

*А.С. Аверкиев*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В НЕВСКОЙ ГУБЕ**

*A.S. Averkiev*

## **EVALUATION OF THE CYCLONIC ACTIVITY INFLUENCE ON THE WATER LEVEL VARIATIONS IN THE NEVA BAY**

*Анализ ряда среднемесячных значений уровня в Кронштадте с 1900 по 2009 г. показал, что высокие значения уровня в три последних десятилетия наблюдались в 1,5–2 раза чаще, чем в прежние десятилетия XX в. Показано, что среднемесячные значения уровня могут быть связаны с циклонической активностью над Балтийским морем и Финским заливом и свидетельствовать об изменившихся траекториях движения циклонов. Для анализа траекторий и параметров циклонов, приводящих к значительным колебаниям уровня, использована модель Балтийского моря, разработанная в программном комплексе CARDINAL.*

*Ключевые слова: уровень, среднемесячные значения, циклоническая деятельность, траектория, моделирование, численные эксперименты.*

*The analysis of the row of monthly average values of level in Kronshtadt from 1900 up to 2009 has shown that high values of level last three decades were observed in 1.5–2 times more often, than in former decades XX century. It is shown that monthly average values of level can be connected with the cyclonic activity over Baltic sea and Gulf of Finland and to testify about the changed trajectories of movement of cyclones. For the analysis of trajectories and parameters of the cyclones leading to considerable fluctuations of level, the model of Baltic Sea developed in program complex CARDINAL is used.*

*Key words: level, monthly mean values, cyclonic activity, trajectories, modeling, numerical experiments.*

### **Введение**

Ряд наблюдений за уровнем в Кронштадте – один из наиболее длинных гидрометеорологических рядов. Состояние уровня в Финском заливе являются результатом действия многих факторов. Одним из важнейших факторов, влияющих на уровень на интервалах времени от нескольких часов до нескольких суток, является синоптическая обстановка, а именно прохождение циклонов над бассейном Балтийского моря. В данной работе произведен первичный статистический анализ ряда среднемесячных значений уровня в Кронштадте. Анализ позволил сделать вывод об увеличении повторяемости подъемов уровня в последние десятилетия. Предшествующие модельные расчеты экстремальных уровней в Финском заливе и выполненный анализ позволяют сделать предположение о возможном определяющем влиянии циклонической деятельности над бассейном и на среднемесячные значения уровня.

### 1. Изменение количества неперiodических подъемов уровня в Восточной части Финского залива в последние 30 лет

Учет количества наводнений (т.е. кратковременных неперiodических подъемов уровня воды в Санкт-Петербурге и Кронштадте выше 150 см) ведется с основания Санкт-Петербурга. Наиболее регулярно и надежно уровень измеряется с начала XX в., поэтому для анализа рассмотрим именно период с 1900 по 2009 г. За период времени с 1900 по 1999 г. было зафиксировано 138 наводнений, или 13,8 в среднем за десятилетие, в то время как за три последних десятилетия (80-е, 90-е и 2000-е годы) было соответственно 24, 18 и 19 случаев наводнений. Таким образом, количество наводнений за последние три десятилетия увеличилось в 1,5 и более раза по сравнению со средним количеством в прежние десятилетия XX в. Однако наводнения распределены во времени весьма неравномерно и такого количества случаев наводнений недостаточно для того, чтобы сделать обоснованный вывод об увеличении (или уменьшении) их количества, в том числе, например, из-за влияния современного изменения климата.

Для более обоснованного анализа рассмотрим ряд среднемесячных значений уровня ( $\bar{h}$ ) на водомерном посту (в/п) Кронштадт (рис. 1).

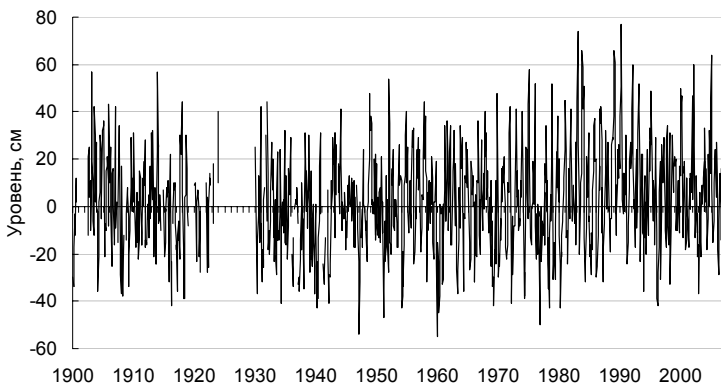


Рис. 1. Среднемесячные значения уровня (см) на водомерном посту (в/п) Кронштадт с 1900 по 2009 г.

