

ОКЕАНОЛОГИЯ
OCEANOLOGY

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-272-289>
УДК 551.466.713



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

**Приливные и непериодические колебания уровня воды
в средней части Обской губы***Г.Н. Войнов^{1,2*}, А.А. Пискун²*

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

*voinovgn@mail.ru

Резюме

Предложены новые оценки гармонических постоянных прилива на летний (август) и зимний (апрель) периоды на постах Сабетта, Утренний, на постах Тадибеяха и Сеяха, а также в пунктах м. Харсе, м. Яптик-Сале, м. Котельникова и м. Хампуль-Яха. Исследование непериодических колебаний уровня на постах Тадибеяха и Сеяха основано на однородных рядах, а также остаточных (наблюдения минус предвычисления).

Ключевые слова: волна M_2 , гармонические постоянные, приливы, сезонный ход, статистические характеристики.

Для цитирования: Войнов Г.Н., Пискун А.А. Приливные и непериодические колебания уровня воды в средней части Обской губы // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 3. С. 272–289. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-272-289>.

Поступила 15.06.2023

После переработки 10.08.2023

Принята 14.08.2023

Tidal and nontidal variations in the water level in the middle part of the Ob' Bay

Gennadiy N. Voinov^{1,2*}, Alexander A. Piskun²

¹ — State Oceanographic Institute, St. Petersburg Branch, St. Petersburg, Russia

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

*voinovgn@mail.ru

Summary

New estimates are suggested of harmonic constants of the tide for the summer (August) and winter (April) periods at the Sabetta, Utrenny posts, at the Tadibeyakha and Seyakha posts, as well as at the points of Cape Kharse, Cape Yaptik-Sale, Cape Kotelnikova and Cape Hampul-Yakha. The harmonic analysis of the tide was carried out using the least squares method according to the AARI version. According to AARI expedition observations in Sabetta for the period 2012–2016, and in Salman for the period 2016–2019, average vector estimates for each month of the year have been obtained. The observations were made using the ADCP device installed at autonomous buoy stations. Hourly level observations at the Seyakha and Tadibeyakha posts for the entire observation period from 1968 to 1992 were brought to a homogeneous form using the calibration method. The historical observations of the level at the points of Cape Kharse, Cape Yaptik-Sale, Cape Kotelnikova and Cape Khampul-Yakha, carried out in different years, are of scientific interest. Since the results of their processing and analysis in the original sources contained errors and did not include shallow water constituents, our analysis results are presented. Our tests show a significant contribution of shallow water constituents in the Ob' Bay to the description of the tide curve and the calculation of the heights and times of high and low waters. Inter-annual and intra-annual estimation is given of the dispersions of the total and tidal level fluctuations in Seyakha and Tadibeyakha for the entire observation period. Comparison of the average seasonal course of the tide in the annual cycle based on the results of tide analysis in Seyakha and Tadibeyakha (XX century) and Sabetta and Utrenny (XXI century) shows significant differences. The study of surges of level is based on uniform series, as well as residual ones (observations minus predictions).

Keywords: M_2 tide, harmonic constants, seasonal variation, statistical characteristics, tides.

For citation: Voinov G.N., Piskun A.A. Tidal and nontidal variations in the water level in the middle part of the Ob' Bay. Arctic and Antarctic Research. 2023, 69 (3): 272–289. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-272-289>.

Received 15.06.2023

Revised 10.08.2023

Accepted 14.08.2023

ВВЕДЕНИЕ

Изучение режима колебаний уровня воды и течений в Обской губе началось в середине XX в. в связи с необходимостью обеспечения безопасности плавания в мелководной Обской губе и техническим обоснованием при строительстве портов и инженерных сооружений. В работе В.Г. Корта [1] была исследована структура непериодических колебаний уровня арктических морей, найдены связи стонно-нагонных колебаний с анемобарическим режимом и разработана методология прогноза суммарных колебаний уровня в отдельных пунктах в арктических морях и, в том числе, у м. Ям-Сале в Обской губе.

А.В. Коптева [2] выполнила обширное исследование приливных и непериодических колебаний уровня и течений Обской губы на более полном материале наблюдений, полученных на полярных станциях и собранных в экспедициях по 1950 г. В этой работе даны разнообразные сведения и различные характеристики

приливов для летнего и зимнего периодов. Впервые установлена сезонная изменчивость прилива под влиянием ледяного покрова. В этой работе Коптева использовала результаты анализа приливов, которые опубликованы в справочнике [3].

Под средней частью Обской губы, рассматриваемой в данной работе, подразумевается акватория между м. Тамбей и м. Каменный. Здесь расположены такие объекты, как порт Сабетта, Салмановский участок (проект Арктик СПГ-2), терминал «Ворота Арктики». Правительством России поставлена задача круглогодичной навигации в Обской губе. Поэтому для обеспечения безопасности судоходства, в особенности при прохождении фарватеров и при швартовых операциях, требуются режимные характеристики колебаний уровня.

Для средней части Обской губы в справочнике [3] даны гармонические постоянные по 6 пунктам. Заметим, что гармонический анализ кратковременных наблюдений за уровнем проводился в то время по методу Дарвина, а мелководные волны высших порядков не вычислялись. Метод Дарвина представляет собой упрощенный Фурье-анализ. При применении метода Дарвина результаты имеют погрешности из-за несовпадения частот Фурье-анализа с истинными угловыми скоростями волн, а также из-за влияния соседних частот на выделяемую волну [4]. При ревизии наблюдений за уровнем по полученным данным, копии которых имеются в фондах ААНИИ или приведены в справочнике [3], были обнаружены ошибки в опубликованных результатах анализа приливов. В монографии [5] этот факт отмечается, но полностью новые результаты обработки и анализа не даны.

Современное обобщение данных гидрологического режима Обской и Тазовской губ выполнено в монографии [5]. Монография представляет характеристики режима неперiodических и приливных колебаний уровня для периода второй половины XX в. и начала XXI в. В работе [6] рассмотрены колебания уровня на постах Тадибеяха и Сеяха по данным наблюдений за 1968–1992 гг. Однако не затронуты материалы экспедиционных наблюдений на автономных буйковых станциях (АБС),

