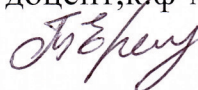


Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущена к защите
Зав. кафедрой доцент, к.ф.-м.н.,
Т.Р. Еремина
10.06.2016



Кафедра промысловой
океанологии и охраны природных
вод

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
Короткопериодные колебания уровня в
заливах Балтийского моря

Выполнила

К.М. Кислякова,
гр. О-438

Руководитель

к.г.н., доцент
С.М. Гордеева

Санкт-Петербург 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

Допущена к защите

Зав. кафедрой доцент, к.ф.-м.н.,

Т.Р. Еремина

____.06.2016

Кафедра промышленной

океанологии и охраны природных

вод

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)
Короткопериодные колебания уровня в
заливах Балтийского моря

Выполнила

К.М. Кислякова,
гр. О-438

Руководитель

к.г.н., доцент
С.М. Гордеева

Санкт-Петербург 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	2
1 Уровень воды в Балтийском море	3
1.1 Особенности физико-географического положения Балтийского моря	3
1.2 Изменения уровня Балтийского моря	8
1.2.1 Виды изменения уровня воды	8
1.2.2 Изменения уровня моря в Балтийском море	9
1.3 Сейши	10
1.4 Сейши в Балтийском море	12
2 Исходные данные и методы, используемые в исследовании	15
2.1 Исходные данные	15
2.1.1 Уровень моря	15
2.1.2 Метеорологические данные	17
2.2 Методы исследования	18
2.2.1 Вейвлет-анализ	18
2.3 Алгоритм выявления короткопериодных колебаний	19
3 Короткопериодные колебания уровня в заливах Балтийского моря	23
3.1 Система Западная Балтика-Финский залив	23
3.2 Система Балтийское море-Ботнический залив	35
Заключение	45
Список использованных источников	47

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Колебания уровня является одним из важнейших гидрометеорологических процессов, происходящих в океане. Различают несколько видов колебаний уровня. Одним из таких видов колебаний являются короткопериодные колебания.

К этим колебаниям относятся волновые, приливные и сгонно-нагонные процессы. Одним из явлений, вызванным такими колебаниями, являются нагонные наводнения. Нагонные наводнения могут оказывать очень сильное влияние на жизнедеятельность человека в прибрежной зоне. Также короткопериодные колебания влияют на строительство сооружений в прибрежной зоне, так как там требуется знать максимальные отметки уровня. Поэтому знания об особенностях короткопериодных колебаний, а также их возможного проявления является актуальной задачей, как с практической, так и с научной точки зрения.

Исследования короткопериодных колебаний в Балтийском море давно не проводились. Это было связано с недоступностью данных. Также для исследования короткопериодных колебаний требуется часовые данные, которые сложно найти. В настоящее время появились единые базы данных, на которых можно найти часовые длительные часовые данные колебания уровня. Новые данные более качественны, поэтому они дают более точную информацию. Такие данные позволяют выявить требуемые колебания.

Объектом исследования являются заливы Балтийского моря: Финский и Ботнический.

Предмет исследования – изменения колебания уровня моря в различных точках заливов Балтийского моря

Цель работы

Выявить короткопериодные колебания уровня в заливах Балтийского моря.

Задачи работы:

1. Сформировать базу значений уровня разной дискретности в различных точках заливов Балтийского моря.
2. Подготовить программное обеспечение для оценки характеристик циклических составляющих изменчивости уровня.
3. Оценить масштабы колебаний уровня моря в заливах Балтийского моря, их периоды и длительность. Выделить короткопериодные составляющие колебаний уровня.
4. Выявить причины возникающих колебаний.
5. Оценить сопряженность колебаний уровня в разных точках.

1 Уровень в Балтийском море

1.1 Особенности физико-географического положения Балтийского моря

Балтийское море располагается в северной Европе и принадлежит к бассейну Атлантического океана. Это внутриматериковое окраинное море, площадь которого без островов 415 тысяч км². Объём воды – 21,5 тыс. км³. Средняя глубина равна 51 м. Самая глубокая котловина, Ландсортская, достигает 470 м. Балтийское море имеет глубокие, широкие проливы Скагеррак, Каттегат, Большой и Малый Бельты и заливы, такие как Ботнический, Финский и Рижский (рисунок 1.1) [1].

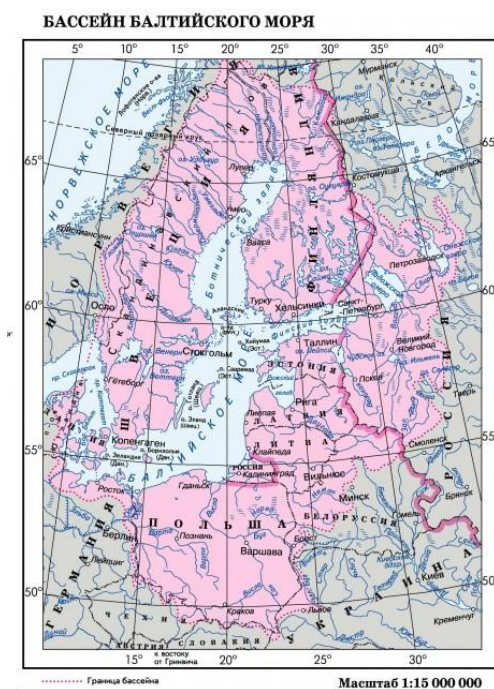


Рисунок 1.1 - Карта Балтийского моря

Своеобразная конфигурация и значительная протяженность моря с севера на юг и с запада на восток создают различные климатические условия в разных районах моря. Климат над Балтийским морем – атлантико-континентальный: с умеренно холодной зимой и нежарким влажным летом. Он характеризуется сравнительно небольшими годовыми колебаниями

температуры, частыми осадками, и туманами в холодные и переходные сезоны. В течение года преобладают ветры западных направлений, которые связаны с циклонами, приходящими с Атлантического океана. В открытом море в течение всего года господствуют западные, юго-западные и южные ветры. Значительно реже встречаются восточные и северные ветра. Среднемесячная скорость ветров составляет 3-7 м/с. Редко бывают порывы до 15 м/с. С[1].

Циклоническая деятельность достигает наибольшей интенсивности в осенне-зимние месяцы. В это время циклоны сопровождаются сильными ветрами, частыми штормами и вызывают большие подъёмы уровня воды у побережья. В осеннее и особенно зимнее время интенсивно взаимодействуют Исландский минимум и Сибирский максимум, что усиливает циклоническую деятельность над морем[2].

В летние месяцы циклоны ослабевают и их повторяемость уменьшается. Вторжение антициклонов сопровождается ветрами восточных направлений.

В самые холодные месяцы, январь и февраль, средняя температура воздуха в центральной части моря равна -3 °С на севере и -5–8 °С на востоке. При редких и кратковременных вторжениях холодного арктического воздуха, связанных с усилением полярного максимума, температура воздуха над морем понижается до -30 °С и даже до -35 °С.

В весенне-летний сезон Балтийское море находится в полосе пониженного давления, по которой проходят менее глубокие, чем зимой, циклоны из Атлантического океана. В связи с этим весной ветры очень неустойчивы по направлению и невелики по скорости. Ветры северных направлений вызывают обычно холодную весну на Балтийском море.

Летом дуют преимущественно западные, северо-западные и юго-западные слабые до умеренных ветры. С ними связана характерная для моря прохладная и влажная летняя погода. Среднемесячная температура самого теплого месяца июля равна +14-15 °С в Ботническом заливе, а +16-18 °С в

остальных районах моря. Жаркая погода бывает редко. Ее вызывают кратковременные залоги прогретого средиземноморского воздуха[2].

Гидрологические условия Балтийского моря определяются в основном его климатом, избытком пресных вод и водообменом с Северным морем.

В Балтийское море впадает около 250 крупных и малых рек. Они ежегодно выносят в море примерно 433 км^3 воды, что соответствует 2,1% от общего объема моря. За счёт материкового стока образуется избыток пресных вод, равный 472 км^3 в год. 100-150 дней в году бывает со снежным покровом, в среднем высота снежного покрова от 30 до 35 см.

Количество воды, поступающей на поверхность моря с осадками ($172,0 \text{ км}^3$ в год), равно испарению. Количество осадков в летнее месяцы наибольшее, особенно в августе. Водообмен с Северным морем в среднем составляет 1659 км^3 в год (солёная вода 1187 км^3 в год, пресная — 472 км^3 в год). Пресная вода стоковым течением уходит из Балтийского моря в Северное, солёная — глубинным течением поступает через проливы из Северного моря в Балтийское. Сильные западные ветры обычно вызывают приток, а восточные ветры — сток воды из Балтийского моря через все сечения проливов Эресунн, Большой и Малый Бельты [1].

Одной из особенностей Балтийского моря являются Большие балтийские залоги. Они образуются в результате внедрения североморских вод в Балтийское море в объеме $90\text{-}258 \text{ км}^3$ с продолжительностью от 6 до 29 суток. Большой залоги может составлять около 40 % от результирующего годового водообмена между Северным и Балтийским морем. Он бывает от 1-2 раза в год раз в несколько лет, только в осенне-зимний период при определённых гидрометеорологических условиях. Этими условиями являются продолжительные западные ветра около трех недель и понижения уровня в море, а также атмосферная циркуляция. Большой залоги вызывает отток/приток воды через Датские проливы, что приводит к изменению среднего уровня Балтийского моря почти на метр менее чем за месяц [1].

1.2. Изменения уровня Балтийского моря.

1.2.1 Виды изменения уровня воды

Уровень океана имеет сезонный ход. Он обусловлен естественным годовым ходом основных климатических факторов, таких как тепловой и водный балансы, поля ветра, и изменениями в системе течений, плотности воды и т. п.

В морях на водообмен влияет годовой ход уровня и изменение стока рек. Одновременно влияют многие факторы и поэтому ход уровня не всегда просто объяснить.

Колебания уровня бывают разных видов: стерические, анемобарические, вызванные стоком, большими затоками и ветровыми нагонами/наводнений [3].

Стерические колебания уровня происходят из-за расширения или сжатия морской воды. Изменения плотности воды происходит без изменения ее массы. Колебания плотности воды зависит от изменения температуры и в меньшей степени от солености деятельного слоя океана.

К кратковременным изменениям уровня можно отнести сравнительно быстрые его изменения, не имеющие хорошо выраженного сезонного хода. Это, прежде всего, короткопериодные ветровые волны, приливные колебания и сейши, а также непериодические анемобарические колебания и ветровые нагоны.

Колебания атмосферного давления могут создавать барические колебания уровня моря по принципу «обратного барометра». При повышении атмосферного давления уровень моря понижается, а при понижении давления – повышается. Это простое соотношение в большинстве случаев не выполняется. Причиной является всякое неравномерное поле атмосферного давления и его изменения, которые создают поле ветра. Касательное напряжение ветра на поверхности моря создает ветровые течения, деформирующие уровень воды. Изменения атмосферного давления

над поверхностью воды создают одновременно два эффекта: статический эффект от непосредственного действия давления на уровень и динамический эффект действия касательного напряжения ветра. Динамический эффект изменяет уровень противоположно статическому[3].

В северном полушарии ветер над водной поверхностью отклоняется от направления изобары в сторону низкого давления на угол около 20° . Полный поток установившегося дрейфового течения в глубоком море направлен под прямым углом вправо от ветра. В результате в области циклона статический эффект атмосферного давления повышает уровень, динамический, наоборот, понижает его. Взаимодействие ветра и давления усложняется, если барическая система перемещается.

Наибольшие изменения уровня имеют характер наводнений или штормовых нагонов. Они возникают при движении глубоких циклонов. Проходя над глубоким морем, циклон своим статическим и динамическим воздействием создает длинные волны, перемещающиеся вместе с ним. Высота этих волн зависит от скорости движения циклона. Если скорость движения циклона меньше фазовой скорости свободной длинной волны, то подъемы уровня в его центре, статический и динамический, усиливают друг друга. Если скорость циклона превышает скорость длинной волны, вместо подъема может наблюдаться понижение уровня. При совпадении скоростей циклона и длинной волны наступает явление резонанса, и высота волны возрастает особенно сильно. Подходя к берегу, такие длинные волны увеличивают свою высоту на мелководье и совместно с системой ветровых течений создают наводнения, которые имеют катастрофические последствия. Штормовые нагоны и наводнения представляют собой эффект длинных волн и ветровых течений[3].

1.2.2 Изменения уровня моря в Балтийском море

Сгонно-нагонные колебания уровня Балтийского моря происходят довольно быстро и достигают больших значений. В открытых районах моря

они равны примерно 0,5 м, а в вершинах бухт и заливов бывают 1–1,5 и даже 2 м [1].

Также одной из причин колебания уровня могут быть землетрясения. Область Балтийского моря относится к практически несейсмичным территориям. Общеизвестно, что в начале XIX века в городе Санкт-Петербург было зарегистрировано землетрясение 3-4 балла. Следующее землетрясение в 3 балла произошло в конце XIX века в районе Нарвы. Также были зафиксированы землетрясения в первой половине XX века (3-4 балла в северном Приладожье и на о. Валаам). 23 октября 1976 года на южном склоне Балтийского щита в Финском заливе зарегистрировано землетрясение 3-4 балла. Большинство землетрясений проходило на территории Эстонии и Финляндии – 4-6 баллов.[2]

Но большая часть колебаний уровня воды в Балтийском море зависит от направления, скорости ветра, изменения атмосферного давления.

В связи с сезоном выражены минимальный уровень весной и максимум в августе и сентябре. Разница высот уровня между летним максимумом и весенним минимумом равна 22-28 см. Она больше в заливах и меньше в открытом море. При развитии интенсивной циклонической деятельности западные ветры нагоняют воду через проливы в море, уровень снова повышается и достигает зимой вторичного, но менее выраженного максимума [1].