Данные получены из следующих источников: для периода с 1900 по 1993 г. [8]; для периода с 1994 по декабрь 2009 г. – с сайта Шведского Гидрометеорологического института SMHI [[www.smhi.se](http://www.smhi.se)] и с сайта СЗУГМС [<http://adm.meteo.nw.ru>].

Если короткопериодные колебания уровня в Финском заливе в основном отражают атмосферное воздействие (градиенты давления, скорость и направление ветра, штормовые нагоны), то среднемесячные значения уровня в Кронштадте зависят от многих факторов. Они являются сглаженной характеристикой состояния уровня акватории и, тем не менее, косвенно свидетельствуют о циклонической или антициклонической активности над данным районом и о

преобладающих ветрах того или иного направления. В частности, большие положительные значения уровня в среднем наблюдаются при преобладании ветров западной четверти (ЮЗ, З и СЗ). Такие направления ветра в Санкт-Петербурге и Кронштадте наблюдаются при прохождении циклона севернее пунктов наблюдения. Как известно из синоптической метеорологии и продемонстрировано на модельных расчетах [1], такие «близкие северные» траектории циклонов приводят к подъемам уровня, а при прохождении особенно глубоких циклонов и сильных ветрах – к наводнениям. Тогда как низкие (отрицательные) значения уровня являются следствием преобладания ветров восточных направлений. Ветры этой четверти в Санкт-Петербурге и Кронштадте наблюдаются в тех случаях, когда регион находится под влиянием антициклона или циклон проходит южнее пункта наблюдений.

Таким образом, ряд среднемесячных значений уровня в Кронштадте может служить основой для анализа, который позволит сделать некоторые выводы об усилении или ослаблении циклонической деятельности над акваторией Финского залива и Невской Губы и о преобладавших траекториях циклонов.

Данные для отдельных месяцев в первой половине XX в. отсутствуют, поэтому, например, В.И. Богданов и соавторы [Богданов В.И. и др., 2000] заполняли пропуски с применением определенных статистических приемов. Мы использовали только реальные значения, а не восстановленные, поэтому фактическая длина ряда составляет 1162 значения, что меньше, чем возможное общее количество значений – 1320 (по декабрь 2009 г.). Мы анализировали среднемесячные значения уровня по десятилетиям, поэтому в случаях не очень многочисленных пропусков (например, в 1900-е гг. было 94 обеспеченных данными среднемесячных значения вместо 120, в 1910-е гг. – 102, в 1930-е – 112, в 1940 – 108) вполне обоснованно можно рассчитать процентное соотношение месяцев с высокими (или низкими) уровнями к общему числу месяцев с наблюдениями и экстраполировать (сохранить) это процентное соотношение на все 120 месяцев десятилетия. При значительных по продолжительности пропусках, имевших место в 1920-е годы (26 месяцев наблюдений вместо 120), такая процедура вряд ли правомерна. Однако учитывая, что мы производим сравнение по десятилетиям и процентная повторяемость низких и высоких значений уровня в 20-е годы не «выпала» в целом из ряда десятилетий (см. ниже), эта процедура заполнения пропусков была применена и в этом десятилетии.

Следует отметить, что сейчас, после завершения строительства Комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений, даже эпизодические закрытия водопропускных и судопропускных сооружений КЗС изменят статистическую структуру ряда наблюдений за уровнем в Кронштадте. Для надежного мониторинга за состоянием уровня, а также для предупреждения и прогнозирования наводнений, потребуется установление новых (многочисленных!) регистраторов уровня в других пунктах Невской губы и организация автоматизированных регулярных наблюдений в этих пунктах. При этом встанет

вопрос о согласованности рассматриваемого длинного ряда наблюдений в Кронштадте и рядов в новых пунктах.

Будем считать, как это принято при самой простой классификации гидрометеорологических рядов, что отклонения от среднего среднемесячного значения ( $[\bar{h}] = 2,5$  см) на величину, превышающую или равную среднеквадратичному отклонению ( $\sigma = 21,0$  см), являются значительными и соответствующими особым синоптическим условиям (не катастрофическим, но аномальным).