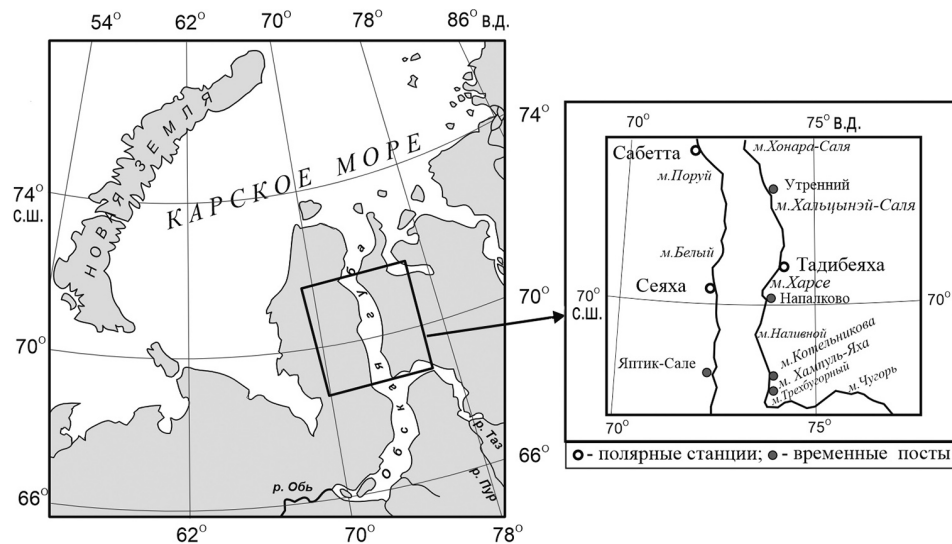


Рис. 1. Расположение уровенных постов

Fig. 1. Location of level posts

полученные ААНИИ (лаборатория «Арктик-Шельф») в районе порта Сабетта и пункта Утренний в районе Салмановского месторождения.

Целью данной работы является исследование общих особенностей режима приливных и непериодических колебаний уровня воды в средней части Обской губы (рис. 1) на основе новых результатов гармонического анализа приливов.

МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ, ИХ ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ

Гармонический анализ приливов в порту Сабетта и пункте Утренний по датчикам давления

Измерения колебаний уровня моря в экспедициях ААНИИ в 2000-е гг. выполнялись по датчику гидростатического давления устройства ADCP (Акустический доплеровский измеритель течения (*Acoustic Doppler current profiler*)) или с помощью других приборов гидростатического типа с дискретностью 15 и 10 минут. Данные были переведены в метрическую систему после учета поправок за атмосферное давление.

Заданная при постановке приборов дискретность измерений позволила применить сглаживающие фильтры для понижения уровня высокочастотного шума [7]. При этой процедуре происходит укорочение длины временного ряда на 34 (при дискретности 15 мин) или 52 (при дискретности 10 мин) значения. Затем производилась выборка ежечасных значений (децимация).

Для ежечасных временных рядов колебаний уровня моря нами разработан способ контроля и редакции случайных выбросов. Контроль по программе временных рядов производился с заданием критерия отклонения более 6 см [4, 5]. Далее ежечасные временные ряды подвергались обработке фильтром нижних частот для подавления влияния непериодических колебаний. С целью устранения срезки при фильтрации (48 значений ряда теряется) временные ряды предварительно дополнялись в начале и конце рядов с помощью предвычисления. Затем по полученным временным рядам производился гармонический анализ прилива по методу наименьших квадратов (МНК) по версии ААНИИ [4]. Продолжительность наблюдений в разные годы в основном колебалась от 20 до 60 суток. Поэтому возможность выделения основных волн прилива по таким сериям была различной. Для описания прилива в настоящее время наименьшим оптимальным периодом считается месячная серия измерений. Более короткие серии могут быть использованы с известными допущениями, но годятся в основном только для разведочного предварительного анализа. При выборе списка волн для анализа в целом мы следовали критерию Рэля [4]. Отступление от этого правила было сделано для волны N_2 , которая, как показали эксперименты, надежно разрешается по рядам с хорошим качеством измерений при длительности около 20 суток (критерий Рэля требует 28 суток). Однако волны Q_1 , J_1 , L_2 , μ_2 и другие не были включены в анализ для периодов менее 30 суток, т. к. они ненадежно разрешаются по таким данным. Но их амплитуда в этой акватории мала и не влияет на разрешение других волн. В целом было выделено от 18 до 32 волн для периодов от 20 до 60 суток соответственно в суточном, полусуточном, 1/3-суточном, 1/4-суточном, 1/6-суточном и 1/8-суточном классах прилива.

Результаты по волнам K_1 , S_2 , N_2 во втором приближении исправлялись от влияния второстепенных волн соответственно π_1 , S_1 , ψ_1 , ϕ_1 , P_1 ; K_2 , T_2 , R_2 ; ν_2 по теоретическим соотношениям.

По Фурье-анализу остаточных рядов (наблюдения минус предвычисления) были рассчитаны средние уровни шума, средние квадратичные отклонения (СКО) в классах приливов и по ним определены 95 % доверительные интервалы для

оценки точности. Эти значения в суточном, полусуточном, 1/3-суточном, 1/4-суточном и 1/6-суточном классах прилива в целом соответственно равны $\pm 1,86$ – $1,33$; $\pm 2,63$ – $0,76$; $\pm 0,35$ – $0,18$; $\pm 0,47$ – $0,12$; $\pm 0,29$ – $0,14$ см. При этом большие значения (по абсолютной величине) в этих границах относятся к коротким рядам наблюдений (15–20 суток), а меньшие — к продолжительным измерениям (60 суток).

Для исследования приливов в конкретном пункте иногда бывает достаточно одной месячной или, в крайнем случае, даже полумесячной серии ежечасных измерений. Но в Обской губе отмечается сильная сезонная изменчивость приливов и течений. Поэтому для адекватного описания прилива необходимо определять его характеристики на каждый месяц года. В самом крайнем варианте желательно иметь гармонические постоянные основных волн для августа, которые приближенно почти не меняются для всего летнего периода (июль–октябрь), и для апреля, в котором в среднем наблюдается максимальное гашение приливной волны.

Здесь уместно также обратить внимание на крайне важный аспект, которому не придется значения в расчете приливов в арктических морях. До настоящего времени основным источником сведений о приливах в арктических морях, в частности в Карском море и Обской губе, являлся справочник [3]. В нем помещены гармонические постоянные для 153 пунктов (в Обской и Тазовской губах — для 27 пунктов). Однако в этом справочнике даны амплитуды и фазы (углы положений) только для 8 основных суточных и полусуточных волн. Но отсутствуют сведения о мелководных волнах. Покажем, насколько важна роль мелководных волн в точном описании кривой прилива и влиянии этих волн на расчет полных и малых вод.

На рис. 2а показаны кривые прилива в Сеяхе в летний период при задании для предвычисления всех 32 волн, выделяемых из месячных серий, и только для 19 волн без мелководных составляющих. На рис. 2б и 2в 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 разностей высот составляет за месяц $\pm 4,07$ см. Максимум разностей ПВ достигает $+5,7$ см, а минимум равен $-12,6$ см. СКО разностей времен ПВ и МВ за месяц равно ± 42 мин. При этом максимум достиг $+1,1$ ч, а минимум — $-1,6$ ч. Как видно из этих оценок, расхождения настолько большие, что расчет прилива без мелководных волн дает плохие результаты, неадекватные наблюдениям.

На первый взгляд кажется неожиданным такое сильное проявление эффекта мелководных волн. Но, согласно классической работе [8], 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 . Поэтому в приводимых нами ниже результатах везде даны основные мелководные волны.

