

НЕПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ У МЫСА КАМЕННЫЙ (ОБСКАЯ ГУБА КАРСКОГО МОРЯ). ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОГНОЗА

Е.А. Яговкина¹, О.В. Хаймина^{1,2}, Н.В. Кубышкин², К. Г. Смирнов³, Ю.П. Гудошников³

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²ООО «Арктик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург, Россия

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS CAPE KAMENYY (OB BAY OF THE KARA SEA). FLUCTUATION FEATURES AND FORECAST POSSIBILITY

E.A. Yagovkina¹, O.V. Khaimina^{1,2}, N.V. Kubyshkin², K. G. Smirnov³, Yu.P. Gudoshnikov³

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

²LLC “Arctic Shelf Consulting”, St. Petersburg, Russia

³Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Возросшая интенсивность судоходства в Обской губе, в том числе круглогодичная отгрузка нефти с Новопортовского месторождения через терминал «Ворота Арктики» (мыс Каменный) с проходом танкеров через сравнительно мелководные участки с глубинами 9-10 м, требует прогнозов уровня моря с высокой точностью. Мониторинг уровня в данном районе осуществляется силами ООО «ОНЕГО ШИППИНГ ЛТД» и ООО «Арктик Шельф Консалтинг» в сотрудничестве с лабораторией Арктик Шельф ФБГУ «АНИИ». Цель исследования – типизация ситуаций сгонно-нагонных колебаний уровня моря у мыса Каменный Обской губы и разработка методов их краткосрочного прогнозирования. Для анализа использованы ряды ежечасных значений уровня моря в 2017 году после исключения приливной квазигармоники. Проанализирована повторяемость приращений уровня моря за 1 час. Выполнен анализ синоптических условий, при которых наблюдались наиболее значительные по амплитуде сгонно-нагонные колебания уровня моря. На основании данных ежечасного мониторинга уровня моря без учета типизации сгонно-нагонных явлений построены различные прогностические модели. При разработке метода краткосрочного прогноза (с заблаговременностью до 9 часов) использовались статистико-вероятностный и физико-статистический подходы. Наилучшей из построенных моделей является модель, учитывающая значения предшествующего уровня и эффективные градиенты атмосферного давления. Выполнены оценки качества прогноза. Намечены пути совершенствования методик прогнозирования непериодических колебаний уровня у мыса Каменный. Работа выполнена в концепции сотрудничества «ВУЗ - НИИ- Производственная компания» в целях подготовки кадров.

The increased shipping intensity in the Gulf of Ob, including the year-round shipment of oil from the Novoport terminal (Cape Kamenny) with the passage of tankers through relatively shallow areas with depths of 9-10 m, requires forecasts of sea level with high accuracy. Level monitoring in this area is carried out by LLC ONEGO SHIPPING LTD and LLC Arctic Shelf Consulting in cooperation with the laboratory of Arctic Shelf of the FSAA AARI. The purpose of this study was to standardize situations of sea level surges at Cape Kamenny, Ob Bay, and to develop methods for their short-term forecasting. For our analysis we used the series of hourly sea level values excluding the tidal quasi-harmonic. The occurrence of 1-hour sea level increments were analysed. The analysis of the synoptic situations during the most significant surge fluctuations of the sea level were analyzed. When developing the method of the short-term forecast (with a lead time of up to 9 hours), statistical probabilistic and physico-statistical approaches were used. Based on the hourly data of sea level monitoring, various forecast models were constructed, excluding typification of driving-surge events, the best is the model that takes into account the previous level values and effective gradients of atmospheric pressure. Estimates of the quality of the forecast were made. Improvement paths for forecast methods of non-periodic fluctuations of the level at Cape Kamenny are outlined. The work was done within the cooperation concept “University - Research Institute - Production Company” for the purpose of training.