Приливные колебания уровня имеют астрономическую природу. Вследствие большой степени изоляции от Мирового океана приливы в Балтийском море почти не заметны. Колебания уровня приливного характера в отдельных пунктах не превышают 10–20 см [2].

1.3. Сейши

Сейша - это выведенная из состояния равновесия какой-либо силой вода в замкнутом или полужамкнутом бассейне. После прекращения действия

этой силы для восстановления своего равновесия она будет совершать свободные затухающие колебания [6].

Сейши возникают при приспособлении водных масс к нарушениям равновесного состояния. Это происходит под влиянием внешнего воздействия длительного нагона или сгона воды из-за циклонических вихрей и сильного ветра.

Резкие изменения атмосферного давления являются также одной из причин возникновения сейш. В большинстве случаев вначале они создают беспорядочные возмущения, которые впоследствии трансформируются в правильные стоячие волны. Через некоторое время после возникновения сейш их амплитуда уменьшается и колебания затухают. Время затухания определяется силой трения воды о дно и сильно зависит от глубины водоёма и конфигурации берегов, тем не менее, сейши продолжают длиться долгое время.

В центре циклона наблюдается пониженное давление, которое следует сразу за антициклоном, для которого характерно высокое давление. Поэтому на поверхности воды создается «прогибание» водной поверхности и зарождается волна с весьма длинным периодом. Далее эта длинная волна наблюдается с последующим отражением и преобразованием в затухающие инерционные колебания.

Сейшевые колебания охватывают почти весь объем моря, быстро возбуждаются, но затухают в течение нескольких суток [5].

Сейши могут быть, как продольные одноузловые, так и многоузловые (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 - Одноузловая сейша (а) и двухузловая сейша (б)

Сейши характеризуют поднимание уровня воды у края бассейна и опускание – у другого. А в середине бассейна образуется узловая линия, в которой все частицы воды движутся горизонтально.

Основными элементами сейши, как и у любой стоячей волны, являются период, амплитуда, высота и длина. Период – время, в течение которого масса воды совершает полное колебание. Период рассчитывается с помощью формулы Мериана:

$$\tau = 2X/m\sqrt{gH}, \quad (1.1)$$

где X-это длина бассейна, м;

H-глубина бассейна, м;

m-число узловсейши.

Амплитуда – наибольшее отклонение уровня воды от положения в состоянии покоя. Высота – разность между высшей и низшей отметками. Длина волны – расстояние между двумя соседними пучностями. В реальных морских водоёмах сейши имеют самые различные значения периода и амплитуды [5].

Интересной особенностью сейш является их возникновение и существование даже под сплошным ледовым покровом [6] .

1.4 Сейши в заливах Балтийского моря

Совместное действие ветра и резкое изменение атмосферного давления вызывают сейшевые колебания. Сложные сейшевые колебания уровня — одна из характерных черт режима Балтийского моря[1].

Примером таких сложных колебаний могут служить сейши, полученные на модели Балтийского моря В.П. Дубовым в простом прямоугольном бассейне с постоянной глубиной, один из возможных вариантов, которых изображен на рисунке (рисунок 1.3)

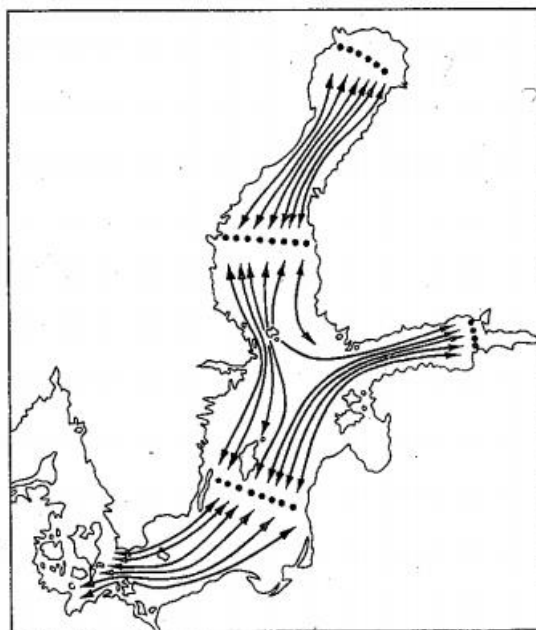


Рисунок 1.3 - Сейши в Балтийском море (по В.П.Дубову)

Узел одноузловой сейши располагается, как правило, в районе о. Готланд, а пучности – в оконечностях моря: у Датских проливов и вершинах Ботнического и Финского заливов. Но во многих случаях из-за сложности очертания берегов и рельефа дна конкретных районов сейши сопровождаются колебаниями более высоких порядков: формируются двух-, трёх- и даже четырёхузловые сейши.

В случае возникновения одноузловой сейши, охватывающей практически всё море с юго-запада на северо-восток, формируется наиболее длинная волна с продолжительным периодом, который составляет до 48 ч. При этом почти весь объём моря охватывается колебательным движением [5].

Возможно также формирование одноузловой сейши в системе Западная Балтика – Финский залив с периодом до 30 ч 12 мин. В такой ситуации колебательным движением охвачены водные массы только Западной, Центральной и Восточной Балтики. При этом наблюдается более интенсивное проникновение вод в Финский залив на одной из фаз колебаний

и более быстрое истечение вод на противоположной фазе. При одноузловой сейше в системе Западная Балтика–Финский залив видно, что при одной фазе колебаний происходит довольно резкое возрастание уровня воды от западных районов Финского залива по направлению к Невской губе. При противоположной фазе максимальный уровень наблюдается уже в юго-западной части Балтики, а минимальный – в восточной части Финского залива. При этом амплитуда колебаний в восточных районах Финского залива, в Выборгском заливе и Невской губе может достигать 100 см, а возможно, и больше[5].

При формировании сейши с двумя узлами наблюдается несколько иной характер колебаний уровня в системе Центральная Балтика–Финский залив. Амплитуда колебаний в восточных районах Финского залива обычно не превосходит 50–60 см. Узловые линии расположены на входе в Финский залив по линии Ханко (Финляндия) – Таллинн (Эстония), а в юго-западной Балтике они обычно проходят по линии, соединяющей юг Швеции и о. Рюген (Германия).

Сейшевые колебания уровня в Балтийском море возникают почти ежегодно. В течение года одноузловые сейши составляют до 9 % времени наблюдений, а с несколькими узлами – 7 %. Трёх и четырехузловых сейши достаточно редки, амплитуда их колебаний относительно небольшая и составляет от 30 до 50 см. Наибольшую повторяемость имеют колебания воды, вызванные одноузловыми сейшами с периодом от 24 до 28 ч. В результате с интервалом примерно в одни сутки в устье Невы наблюдается несколько подъемов уровня. Высота таких подъемов, как правило, не превышает 50–60 см. Но случается, что циклоны движутся в виде групп с интервалами около 24–28 ч, и тогда на первое колебание накладываются последующие. Водные массы моря как бы раскачиваются циклонами, и подъем уровня в устье Невы за счет сейши возрастает до 100–150 см. В пределах Финского залива известны также случаи сейшеобразных колебаний уровня с периодом от 7 до 9 ч [5].

2 Исходные данные и методы, используемые в исследовании

2.1. Исходные данные

2.1.1 Уровень моря

В этой работе были использованы ежечасные данные уровня моря за 2010 год в заливах Балтийского моря. Всего в работе было использовано 9 мареографических станций. Все станции расположены в Финском и Ботническом заливе. Данные были взяты с европейского сайта EMODnet (<http://www.emodnet-physics.eu/Portal>), интерфейс которого представлен на рисунке 2.1.

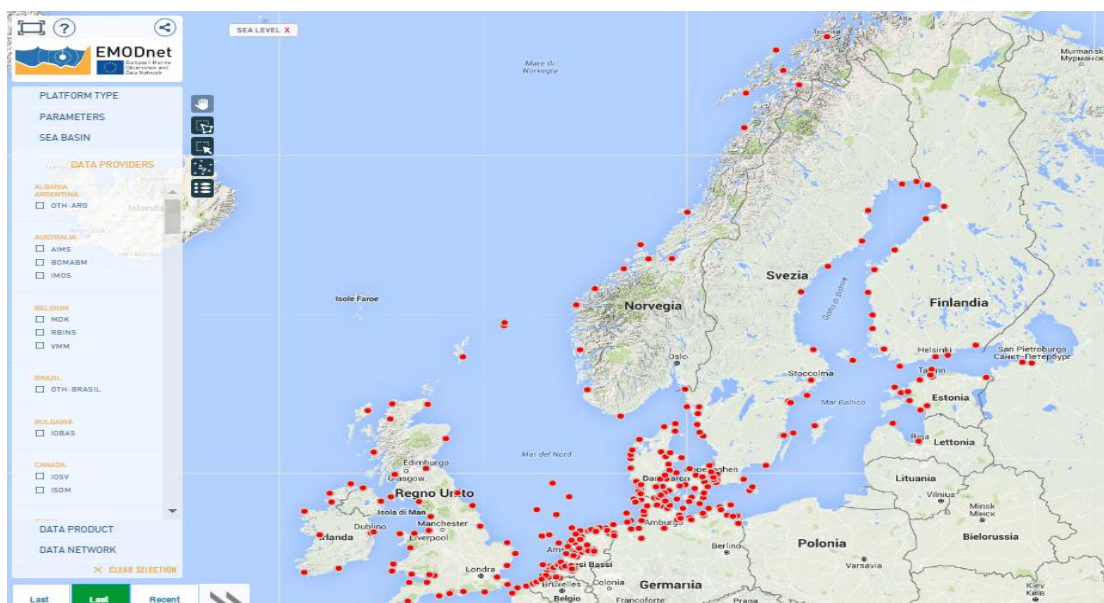


Рисунок 2.1- Карта мареографных станций сайта EMODnet

EMODnet предоставляет собой организацию, которая собирает Европейские морские сведения в единую базу данных. На сайте можно найти данные не только об уровне моря, но и о батиметрии, о геологии, биологии, физике и о деятельности человека в море. На EMODnet присутствуют данные не только мареографных станций, но и буев, как плавающих, так и стационарных, а также данные с радаров и глайдеров. Данный сайт находится на стадии развития.

Далее были сформированы ряды ежечасных данных на мореографных станциях в двух заливах Балтийского моря: в Финском и Ботническом. Были выбраны 9 точек в заливах Балтийского моря с 1 января по 31 марта и с 1 октября по 31 декабря 2010 года. Карта выбранных точек представлена ниже (рисунок 2.2).

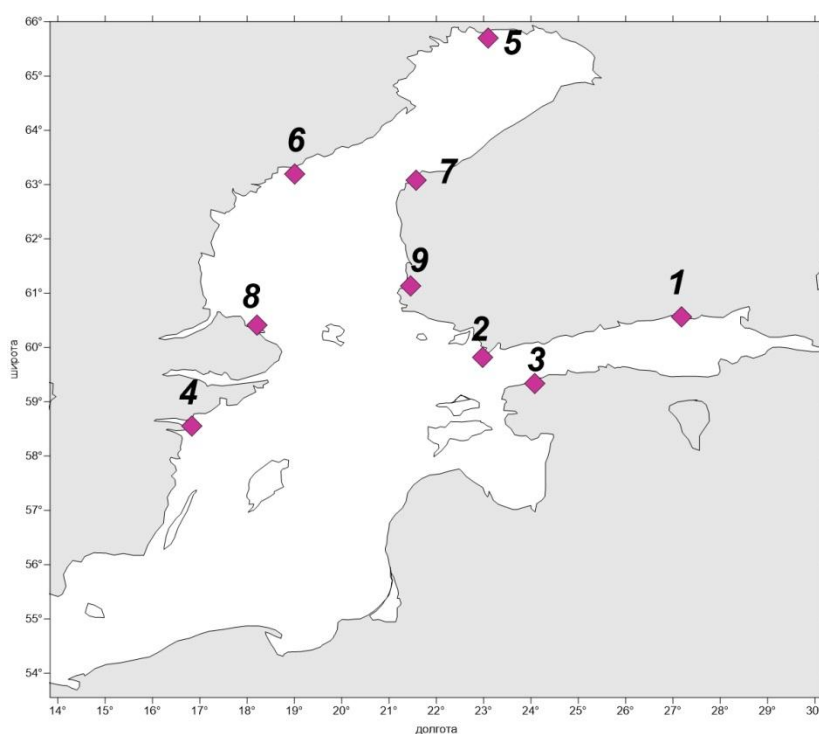


Рисунок 2.2- Карта точек

Таблица 2.1 – Название и координаты точек

N	Название поста	Координаты станции	
		Долгота, в.д.°	Широта,с.ш.°
1	Hamina	27.183	60.567
2	Hanko	22.980	59.820
3	Paldiski	24.080	59.335
4	Marviken	16.837	58.554
5	Kalix	23.096	65.697
6	Skagsudde	19.012	63.191
7	Vaasa	21.570	63.080
8	Forsmark	18.211	60.409
9	Rauma	21.460	61.130

Далее ряды наблюдений были тщательно проверены. Короткие пропуски, порядка несколько часов, были интерполированы. Ряды, содержащие длинные пропуски, то есть несколько суток, были исключены из анализа.

2.1.2 Метеорологические данные

Для выявления роли метеорологического воздействия на формирования короткопериодных колебаний уровня были использованы срочные метеорологические данные с сайта rp5.ru (<http://rp5.ru>), интерфейс которого представлен на рисунке 2.3.