Как указано выше, высокие положительные значения уровня (при прочих неизменных условиях) имеют место при ветрах западной четверти и при прохождении циклонов севернее оси Финского залива. Частота повторяемости этих событий наиболее интересна для настоящего исследования. Так, 8 января 2005 г. имело место наиболее крупное за последние годы наводнение (максимальное значение уровня – 239 см), и среднемесячное значение уровня за январь было равно 64 см (хотя наводнение продолжалось «всего» 6–8 ч). 10, 16 и 18 января 2007 г. было 3 наводнения (максимальные значения 223, 179 и 171 см – соответственно), и среднемесячное значение составило 69 см. В первом случае причиной наводнения был циклон ERWIN, скорость ветра в Санкт-Петербурге достигала 30 м/с, в окрестностях и более. Во втором случае несколько циклонов с опасными траекториями привели к соответствующим подъемам уровня. То есть аномально высокое среднемесячное значение уровня может быть результатом как одного крупного подъема уровня, так и результатом нескольких незначительных подъемов в течение месяца.

Низкие (отрицательные) значения уровня соответствуют прохождению циклонов южнее оси Финского залива или преобладанию антициклонов над нашим регионом, эти ситуации будут также учтены. Итак, имеем три класса случаев (табл. 1).

*Таблица 1*

**Классификация среднемесячных значений уровня воды на в/п Кронштадт за период 1900–2009 гг.**

1	Ниже нормы (НН)	$\bar{h} \leq [\bar{h}] - \sigma$
2	Норма (Н)	$[\bar{h}] - \sigma < \bar{h} < [\bar{h}] + \sigma$
3	Выше нормы (ВН)	$\bar{h} \geq [\bar{h}] + \sigma$

Далее приведем количество случаев, соответствующих каждому классу (табл. 2).

*Таблица 2*

**Количество случаев низких, средних и высоких среднемесячных значений уровня на в/п Кронштадт за период 1900–2009 гг.**

Период	Класс			
	НН $\leq -18,5$ , см	Н	ВН $\geq 23,5$ , см	Всего
1	2	3	4	5
Январь 1900 г. – декабрь 2009 г.	167	802	193	1162
В среднем за десятилетие	15,2	72,9	17,5	
Январь 1900 г. – декабрь 2009 г. (с процедурой экстраполяции)	194	917	209	

1	2	3	4	5
В среднем за десятилетие (с экстраполяцией), январь 1900 г. – декабрь 2009 г.	17,6	83,4	19,0	
Январь 1900 г. – декабрь 1979 г.	162	678	120	960
В среднем за десятилетие (с экстраполяцией), январь 1900 г. – декабрь 1979 г.	20,2	84,8	15,0	120
В среднем за десятилетие, январь 1980 г. – декабрь 1989 г.	17	68	35	120
В среднем за десятилетие, январь 1990 г. – декабрь 1999 г.	11	82	27	120
В среднем за десятилетие, январь 2000 г. – декабрь 2009 г.	4	89	27	120

На рис. 2 представлено изменение количества низких и высоких среднемесячных значений уровня на в/п Кронштадт за весь период 1900–2009 гг.

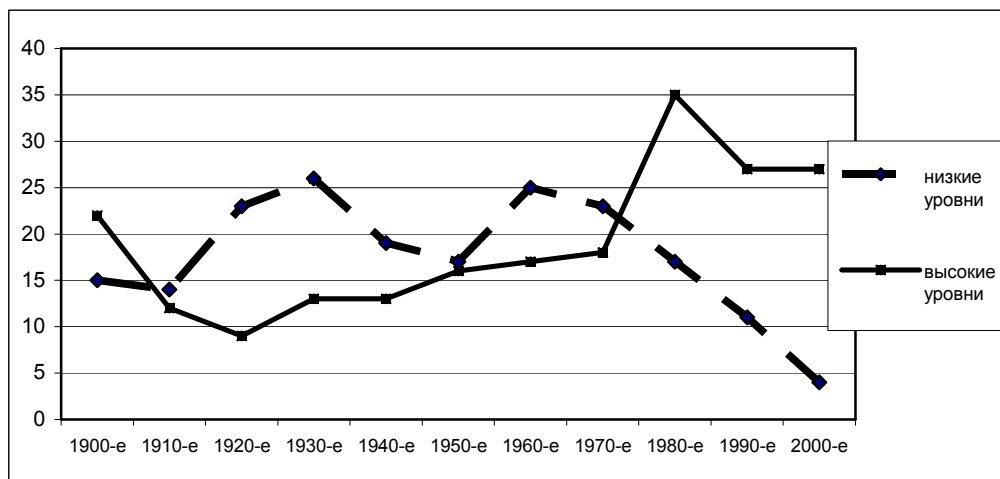


Рис. 2. Количество высоких и низких среднемесячных значений уровня по десятилетиям

