



Река Невы у стрелки Васильевского острова в дни праздников (снимок сделан в 1908 г.)

ПРИЧИНЫ НАВОДНЕНИЙ

Частые наводнения в строящейся столице, естественно, заставили ее жителей задуматься о причинах столь опасного явления. Житейский опыт и повседневные наблюдения подсказывали: причина наводнений — ветер, дующий с моря. Такой ветер нагоняет морскую воду в устье Невы. Однако дальнейшее сопоставление фактов поколебало это, в общем-то верное, представление.

В самом деле, спрашивали одни, почему зимой, когда Финский залив покрыт льдом и ветер не может воздействовать на водную поверхность, все же бывают наводнения?

Почему, задавали вопрос другие, иногда бывают значительные подъемы воды при ветрах восточных румбов? Ведь при этих ветрах вода должна падать, а не подниматься!

Почему, интересовались третьи, не все штормовые ветры западного направления вызывают подъем воды?

В поисках объяснения некоторые ученые выдвинули предположение, что наводнение бывает в тех случаях, когда нагон воды с моря совпадает с приливом в новолуние или полнолуние. Последующие исследования, однако, не подтвердили этого. Высказывались также догадки, что катастрофические наводнения случаются в годы противостояния Марса, но и от них пришлось отказаться.

В середине XVIII в. наряду с ветровой теорией появилось мнение, что наводнение создается самой Невой. Ветер, дующий с моря, говорили некоторые исследователи, подпирает Неву и создает затруднения для стока ее вод. Не находя выхода, невяская вода затопляет окружающую местность.

Из этой теории вытекал практический вывод: надо облегчать сток невяским водам, т. е. рыть каналы, углублять и расчищать реки. Такой вывод совпадал с интересами строительства города, и описанная стоковая теория надолго стала господствующей. Дело доходило до курьезов. После катастрофического наводнения 1777 г. (подъем 310 см над ординаром) Екатерина II пригласила к себе ряд видных специалистов и попросила их высказать свое мнение о причинах наводнения. Нашлись «знатоки», которые уверяли, что если бы Екатерининский канал (ныне канал Грибоедова) не был так заставлен судами, то наводнение было бы намного меньше. Начальник петербургской полиции получил выговор за то, что «суда стояли столь неправильно, что они помешали невяской воде выйти в море». В первой половине XIX в. появились некоторые данные о расходе воды реки Невы. Это позволило выполнить простейшие расчеты и убедиться, что роль задержания невяских вод ветром переоценена. В самом деле, примем расход воды близким к среднему, т. е. 2500 м³/сек. За один час река проносит $2500 \times 3600 = 9\,000\,000$ м³ воды. При уровне воды у Горного института 300 см над ординаром площадь затопления в пределах дельты составляет 50 км², или 50 000 000 м². При полном прекращении стока уровень воды на затопленной территории может повыситься на величину $9\,000\,000 : 50\,000\,000 = 0,18$ м. В действительности же при больших наводнениях, когда отмечалось обратное течение и могло иметь место полное прекращение стока, за 1 час уровень воды повышается на 0,6—0,8 м и более. Следует, впрочем, заметить, что на поверхности реки обратное течение устанавливается в редких случаях — при западном ветре, достигающем силы жестокого шторма. В глубине же потока на главных рукавах дельты обратного течения, по-видимому, никогда не бывает, а если и бывает, то непродолжительное время.

Природа окружила тайной механизм невяских наводнений, и долгое время все усилия ученых понять его оставались тщетными. Пер-

вый обнадеживающий сдвиг появился в конце прошлого столетия, когда начали составляться синоптические карты, отражающие состояние погоды на обширных пространствах, и были организованы более частые наблюдения за уровнем воды в ряде пунктов Балтийского моря. Постепенно, шаг за шагом благодаря усилиям многих ученых (М. А. Рыкачева, С. Д. Грибоедова, К. П. Турыгина, Н. И. Вельского, Ю. Д. Михайлова, Н. А. Лабзовского, А. И. Фройдзопы и др.) картина более или менее прояснилась.