Круглогодичные ежечасные уровенные наблюдения на посту Тадибеяха ($70^\circ 22'$ с. ш.; $74^\circ 08'$ в. д.) начаты в 1968 г., а на посту Сеяха ($70^\circ 09,6'$ с. ш.; $72^\circ 33,5'$ в. д.) в 1971 г. Условия наблюдений подробно освещены в работах [5, 6]. В этих работах показано, что уровенные наблюдения, проводимые в р. Сеяха, не могут с достаточной степенью точности отражать уровенный режим прилегающей акватории Обской губы. Наблюдения на обоих постах велись иногда с большими внутрисуточными перерывами. Как следствие, обработка наблюдений проводилась с несколькими приближениями. С 1994 г. срочные наблюдения на постах прекращены.

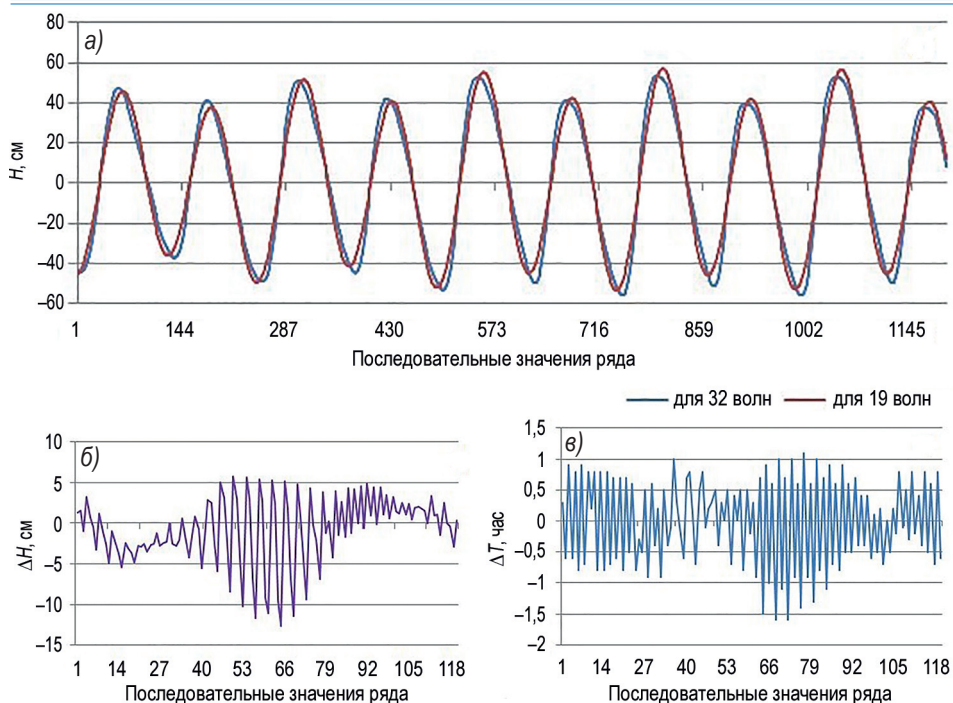


Рис. 2. Кривые предвычисленного прилива с дискретностью 6 мин по набору для 32 волн и 19 волн (без мелководных приливов) для 15–20 августа 2019 г. в Сеяхе в сизигию (а). Кривые разностей высот (б) и времен (в) полных и малых вод двух временных рядов за 1–30 августа 2019 г.

Fig. 2. Tide curves prediction with intervals of 6 min over a set for 32 constituents and 19 constituents (without shallow water tides) for 15–20 August 2019 in Seyakh in syzygy (a). Curves of differences in heights (b) and times (c) of high and low waters of two time series in 1–30 August 2019

Детальная оценка качества наблюдений за уровнем в Тадибеяхе и Сеяхе дана в табл. 1 и 2. Также в этих таблицах приведены оценки суммарных, приливных и остаточных колебаний уровня по многолетним наблюдениям за уровнем (они будут прокомментированы ниже).

При сравнении данных в табл. 1 и табл. 2 видно, что качество наблюдений в Сеяхе уступает таковому в Тадибеяхе. В 6 годах наблюдалась гидравлическая потеря связи с морем в зимний период (в Тадибеяхе только в 2 года). В среднем дисперсия суммарных колебаний в Сеяхе больше, чем в Тадибеяхе. Этот факт является отражением общей закономерности — у левого берега Обской губы наблюдается более интенсивное развитие неперiodических и приливных колебаний уровня по сравнению с правым берегом.

Первой задачей приведения наблюдений к однородным рядам является установление точной привязки годовых серий к Балтийской системе высот. Отметка нуля поста претерпевала уточнения по мере проведения нивелировочных работ. Но в ряде случаев была нарушена однородность ряда наблюдений, в связи с чем при использовании данных за многолетний период были введены определенные поправки к значениям уровней, полученным для перехода к единому нулю [9].

Качество наблюдений за уровнем на станции Тадибейха в 1968–1988 гг.
и оценки дисперсий суммарных (D_2), остаточных ($D_{ост}$) и приливных колебаний уровня
Table 1

The quality of level observations at the Tadibeyakha station over the 1968–1988 period
and the variance of the total (D_2), residual ($D_{ост}$) and tidal level fluctuations

Годы	D_2 , см ²	$D_{ост}$, см ²	Вклад прилива, %	Примечание
1968	469,99	253,52	46,0	Пропуски
1969	637,27	368,85	42,1	Потеря связи
1970	1084,61	686,80	36,7	
1971	773,88	520,36	32,8	
1972	710,26	531,95	25,1	
1973	693,47	455,13	34,4	Потеря связи
1974	640,32	395,99	38,2	
1975	507,69	262,12	48,4	
1976	420,76	222,83	47,0	
1977	217,78	289,67	33,5	
1978	468,76	262,07	44,1	Пропуски
1979	(241,52)	(32,39)	(86,6)	Пропуски. Потеря связи
1980	457,42	278,49	39,1	Пропуски
1981	720,99	388,49	46,1	
1982	408,78	197,83	51,6	Пропуски
1983	453,29	251,49	44,5	
1984	596,82	465,97	21,9	
1985	753,93	521,04	30,9	
1986	1016,08	671,13	33,9	
1987	608,10	323,98	46,7	
1988	458,33	312,05	31,9	Пропуски
Среднее	587,62	366,29	41,0	

Примечание. Пропуски — общее количество пропущенных суток наблюдений в году более 1 месяца; потеря связи — общее число суток потери гидравлической связи с морем более 1 месяца. В скобках даны сомнительные значения.

Note. Omissions — the total number of missed observation days in a year for more than 1 month; loss of communication — the total number of days of loss of hydraulic communication with the sea for more than 1 month. Doubtful values are given in parentheses.

