.U., Porubaev V.S. Interannual variability of long ice-free period in the southwestern part of the Kara Sea. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of the Arctic and Antarctic. 2019, 3 (65): 239–254. [In Russian].
2. Maksimov I.V., Kopteva A.V. Main outcomes of the sea level study of the Northern Sea Route. 25 years of scientific activities of the Arctic Institute. Leningrad; Moscow: Izdatel'stvo Glavsevmorputi, 1945: 144–159. [In Russian].
3. Kopteva A.V. Tidal stream and ice drift of the Kara Sea. *Trudy Arkticheskogo i antarkticheskogo nauchnoy-issledovatel'skogo instituta*. Proc. of AARI. 1958, 89: 220 p. [In Russian].
4. Diesperova R.A. Tides in the Arctic Ocean. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*. Proc. of SOI. 1954, 19: 74 p. [In Russian].
5. Gjevik B., Straume T. Model simulations of the M_2 and K_1 tide in the Nordic seas and the Arctic ocean. Tellus. 1989, 41 (1): 73–96.
6. Kowalik Z., Proshutinsky A.Yu. The Arctic ocean tides. The Polar oceans. Ed. O.M. Johannessen et al. American Geophysical Union, The Nansen cent. Geophysical monograph. Washington. 1994, 85: 137–158.
7. Padman L., Erofeeva S. A barotropic inverse tidal model for the Arctic ocean. Geophys. Res. Lett. 2004, 31 (2): doi: 10. 1029/2003 GL019003.
8. Voinov G.N. *Prilivnye yavleniia v Karskom more*. The tidal occurrences in the Kara Sea. St. Petersburg: RGO, 1999: 109 p. [In Russian].
9. Voinov G.N., Smirnov K.G. Structure of semi-diurnal and diurnal tides in the southwestern area of the Kara Sea. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of the Arctic and Antarctic. 2014, 2 (100): 82–94. [In Russian].
10. Voinov G.N. Method of control and revision of multi-year sea level series. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of the Arctic and Antarctic. 2011, 4 (90): 51–61. [In Russian].

11. *Pugh D.T.* Tides, surges and mean sea-level. New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Wiley John & Sons Ltd. Chichester, 1987: 463 p.
12. *Getmanov V.G., Gvishiani A.D., Kamaev D.A., Kornilov A.S.* Algorithmic detection of anomalous time intervals in sea level observations. *Fizika Zemli*. Physics of the Earth. 2016, 2: 114–126. [In Russian].
13. *Vorob'ev V.N., Kochanov S.Iu., Smirnov N.P.* *Sezonnye i mnogoletnie kolebaniia urovnia morei Severnogo Ledovitogo okeana*. Seasonal and multi-year changes in sea level of the Arctic Ocean. St. Petersburg: RSHU, 2000: 114 p. [In Russian].