По современным воззрениям, природа невяских наводнений вкратце такова. Подчиняясь общим законам циркуляции атмосферы на земном шаре, области с низким давлением воздуха — так называемые циклоны — перемещаются обычно с запада на восток. Циклон — этот мощный атмосферный вихрь — несет с собой потемсткую, ветреную погоду. Ветровые потоки в циклоне направлены против часовой стрелки и к его центру. Чаще всего в южной половине циклона находится сектор с относительно теплым воздухом. Линии раздела между теплым и холодным воздухом в циклоне называется атмосферным фронтом, или просто фронтом. Ветер в циклоне достигает наибольшей силы в полосе фронта.

Циклоны, пересекающие Балтийское море, выводят из равновесия его водные массы и чаще всего формируют особого рода длинную волну. Высота такой волны в центральных районах моря обычно по превышает нескольких десятков сантиметров, а ее длина сравнима с длиной самого моря.

Циклоны перемещаются над Балтийским морем по ранним траекториям. Особое значение в формировании наводнения имеют те из них, которые пересекают море с юго-запада на северо-восток, т. е. в том направлении, в котором вытянуто само море. В этом случае циклоны увлекают длинную волну в Финский залив. Профиль волны здесь, у горла залива, становится довольно четко выраженным, чему в немалой мере благоприятствуют и господствующие в это самое время в периферии циклона над Финским заливом восточные ветры. У горла залива как бы возникает вспученность за счет воды, согнанной сюда из открытых районов Балтики и отчасти из центральных районов Финского залива.

Первоначальная высота длинной волны в горле Финского залива обычно 40—60 см, скорость ее распространения 40—60 км/час. При продвижении по широкой и глубокой части залива высота и скорость волны мало меняются. С подходом к вершине залива высота

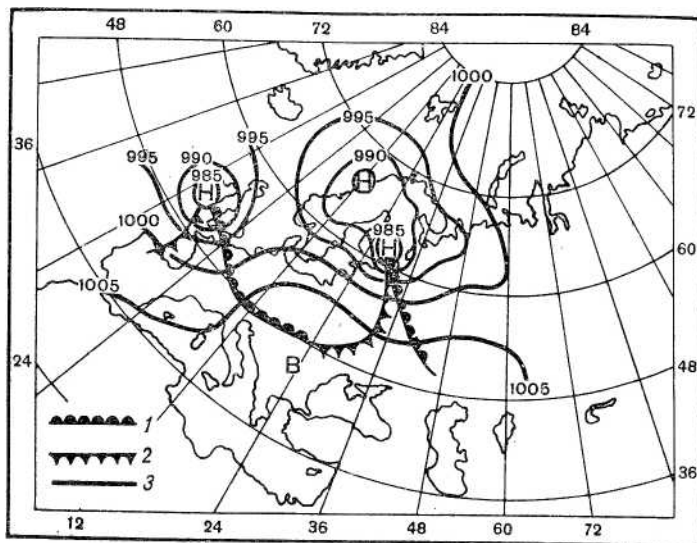


Рис. 20. Карта погоды во время одного из наводнений. 1 и 2 — атмосферные фронты; 3 — линия равных давлений воздуха в миллибарах.
Н — область низкого давления воздуха (циклон); В — область высокого давления воздуха (антициклон).

волны возрастает, так как залив делается уже и мелководнее, в особенности в районе так называемой Нарвской стенки (вблизи устья реки Нарвы), где резко уменьшается площадь поперечного сечения залива вследствие падения глубин. По пути движения форма волны видоизменяется и усложняется из-за неровностей берегов и дна.

Длинная волна пробегает залив за 7—9 часов. Если в течение этого времени нет ветра или ветер очень слабый, то волна распространяется только лишь под действием силы тяжести — в этом случае она называется свободной длинной волной. За счет свободной длинной волны в устье реки Невы возможен подъем иногда до 200—250 см.