## 2. Траектории циклонов и уровень в Финском заливе

Итак, из данных табл. 2 и рис. 2 следует очевидный вывод: количество случаев с высокими среднемесячными значениями уровня увеличилось с 15, в среднем для десятилетий с 1900 по 1979 г. XX в., до 35 в 80-е годы и 27 в последние два десятилетия, т.е. увеличение составило 80–100 %. При этом количество случаев (месяцев) со средними значениями почти не изменилось (изменение с 85 до 80, т.е. уменьшилось на 5–7 %), а количество низких значений уменьшилось с 20 до 11 (т.е. на 50 %). Таким образом, можно предположить, что в среднем циклоническая активность над регионом Финского залива в последние десятилетия изменилась в том смысле, что траектории циклонов чаще

стали проходить севернее оси Финского залива, что приводит к преобладанию ветров западной четверти и повышению среднемесячных значений уровня. При этом общее количество циклонов, проходящих над регионом, практически не изменилось. Об этом свидетельствует незначительное изменение средних значений уровня. Исключение составляют 80-е годы, когда наблюдалась, по видимому, существенно повышенная общая повторяемость циклонов.

Вывод о смещении траекторий циклонов согласуется с высказываниями известных специалистов, касающимися прошлых и настоящих изменений климата и траекторий циклонов. Так еще в 30-х годах XX в. в период потепления Арктики В.Ю. Визе в [3] отмечал, что одним из следствий усиления циркуляции атмосферы является изменение циклонической деятельности в высоких широтах. Наблюдения тех лет показывали, что в период потепления Арктики циклоны, приходящие с севера Атлантики, перемещаются в Арктике и Субарктике по траекториям, расположенным значительно севернее тех траекторий, по которым циклоны следовали до потепления Арктики. Это смещение циклонических путей к северу, по мнению В.Ю. Визе, выражалось расстояниями до тысячи километров. В результате в Арктике вместе с потеплением происходило заметное изменение ветрового режима.

В Четвертом оценочном докладе Первой рабочей группы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) отмечалось [4], в частности, что в XXI в. «произойдет смещение путей внетропических циклонов к высоким широтам». Изменение траекторий и интенсивности циклонов изучается в лаборатории Взаимодействия атмосферы и океана ИО РАН. Так, в [10] отмечалось, что общее количество циклонов в год в Северном полушарии не изменилось и в среднем составляет приблизительно 2000 (в зимний период 600–800). Далее, как указывают С.К. Гулев и соавторы, большинство климатических моделей показывает, что траектории циклонов должны отклоняться в сторону полюса при антропогенном потеплении. Но, по мнению С.К. Гулева, происходит другой процесс: траектории циклонов отклоняются южнее, принося атлантический воздух в Западную, Восточную и Центральную Европу, достигая европейской части России. При этом с потеплением климата меняются характеристики циклонов: скорость движения, траектории, мощность, глубина. В центре “нормального” среднего циклона в умеренных широтах давление держится в пределах 970–980 миллибар (730 мм рт. ст.). В последние годы в Атлантике в центре некоторых циклонов давление падает до 930 миллибар при ветрах до 40 м/с.

Наши выводы согласуются с цитируемыми работами в том, что причина современного потепления климата в средних широтах – изменения траекторий циклонов. Это подтверждает и наш вывод об увеличении числа случаев с высоким уровнем воды в Невской губе и Финском заливе. Однако однозначного ответа на вопрос о том, сместились пути циклонов к югу или к северу от средних траекторий, пока нет.

**2.1. Усовершенствование модели  
расчета уровня  
в Балтийском море  
и Финском заливе**

Работы [1, 2, 7] были посвящены расчету параметров и траекторий циклонов, которые приводят к экстремальным значениям уровня в Финском заливе. Как указано выше, один очень глубокий циклон или 2-3 достаточно интенсивных циклона в месяц с траекториями севернее оси Финского залива приводят к повышению среднемесячного уровня в Кронштадте и Санкт-Петербурге до значений выше (и значительно выше) средних многолетних значений. Поэтому для выяснения механизмов и причин значительных повышений уровня были привлечены результаты гидродинамического моделирования.

Для расчетов подъемов воды использовалась модель Балтийского моря – BSM, созданная с помощью программного комплекса CARDINAL [9]. Эта модель (версии BSM5 и BSM6) с декабря 1999 г. по настоящее время работает в Санкт-Петербургском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями (СПБ ЦГМС-Р) в автоматическом режиме для прогноза уровня воды в Санкт-Петербурге. Она основана на решении осредненных по вертикали уравнений мелкой воды. Уравнения решаются неявным конечно-разностным методом на криволинейной гранично-зависимой сетке со средним шагом 200–300 м (BSM6). Программа BSM позволяет рассчитывать уровень в Балтийском море и Финском заливе при задании поля ветра и атмосферного давления, расходов в Датских проливах и в устье р. Невы.