Таблица 2

Качество наблюдений за уровнем на станции Сеяха за период 1973–1992 гг.
и оценки дисперсий суммарных (D_2), остаточных ($D_{ост}$) и приливных колебаний уровня
Table 2

The quality of level observations at the Seyakha station over the 1973–1992 period
and the variance of the total (D_2), residual ($D_{ост}$) and tidal level fluctuations

Годы	D_2 , см ²	$D_{ост}$, см ²	Вклад прилива, %	Примечание
1973	833,83	466,35	44,1	Потеря связи
1974	557,15	317,04	43,1	То же
1975	740,43	377,71	49,0	
1976	598,39	357,15	40,3	

Годы	D_{22} , см ²	$D_{ост}$, см ²	Вклад прилива, %	Примечание
1977	526,67	435,79	58,6	Потеря связи
1978	610,97	384,84	37,0	То же
1979	970,84	553,13	43,0	“
1980	362,18	174,23	51,9	Пропуски
1981	651,27	461,58	29,1	
1982	663,47	381,12	42,5	Потеря связи
1983	589,18	394,26	33,1	
1984	482,53	308,22	36,1	
1985	581,67	501,48	13,8	
1986	651,88	320,21	50,9	
1987	766,35	193,99	74,7	Пропуски
1988	490,44	264,75	46,0	
1989	437,16	143,13	67,2	Пропуски
1990	497,83	257,51	48,3	
1991	602,06	248,49	58,7	
1992	(431,63)	(66,78)	(84,5)	Пропуски
Среднее	593,78	338,68	47,6	

Примечание. Пропуски — общее количество пропущенных суток наблюдений в году более 1 месяца; потеря связи — общее число суток потери гидравлической связи с морем более 1 месяца. В скобках даны сомнительные значения.

Note. Omissions — the total number of missed observation days in a year for more than 1 month; loss of communication — the total number of days of loss of hydraulic communication with the sea for more than 1 month. Doubtful values are given in parentheses.

Способ калибровки [10] позволяет привести ежедневные и срочные наблюдения к однородным рядам, но для его применения необходимо иметь модель прилива. На первом этапе были обработаны гармоническим анализом по МНК все имеющиеся *ежечасные* серии с целью формирования оценок гармонических постоянных прилива на каждый месяц года. При этом использовались годовые серии без пропусков и потери гидравлической связи с морем за отдельные интервалы времени в зимний период. Затем была разработана программа предвычисления прилива на основе 12 наборов списков волн прилива (32 суточных, полусуточных и мелководных волн в каждом месяце). Причем в эти списки были включены долгопериодные приливы (до 7 волн: $M_n, S_a, S_{sa}, S_{la}, S_{qa}, M_m, M_f$).

СООТНОШЕНИЕ ПРИЛИВНЫХ И НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ. ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ В ТАДИБЕЯХЕ И СЕЯХЕ

Попытка определения соотношения приливных и непериодических (сгонно-нагонных) колебаний уровня была предпринята в работе [1]. Критерием приливных колебаний считалось отношение амплитуды (величины) среднего сизигийного значения прилива в летний период к амплитуде сгонно-нагонных колебаний, которая выбиралась по имеющимся к 1940 г. наблюдениям. Понятно, что полученные результаты носили очень приближенный характер. Следующая подобная карта для Обской губы представлена в работе [2]. Если в отношении прилива сведений было получено достаточно, то по сгонно-нагонным колебаниям рассчитывались относительные гипотетические значения. В целом достоверность карты также была неполной.

В настоящей работе авторы определили дисперсию наблюдений для однородных годовых ежечасных рядов в качестве показателя энергетики суммарных колебаний уровня воды. Остаточные годовые ряды (наблюдения минус предвычисление) приняты для расчета дисперсии непериодических колебаний уровня воды. Дисперсия предвычисленных годовых рядов дает оценку приливных колебаний уровня. В некоторые годы оценки дисперсий могут быть смещенными вследствие присутствия пропусков общим количеством более 1 месяца или в случае потери гидравлической связи с губой в зимний период в отдельные интервалы времени, т. к. при этом сомнительные измерения заменялись на предвычисленные значения.

Из данных табл. 1 видно, что максимум дисперсии суммарных и непериодических колебаний уровня наблюдался в 1970 г. Минимум дисперсии суммарных колебаний уровня отмечался в 1977 г., а остаточных — в 1976 г. Вклад приливных колебаний в году в среднем составил 41 % с максимумом 51,6 % (1982) и минимумом в 21,9 % (1984). Этот вывод о вкладе прилива является новым и не совсем обычным. Средняя продолжительность ледового периода составляет в средней части Обской губы около 290 дней, но, несмотря на сильное гашение прилива в зимний период, его вклад в среднем остается существенным.

Максимум дисперсии суммарных колебаний уровня наблюдался в 1973 г., а непериодических — в 1979 г. (см. табл. 1 и 2). Минимум дисперсии суммарных и остаточных колебаний уровня отмечался в 1989 г. Вклад приливных колебаний в году в среднем составил 47,6 % с максимумом 74,7 % (1987) и минимумом в 13,8 % (1985). То есть какой-либо корреляции с наступлением аналогичных явлений в Тадибеяхе не заметно. В целом на станции Сеяха колебания уровня в мезомасштабном диапазоне отражают местные условия и не являются репрезентативными для открытой части Обской губы.

Рассмотрим изменчивость дисперсий суммарных, непериодических (остаточных) и приливных колебаний уровня в годовом цикле. Для этого рассчитаем дисперсии по месяцам для отдельных лет, в которых наблюдался близкий к среднему уровень дисперсии суммарных колебаний. Конечно, при этом привлекались годовые серии с хорошим качеством без пропусков наблюдений и без потери сообщения с морем в зимний период.

Для станции Тадибеяха расчет выполнен для ежечасной годовой серии за 1984 г.

На рис. 3 показан ход в годовом цикле дисперсий суммарных колебаний, непериодических (остаточных) и вклад приливных колебаний.

Из рис. 3 видно, что кривые хода дисперсий остаточных и приливных колебаний находятся в противофазе. В зимний период в январе–марте вклад прилива небольшой, а дисперсия остаточных колебаний значительно выше. Начиная с апреля по сентябрь преобладают приливные колебания уровня. По сравнению с ними дисперсия остаточных колебаний существенно ниже.

Показательным фактом на рис. 3 является необычно резкое усиление дисперсии суммарных и непериодических колебаний уровня в феврале. Это свидетельствует о возможности развития больших сгонно-нагонных колебаний в зимний период при наличии ледяного покрова.

По станции Сеяха был выбран 1976 г. с хорошим качеством наблюдений и средним уровнем общей дисперсии за год. На рис. 4 дан ход в годовом цикле дисперсий суммарных колебаний, непериодических (остаточных) и вклад приливных колебаний.