Свободной длинной волны в чистом виде не бывает, так как при прохождении циклонов всегда дуют ветры различных направлений. Северные и южные ветры являются нейтральными: они никак не влияют на высоту волны. Встречный восточный ветер уменьшает высоту волны, а попутный западный — увеличивает. В последнем случае возрастание высоты волны бывает особенно значительным: если атмосферный фронт совпадает с гребнем волны и перемещается вместе с ним примерно с одинаковой скоростью (40—60 км/час), фронт как бы подхлестывает волну, появляется эффект резонанса. Подобные случаи бывают тогда, когда циклон, дойдя до горла Финского залива, поворачивает на восток. Эффект «подхлестывания», помимо прочего, создается и за счет ветрового раздела на фронте, точнее, за счет смены ветров южных румбов впереди фронта на западные в тылу фронта, а также за счет перехода от пониженного давления перед фронтом к повышенному позади фронта. Таким образом, длинная волна практически всегда бывает вынужденной, т. е. такой, на которую воздействует ветер. Постепенное возрастание высоты вынужденной длинной волны за счет ветра и сужения залива хорошо прослеживается на рис. 21, где изображен ход уровней воды в различных пунктах Финского залива и реки Невы при наводнении 1955 г.

После набегания длинной волны в вершину Финского залива и ее последующего отражения колебания водных масс всего моря преобразуются в затухающие инерционные колебания, обычно называемые сейшми. Узел сейши располагается в районе о. Готланд, а пучности — в оконечностях моря: у Датских проливов и в вершинах Ботнического и Финского заливов. Сейши Балтийского моря имеют период около 26 часов, поэтому с интервалом примерно в одни сутки в устье Невы наблюдается еще несколько подъемов уровня. Высота таких подъемов, как правило, не превышает 50 см. Но случается, что

циклопы движутся «семействами» с интервалами около 24—28 часов, и тогда на первое колебание накладываются последующие. Водные массы моря как бы раскачиваются циклонами, а подъем уровня в устье Невы за счет сейши возрастает до 100—150 см.

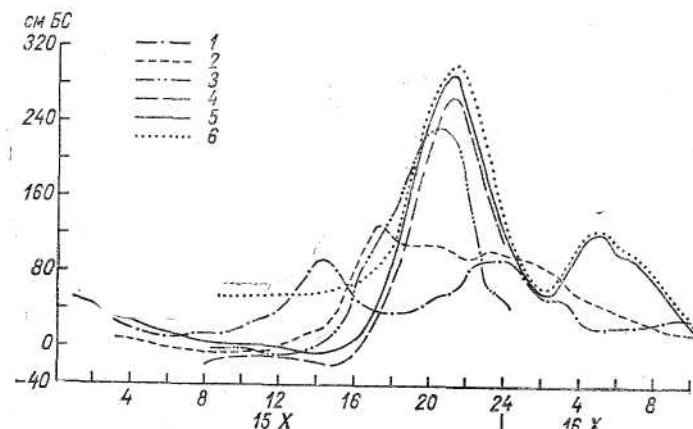


Рис. 21. Ход уровня в различных пунктах Финского залива и реки Невы во время наводнения 1955 г.
1 — г. Таллин; 2 — пос. Усть-Нарва; 3 — г. Кронштадт; 4 — Невская устьевая станция; 5 — Горный ин-т; 6 — ф-ка им. Ногина.

В пределах Финского залива известны также случаи сейшеобразных колебаний уровня с периодом 7—9 часов.

Довольно значительный подъем воды в Ленинграде может иметь место и без длинной волны и сейши, а лишь за счет сильного устойчивого западного ветра на Финском заливе. Однако случаев, когда очень сильный западный ветер наблюдался бы длительное время на всем заливе, почти не бывает. Сравнительно неширокая зона очень сильных западных ветров перемещается вместе с циклоном и в

каждый данный момент охватывает лишь какую-то часть залива. И только лишь за счет более или менее устойчивого западного ветра на Финском заливе в устье Невы может быть подъем до 100—150 см.

Для полноты картины укажем, что все формы денивелиации водной поверхности Балтийского моря — длинноволновая, сейшеобразная, ветровая (сгонно-нагонная) и, наконец, приливо-отливная — могут возникать при любом уровне наполнения моря, и, естественно, чем выше этот уровень, тем больше размеры денивелиации.