Возросшая интенсивность судоходства в Обской губе, в том числе круглогодичная отгрузка нефти с Новопортовского месторождения через терминал «Ворота Арктики» (мыс Каменный) [1] с проходом танкеров через сравнительно мелководные участки губы с глубинами 9-10 м, требует прогнозов уровня моря с высокой точностью. С февраля 2017 г. гидрологи ООО «Арктик Шельф Консалтинг» по заказу ООО «Онего Шиппинг Лтд» осуществляют круглогодичный мониторинг уровня воды в районе Мыса Каменный. Ежечасные наблюдения выполняются при помощи отечественных автономных буйковых уровнемеров WLG-30 (производство ООО

«Марлин-Юг», Севастополь) с передачей данных по спутниковому каналу Argos. Непрерывность наблюдений в периоды осеннего ледообразования (до становления припая) и весенне-летнего разрушения и дрейфа льда обеспечивается временными перестановками приборов на относительно безопасные с точки зрения воздействия льда прибрежные участки: осенью в район быстро формирующейся подошвы припая; летом – в прибрежные закраины, образующиеся еще до взлома основного припая. Все перестановки приборов сопровождаются привязкой положения датчиков к Балтийской системе высот (БСВ-77).

Во время загрузки очередного танкера на терминал передается информация о текущем уровне, тенденции его изменения с учетом предвычисленного прилива. Предвычисление приливных колебаний осуществляется по методике Г.Н. Войнова [2], которая позволяет учитывать влияние на приливы ледового покрова Обской губы.

Оправдываемость прогнозов уровня моря в заданном пункте (точке) определяется знанием механизмов формирования колебаний уровня моря, используемыми методами прогноза, качеством исходных данных и требованиями со стороны потребителей (рис. 1). Благодаря организации мониторинга уровня моря у мыса Каменный частично решена проблема качества и доступности исходных данных, регулярно осуществляется предвычисление приливов. Судоводителям необходим прогноз уровня на 4-6 часов с точностью до 5 см. Наиболее простыми по затратам на разработку и апробацию являются статистико-вероятностный и физико-статистический методы прогноза.



Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма факторов, определяющих оправдываемость прогноза уровня моря у мыса Каменный (Обская губа Карского моря)

Для выявления закономерностей изменчивости непериодических колебаний уровня моря были использованы данные ежечасных наблюдений, полученные у мыса Каменный в 2017 году, после исключения приливной квазигармоники и удаления внутригодового хода. Анализ повторяемости приращений уровня моря за 1 час показал, что их максимальные значения не превышали 9 см, а доля приращений уровня моря в диапазоне от 5 до 9 см составила около 1,5 % от всей длины ряда наблюдений. Сохранение знака тенденции изменения уровня моря было зафиксировано на интервалах от 2-х часов до 80 часов. Количество случаев сохранения знака тенденции изменения уровня моря на протяжении свыше 12 часов составило около 25 %. Наиболее длительный подъем уровня наблюдался единожды (17.11-20.11.2017), длился 80 часов и составил всего ~ 40 см. Наиболее продолжительные снижения уровня наблюдались дважды (01.05 – 03.05.2017 и 02.08. – 04.08.2017), длились по 53 часа каждое, при этом падение уровня моря наблюдалось на ~ 40 см и ~ 80 см соответственно. Наиболее интенсивный подъем уровня составил 130 см за 12 часов.

На рисунке 2 представлены примеры синоптических ситуаций над акваторией Обской губы. Максимальный подъем уровня моря у мыса Каменный) был зафиксирован в момент прохождения глубокого циклона (07.08-08.08.2017, рис. 2в), сформировавшегося южнее губы. В результате этого над губой господствовали ветра северных румбов. Максимальный сгон наблюдался 17-18.10. 2017 (рис.2г) при подходе глубокого циклона, в результате чего над акваторией Обской губы господствовали ветра южных румбов. Синоптические ситуации, представленные на рисунках 2а и 2б, также соответствуют условиям нагона и стога соответственно, однако амплитуда колебаний уровня в этих случаях не превысила 50 см.