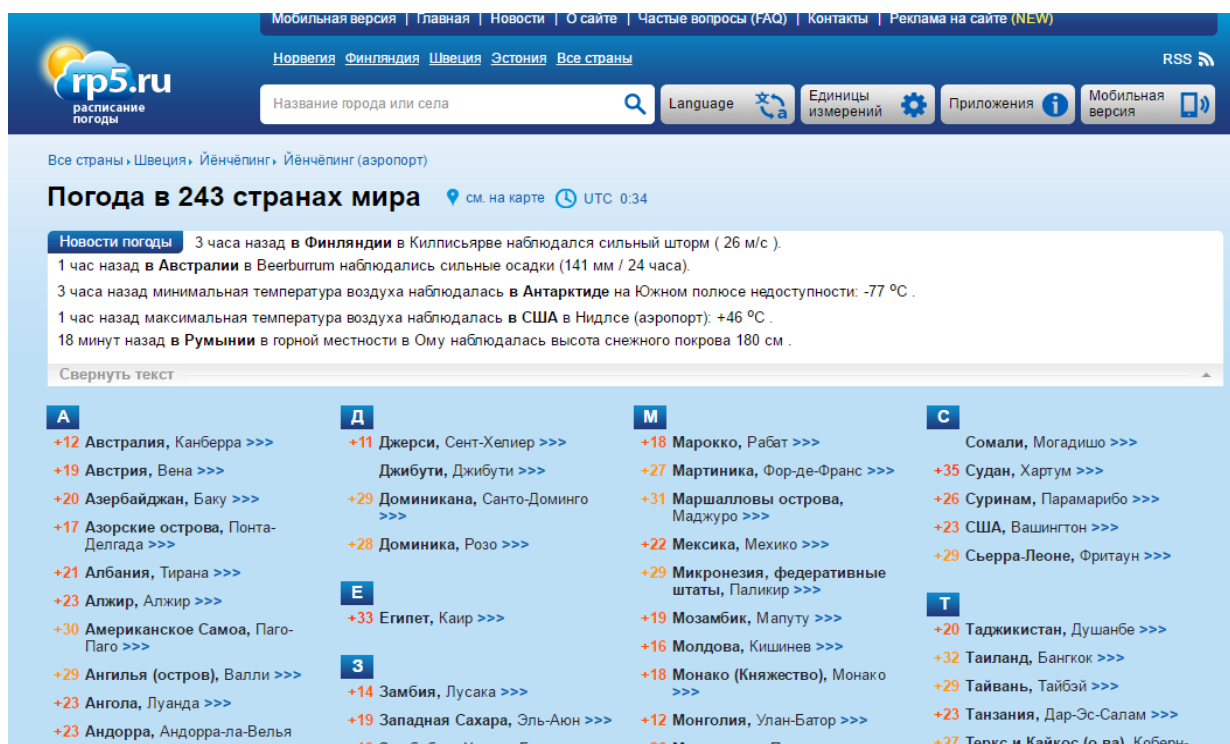


Рисунок 2.3 – Страница сайта rp5.ru

В данном исследовании анализировалось влияние скорости и направления ветра, а также перепада атмосферного давления на формирование короткопериодных колебаний уровня моря в заливах Балтийского моря. Для большей точности метеорологические данные были выбраны в той же точке, что и мареографные станции. Далее были

сформированы ряды данных и построены графики, по которым производился анализ метеорологических составляющих.

2.2 Методы исследования

2.2.1. Вейвлет-анализ

В данном исследовании, как говорилось выше, выявляются короткопериодные колебания уровня моря. Существуют определенные трудности при обработке коротких высокочастотных сигналов или сигналов с локализованными частотами. Поэтому для нашего исследования был подобран такой статистический метод анализа, в котором отсутствуют трудности с выявлением короткопериодных колебаний. Этим методом стал вейвлет-анализ[8].

Вейвлет-анализ - это аппарат, хорошо приспособленный для изучения структуры неоднородных процессов. Этот метод исследования состоит из разложения одномерного сигнала по базису. Каждая функция этого базиса – определенная пространственная частота, а также ее локализация в физическом пространстве. Вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются, как независимые переменные. В результате чего можно анализировать свойства сигнала одновременно в физическом и в частотном пространстве[9].

Также данное преобразование является очень хорошим инструментом для выявления коротких высокочастотных сигналов или сигналов с локализованными частотами, так как элементы его базиса хорошо локализованы и обладают подвижным частотно временным окном. Этот метод позволяет хорошо сохранять разрешение на разных масштабах [8].

По коэффициентам вейвлет-разложения, а также по локальным экстремумам можно вычислить размерность анализируемого множества.

Существуют различные виды вейвлет-образующих функций: Wave, МНАТ, Morle и другие. Выбор функции зависит от того, какую информацию

нужно извлечь из исходного сигнала. У каждой вейвлет-образующей функции есть свои характерные особенности во временном и частотном пространстве. Поэтому с помощью разных вейвлет-функций можно выявить и подчеркнуть те или иные свойства анализируемого сигнала [8].

Самым частым используемым комплексным базисом является вейвлет-анализ Морле (рисунок 2.4). Этот вейвлет-анализ хорошо локализован и во времени и в частотной области [10].

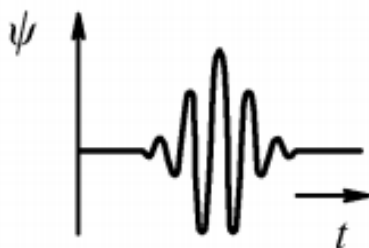


Рисунок 2.4– Вид вейвлета Морле

В данной работе был использован пакет WavePack для программы MATLAB. В этом пакете – программы для вычисления вейвлет-преобразования временного ряда. Автором пакета является Кристофер Торренс[10].

При проведении вейвлет-преобразования были изменены некоторые параметры в программе. Этими параметрами стали n-длина ряда, jtot, savg_dof(1) и savg_dof(2) – верхняя и нижняя граница выделенного периода, lag1- коэффициент автокорреляции, а также название входных и выходных файлов. Текст программы находится в Приложении А.

2.3 Алгоритм выявления короткопериодных колебаний

Для выявления короткопериодных колебаний были проделаны следующие действия:

1. Создан, а также проверен ряд наблюдений для одной точки.
2. С помощью пакета WavePack проведен вейвлет-анализ.
3. По полученным результатам в программе Surfer построено распределение коэффициентов вейвлет-разложения.

Например, на рисунке 2.5 представлены коэффициенты вейвлет-разложения для пункта Ханко. Видно, что в колебаниях уровня присутствуют составляющие масштабом менее 200 часов.

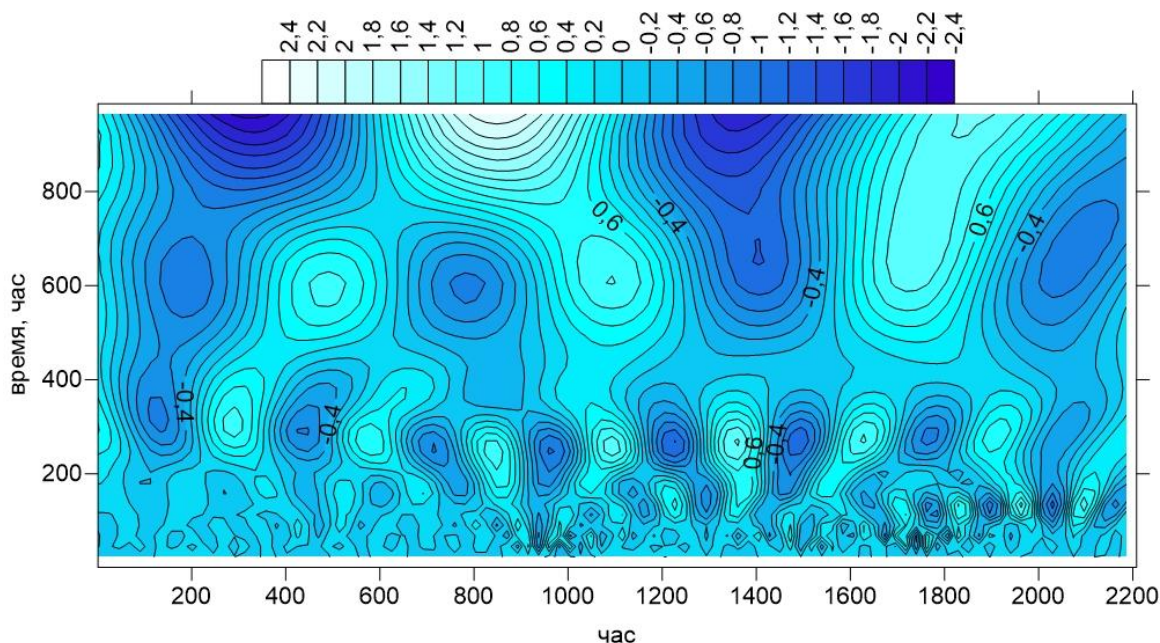


Рисунок 2.5 - Распределение коэффициентов вейвлет-разложения уровня в Ханко с 1 октября по 31 декабря 2010 года

4. Так как в колебаниях выделяются короткопериодные колебания, распределение коэффициентов вейвлет-разложения перестраивается в более мелком масштабе (рисунок 2.6). По распределениям коэффициентов вейвлет-разложения уточняется период и масштаб короткопериодных колебаний.

5. Для выбранного интервала масштабов рассчитывается восстановленный ряд уровня (по коэффициентам вейвлет-разложения, как заложено в алгоритме Торренса).

6. После этого определяется дата начала и окончания исследуемого ярко выраженного короткопериодного колебания и для него строится временной ход, как, например, на рисунке 2.7.

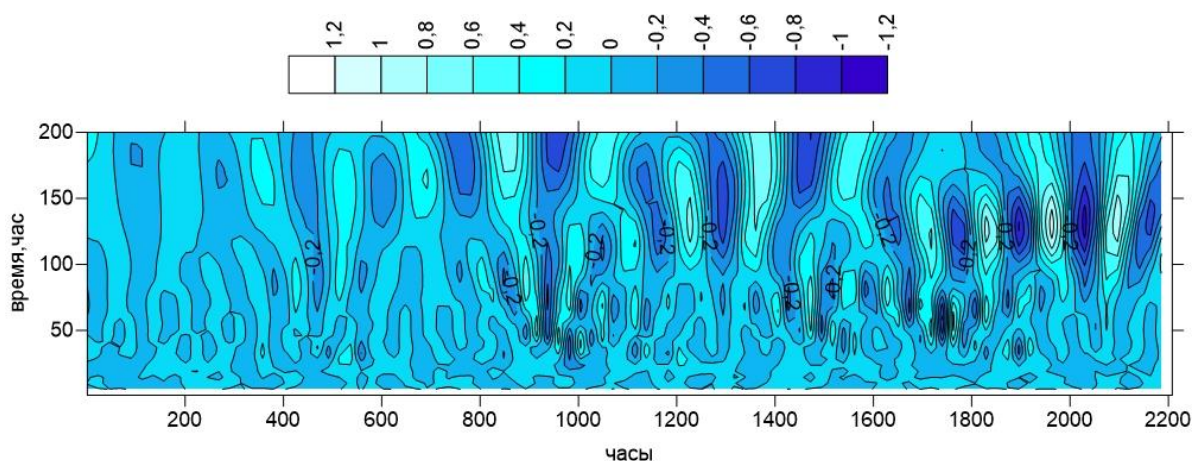


Рисунок 2.6 - Распределение коэффициентов вейвлет-разложения уровня в Ханко с 1 октября по 31 декабря 2010 года

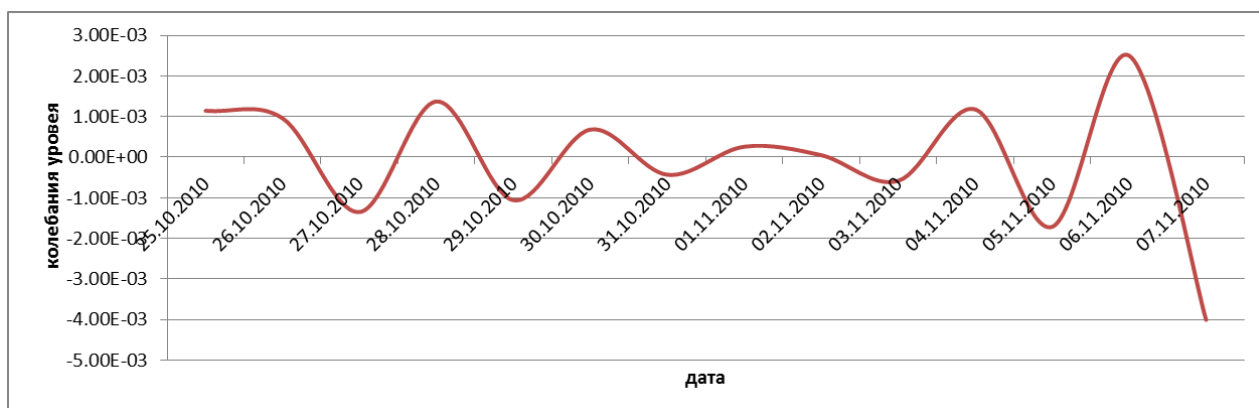


Рисунок 2.7- Временной хода колебания уровня в пункте Ханко для масштабов 46-56 часов, восстановленный по вейвлет-коэффициентам.

7. Проводится сопоставление уровней одинаковых масштабов, восстановленных по вейвлет-коэффициентам, за одно и то же время в различных точках залива и качественная оценка их синхронности, то есть выявления сейши.

8. Для выявленных синхронных и асинхронных колебаний уровня за соответствующие отрезки времени выбираются срочные значения атмосферного давления и скорости ветра из базы гидрометеорологических данных (см. раздел 2.1.2). Пример данных, соответствующих рисунку 2.7 приведен на рисунке 2.8.