Для сокращения времени расчетов численных экспериментов вместо привлечения фактических и прогнозируемых полей ветра и давления в программном комплексе было выполнено усовершенствование, позволившее задавать поле атмосферного давления в виде аналитической функции. Поле давления в циклоне параметризовалось с помощью соотношения, предложенного в [5] для тайфунов:

$$P'_a(\vec{r}) = P_\infty - \frac{\Delta P}{\sqrt{1 + \left(\frac{\vec{r}}{r_T}\right)^2}}, \quad (1)$$

где  $P'_a$  – приземное атмосферное давление на расстоянии  $\vec{r}(t)$  от центра циклона  $x_c(t)$ ,  $y_c(t)$ ;  $P_\infty$  – давление на достаточном удалении от центра, там, где влияние циклона не прослеживается;  $\Delta P$  – разность давлений между изобарой, где  $P'_a = P_\infty$ , и центром циклона;  $r_T$  – радиус, на котором скорость ветра максимальна. Положение центра или траектория циклона является задаваемой функцией времени.

Для учета изменения во времени глубины циклона (этого не было в работах [2, 7]) было использовано выражение

$$\Delta P = \Delta P_o \exp\left(-\frac{|t - T_o|}{\Delta T}\right), \quad (2)$$

где  $T_o$  – момент наибольшего углубления циклона (этот параметр вместе со скоростью перемещения циклона и начального положения центра определяет координаты точки, где циклон наиболее интенсивен),  $\Delta T$  – параметр, определяющий характерное время существования циклона. Если в приближающемся циклоне одни сутки происходит падение давления, а затем одни сутки – его заполнение, то если принять  $\Delta T$  равным 8 ч – тогда за сутки до момента  $T_o$  и сутки после  $T_o$  падение давления в центре циклона  $\Delta P$  составит 5% от падения давления  $\Delta P_o$  в момент  $T_o$ . Если принять  $\Delta T$  равным 24 ч, тогда время падения и роста давления до 5% значения от  $\Delta P_o$  составит 72 ч, при  $\Delta T = 32$  ч это время составит 96 ч.

Для учета холодного фронта в поле давления, определенное по формуле (1), была внесена поправка, приводящая к характерному понижению давления вдоль фронта [2]. Это усовершенствование весьма важно, т.к. максимальный подъем уровня при наводнениях в Санкт-Петербурге наблюдается именно в момент прохождения холодного фронта и соответствующего усиления ветра на фронте и за ним.

В результате численных экспериментов были рассчитаны параметры циклона с концентрическими изобарами, максимальным ветром и градиентом давления на расстоянии  $r_T$  от центра циклона и усилением ветра на холодном фронте. Пример такого модельного циклона приведен на рис. 3. Параметры экстремального циклона, приведенного на рис. 3 следующие: давление в центре – 960 гПа, скорость ветра максимальна на расстоянии 200 км от центра (изобара 980 гПа) и за фронтом, максимальная скорость ветра за холодным фронтом – 40 м/с, скорость движения центра циклона 14 м/с (50 км/ч). О возможности применимости выражений (1), (2) для экстремальных циклонов, проходящих над Балтийским морем, свидетельствует приведенное в [1, 2] сопоставление полей давления в циклоне ERWIN (6–9 января 2005 г.) и поля давления, полученного по формулам (1), (2).

На рис. 4 для примера приведена синоптическая карта за 23.11.2009, на которой представлен не очень глубокий циклон с «первыми» изобарами, близкими к концентрическим и неярко выраженной ложбиной с холодным фронтом. Рис. 4 подтверждает, что формулы (1), (2) пригодны для аналитического представления циклонов в средних широтах.