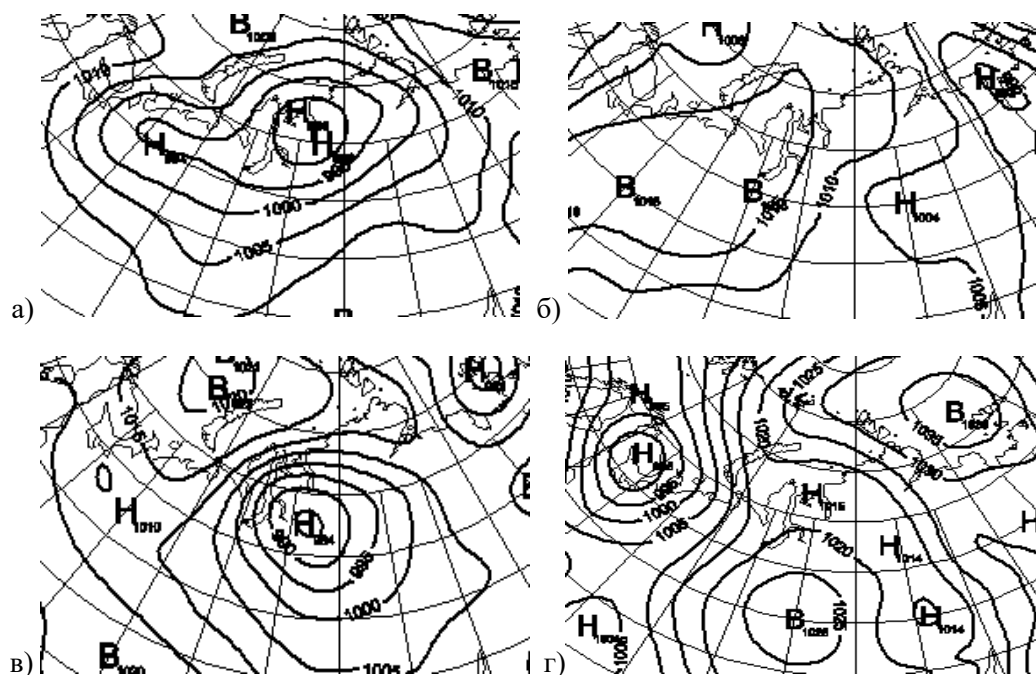


Рис. 2. Фрагменты приземных метеорологических карт [3] для района Обской губы Карского моря: а) на 29.06.2017; б) на 12.07.2017; в) на 08.08.2017; в) на 17.10.2017

Используя данные зависимой выборки с 28 мая по 30 июня 2017 года были разработаны несколько вариантов прогностических зависимостей с заблаговременностью от 3-х до 9-ти часов, учитывающих значения уровня моря у мыса Каменный за предшествующие три (H_{i-3}), шесть (H_{i-6}) и девять часов, разность атмосферного давления между пунктами Диксон и о. Белый на момент прогноза ($G_{дб}$), за три часа ($G_{дб-3}$) и шесть часов, а также разности давления между другими пунктами (возможность использования разностей давления в качестве предикторов для прогноза уровня моря в Обской губе была показана в работах В.Г. Корта [4,5]). Примеры прогностических зависимостей и оценки оправдываемости прогнозов уровня моря для представленных на рисунке 2 синоптических ситуаций, приведены в таблице. При использовании в качестве критерия оценивания допустимой ошибки $\pm 0,674\sigma$ (σ – стандартное отклонение уровня моря в пределах выборки), доля оправдавшихся прогнозов во всех случаях превышает 80%. При ужесточении требований к качеству прогноза до допустимой ошибки в ± 5 см, доля оправдавшихся прогнозов снижается в среднем до 60-65%. При этом на отдельных участках ряда оправдываемость близка к 100%, что связано с характерной низкой изменчивостью уровня моря в анализируемые промежутки времени. При увеличении заблаговременности прогноза учет разности давления незначительно, но улучшает качество прогнозов, однако определяющую роль играют значения уровня за один-два предшествующих срока наблюдения.