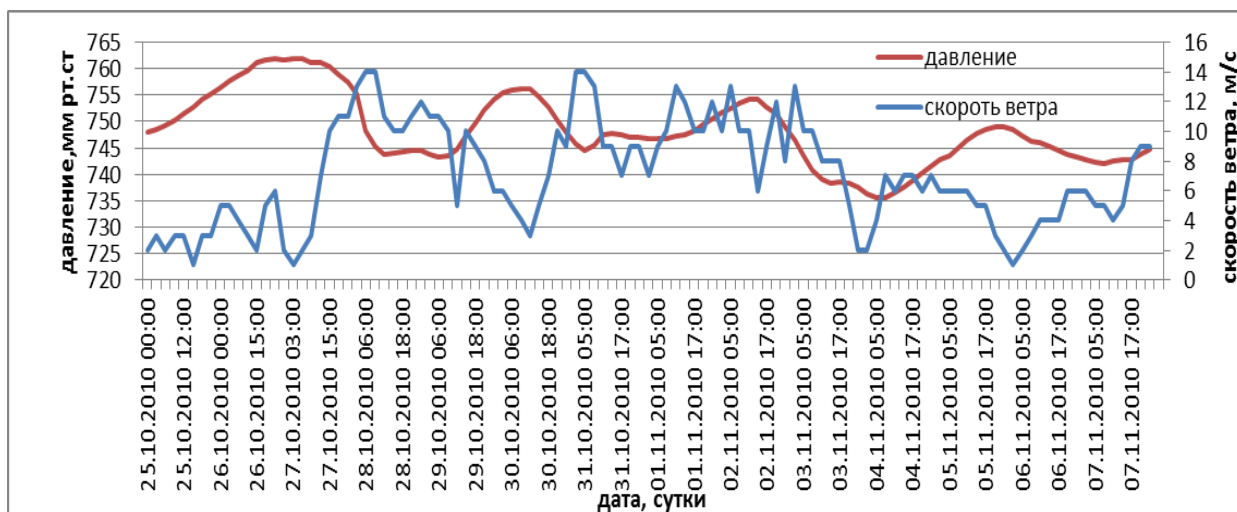


Рисунок 2.8- Временной ход атмосферного давления и скорости ветров
пункте Ханко

Рассмотренный алгоритм исследования можно представить схемой
(рисунок 2.9)



Рисунок 2.9– Алгоритм выявления короткопериодных колебаний

3 Короткопериодные колебания уровня в заливах Балтийского моря

3.1 Система Западная Балтика-Финский залив

Для исследования изменчивости уровня в этой системе было выбрано 4 пункта: Хамина, Ханко, Палдиски и Марвикен. Три из четырех пунктов находятся в Финском заливе, один – в Швеции. Расположение пунктов представлено выше на рисунке 2.2.

С помощью алгоритма (см.раздел 2.3) были рассчитаны коэффициенты вейвлет-разложения. Результаты вейвлет-разложения представлены на рисунках 3.1 и 3.2. Расчеты проводились для двух промежутков времени с 1 января по 31 марта и с 1 октября по 31 декабря 2010 года.

По рисункам 3.1 и 3.2 видно, что существует некоторые группы колебаний, которые повторяются одновременно или с небольшим сдвигом во всех 4 пунктах в системе Западная Балтика-Финский залив.

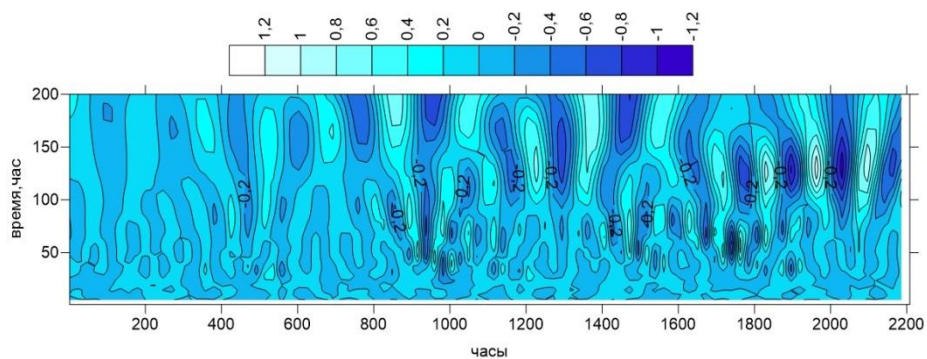
Можно сделать предположение, что эти короткопериодные колебания являются сейшевыми колебаниями исследуемой системе.

Далее, в соответствии с алгоритмом, по выделенным ранее диапазонам, были определены даты начала и окончания сопряженных колебаний. Полученные результаты были сведены в таблицу (таб.3.1), которая представлена ниже.

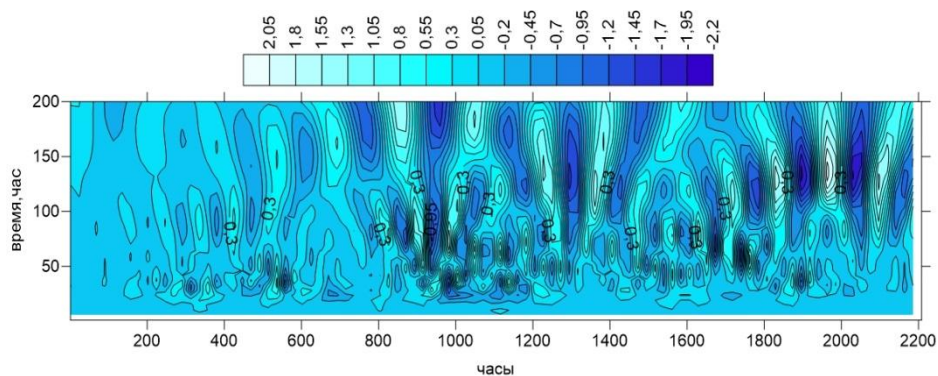
Таблица 3.1- периоды колебания, которые соответствуют выбранным сопряжённым колебаниям с масштабом (от 25 до 56) в часах

Диапазон, час		Дата		Масштаб, час	
от	до	от	до	от	до
200	400	09.10.2010	17.10.2010	30	39
800	1125	03.11.2010	16.11.2010	25	36
600	900	25.01.2010	07.02.2010	42	56
1145	1400	17.02.2010	28.02.2010	32	45
1620	1800	09.03.2010	16.03.2010	34	40

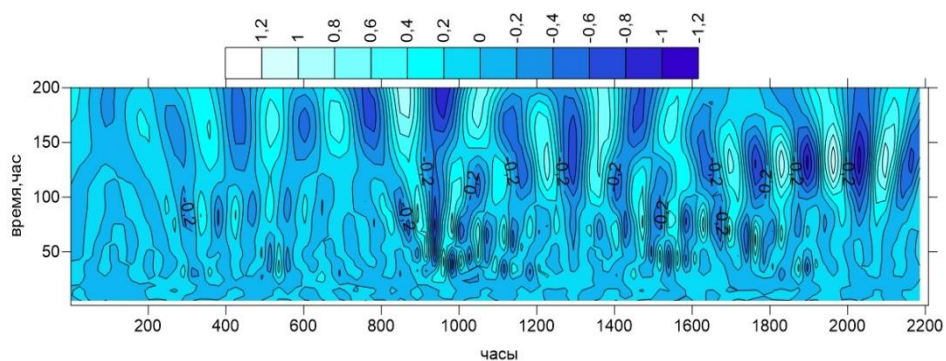
а)



б)



в)



г)

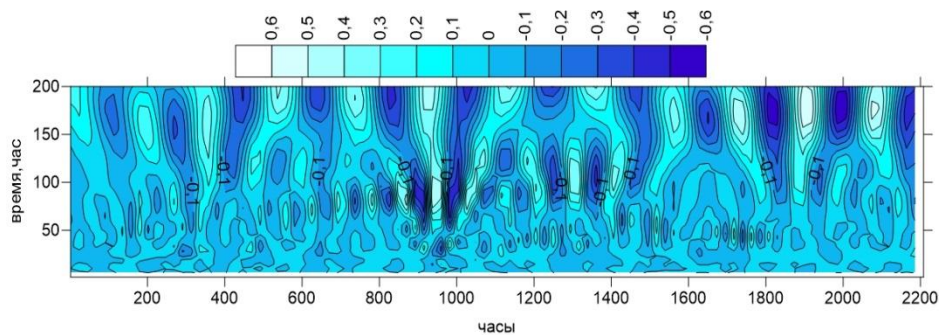


Рисунок 3.2- Коэффициенты вейвлет разложения в четырех пунктах:

а) Хамина, б) Ханко, в) Палдиски, г) Марвикенс 1 октября по 31 декабря 2010 года

Для выбранных периодов времени с помощью коэффициентов Фурье-разложения были восстановлены колебания уровня по двум масштабам: с 25 до 40 ч и с 42 по 56 ч.

Далее следуя алгоритму, были выбраны метеорологические данные, такие как давление и скорость ветра для выбранных промежутков времени. Ниже, с рисунка 3.3 и рисунок 3.7 представлены восстановленные участки колебаний уровня моря во всех четырех пунктах за различные периоды времени, а также временной ход таких метеорологических характеристик, как скорость ветра и атмосферное давление. Метеорологические данные представлены в 3-х выбранных пунктах: Хамина, Палдиски и Марвикен.

На рисунке 3.3 (а) выделяется как синхронные, так асинхронные колебания.

Колебания уровня происходят синхронно в 3 пунктах: в Хамине, в Палдиски, и в Ханко. Для таких колебаний, можно сделать предположение, что это сейша с четным количеством узлов, то есть двумя или четырьмя узлами. Это короткопериодное колебание начинается 9 октября, а заканчивается 13 октября, то есть его период составил 4 дня.

Как видно из рисунка 3.3 (а) в пункте Марвикен колебание уровня происходит асинхронно по сравнению с другими пунктами. На счет, асинхронного колебания, можно сделать предположение, что это может быть сейша с нечетным количеством узлов, то есть одноузловая или трехузловая.

Асинхронное колебание уровня начинается и оканчивается в те же даты, что и синхронное колебание, то есть начинается 9 октября и заканчивается 13 октября. Продолжительность колебания составила 4 дня.

Появление короткопериодных колебаний провоцирует изменение атмосферного давления, а также увеличения скорости ветра и изменения направления ветра.

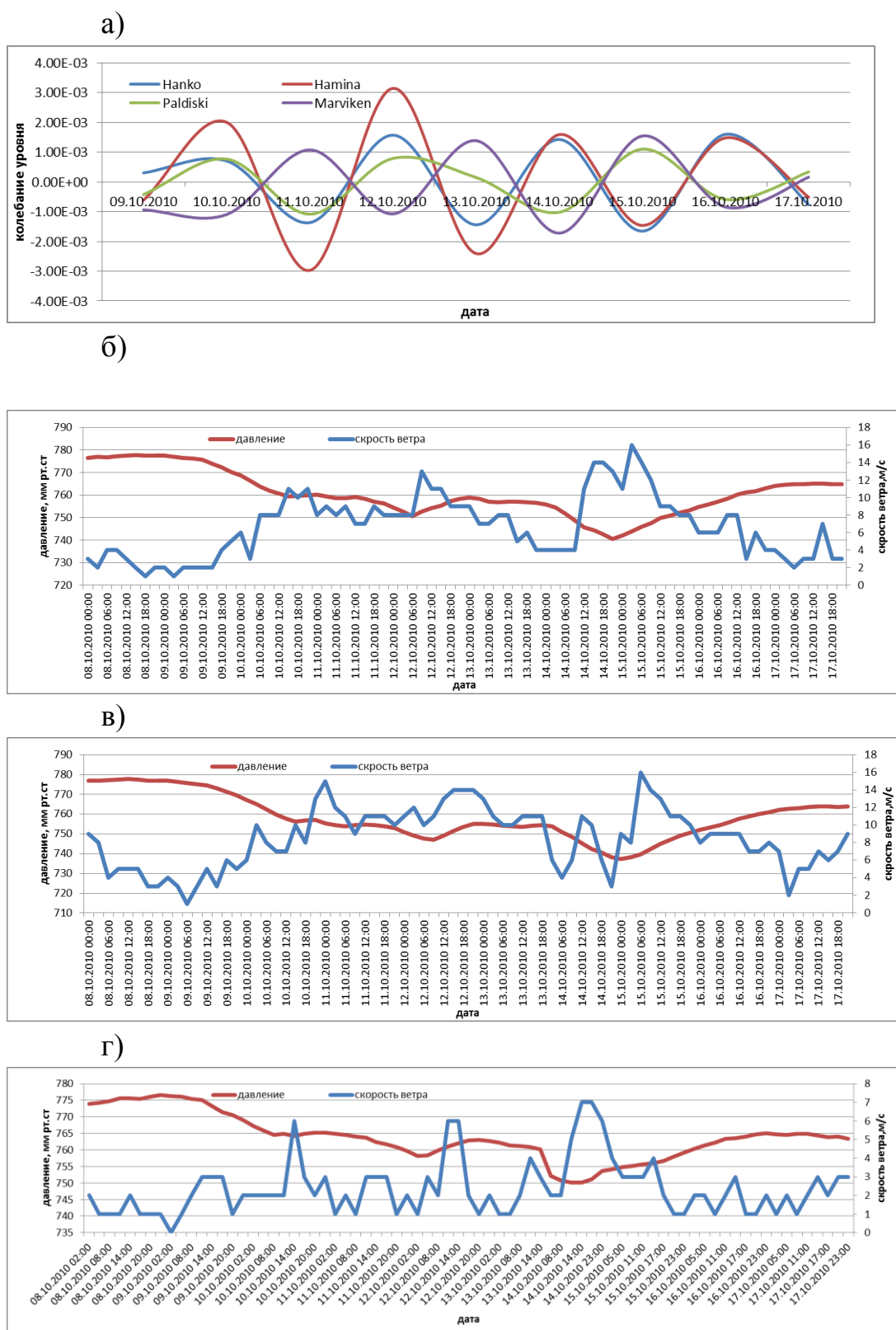


Рисунок 3.3 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветров пунктах Палдиски (б), Хамина (в), Марвикен(г) за период с 9 по 17 октября 2010 года

На рисунке 3.3(б,в,г) видно, что с 8 по 10 октября наблюдается понижение атмосферного давления, а также увеличение скорости ветра во всех 3 пунктах. В этот срок ветер имеет юго-западное и юго-юго-западное направление во всех трех пунктах. Все эти изменения провоцируют начало короткопериодного колебания. Далее колебание уровня начинает увеличиваться. В этот промежуток времени (с 10 по 12 октября) атмосферное давление, и скорость ветра мало изменяются. С 10 по 12 октября ветер меняет свое направление на западное и северо-западное. Далее с 13 по 14 октября колебание начинает затухать, и атмосферное давление снова начинает понижаться, а скорость ветра начинает возрастать. Направление ветра меняется на северное.

