

## ПРИЛИВНЫЕ И СГОННО-НАГОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ У МЫСА КАМЕННОГО (ОБСКАЯ ГУБА)

Г.Н. Войнов<sup>1,2</sup>, А.А. Пискун<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургское отделение Государственного океанографического института, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

## TIDAL AND STORM SURGES LEVELS AT CAPE KAMENNY (GULF OF OB)

G.N. Voinov<sup>1,2</sup>, A.A. Piskun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>St-P. branch State Oceanographic Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Arctic and Antarctic research Institute, St. Petersburg, Russia

*Приведены средние оценки гармонических постоянных приливов за летний период у мыса Каменного, полученные с помощью метода наименьших квадратов. По остаточным рядам (наблюдения минус предвычисления) произведено исследование сгонно-нагонных колебаний уровня моря в отдельные годы.*

*The average estimates of the harmonic constant tides for the summer period (August) at Cape Kamenny obtained by the method of least squares are given. The residual series (observations minus prediction) were used to study the surface-to-surface fluctuations of sea level in some years.*

В XX веке наблюдения за уровнем моря в Обской губе выполнялись в рамках проекта освоения Крайнего севера и обеспечения функционирования Северного морского пути. Была создана сеть стационарных постов, которая действовала до конца 90-х XX века [1]. В этот период проводились комплексные экспедиционные исследования в основном силами ААНИИ, а также Амдерминским управлением гидрометслужбы и другими организациями.

В XXI веке начался новый этап освоения Северного морского пути, связанный с освоением новых месторождений нефти и газа. На м. Каменный построен терминал «Ворота Арктики». Реализуется проект освоения месторождения «Каменномысское-море». В связи с этим возник запрос на гидрометеорологическое обеспечение судоходства, строительство инженерных сооружений в этом районе и разработки локальных технических условий. С 2015 г. в этом районе возобновились экспедиционные исследования и практически круглогодично (с 2016 г.) проводятся наблюдения за уровнем.

В данной работе исследованы особенности режима приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня воды в районе м. Каменный. Сведения о материалах наблюдений за уровнем в районе м Каменный, использованных в данной работе, даны в таблице 1.

Стационарные уровенные наблюдения на посту Каменный (68° 30' с.ш.; 73° 35' в.д.) начаты в 1952 г. В период с 1952 по 1976 гг. наблюдения велись с большими внутригодовыми и межгодовыми перерывами. Как следствие, полностью не освещены наблюдениями 1957, 1958, 1962–1975 гг. С мая 1994 г. стационарные наблюдения на посту прекращены. До постройки причала (1977 г.) условия наблюдений были плохими из-за мелководья и частых осушек. Поэтому материалы наблюдений за 1952–1961 гг. прошли оценочный контроль, но в дальнейшем не использовались вследствие низкого качества. В материалах за 1977–1994 гг. количество пропусков составило около 5% (без 1994 г.), а количество замен сомнительных измерений достигло почти 37% (без 1994 г.). Однако применение способа калибровки [2] позволило привести эти наблюдения к однородным рядам, что дало возможность их использования для получения достоверных приливных и статистических оценок.

Таблица 1. Сведения об изученности уровней воды в районе м. Каменного

№	Период наблюдений	Дискретность наблюдений, ч; способ измерений
1	07–08.1936	1; Рейка, сваи
2	01.1947–01.1949	1; СУМ
3	04–05.1971	1 ; СУМ
4	03–04.1972	1 ; СУМ
5	1952–56, 1959–61, 1977–94	6; Рейка, сваи

Примечание: СУМ – ежечасные наблюдения по мареографу.

Ранее для расчета приливов на м Каменном использовались константы приливов, данные в справочнике [4], которые были определены методом Дарвина из месячной серии. Более устойчивые и полные результаты получены нами с помощью метода наименьших квадратов, которые даны в таблице 2.

Таблица 2. Результаты анализа наблюдений за приливами на м. Каменный за август.  $H$  – амплитуда, см;  $g$  – угол положения, град, с.к.о. – значения среднего квадратического отклонения (векторного). Средние векторные оценки рассчитаны по результатам анализа ежечасных месячных серий за 1936, 1947, 1948 гг. Углы положений приведены к 0 поясу.