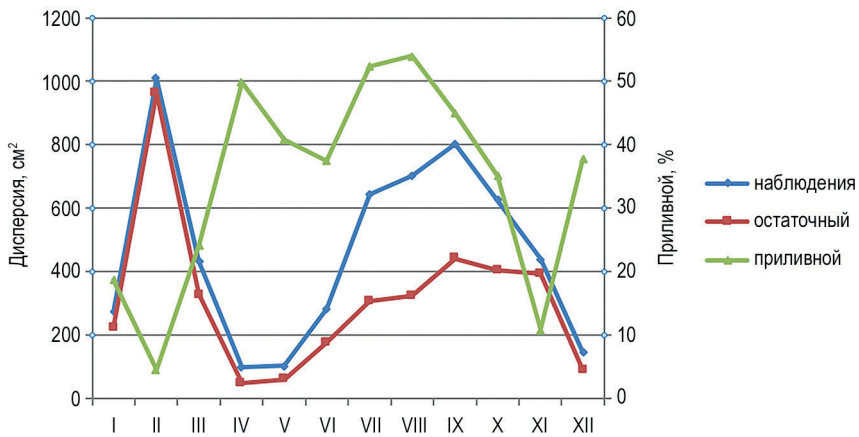


Рис. 3. Кривые хода в годовом цикле значений дисперсий суммарных, остаточных (непериодических) и приливных колебаний уровня на станции Тадибейаха в 1984 г.

Fig. 3. Variation curves in the annual cycle of the variance of the total, residual (non-periodic) and tidal level fluctuations at the Tadibeyakha station in 1984

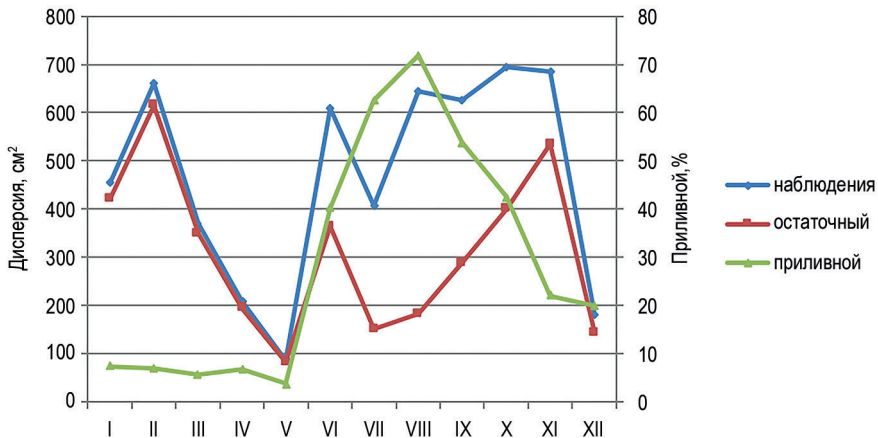


Рис. 4. Кривые хода в годовом цикле значений дисперсий суммарных, остаточных (непериодических) и приливных колебаний уровня на станции Сеяха в 1976 г.

Fig. 4. Variation curves in the annual cycle of the values of the variance of the total, residual (non-periodic), and tidal level fluctuations at the Seyakha station in 1976

Здесь так же, как и в Тадибейахе, наблюдается противоположный ход кривых остаточных дисперсий и приливных колебаний уровня. Но более резко выражен вклад приливных колебаний в июле–октябре, и значительно более сильное ослабление прилива происходит в январе–мае. Кривые хода суммарных и остаточных дисперсий показывают наличие больших стонно-нагонных явлений в зимний период в январе–феврале и октябре.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ

В порту Сабетта и пункте Салман были рассчитаны средние векторные оценки гармонических постоянных на каждый месяц года. При этом использовались

экспедиционные наблюдения за уровнем в Сабетте за 2012–2106 гг., а в пункте Утренний — за 2012–2019 гг.

Для постов Сеяха и Тадибеяха по однородным (исправленным) рядам были рассчитаны заново средние месячные значения констант основных волн прилива. Они несколько различаются с приведенными в работе [4] вследствие измененной методики расчета. В расчете использованы годы, в которых не было пропусков и потери гидравлической связи с морем в зимний период. В табл. 3 даны гармонические постоянные 11 волн прилива на август и апрель.

Выше уже отмечалось наличие ошибок в обработке исторических кратковременных наблюдений за уровнем. Поэтому в табл. 4 приведены результаты нашего гармонического анализа в 4 пунктах. Эти исторические наблюдения были произведены в XX в. в местах расположения факторий, имеющих в то время значение для

Таблица 3

Гармонические постоянные прилива по многолетним наблюдениям в пунктах Сабетта, Утренний, Сеяха, Тадибеяха для летнего периода (август) и зимнего периода (апрель)

Table 3

Harmonic constants of the tide for the summer (August) and winter (April) periods at the Sabetta, Utrenny posts, at the Tadibeyakha and Seyakha post

Характеристика	Волны										
	O_1	O_1	P_1	K_1	N_2	M_2	S_2	K_2	M_4	MS_4	M_6
	Сабетта (август)										
H	1,1	2,6	1,8	5,4	5,3	41,3	17,7	4,8	3,1	2,5	0,7
g	32	164	310	310	360	35	113	113	347	81	286
	Сабетта (апрель)										
H	0,6	2,4	1,5	4,5	3,5	26,9	11,6	3,2	0,9	0,9	0,2
g	44	162	321	321	47	78	146	146	60	145	6
	Утренний (август)										
H	1,1	2,3	1,4	4,4	2,4	18,9	7,6	2,1	1,8	1,4	0,5
g	95	226	345	345	64	100	174	174	68	153	34
	Утренний (апрель)										
H	1,4	1,6	1,0	2,9	2,1	13,1	6,1	1,7	0,7	0,8	0,1
g	55	194	3	3	108	127	193	193	124	190	75
	Сеяха (август)										
H	0,9	1,0	1,4	4,2	2,6	26,5	10,3	2,8	3,2	2,8	0,5
g	78	218	3	3	139	172	256	256	269	10	323
	Сеяха (апрель)										
H	0,2	0,9	0,3	0,8	0,6	4,8	1,7	0,5	0,4	0,3	0,1
g	103	269	17	17	208	282	4	4	142	202	123
	Тадибеяха (август)										
H	1,2	1,6	1,2	3,6	3,3	25,0	9,8	2,6	1,1	1,2	0,5
g	94	204	355	355	111	145	226	226	153	254	179
	Тадибеяха (апрель)										
H	0,6	1,1	0,6	1,9	1,0	6,7	2,5	0,7	0,2	0,2	0,1
g	77	236	45	45	172	220	292	292	18	63	5

Примечание. H — амплитуда, см; g — угол положения, град; волны P_1 , K_2 , N_2 даны во втором приближении по известным теоретическим соотношениям. Углы положений приведены к нулевому поясу; координаты временных постов: Сабетта (71° 17' с. ш.; 72° 02,1' в. д.), Утренний (71° 00' с. ш.; 73° 45' в. д.).