Получается, что первоначально уровень начинает меняться в Хамине. После уровень изменяется в Ханко и Палдиски и только потом в Марвикене.

На рисунке 3.4 (а), также как и в предыдущем случае наблюдаются, как синхронные, так и асинхронные колебания. Можно также предположить, что синхронные колебания это сейша с четным количеством узлов, тогда как асинхронные колебания – сейша с нечетным количеством узлов.

Синхронные колебания (рисунок 3.4 (а)) наблюдаются в пунктах Хамина, Палдиски и Ханко. Это короткопериодные колебания начинаются 6 ноября, а заканчиваются они 10 ноября. Период этих колебаний равен 4 дням.

В пункте Марвикен наблюдается асинхронное колебание. Асинхронное колебание уровня начинается 6 ноября. Заканчивается это колебание, также как синхронное 10 ноября. Асинхронное колебание имеет период 4 дня.

Со 2 по 4 ноября наблюдается понижение атмосферного давления. В этот период скорость ветра повышается, а направление меняется с юго-западного на юго-юго-западное. Далее с 4 по 6 ноября атмосферное давление практически не меняется, тогда, как скорость ветра понижается во всех трех пунктах. Направление ветра становится западным.

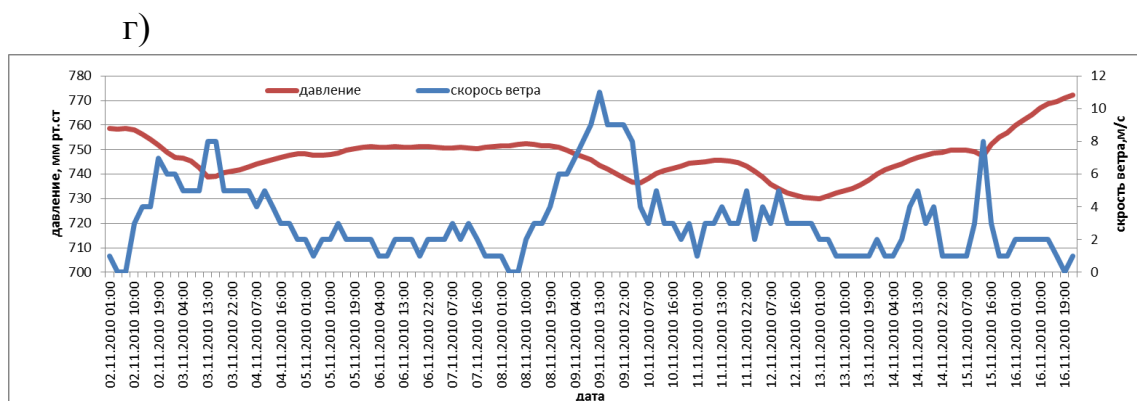
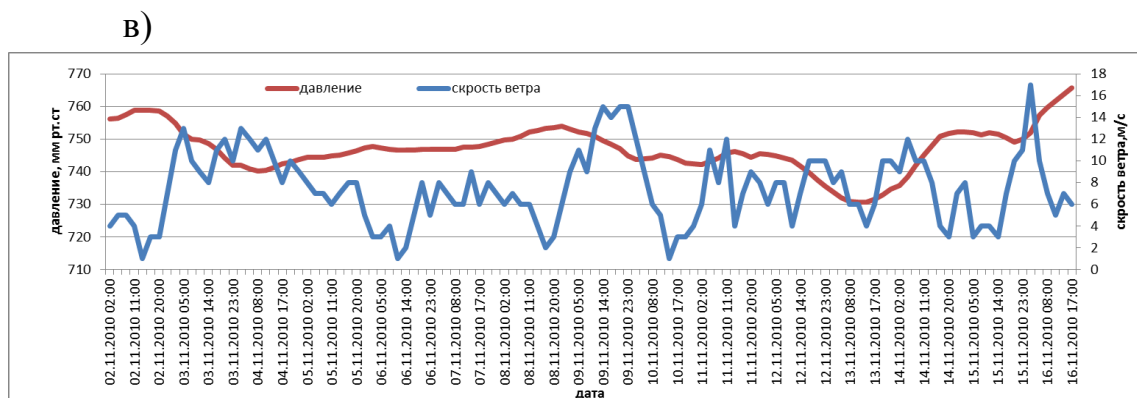
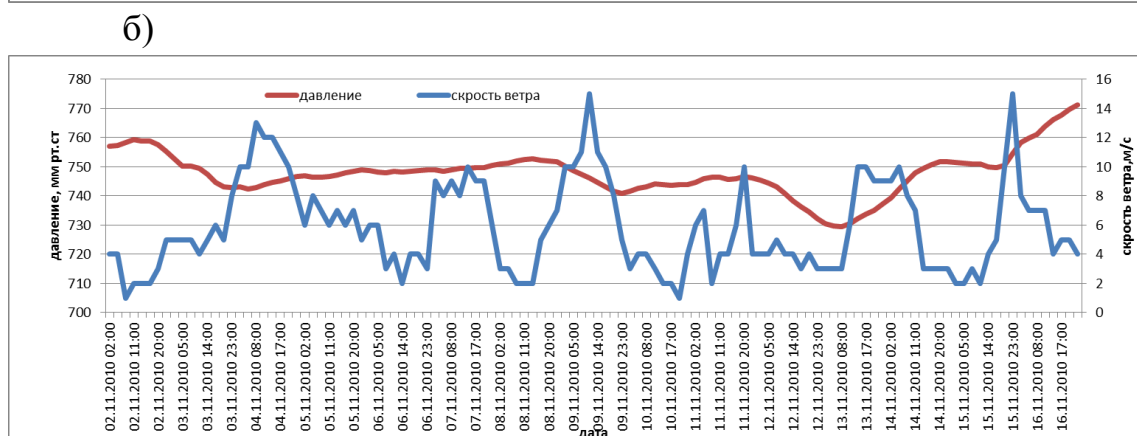
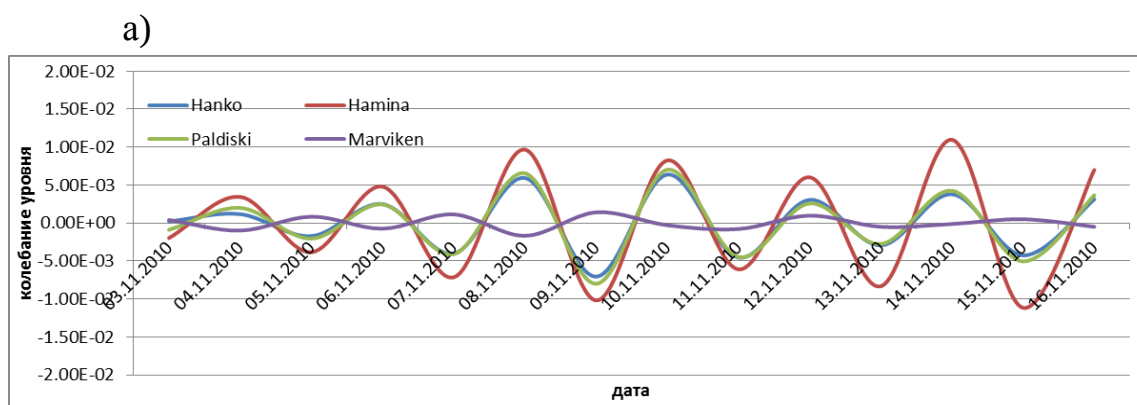


Рисунок 3.4 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветра в пунктах Палдиски (б), Хамина (в), Марвикен (г) за период 2 ноября по 14 ноября 2010 года

С 6 по 8 ноября атмосферное давление почти не изменяется. Скорость ветра с 6 по 7 ноября возрастает, а после 7 ноября начинает снова уменьшаться. Направление ветра - западное. Колебания уровня начинает раскачиваться. Далее 8 ноября наблюдается возрастание скорости ветра, давление также мало меняется. Ветер меняет направления на южное. С 9 по 10 ноября атмосферное давление и скорость ветра уменьшаются. 9 ноября ветер дует с востока, а 10 ноября с юга. Колебание начинает затухать с 8 по 10 ноября.

Также как и в первом случае, с начала уровень понимается в Хамине, далее в Ханко и Палдиски и только потом в Марвикене.

На рисунке 3.5 (а) во всех четырех пунктах наблюдаются синхронные колебания уровня. Можно сделать предположение, что это сейша с четным количеством узлов.

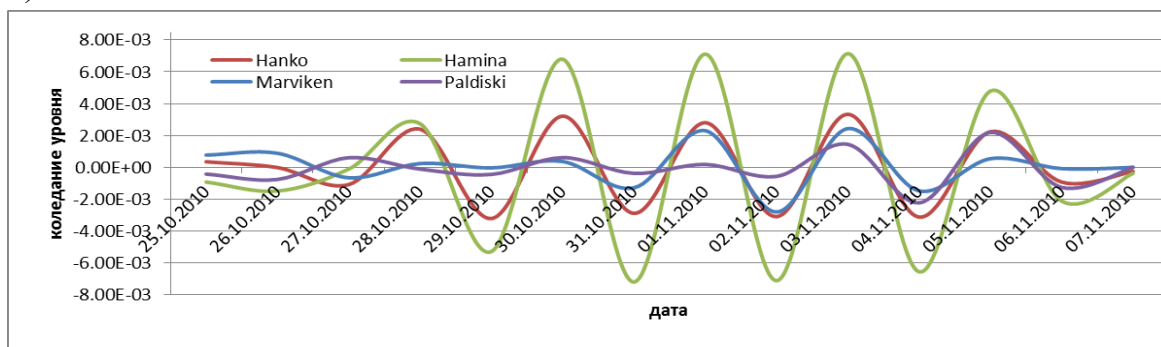
Начинается синхронное колебание 28 октября, а заканчивается это короткопериодное колебание 5 ноября. Период синхронного колебания равен 9 дням.

По рисунку 3.5 (б, в, г) с 27 по 28 октября начинает понижаться атмосферное давление, а скорость ветра начинает возрастать. Направления ветра меняется с северо-восточного на юго-западное. Колебания уровня моря начинается 28 октября. Далее с 28 октября по 2 ноября давление почти не изменяется, а скорость ветра уменьшается. Направление ветра остается тем же. В этот промежуток времени происходит раскачка колебания уровня.

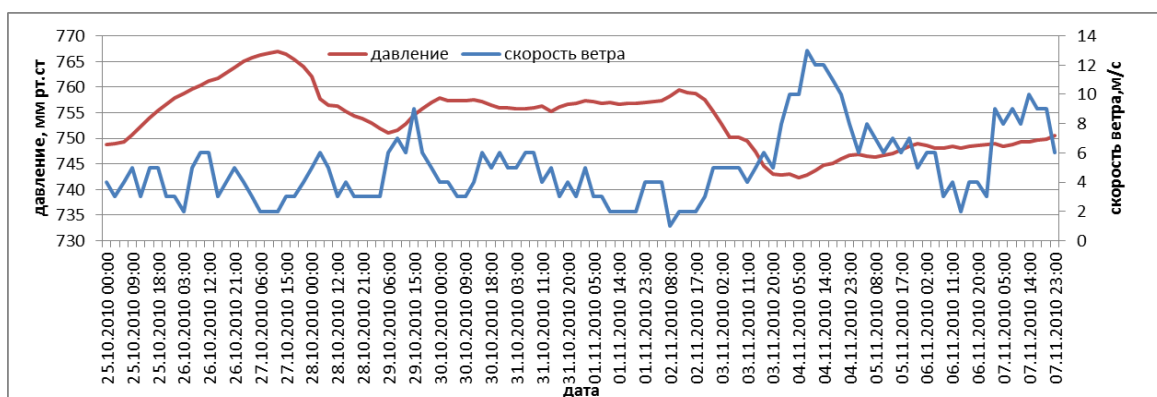
На рисунке 3.2 (б, в, г) Со 2 по 4 ноября наблюдается небольшое понижение атмосферного давления, а также повышение скорости ветра. Направление ветра меняется с юго-западного на западное. Колебание уровня начинает затухать. Далее 5 ноября изменения давления становится почти неизменным. Скорость ветра понижается, а направления ветра становится северо-западным. 5 ноября колебание затухает.

Изменение уровня происходит также как и в первых двух случаях.