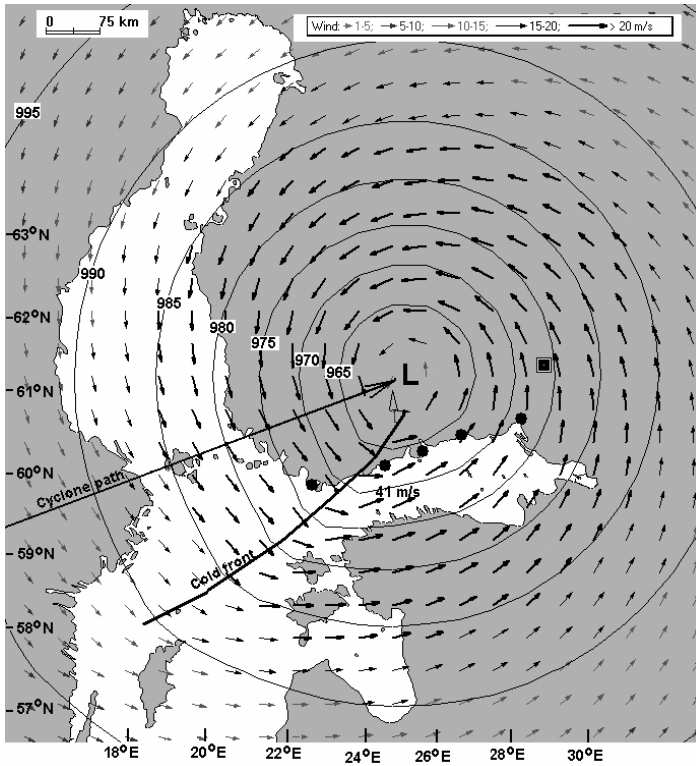


Рис. 3. Модельный циклон с концентрическими изобарами и экстремальными параметрами

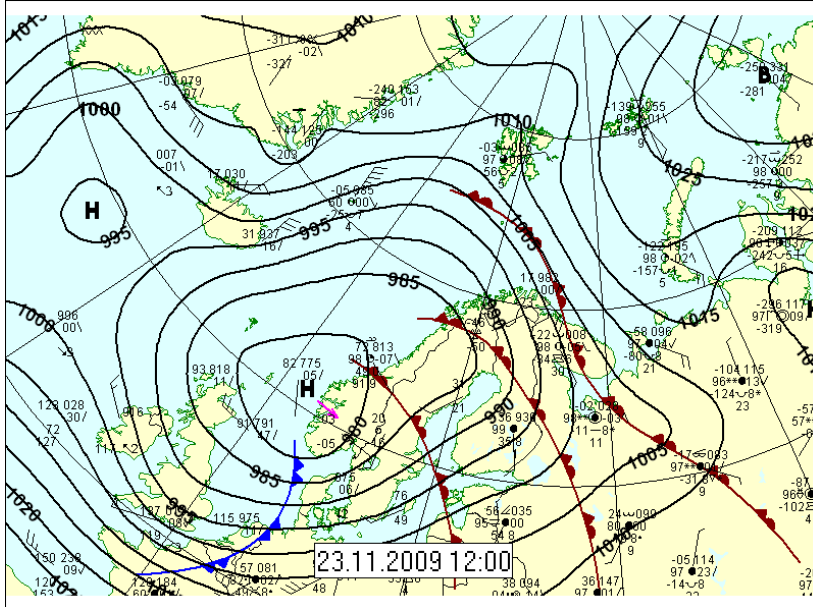


Рис. 4. Синоптическая карта с реальным циклоном, изобары которого близки к концентрическим

## 2.2. Результаты численных экспериментов

Для определения наиболее опасных траекторий были проделаны серии численных экспериментов с движением модельного циклона с указанными параметрами, спектр этих траекторий представлен на рис. 5.