Note. H is the amplitude, cm; g is the position angle, deg; waves P_1 , K_2 , N_2 are given in the second approximation according to known theoretical relations. The position angles are given to the 0 zone; coordinates of temporary posts: Sabetta (71° 17' N; 72° 02.1' E), Utrenny (71° 00' N; 73° 45' E).

рыбного или охотничьего промысла [3]. В настоящее время эти наблюдения имеют самостоятельный научный интерес.

Из данных в работах [2, 4, 6] следует, что наибольшее гашение прилива ледяным покровом в среднем наблюдается в апреле, а максимальное развитие прилива происходит в августе.

В табл. 5 приведены значения характера прилива, величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2 для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах с результатами анализа за летний и зимний периоды.

Согласно данным в табл. 5, прилив в летний период в средней части Обской губы носит правильный полусуточный характер (за исключением района у пункта Утренний), а в зимний период приобретает смешанный, в основном полусуточный характер. В качестве критерия характера (формы) прилива использован критерий

Таблица 4

**Гармонические постоянные прилива по историческим наблюдениям
в пунктах м. Харсе, м. Котельникова, м. Яптик-Сале, м. Хампульт-Яха
для летнего периода (август) и зимнего периода (апрель)**

Table 4

**Harmonic constants of the tide for the summer (August) and winter (April) periods
at the points of Cape Kharse, Cape Yaptik-Sale, Cape Kotelnikova and Cape Hampul-Yakha**

Характеристика	Волны										
	Q_1	O_1	P_1	K_1	N_2	M_2	S_2	K_2	M_4	MS_4	M_6
	Харсе (август 1926)										
H	0,4	1,6	1,1	3,4	2,5	24,6	9,1	2,5	1,4	0,9	0,2
g	88	176	360	360	125	164	239	239	268	338	96
	Харсе (апрель 1948)										
H	0,2	1,0	0,5	1,4	2,1	6,6	3,0	0,8	0,3	0,6	0,1
g	199	250	112	112	227	291	8	8	190	180	272
	Яптик-Сале (июль 1948)										
H	1,2	1,9	0,7	2,1	0,8	17,6	9,2	2,5	1,5	1,0	0,2
g	144	233	71	71	150	252	312	312	61	124	176
	Яптик-Сале (май 1948)										
H	0,1	0,9	0,5	1,4	0,4	6,2	2,9	0,8	1,3	0,9	0,1
g	136	288	94	94	332	342	66	66	278	342	266
	Котельникова (август 1948)										
H	0,2	1,9	0,8	2,6	3,4	16,7	6,3	1,7	1,8	1,5	0,6
g	19	296	22	22	137	204	303	303	324	96	62
	Котельникова (апрель 1948)										
H	0,1	0,7	0,4	1,2	2,5	3,5	1,5	0,4	0,2	0,2	0,1
g	168	233	71	71	242	286	22	22	147	240	189
	Хампульт-Яха (август 1927)										
H	0,4	1,0	0,7	2,1	1,9	13,5	7,3	2,0	1,6	0,9	0,2
g	185	31	65	65	171	217	314	314	338	93	336

Примечание. H — амплитуда, см; g — угол положения, град; волны P_1, K_2, N_2 даны во втором приближении по известным теоретическим соотношениям. Углы положений приведены к нулевому поясу; координаты временных постов: м. Харсе (70° 06' с. ш.; 73° 43' в. д.), м. Котельникова (69° 30' с. ш.; 74° 00' в. д.), м. Яптик-Сале (69° 23' с. ш.; 72° 32' в. д.), м. Хампульт-Яха (69° 23' с. ш.; 73° 56' в. д.).
Note. H is the amplitude, cm; g is the position angle, deg; waves P_1, K_2, N_2 are given in the second approximation according to known theoretical relations. The position angles are given to the zero zone; coordinates of temporary posts: Cape Harse (70° 06' N; 73° 43' E), Cape Kotelnikova (69° 30' N; 74° 00' E), Cape Yaptik-Sale (69° 23' N; 72° 32' E), Cape Hampool Yaha (69° 23' N; 73° 56' E).

**Значения характера прилива по Куртье,
величин отношения амплитуд волн S_2/M_2 и волн M_4/M_2
для лета (август) и зимы (апрель) в пунктах средней части Обской губы**

Table 5

**Types of tides by Courtier, the ratio between the constituents S_2/M_2 and M_4/M_2 for the
summer (August) and winter (April) periods at the points**

Пункт	$(H_{K_1}+H_{O_1})/(H_{M_2}+H_{S_2})^*$		H_{S_2}/H_{M_2}		H_{M_4}/H_{M_2}	
	Август	Апрель	Август	Апрель	Август	Апрель
Сабетта	0,136	0,179	0,429	0,431	0,075	0,033
Утренний	0,253	0,234	0,402	0,466	0,095	0,053
Сеяха	0,141	0,262	0,389	0,354	0,121	0,083
Тадибеяха	0,149	0,326	0,392	0,373	0,044	0,030
Харсе	0,148	0,250	0,370	0,454	0,057	0,045
Яптик-Сале	0,015	0,253	0,523	0,468	0,085	(0,210)
Котельникова	0,196	0,380	0,377	0,429	0,108	0,057

Примечание. * — при значении отношения $>0,25$ и $<1,50$ прилив смешанный, в основном полусуточный. В скобках отмечены сомнительные значения.

Note. * — when the ratio is $>0,25$ and $<1,50$, the tide is mixed, mostly semi-daily. Doubtful values are marked in parentheses.

Куртье, т. к. критерий Дуванина в силу неполноты (нет волны S_2) для наших данных дает в ряде случаев неверные определения формы прилива.

Возраст полусуточного прилива составляет 3,3 сут. Так как возраст суточного прилива достигает 6 дней, то тропические приливы соответственно будут запаздывать на это значение от соответствующих астрономических моментов склонений Луны. По существу, равноденственные приливы (минимум развития суточных приливов) будут наблюдаться в дни максимальных значений склонений Луны, а тропические приливы (наиболее сильные суточные приливы) в дни с нулевым склонением Луны.

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.

Параллактическое неравенство, связанное с моментами прохождения Луны через перигей или апогей, почти не выражено, т. к. 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. Наиболее выражены мелководные волны в летний период, когда их величина для основных волн M_4 и M_{S_4} достигает около 3 см (см. табл. 3). В зимний период наблюдается очень сильное гашение амплитуд мелководных волн, и их амплитуда для отдельной волны не превышает 0,9 см. Такое поведение отражается на значениях критерия H_{M_4}/H_{M_2} (см. табл. 5), который в зимний период в среднем по всем пунктам в 1,5 раза меньше, чем в летний период. Мелководный прилив с периодом 4 ч не играет заметной роли в описании кривой прилива, т. к. по величине волна M_6 даже в летний период не превышает 0,7 см. В зимний период его амплитуда падает в разы и он практически полностью затухает.