Существенно, что ни одна из названных форм денивелиации почти никогда не наблюдается в чистом виде и прежде всего потому, что иодные массы обладают определенной инерцией. Вновь возникшие колебания всегда накладываются на еще не затухшие предшествовавшие им колебания той или иной формы. Длинноволновая и ветровая форма денивелиации обычно возникают одновременно. Наблюдаемые колебания уровня моря всегда есть результат сложения разных форм денивелиации, и лишь в отдельных случаях удастся различить преобладание той или иной формы. Это обстоятельство весьма затрудняет изучение явления в целом и в отдельных его деталях.

Легко понять, что очень большое наводнение бывает в тех случаях, когда основные причины, вызывающие подъем воды, действуют одновременно. Напомним, что такими причинами являются: образование длинной волны и перемещение ее вдоль Финского залива вместе с углубляющимися циклонами и с сильным западным ветром; раскачка водных масс Балтийского моря, т. е. возникновение сейши.

Описанная теория природы невских наводнений отвечает на многие вопросы, раньше казавшиеся неразрешимыми.

— Как может возникнуть наводнение зимой?

Ледяной покров не препятствует подъему воды, если последний вызван сейшей или длинной волной. Установлено, что при наличии сплошного ледяного покрова лишь в восточной половине Финского залива подъем воды в Ленинграде примерно на 50 см меньше, чем и летнее и осетгае время (разумеется, при прочих равных условиях).

— Отчего при штормовых ветрах западного направления зачастую не бывает наводнений?

Да потому, что зона сильных западных ветров охватила лишь вершину Финского залива, а водные массы всего залива не были выведены циклоном из равновесия, т. е. не возникла ни сейша, ни длинная волна.

— Чем объяснить спад воды перед наводнением?

При перемещении циклона в районе Балтийского моря с юго-запада на северо-восток вершина Финского залива оказывается в северо-восточной периферии циклона. Так как ветровые потоки в циклоне направлены против часовой стрелки, то в его северо-восточной периферии господствуют восточные ветры, которые и вызывают сгон воды.

— Почему бывают наводнения в безветренную погоду?

Подобные случаи приводили в изумление жителей Петербурга, и на них следует остановиться подробнее. Так, 8 ноября 1752 г. при полном штиле вода в Неве поднялась на 193 см выше ординара и затопила берега. Высокая вода стояла около суток. По всей вероятности, наводнение было вызвано или длинной волной, сформировавшейся в собственно Балтийском море, или сейшей. И действительно, капитаны судов, прибывавших потом в город, рассказывали, что накануне в течение двух дней на Балтике свирепствовали штормы. Другой случай отмечался 29 ноября 1764 г., вода поднялась на 233 см выше ординара при весьма слабом западном ветре. Наконец, известен случай, когда при противном для длинной волны северо-восточном ветре произошел подъем в 178 см (между 5 и 7 декабря 1765 г.). Другой аналогичный случай отмечался совсем недавно — 2 XI 1969 г., подъем воды, достиг 145 см.

— С чем связан повторный подъем воды спустя сутки после наводнения?

Длинная волна, набежавшая в вершину Финского залива, с отходом циклона откатывается назад и после того, как она отразится от юго-западных берегов Балтийского моря, вновь возвращается в устье Невы через 24—26 часов, усиленная по пути следующим циклоном. При такой форме преобразования длинноволновой денивеляции в сейшеобразную наводнения обычно бывают небольшими, растянутыми, с многопиковым очертанием графика хода уровней.

— Нередко задают такие вопросы: есть на Балтийском море еще какое-нибудь место, где бы наблюдались такие же наводнения, как в устье Невы? Если бы Нева впадала в Финский залив в другом месте, были бы тогда в Ленинграде наводнения или нет? На эти вопросы нетрудно ответить.

На Балтике мест, подобных устью Невы, больше нет. Ботнический залив, так же как и Финский залив, вытянут в длину в направлении движения циклонов. Однако вход в залив преграждается обширной отмелью, и поэтому залив слабо связан с остальным морем. Кроме того, в вершине Ботнического залива нет такого резкого уменьшения его ширины и глубины, как в вершине Финского залива.