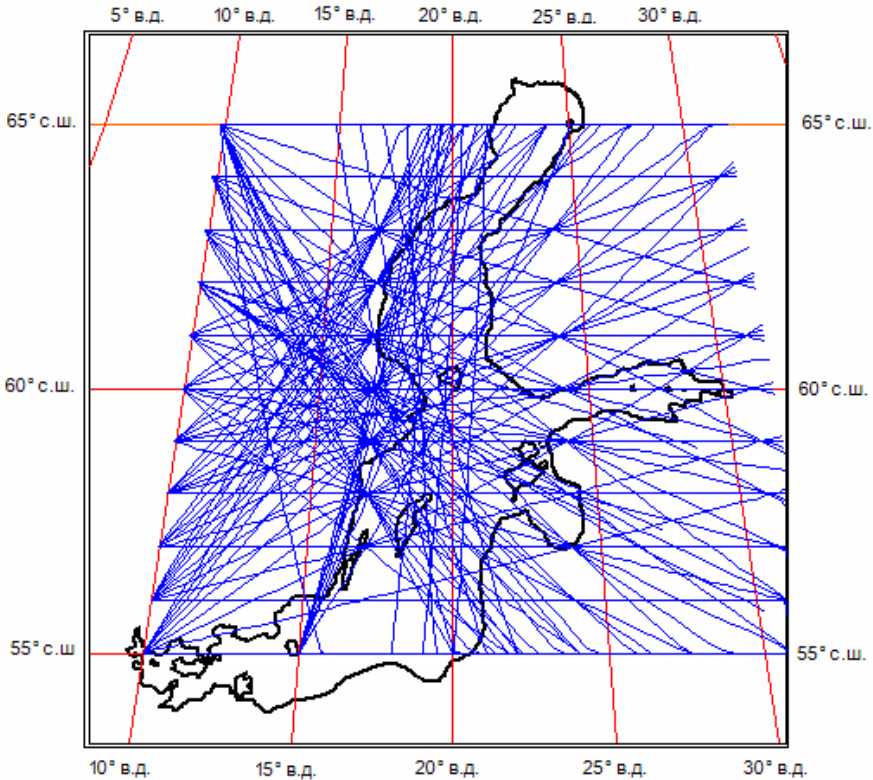


Рис. 5. Траектории модельных циклонов, рассчитанные в процессе численных экспериментов

В результате численных экспериментов были установлены, а точнее, подтверждены следующие положения, касающиеся траекторий и параметров циклонов, приводящих к подъемам уровня в Невской губе. Наиболее опасные траектории циклонов для наводнений в Невской губе – с запада на восток или с юго-запада с небольшой меридиональной составляющей (рис. 5), максимальный подъем уровня в Санкт-Петербурге (в/п Горный) получен при траектории, показанной стрелкой на рис. 3 и 6, азимут – приблизительно  $80^\circ$ . При этом центр циклона должен смещаться на 200–220 км севернее пункта наблюдений (Санкт-Петербурга) и минимальное давление в центре циклона должно достигаться, когда центр находится вблизи меридиана  $30^\circ$  в.д. (эллипс на рис. 6).

Однозначного вывода о том, куда сместились траектории циклонов по отношению к их прежним «стандартным маршрутам», сделать пока не удастся. Однако, на наш взгляд, пути циклонов сместились к северу от стандартных тра-

екторий и чаще, чем прежде попадают в сектор, представленный на рис. 6. Это подтверждается снижением повторяемости низких значений уровня в последние десятилетия (см. табл. 2 и рис. 2). Если бы траектории всех циклонов сместились на юг, то повторяемость высоких значений должна была понизиться, а повторяемость низких значений уровня («сгонов» при восточных ветрах) должна была бы повыситься, но наблюдается противоположная картина.

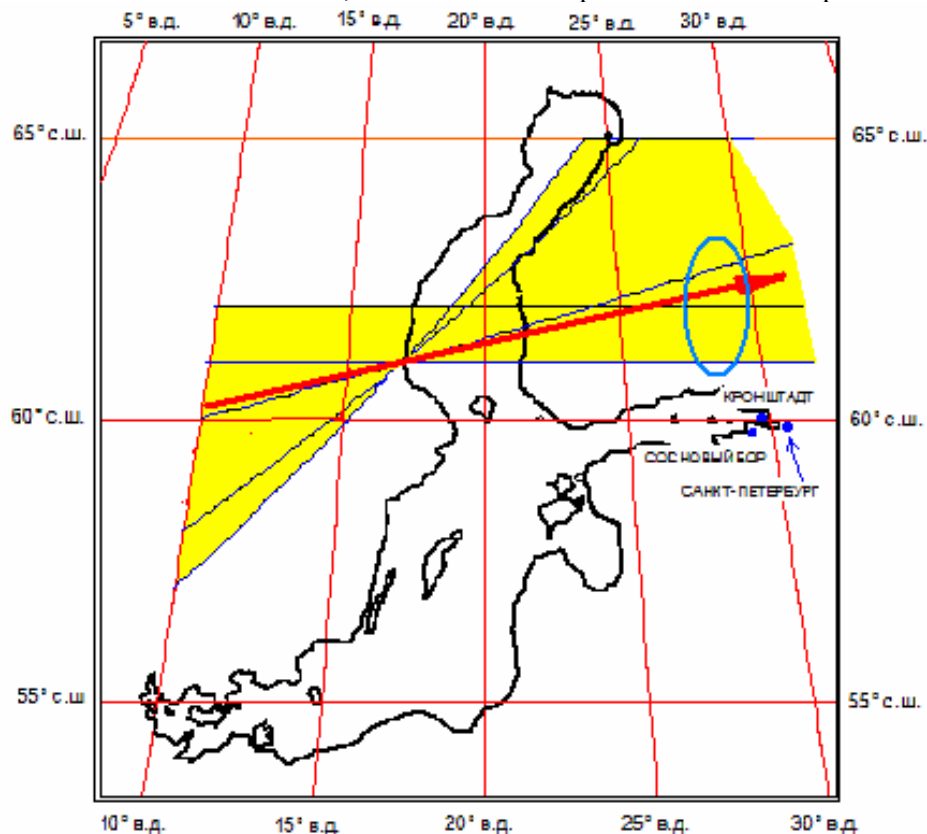


Рис. 6. Сектор наиболее опасных траекторий циклонов для максимальных подъемов уровня в Невской губе (в/п Кронштадт и в/п Горный ин-т)