Приведенные выше характеристики приливов были получены на данных стационарных постов за период 70–90 гг. XX в. (Сеяха и Тадибеяха) и постов за современный период (Сабетта, Утренний) с привлечением 4 исторических пунктов. Изменчивость приливов в зависимости от ледяного покрова отражала влияние средних ледовых условий за указанные периоды. В последнее десятилетие произошли существенные изменения в развитии ледовых процессов в Обской губе, связанные как с глобальными климатическими изменениями, так и, по-видимому, с техногенными причинами [4, 6].

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СУММАРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ НА ПОСТАХ СЕЯХА И ТАДИБЕЯХА

Характеристики наблюдаемого суммарного уровня, включающего вклад всех составляющих в его колебания, подробно рассмотрены в работах [4, 11] на рядах экстремальных уровней по 1989 г., поэтому здесь приведем лишь краткие сведения, полученные на продленных рядах по 1993 г. включительно.

Наивысшие уровни отмечаются в июне и в августе–ноябре. Проявление максимумов уровня в июне обусловлено, помимо прочих факторов, дополнительным влиянием стока с местных водосборов рек, на которых расположены уровенные посты, в период весеннего снеготаяния. В Сеяхе наибольшее число случаев максимальных уровней приурочено к периоду, свободному ото льда, в Тадибеяхе — к периоду ледостава. Наибольшее число случаев минимальных уровней на постах Сеяха и Тадибеяха приходится на период чистой воды.

Наибольший многолетний размах колебаний суммарных уровней (разность наблюдаемых экстремумов за весь период наблюдений) в Сеяхе составил 2,28 м, в Тадибеяхе — 2,90 м. Наибольший размах колебаний экстремальных уровней в пределах одного года в Сеяхе равен 2,26 м, в Тадибеяхе — 2,46 м. В рамках одного месяца наибольший размах наблюдаемых экстремальных уровней составил в Сеяхе 1,93 м (октябрь 1972 г.), в Тадибеяхе — 2,35 м (август 1983 г.).

Основные статистические характеристики наблюдаемых экстремальных уровней представлены в табл. 6, из которой видно преобладание величины дисперсии по данным Тадибеяхи над Сеяхой, как по полным рядам, так и за период параллельных наблюдений. Хотя в последнем случае это преобладание несколько уменьшилось.

Типичная картина, дающая представление о характере нагонных и сгонных колебаний уровня, показана на рис. 5, из которого видно, что неперIODические колебания проявляются как летом, так и зимой под припайным ледяным покровом.

Таблица 6

Статистические характеристики наблюдаемых
максимальных (H_{\max}) и минимальных (H_{\min}) уровней в Сеяхе и Тадибеяхе

Table 6

Statistical characteristics of the observed maximum (H_{\max}) and minimum (H_{\min}) levels
in Seyakha and Tadibeyakha

Характеристика	Сеяха (1967–1993)		Тадибеяха (1955–1993)		Тадибеяха (1967–1993)	
	H_{\max}	H_{\min}	H_{\max}	H_{\min}	H_{\max}	H_{\min}
Среднее, см	591	412	600	413	597	415
СКО, см	13,4	10,7	21,7	16,4	19,6	16,2
Высший, см	618	430	671	454	631	454
Низший, см	565	390	563	381	563	381

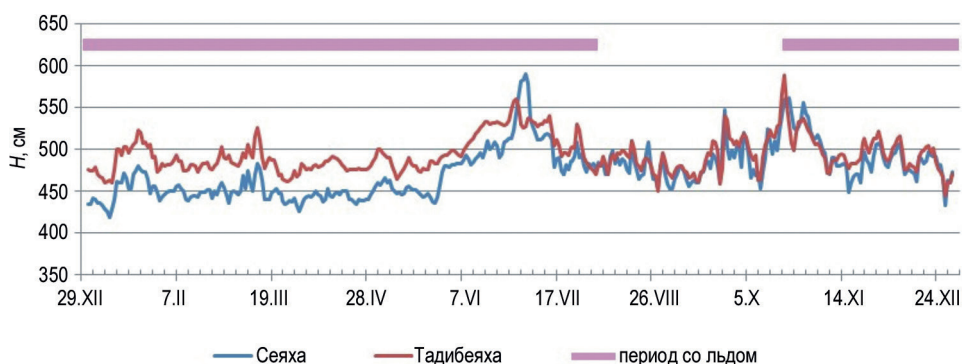


Рис. 5. Внутригодовая изменчивость среднесуточного уровня воды на постах Сеяха и Тадибеяха в 1987 г.

Fig. 5. Intra-annual variability of the mean daily water level at the Seyakha and Tadibeyakha stations in 1987

Среднесуточные значения уровней использованы в работе [4] для оценки неперiodических колебаний. Способ 24-часового скользящего сглаживания рекомендуется Руководством [12] при отсутствии ежечасных наблюдений, т. к. при полусуточных приливах периодическая составляющая исключается. При этом, используя среднесуточные данные для характеристики нагонов-сгонов, необходимо иметь в виду, что при суточном осреднении уровней вместе с исключением приливной составляющей уровня занижается нагонная составляющая уровня и величина нагона, а также завышается сгонная составляющая уровня и занижается величина сгона [4]. По этой причине среднесуточные данные могут служить преимущественно для описания распределения стонно-нагонных колебаний уровня по годам и сезонам, но не для получения точных величин этих колебаний. Точные значения дает применение метода ААНИИ гармонического анализа на основе ежечасных наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В наблюдениях на постах Сеяха и Тадибеяха за период 1968–1992 гг. количество сомнительных измерений составляет около 40 %, но с помощью способа калибровки приливов наблюдения были приведены к однородным рядам.

В настоящей работе приведены значения гармонических постоянных прилива 11 основных суточных, полусуточных и мелководных волн для 8 пунктов в средней части Обской губы для летнего периода (август) и зимнего периода (апрель). При этом показано на тестах существенное влияние мелководных волн на адекватное наблюдением описание кривой прилива и расчет полных и малых вод. Константами волн для августа можно пользоваться для расчета прилива на весь безледовый период (с июля по октябрь), т. к. их изменчивость на весь летний период не существенна. Для ледового периода разработаны списки средних констант прилива для 4 постов на каждый месяц, которые здесь не приведены. Проблема заключается в том, что в последние годы вследствие аномального развития запрпайной полыньи на севере Обской губы иногда происходит необычное распространение приливной волны. В этих условиях расчет приливных колебаний уровня производится по нестандартным сценариям.

Произведена оценка дисперсии суммарных и непериодических колебаний, вклада приливной компоненты за весь период ежечасных наблюдений на станциях Тадибеяха (1968–1988) и Сеяха (1973–1992) по годовым сериям. Вклад приливных колебаний в году в среднем составил 41 % в Тадибеяхе и около 48 % в Сеяхе. Этот вывод о вкладе прилива является новым и не совсем обычным. Средняя продолжительность ледового периода составляет в средней части Обской губы около 290 дней, но, несмотря на сильное гашение прилива в зимний период, его вклад в среднем в году остается существенным.