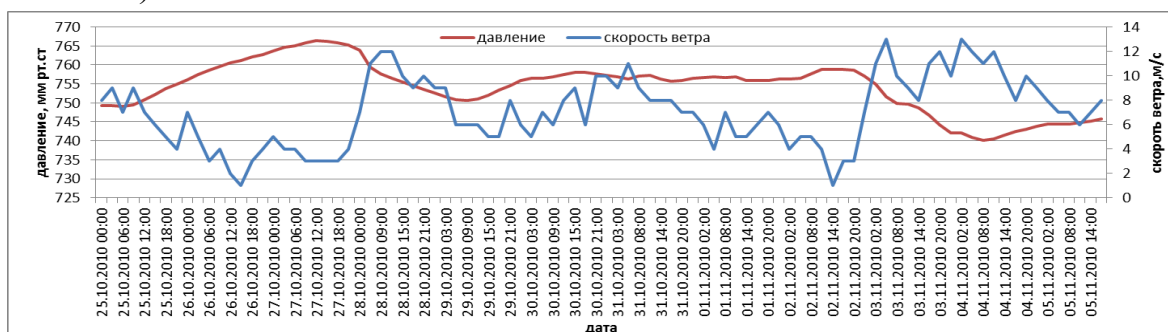
а)



б)



в)



г)

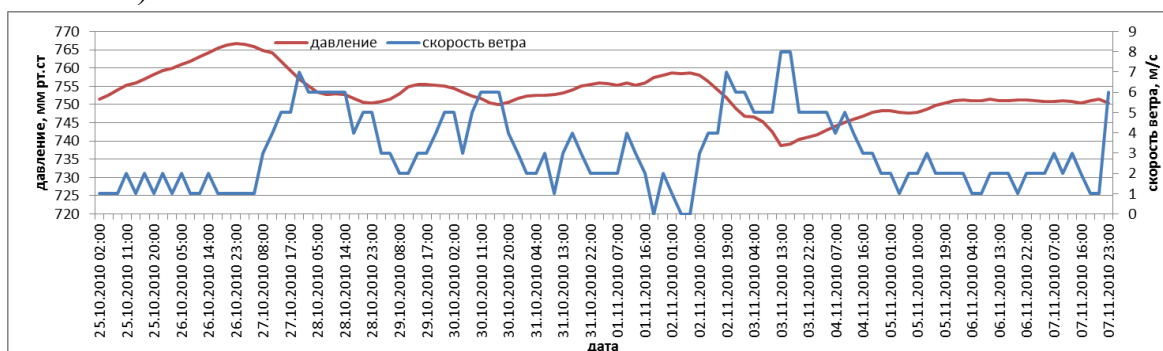


Рисунок 3.5 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветра в пунктах Палдиски (б), Хамина (в), Марвикен (г) за период с 25 октября по 7 ноября 2010 года

На рисунке 3.6 (а) во всех четырех пунктах наблюдаются синхронные колебания. Можно предположить, что это сейша с двумя или четырьмя узлами.

Начинается это короткопериодное колебание 11 марта 2010 года. Заканчивается это синхронное колебание 15 марта 2010 года. Период у этого колебания не большой, всего 4 дня.

Как видно из рисунка 3.6 (б, в, г), понижение атмосферного давления начинается с 8 марта и продолжается вплоть до 14 марта во всех трех пунктах. Скорость ветра с 8 по 12 марта повышается. За этот период направление ветра имеет юго-западное или юго-юго-западное. В этот период времени, то есть 11 марта начинается колебание уровня.

Далее скорость ветра начинает понижаться. На рисунке 3.6 (б, в, г) видно, это происходит вплоть до 14 марта. С 12 по 15 марта ветер меняет направление и становится северо-западным. Раскачка уровня происходит с 11 марта по 13 марта.

Далее колебание уровня начинает затухать. Затухание колебания происходит с 13 по 15 марта. Скорость ветра с 15 марта начинает возрастать, а колебание уровня прекращается. Направление ветра становится запад-северо-запад.

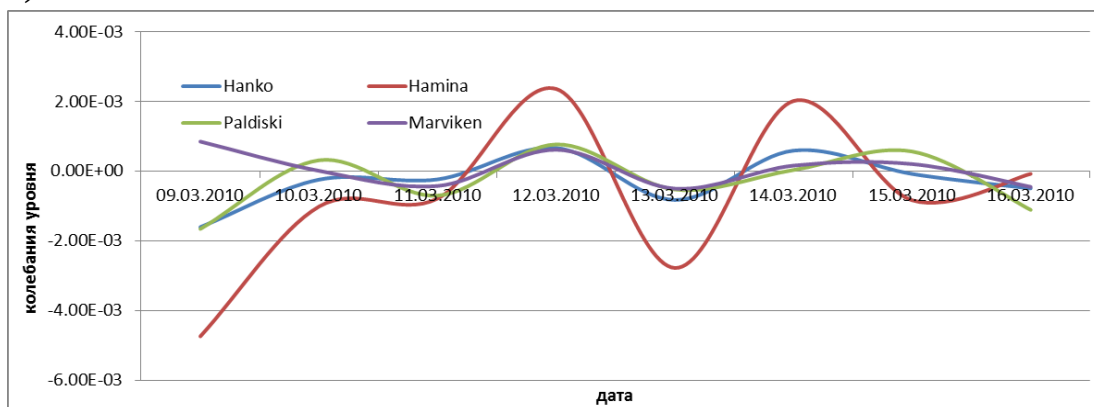
Также как и предыдущих трех случаях, уровень начинает подниматься в Хамине, далее Ханко и Палдиски и только потом в Марвикене.

Рассмотрим последний случай в системе Западная Балтика- Финский залив. На рисунке 3.7 (а) видно, что в рассматриваемом случае колебания уровня выделяются три синхронных колебаний и одно асинхронное колебание.

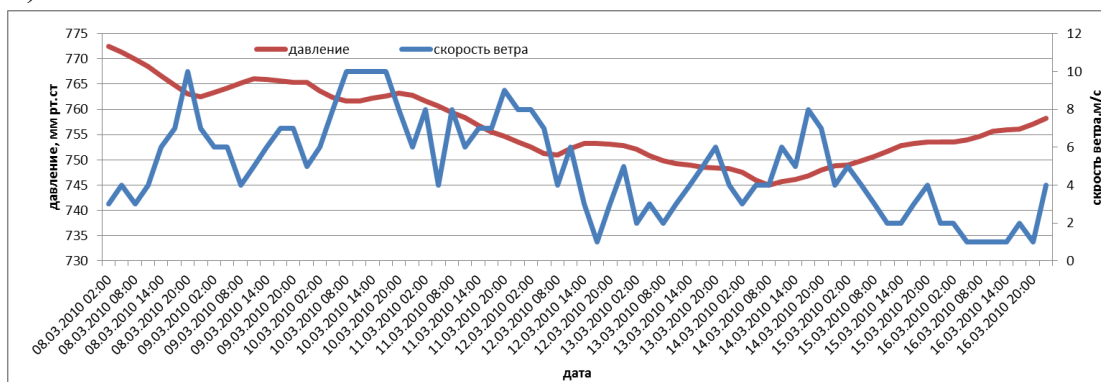
Синхронное колебание наблюдается в пунктах: Хамина, Палдиски и в Ханко. Как видно из рисунка 3.7 (а), это колебание начинается 21 февраля, а заканчивается оно 24 февраля. Период синхронного колебания равен 4 дням.

Асинхронное колебание наблюдается в пункте Марвикен (рисунок 3.7 (а)). Продолжительность этого колебание – 4 дня, что соответствует датам

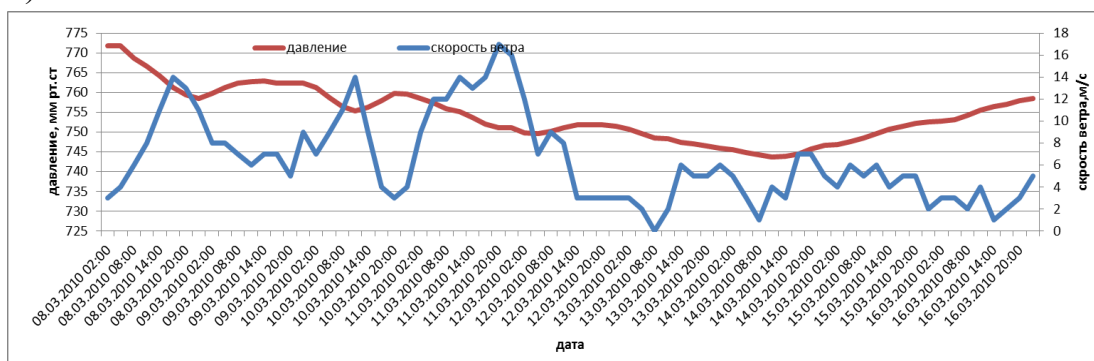
а)



б)



в)



г)

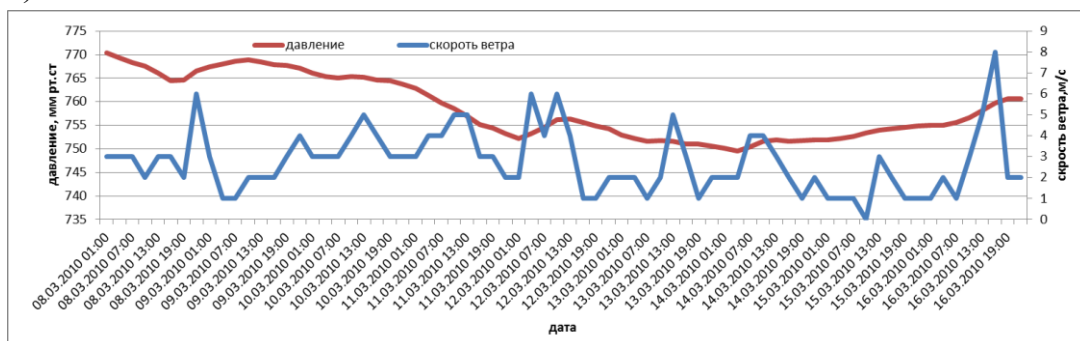
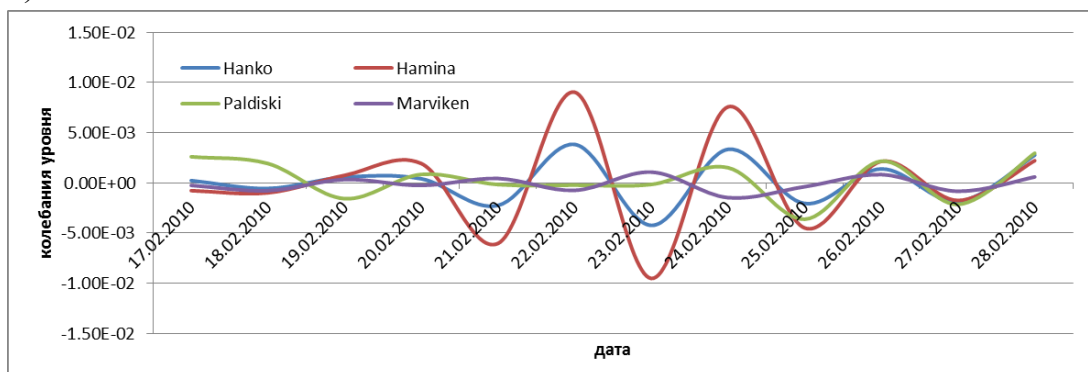
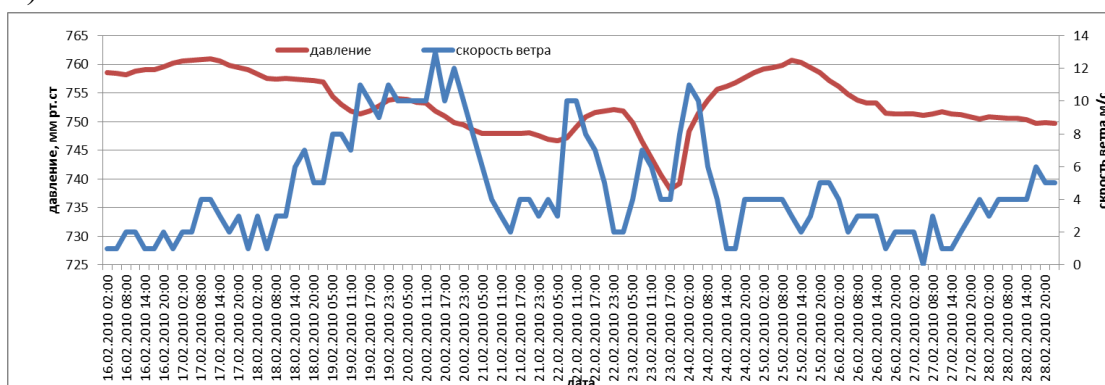


Рисунок 3.6 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветра в пунктах Палдиски (б), Хамина (в), Марвикен (г) за период с 9 по 16 марта 2010 года

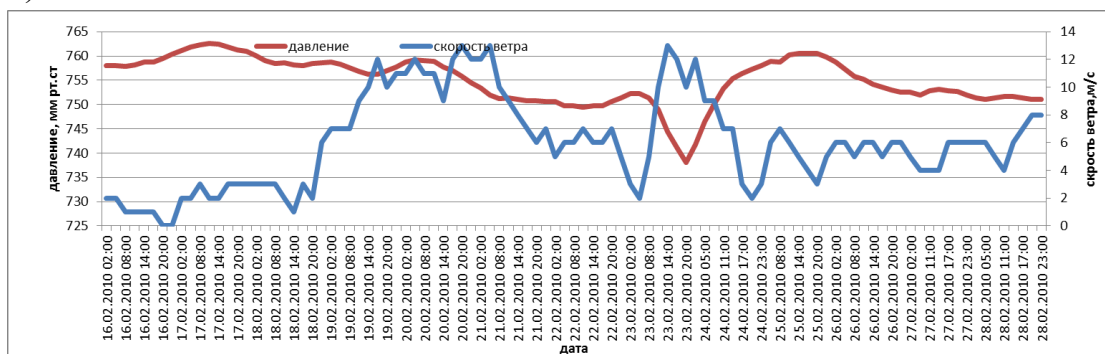
а)



б)



в)



г)

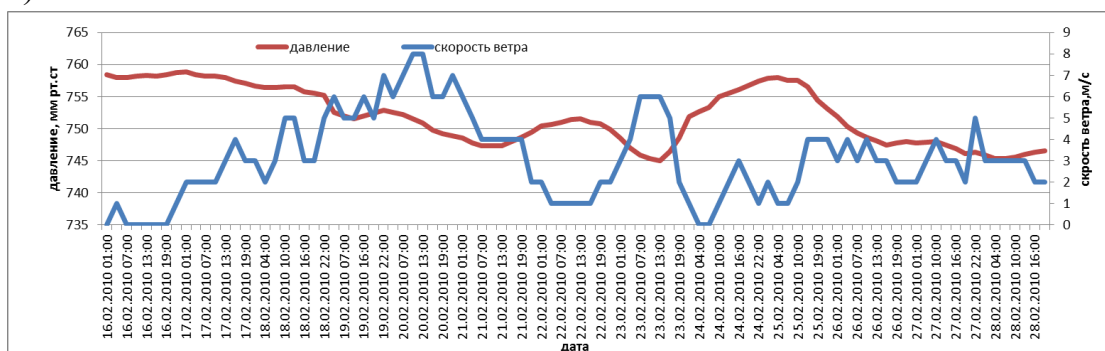


Рисунок 3.7 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветра в пунктах Палдиски (б), Хамина (в), Марвикен (г) за период с 17 по 28 февраля 2010

начала и конца колебания (с 21 по 24 февраля).