### Выводы

1. Значения уровня воды в Кронштадте, Санкт-Петербурге на других водозерных постах в Невской губе могут служить индикаторами циклонической активности над бассейном Финского залива.

2. Анализ ряда среднемесячных значений уровня в Кронштадте позволил сделать вывод о том, что случаи значительных подъемов уровня в последние три десятилетия наблюдались в 1,5–2 раза чаще, чем в прежние десятилетия XX в.

3. Увеличение повторяемости высоких значений уровня в Невской губе свидетельствует о том, что циклоническая деятельность над нашим районом

в последние десятилетия значительно усилилась. Траектории циклонов значительно чаще попадают в сектор, опасный для повторяемости высоких уровней воды и возможных наводнений.

4. Можно предположить, что траектории движения циклонов с Северной Атлантики в последние десятилетия сместились к северу по отношению к «стандартным» траекториям, характерным для прежних десятилетий, что вызывает более частые подъемы уровня в Санкт-Петербурге, вплоть до наводнений и повышает средние месячные значения уровня в Невской губе. Частично этот вывод подтверждается понижением количества случаев с низкими значениями уровня.

### Литература

1. *Аверкиев А.С., Клеванный К.А.* Определение траекторий и скоростей циклонов, приводящих к максимальным подъемам воды в Финском заливе // *Метеорология и гидрология*, 2007, № 8, с. 55-63.
2. *Аверкиев А.С., Клеванный К.А.* Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива // *Метеорология и гидрология*, 2009, № 11, с. 59-68.
3. *Визе В.Ю.* Потепление Арктики // *Наука и жизнь*, 1939, № 9, с. 1-7.
4. *Гулев С. К., Катцов В.М., Соломина О.Н.* Глобальное потепление продолжается // *Вестник Российской академии наук*, 2008, т. 78, № 1, с. 20-27.
5. *Миязаки М., Уэно Т., Уноки С.* Теоретические исследования нагонов у берегов Японии // *Численные методы расчетов штормовых нагонов*. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 116 с.
6. *Соркина А.И.* Построение карт ветровых полей для морей и океанов // *Труды ГОИН*, 1958, вып. 44. – 73 с.
7. *Averkiev A. S. and Klevannyu K.A.* A case study of the impact of cyclonic trajectories on sea-level extremes in the Gulf of Finland // *Continental Shelf Research*, vol. 30, num 6, 2010, pp. 707-714.
8. *Bogdanov, V.I., Medvedev, M.Yu., Solodov, V.A., Trapeznikov, Yu., A., Troshkov, G.A. and Trubitsina, A.A.* 2000. Mean monthly series of sea level observations (1777-1993) at the Kronstadt gauge // *Reports of the Finnish Geodetic Institute*, 2000:1, 34 pp.
9. *Klevanny K.A., Matveyev V.G., Voltzinger N.E.* An integrated modeling system for coastal area dynamics // *International Journal for Numerical Methods in Fluids*. 1994. Vol. 19. pp. 181-206.
10. *Loeptien U., Gulev S.K., Zolina O., Soloviov V.* Cyclone life cycle characteristics over the Northern Hemisphere in coupled GCMs // *Clim Dyn*, 2008, DOI 10.1007/s00382-007-0355-5.
11. [Электронный ресурс] // [www.smhi.se](http://www.smhi.se) Сайт Шведского Гидрометеорологического института SMHI [[www.smhi.se](http://www.smhi.se)]
12. [Электронный ресурс] // <http://www.adm.meteo.nw.ru> Сайт Северо-Западного УГМС.

Работа выполнена в рамках проекта «Оценить последствия повышения уровня океана в условиях современных изменений климата», раздел 2.1.1 Аналитической целевой ведомственной программы (АЦВП) Министерства образования и науки РФ и при поддержке гранта НАТО SfP- 981382 'Flood Risk Analysis for the Gulf of Finland and Saint Petersburg'.