Сравнение данных табл. 2 с новыми результатами анализа месячной серии наблюдений за уровнем за август 2017 г. (экспедиция ААНИИ) не выявило значимых различий между гармоническими постоянными основных волн прилива.

Согласно полученным нами в целом данным, прилив в районе м. Каменный носит правильный полусуточный характер в течение всего годового цикла (критерий Куртье равен 0,18–0,21). Заметно влияние мелководных волн, приводящее к различию во времени роста и падения прилива. Крайне сильно выражен сезонный ход прилива в годовом цикле [5]. В годовом цикле амплитуда волны  $M_2$  в январе-мае почти в 4 раза меньше, чем августе-сентябре. Амплитуда мелководной волны  $M_4$  в августе равна 2,6 см, а в апреле уменьшается до 0,3 см. Поэтому расчет приливных колебаний уровня производится по средним месячным оценкам констант прилива.

В 2016 г. был обнаружен факт аномальной сезонной изменчивости прилива на м. Каменном, вызванный аномальным развитием заприпайной полыньи. В связи с этим расчет кривой прилива в таких случаях производится по специальной схеме, отличной от стандартного способа расчета.

Данные, полученные Северной проектно-изыскательской экспедицией (СПИЭ) за 1947–1948 гг. [1], показывают, что наибольшие сгоны наблюдались в осенний период, когда над акваторией губы преобладали сильные и продолжительные ветры южной четверти. Самые низкие уровни при сгонах наблюдались в ноябре 1947 г. и октябре 1948 г.

Наибольшая продолжительность стояния уровня ниже нуля изысканий для одного случая в безледный период составила 145 часов. Низший наблюдаемый уровень безледного периода 23.10.1948 г. (–140 см) держался четыре часа. Отметим, что остаточный (чисто сгонный) уровень в этот период, вычисленный в ААНИИ [2], изменялся от –132 до –130 см.

Наибольшая длительность одного случая стояния уровня ниже нуля изысканий в период ледостава составила 323 часа. Низший сгонный уровень (–182 см) при ледоставе 16.11.1947 г. держался 1 час. При этом остаточный уровень был равен –184 см.

Нагонные уровни в 1947–1948 гг. наблюдались при продолжительном ветре северной четверти. Самый высокий подъём уровня составил 160 см над нулём изысканий. Он наблюдался в августе 1948 г. [1].

Аналізу сгонов-нагонов за 1977–1994 гг. предшествовало приведение уровней стационарной сети постов к единой плоскости отсчёта –5,00 м в БС-77 [3, 4]. Были введены поправки в уровни и, таким образом, был получен однородный в высотном отношении ряд за 1977–1994 гг., пригодный для дальнейшей обработки и получения сравнимых характеристик сгонов-нагонов.

Для анализа неперiodических колебаний уровня за 1977–1994 гг. уровни были обработаны по методике [2], в результате чего получены откорректированные остаточные ряды 4-срочных данных за указанный период.

Волна	Угловая корость, град/час	$H$	$\pm$ с.к.о.	$g$	$\pm$ с.к.о.
$Q_1$	13,398661	1,24	1,09	178	50
$O_1$	13,943035	1,49	0,92	267	35
$M_1$	14,492052	0,17	0,13	304	25
$P_1$	14,958931	1,03	0,24	90	13
$K_1$	15,041068	3,12	0,73	90	13
$J_1$	15,585443	0,48	0,48	355	45
$MNS_2$	27,423834	0,57	0,36	296	29
$\square_2$	27,968208	0,95	0,90	12	27
$N_2$	28,439729	2,67	0,33	287	7
$\square_2$	28,512583	0,51	0,06	287	7
$M_2$	28,984104	19,56	1,46	312	4
$L_2$	29,528479	1,14	0,46	272	23
$T_2$	29,958933	0,38	0,04	37	6
$S_2$	30,000000	6,55	0,71	37	6
$K_2$	30,041067	1,78	0,19	37	6
$2SM_2$	31,015896	1,05	0,72	320	62
$MO_3$	42,927140	0,33	0,20	112	34
$M_3$	43,476156	0,23	0,16	185	22
$MK_3$	44,025173	0,41	0,15	278	20
$MN_4$	57,423834	0,99	0,24	137	14
$M_4$	57,968208	2,58	0,40	171	9
$MS_4$	58,984104	1,98	0,22	283	10
$S_4$	60,000000	0,78	0,24	107	18
$M_6$	86,952313	0,68	0,19	22	15
$2MS_6$	87,968208	0,66	0,24	114	21
$2SM_6$	88,984104	0,24	0,21	316	50
$M_8$	115,936417	0,19	0,09	277	26