Также как в предыдущих случаях, колебания уровня начинается с понижения атмосферного давления и с повышения скорости ветра. Это происходит на промежутке от 16 по 20 февраля. Направления ветра в этот промежуток времени меняется с южного на восточное.

Как видно из рисунка 3.7(б, в, г) далее атмосферное давление мало изменяется, тогда, как скорость ветра уменьшается. Направления ветра становится юго-восточным. Это происходит на отрезке времени от 20 до 23 февраля. За 3 дня раскачка уровня становится максимальной и после начинает затухать. Окончательно колебания затухают 24 февраля, когда атмосферное давление и скорость ветра понижаются. А ветер становится западным.

Из таблицы 3.2 , можно сделать вывод, что период короткопериодных колебаний в основном равен 4 суткам, но также есть колебание, которое длится 9 суток. Девятисуточное колебание, скорее всего, возникает в резонансе. Масштаб же исследуемых сопряжённых колебаний находится в промежутке от 25 до 45 часов (таблица 3.1).

Таблица 3.2- Сводная таблица

Дата колебания		Период,сут	Направление ветра			Атмосферное давление			Скорость ветра		
от	до		начала	раскачка	конец	начала	раскачка	конец	начала	раскачка	конец
09.10.2010	13.10.2010	4	ЮЗ,ЮЮЗ	СЗ,З	С	понижение	не меняется	понижение	повышение	не меняется	повышение
06.11.2010	10.11.2010	4	З	З	Ю	понижение	не меняется	понижение	понижение	повышение	понижение
28.01.2010	05.02.2010	9	СВ,ЮЗ	ЮЗ	СЗ	понижение	не меняется	понижение	повышение	понижение	понижение
21.02.2010	24.02.2010	4	ЮВ	ЮВ	З	понижение	не меняется	понижение	повышение	понижение	понижение
11.03.2010	15.03.2010	4	ЮЗ,ЮЮЗ	СЗ	ЗЮЗ	понижение	понижение	повышение	повышение	понижение	повышение

Из выше сказанного, можно сделать общий вывод, что начало появления короткопериодного колебания сопровождается резким понижением атмосферного давления. Также для начала короткопериодного колебания нужен сильный и продолжительный ветер. В основном направление ветра в начале колебания имеет южное и западное направление.

После того, как колебание начинается, оно начинает раскачиваться, и это происходит до тех пор, пока атмосферное давление снова не начнет возрастать или понижаться. Скорость ветра в этот момент времени начинает

понижаться, а колебание уровня начинает затухать и вскоре совсем прекращается. Направление ветра в период раскачки и в период затухания различный.

Также можно сделать общий вывод о ходе уровня в системе Западная Балтика-Финский залив. Первоначально колебание уровня начинает меняться в пункте Хамина. Далее уровень поднимается в пунктах Ханко и Палдиски. И только потом уровень начинает меняться в Марвикене.

3.2 Система Балтийское море-Ботнический залив

Исследуя систему, Балтийское море-Ботнический залив было выбрано 5 пунктов: Каликс, Ваас, Раума, Форсмарк и Скагсуддле. Все они расположены в Ботническом заливе, в вершине, в середине и конце залива. Расположение пунктов представлено выше на рисунке 2.2.

Следуя алгоритму, далее были рассчитаны коэффициенты вейвлет разложения. Полученные коэффициенты вейвлет разложения представлены на рисунках 3.8 и 3.9. Все расчеты, также как и в первом, случае, проводились для двух промежутков времени с 1 января по 31 марта и с 1 октября по 31 декабря 2010 года.

Из полученных результатов видно, что есть такие группы колебаний, которые повторяются во всех пяти пунктах системы Балтийское море - Ботнический залив. Можно предположить, что эти колебания являются сейшивыми колебаниями для исследуемой системы. Далее были выделены периоды времени, которые соответствуют датам начала и окончания колебаний. Результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Периоды колебаний, которые соответствуют выбранным сопряжённым колебаниям с масштабом (от 47 до 62) в часах.

Диапазон, час		Дата		Масштаб, час	
от	до	от	до	от	до
1150	1670	17.02.2010	11.03.2010	48	55
900	1350	07.11.2010	22.11.2010	47	62

И для этих периодов времени были восстановлены участки колебаний уровня по коэффициентам вейвлет разложения. Далее следуя алгоритму, были выбраны данные об атмосферном давлении, о направлении, о скорости ветра для выбранных промежутков времени. К восстановленным участкам колебаний, а также для метеорологических характеристик были построены графики временного хода этих двух характеристик. Временной ход характеристик был построен в пяти пунктах системы Балтика-Финский залив: в Каликсе, в Скагсудде, в Ваасе, в Форсмарке, и в Рауме.

Результаты построения представлены ниже на рисунках 3.10 и 3.11.

Как видно на рисунке 3.10 (а) во всех пяти исследуемых пунктах наблюдаются два синхронных колебания, но между этими колебаниями существует временной сдвиг.

Первое синхронное колебание наблюдается с 21 по 27 февраля. Период этого колебания равен 7 дням. Второе синхронное колебание находится в диапазоне от 4 до 9 марта. Период второго синхронного колебания равен 6 дням. Можно сделать предположение, что эти колебания-сейши с четным количеством узлов.

По рисунку 3.10 (б, в, г, д, ж) видно, что первое колебание (с 21 по 27 февраля) начинается с понижения атмосферного давления и скорости ветра во всех 5 пунктах. Направление ветра в промежуток времени с 16 по 21 февраля северо-восточное. С 22 по 23 февраля наблюдается еще одно понижение давления. Скорость ветра в этот промежуток времени начинает возрастать. Ветер меняет свое направление на восточное.

С 23 по 26 февраля атмосферное давление практически не меняется, также как скорость ветра. Направление ветра в этот промежуток времени становится юго-восточное. В этот промежуток времени колебание уровня раскачивается. После 26 февраля колебание затухает.

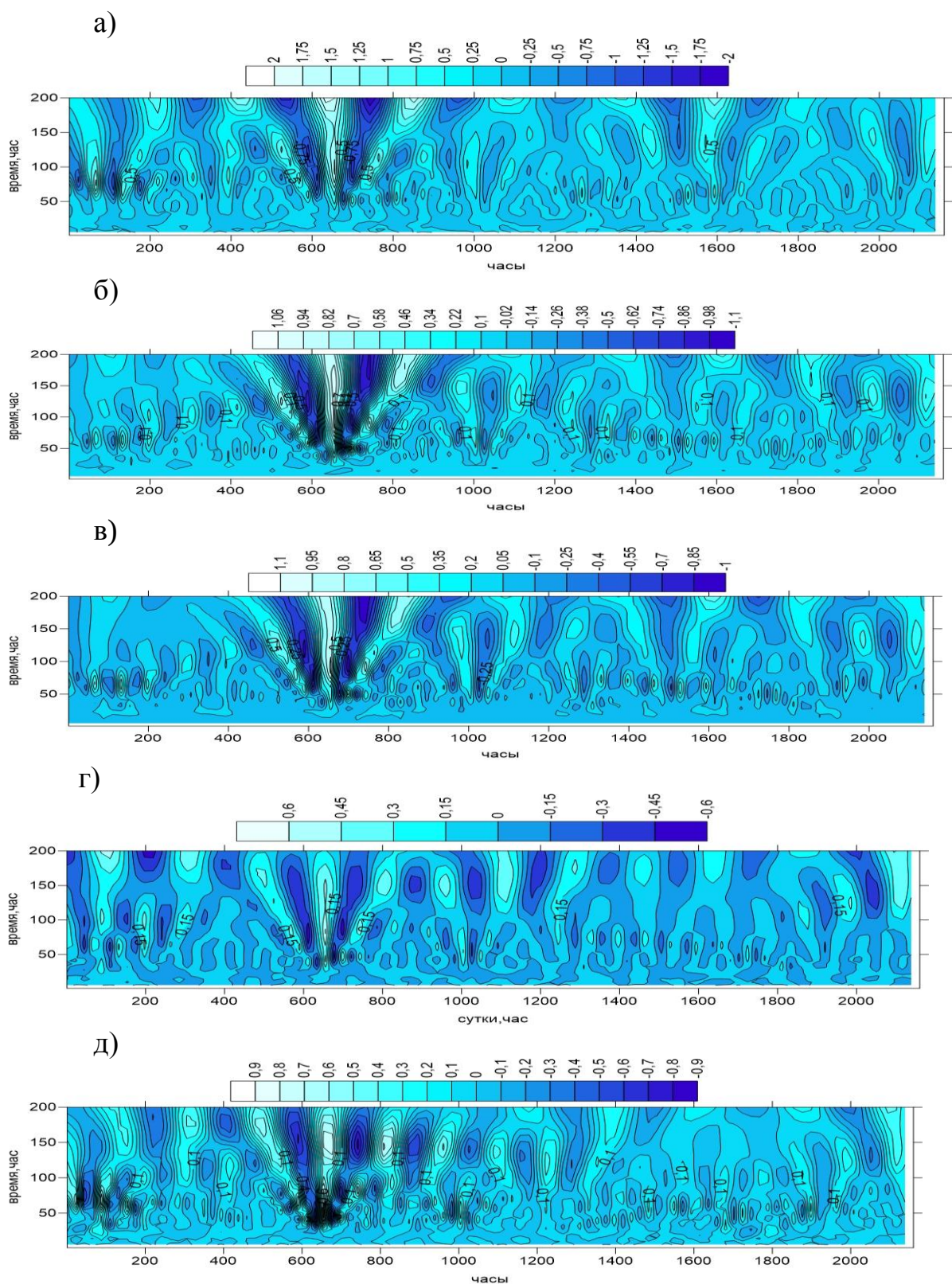
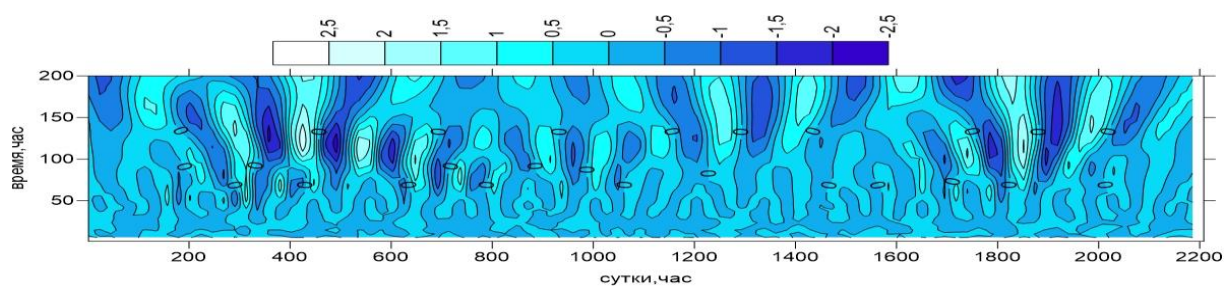
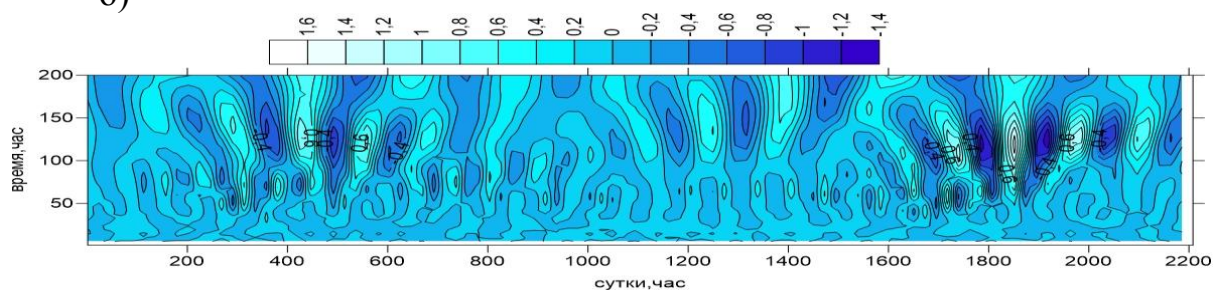