Роль стока реки Невы в формировании наводнений незначительна. Наводнения в Ленинграде имели бы место даже в том случае, если бы... отвели Неву в сторону, например, сбросили ее воды и Финский залив на севере Карельского перешейка.

Механизм ленинградских наводнений весьма сложен. Многие важные моменты остаются еще неясными. Как возникает длинная волна на просторах Балтики, как атмосферный фронт в циклоне воздействует на гребень продвигающейся длинной волны, как распределены скорости течения по ширине и глубине залива? Эти и другие вопросы нуждаются в тщательном изучении.

Дальнейшее исследование ленинградских наводнений ведется сейчас по следующим направлениям.

Одно направление — детальный анализ синоптических ситуаций, вызывающих наводнение, и хода уровней воды в различных пунктах Балтийского моря с тем, чтобы установить приближенную количественную (эмпирическую) зависимость между причинно-следственными факторами, например между величиной подъема воды в Ленинграде, с одной стороны, и величиной подъема в различных пунктах Финского залива, а также скоростью и направлением ветра над заливом — с другой. Полученные при этом выводы находят широкое применение в современной практике составления прогнозов. Однако путь этот не перспективный, поскольку не сулит окончательного и точного решения задачи.

Другое направление исследований — организация натурных полевых наблюдений за воздушной и водной средой. На береговых и островных гидрометеорологических станциях, с плавающих кораблей, с помощью автономных приборов измеряется скорость и направление ветра, фиксируется уровень воды, определяется скорость течения по глубине и т. д. Чрезвычайная ценность этих наблюдений — в максимальном приближении к природе. Но у натурных наблюдений есть и отрицательная сторона. Наводнение, как правило, сопровождается штормом и сильным волнением, и выйти в открытое море не всегда возможно, в особенности ночью. Добавим, что большие наводнения случаются редко, поэтому дорогостоящее оборудование бездействует в продолжение многих месяцев и даже лет или доставляет малоинтересную информацию.

Следующее направление исследований — постановка лабораторных опытов на специальной модели. Путем моделирования выявляются некоторые важные, но скрытые от глаз закономерности перемещения больших масс в Финском заливе, в первую очередь скорость движения и трансформации свободной длинной волны. Экспериментатор по своему усмотрению может изменять размер и форму длинной волны, угол ее вхождения в залив, налагать волны одна на другую. Такое моделирование, кроме того, позволяет лучше ориентироваться в постановке натурных наблюдений и при выполнении теоретических изысканий. Однако многие стороны явления не поддаются изучению на модели. Не удастся, например, воспроизвести систему ветров в циклоне, и в частности вблизи атмосферного фронта. Немало есть трудностей с созданием крупномасштабной модели всего Балтийского моря. Моделирование же только в пределах Финского залива ограничивает возможности экспериментатора. Наконец, отрицательно сказывается искажение горизонтального и вертикального масштабов модели. Так, если даже соорудить модель Финского залива длиной 100 м и вертикальный масштаб взять таким же, как и горизонтальный, то на модели глубина воды в Невской губе будет исчисляться долями миллиметра, т. е. представлять собой тоненькую пленку воды.

Наконец, еще одно направление в изучении ленинградских наводнений возникло полтора-два десятилетия тому назад, его

можно назвать гидродинамическим. Оно состоит в решении так называемой системы дифференциальных уравнений мелкой воды. Входящие в уравнение члены характеризуют баланс воды и равенство действующих сил на каждом небольшом участке Финского залива каждый данный отрезок времени. Решение уравнений сопряжено с весьма трудоемкими подсчетами. С появлением бысодействующих электронных вычислительных машин положение коренным образом изменилось к лучшему. И все же принципиальных и технических трудностей осталось немало. Пока что приходится допускать, что, например, скорость течения воды по вертикали одинакова, что уровень воды у берегов залива такой же, как на оси залива, т. е., как принято говорить, ограничиваться постановкой одномерной задачи.