Таким образом, показано, что прогностические зависимости, учитывающие информацию о предшествующих уровнях не обеспечивают необходимую точность при увеличении заблаговременности уже до 3-х часов. В тоже время возрастает значимость учета градиентов атмосферного давления. Поэтому авторы видят дальнейшей задачей типизацию синоптических ситуаций над акваторией Обской губы и выявление характерных траекторий движения циклонов, приводящих к значительным и достаточно быстрым изменениям уровня моря у мыса

Каменный. Это позволит более корректно учитывать интенсивность сгонно-нагонных явлений в прогностических зависимостях. Исследования непериодических колебаний уровня моря у мыса Каменный будут продолжены с учетом накопленных данных наблюдений за 2018 год.

Таблица 1. Примеры моделей прогноза уровня моря у мыса Каменный (Обская губа) и оценки качества прогнозов на зависимой и независимых выборках

Уравнение	Выборка	Синоптическая ситуация	σ	Доля прогнозов, %		Коэффициент детерминации
				с ошибками $\pm 0,674\sigma$	с ошибками $\pm 5\text{см}$	
$H_t = 0,966H_{t-3} - 0,005G_{\text{дб}t-3} + 0,004$	зависимая 28.06.2017-30.06.2017	Рис. 2а	0,26	100	64	0,98
	независимая 11.07.2017-13.07.2017	Рис. 2б	0,10	83	65	0,96
	независимая 07.08.2017-09.08.2017	Рис. 2в	0,42	100	50	0,98
	независимая 17.10.2017-19.10.2017	Рис.2г	0,38	100	54	0,99
$H_t = 1,536H_{t-3} - 0,567H_{t-6} - 0,003G_{\text{дб}t-3} + 0,001$	зависимая 28.06.2017-30.06.2017	Рис. 2а	0,26	100	63	0,98
	независимая 11.07.2017-13.07.2017	Рис. 2б	0,10	96	96	0,97
	независимая 07.08.2017-09.08.2017	Рис. 2в	0,42	100	65	0,99
	независимая 17.10.2017-19.10.2017	Рис.2г	0,38	100	57	0,99
$H_t = 1,538H_{t-3} - 0,568H_{t-6} - 0,003G_{\text{дб}t-3} + 0,001$	зависимая 28.06.2017-30.06.2017	Рис. 2а	0,26	100	63	0,98
	независимая 11.07.2017-13.07.2017	Рис. 2б	0,10	100	100	0,97
	независимая 07.08.2017-09.08.2017	Рис. 2в	0,42	100	59	0,99
	независимая 17.10.2017-19.10.2017	Рис.2г	0,38	100	59	0,99

Работа выполнена в концепции сотрудничества «ВУЗ - НИИ- Производственная компания» в целях подготовки кадров на базе РГГМУ, АНИИ и ООО «Арктик Шельф Консалтинг». В исследованиях использованы данные уровенных наблюдений на мысе Каменный, полученные компанией ООО «Арктик Шельф Консалтинг» по заказу и при финансировании ООО «Онего Шиппинг Лтд».

Литература

1. Ворота Арктики [Электронный ресурс].– URL: <http://gazpromn.tilda.ws/novyport>
2. Войнов Г.Н. О гармоническом анализе приливов по нерегулярным многолетним наблюдениям за уровнем моря и течениями // Океанология. – 2004. – Т. 44. – № 2. С. 172–178.
3. Сайт ФГБУ «АНИИ». Приземные и высотные метеорологические карты.– URL: http://www.aari.ru/odata/_d0010.php
4. Корт В.Г. Непериодические колебания уровня воды в Арктических морях и способы их прогноза// Тр. АНИИ. 1941.– Т. 175. – 163 с.
5. Корт В.Г. К вопросу о колебаниях уровенной поверхности Обской губы // Тр. АНИИ. 1949.– Т. 13. – С. 100–118