В среднем дисперсия суммарных колебаний в Сеяхе немного больше, чем в Тадибеяхе. Этот факт является отражением общей закономерности — на левом берегу Обской губы по отношению к морю наблюдается более интенсивное развитие непериодических и приливных колебаний уровня по сравнению с правым берегом. В целом на станции Сеяха колебания уровня в мезомасштабном диапазоне отражают местные условия и не являются репрезентативными для открытой части Обской губы.

Анализ изменчивости хода дисперсии суммарных, остаточных и приливных колебаний в годовом цикле был выполнен выборочно для годовых серий с хорошим качеством наблюдений. Обнаружено, что в зимний период в январе–марте (январе–мае для Сеяхи) вклад прилива небольшой, а дисперсия остаточных колебаний значительно выше. Приливные колебания уровня в Тадибеяхе преобладают с апреля по октябрь. В Сеяхе наблюдается более сильное влияние ледяного покрова и резкое возрастание вклада прилива начинается с июня. В Тадибеяхе выявлено необычно резкое усиление дисперсии суммарных и непериодических колебаний уровня в феврале. Это свидетельствует о возможности развития больших сгонно-нагонных колебаний в зимний период при наличии ледяного покрова.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы 2.2 Плана НИТР Росгидромета на 2022 г.

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The research was funded within project 2.2 of Roshydromet Plan NITR 2022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корт В.Г. Непериодические колебания уровня воды в Арктических морях и способы их прогноза // Труды АНИИ. 1941. Т. 175. 163 с.
2. Коптева А.В. Уровень и течения Обской губы // Труды АНИИ. 1953. Т. 59. С. 84–148.
3. Коптева А.В., Бутенко А.К., Иванова З.К. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды АНИИ. 1952. Т. 42. Вып. VII. Карское море. 536 с.
4. Войнов Г.Н., Налимов Ю.В., Пискун А.А., Становой В.В., Усанкина Г.Е. Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ (лед, уровни, структура вод) / Под ред. д-ра геогр. наук Г.Н. Войнова. СПб.: Нестор-История, 2017. 192 с.
5. 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.: Изд-во РГГМУ, 2003. 45 с.
6. Войнов Г.Н., Пискун А.А. Колебания уровня воды в средней части Обской губы // Труды V Международной конференции Гришанинские чтения. «Водные пути и русловые процессы.

Гидротехнические сооружения водных путей». СПб. 02–05 июня 2021. Вып. 5. Ч. 1. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2021. С. 154–173.

7. Pugh D.T. Tides, surges and mean sea-level. Chichester: John Wiley and Sons, 1987. 463 p.
8. Doodson A.T., Warburg H.D. Admiralty manual of tides. London: His Majesty's stationery office, 1941. 261 p.
9. Пискун А.А. Состояние высотной основы и качество данных по уровням воды в Обско-Тазовской устьевой области // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (86). С. 97–113.
10. 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.
11. Пискун А.А. Режим уровней воды в Обской и Тазовской губах // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб. 19–20 декабря 2018. СПб.: ХИМИЗДАТ, 2018. С. 532–535.
12. Руководство по гидрологическому исследованию морских устьев рек. М.: Гидрометеоздат, 1965. 118 с.

REFERENCES

1. Kort V.G. Non-periodic expectations of the water level in the Arctic Seas and the probability of their forecast. *Trudy Arkticheskogo nauchnoy-issledovatel'skogo instituta*. Proceedings of the ARI. 1941, 175: 163 p. [In Russian].
2. Kopteva A.V. The level and manifestation of the Gulf of Ob. *Trudy Arkticheskogo nauchnoy-issledovatel'skogo instituta*. Proceedings of the ARI. 1953, 59: 84–148. [In Russian].
3. Kopteva A.V., Butenko A.K., Ivanova Z.K. Materials on the autumn of the tides of the Arctic seas of the USSR. *Trudy Arkticheskogo nauchnoy-issledovatel'skogo instituta*. Proceedings of the ARI. 1952, 42, VII: 536 p. [In Russian].
4. Voynov G.N., Nalimov Yu.V., Piskun A.A., Stanovoy V.V., Usankina G.E. *Osnovnye cherty gidrologicheskogo rezhima Obskoi i Tazovskoi gub (led, urovni, struktura vod)*. The main features of the hydrological regime of the Ob and Taz Bays (ice, levels, water structure). St. Petersburg: Nestor-History, 2017: 192 p. [In Russian].
5. Voynov G.N. *Prilivnye iavleniia i metodologiia ikh issledovaniia v shel'fovoi zone arkticheskikh morei (na primere Karskogo i severo-vostochnoi chasti Barentseva morei)*. Tidal phenomena and methodology of their research in the shelf zone of the Arctic seas (on the example of the Kara and north-eastern part of the Barents Seas). Abstract of the thesis. dis. ... Dr. geogr. Sciences. St. Petersburg: Publishing house of the Russian State Humanitarian University, 2003: 45 p. [In Russian].
6. Voinov G.N., Piskun A.A. Fluctuations in the water level in the middle part of the Gulf of Ob. *Trudy V Mezhdunarodnoi konferentsii Grishaninskie chteniia. "Vodnye puti i ruslovyie protsessy. Gidrotekhnicheskie sooruzheniia vodnykh putei"*. Proceedings of the V International Conference Grishanin Readings. "Waterways and channel processes. Hydrotechnical structures of waterways". SPb. June 02-05, 2021. Issue 5. Part 1. St. Petersburg: Publishing house GUMRF im. adm. S.O. Makarov, 2021: 154–173. [In Russian].
7. Pugh D.T. Tides, surges and mean sea-level. Chichester: John Wiley and Sons, 1987: 463 p.
8. Doodson A.T., Warburg H.D. Admiralty manual of tides. London: His Majesty's stationery office, 1941: 261 p.
9. Piskun A.A. The state of the altitude base and the quality of data on water levels in the Ob-Taz estuarine region. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2010, 3 (86): 97–113. [In Russian].

10. *Войнов Г.Н.* A method for reducing hourly observations of sea level to homogeneous series using tide calibration. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2015, 2 (104): 68–80. [In Russian].
11. *Пискун А.А.* Water level regime in the Ob and Taz bays. *Trudy II Vserossiiskoi konferentsii "Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniia i perspektivy razvitiia"*. Proc. of the II All-Russian Conference "Hydrometeorology and Ecology: Achievements and Development Prospects". St. Petersburg, December 19–20, 2018. St. Petersburg: KHIMIZDAT, 2018: 532–535. [In Russian].
12. *Руководство по гидрологическому исследованию морских устьев рек.* Guidelines for the hydrological study of sea mouths of rivers. Moscow: Gidrometeoizdat, 1965: 118 p. [In Russian].