Примечание. Приведены волны с амплитудой, превышающей 1 с.к.о. в данной частотной полосе прилива. Волны  $P_1$ ,  $K_2$ ,  $N_2$  даны во 2-м приближении по известным теоретическим соотношениям.

По этим рядам рассчитана обеспеченность суммарных и остаточных уровней. По кривой обеспеченности остаточных уровней получены значения уровня 5% и 95% обеспеченности, которые, по аналогии, принятой при обработке данных за 1947–1949 гг. [1], использовались для выделения наиболее существенных нагонов и сгонов. При этом учитывались нагоны, при которых остаточный уровень превышал 5% обеспеченность (528 см над нулём поста). Для характеристики сгонов учитывались остаточные уровни ниже 95% обеспеченности (439 см). Использование обеспеченных уровней в качестве отсчётных критериев для сгонов-нагонов позволяет получить абсолютные и, следовательно, сравнимые характеристики непериодических колебаний по длинному однородному ряду остаточного уровня. Тогда как применение для этих

целей среднемесячных значений даёт относительные характеристики. Как было установлено, в некоторых случаях возникает ситуация, когда по превышению над среднемесячным (фоновым) уровнем нагон можно отнести к существенному, но из-за низкого фонового уровня он едва превышает уровень 5% обеспеченности.

Анализ 4-срочных данных по нагонам за период 1977–1994 гг. показал, что количество нагонов выше 5% обеспеченности в среднем составляет 6,5 при максимальном значении 16 (1988 г.). В 1986 и в период действия поста в 1994 г. уровни выше значений 5% обеспеченности не поднимались. Средняя продолжительность стояния нагонного уровня над уровнем 5% обеспеченности оказалась равной 8,4 сут., максимальная – 61,8 сут. (1979 г.). Превышение максимального нагонного уровня над уровнем 5% в среднем равно 66 см, наибольшим составило 132 см (1985 г.).

Характеристики сгонов, полученные по остаточным рядам 4-срочных данных, оказались следующими. Количество сгонов с уровнями ниже 95% обеспеченности в среднем составило 7 при наибольшем значении 30 (1986 г.). Продолжительность минимального сгонного уровня ниже 95% в среднем равна 6 сут, наибольшее значение составило 27,5 сут. (1978 г.). Среднее превышение минимального уровня над уровнем 95% равно –38 см, наибольшее – –72 см (1986).

Подчеркнем, что полученные по 4-срочным данным характеристики сгонов-нагонов не отражают полную картину непериодических колебаний уровня, а могут служить лишь в качестве оценочных критериев. Достоверные характеристики можно получить только по данным ежечасных наблюдений [6].

### Литература

1. Изыскания морского порта в Обской губе 1947–1949 гг. Том IV Гидрологический режим. Начальник «Арктикпроекта» Главсевморпути Кабуковский. Начальник СПИЭ Кузьмин Т.П. Москва 1949. –180 с.
2. 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.
3. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек за 1977–1986 гг. Часть 2. Том 4. Л.: Гидрометеоздат, 1979–1989.
4. Материалы по изучению приливов арктических морей СССР // Труды Арктич. ин-та. 1952. Т. 42. Вып. VII. Карское море. 536 с.
5. Основные черты гидрологического режима Обской и Тазовской губ (лёд, уровни, структура вод). Под ред. д.г.н. Войнова Г.Н. СПб, Нестор-история. 2017. –192 с.
6. Пискун А.А. О точности определения средних и экстремальных уровней воды при сокращении сроков наблюдений на постах Обской и Тазовской губ //Проблемы Арктики и Антарктики. №4 (114). 2017. – С. 23–36.

*Исследование частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.*

*The study was partially carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the research project No. 18-05-60192.*