Рисунок 3.8- Коэффициенты вейвлет разложения в различных пунктах: а) Каликс, б) Скагсуддле, в) Ваас, г) Форсмарк, д) Раума с 1 января по 31 март 2010 года

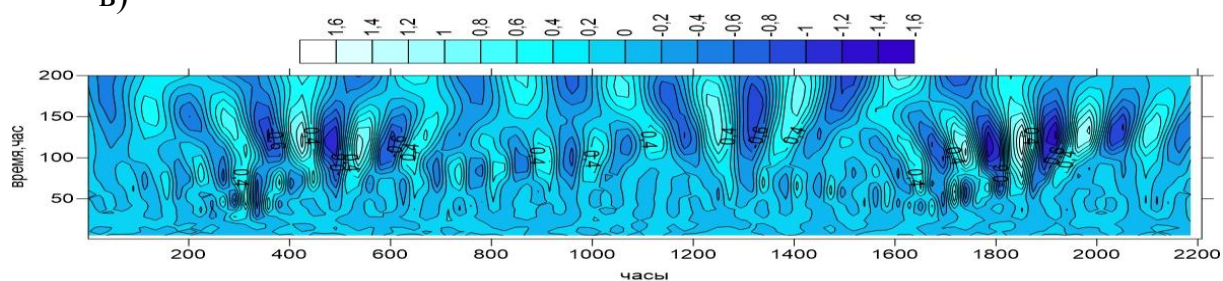
а)



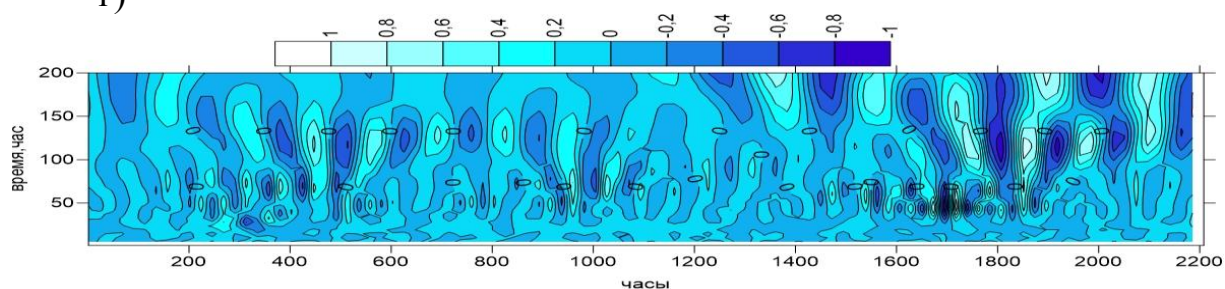
б)



в)



г)



д)

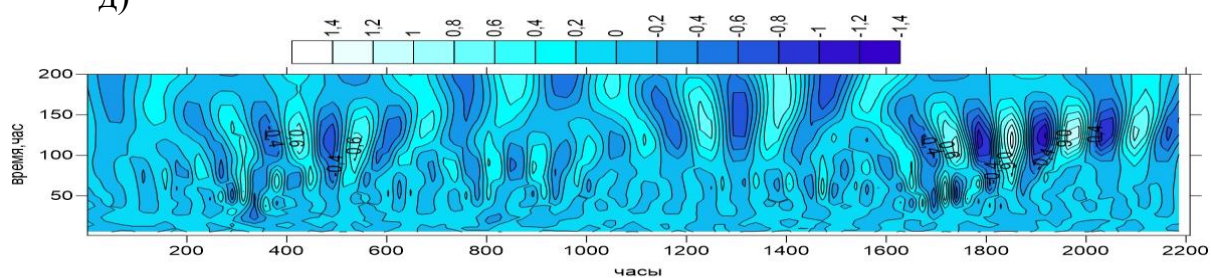
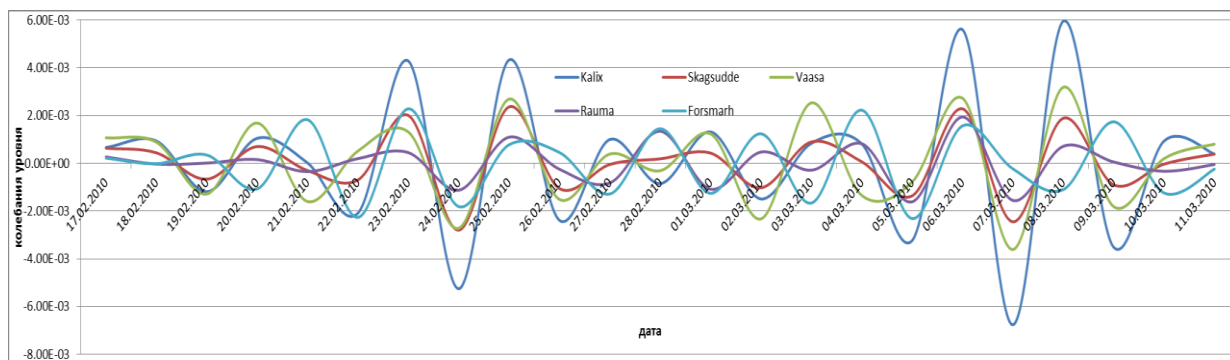
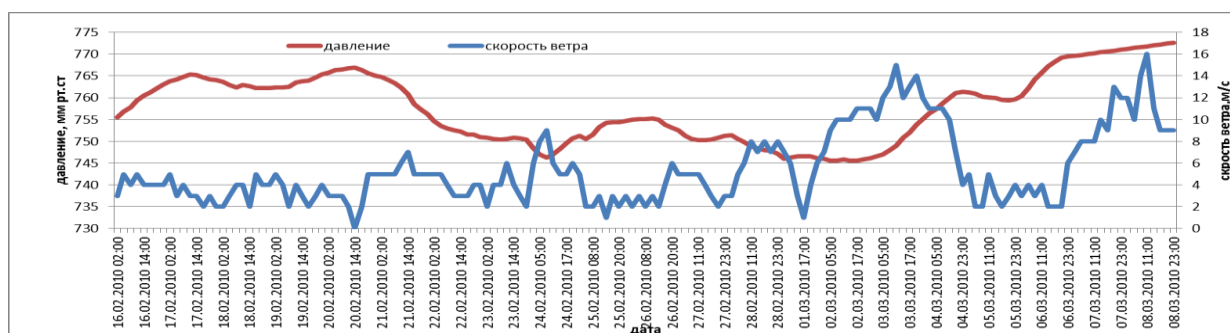


Рисунок 3.9 - Коэффициенты вейвлет разложения в пунктах: а) Каликс, б) Скагсуддле, в) Ваас, г) Форсмарк, д) Раума с 1 октября по 31 декабрь 2010 года

а)



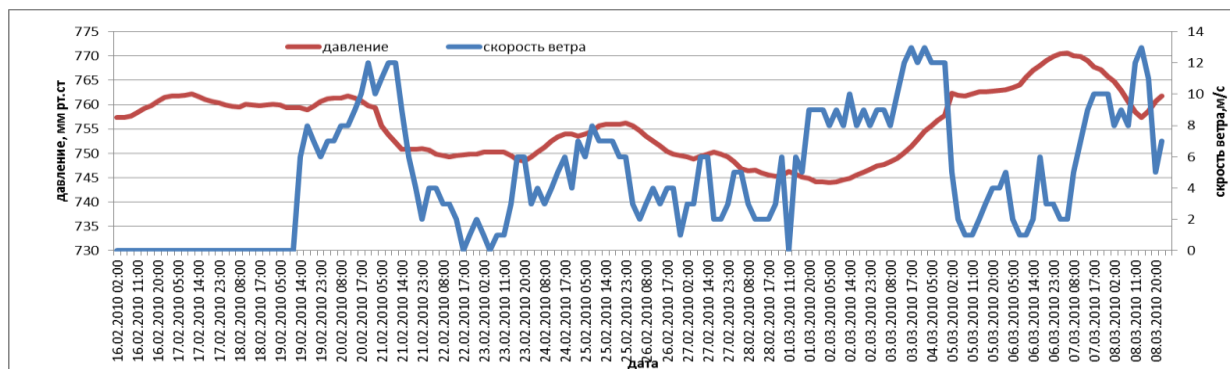
б)



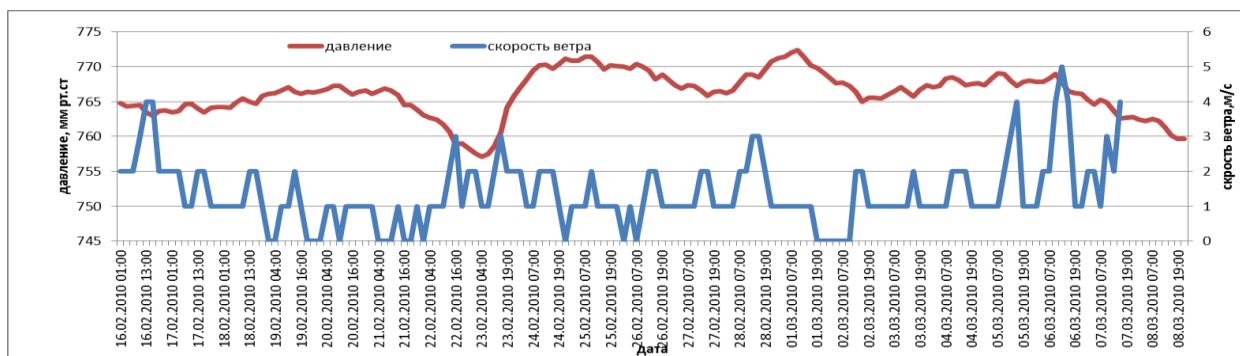
в)



г)



д)



ж)

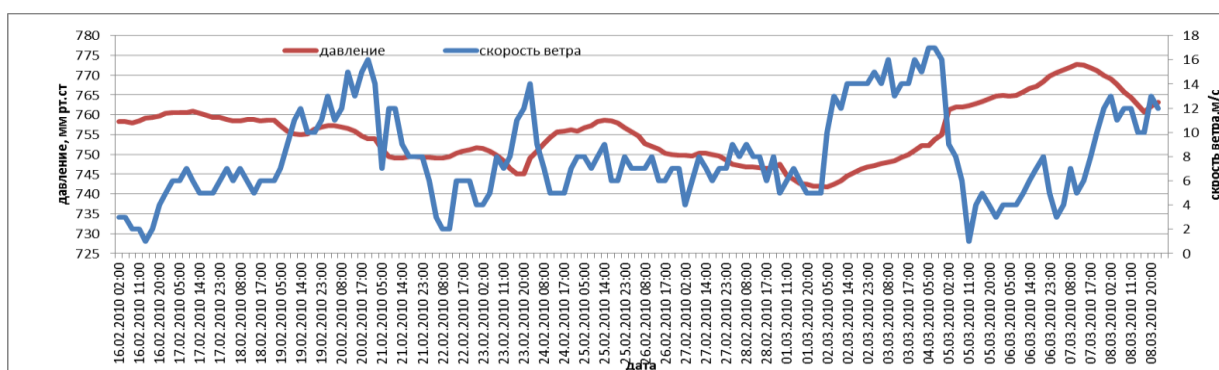


Рисунок 3.10 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветра в пунктах Каликс (б), Скагсуддле (в), Ваас (г), Форсмарк (д) Раума (ж) за период с 17 февраля по 11 марта 2010 года

Второе колебание начинается (4 по 9 марта) с повышения атмосферного давления и с уменьшением скорости ветра. Направление ветра - северное.

Далее по рисунку 3.10 (б, в, г, д, ж) видно, что с 5 по 8 марта скорость ветра начинает возрастать. Атмосферное давление все также растет до 7 марта. Направление ветра меняется на юго-юго-западное. Колебание в этот промежуток времени раскачивается. Далее давление начинает понижаться вместе со скоростью ветра и колебание затухает. Направление ветра меняется на юго-западное.

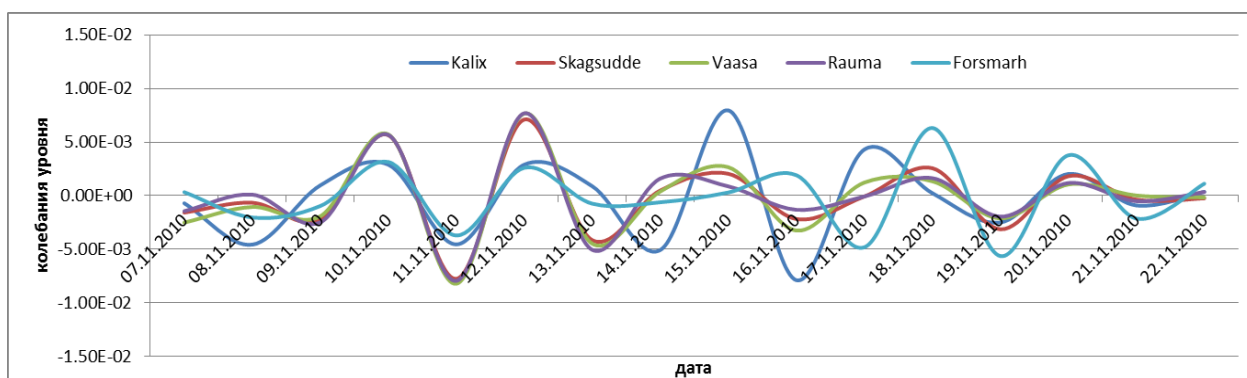
По рисунку 3.11 (а) видно, что во всех пяти пунктах наблюдаются синхронные колебания, но между колебаниями существует временной сдвиг. Можно сделать предположение, что эти колебания сейши с четным

количеством узлов. Исследуемое синхронное колебание наблюдается с 9 по 14 ноября. Период этого колебания равен 6 дням.

Анализ рисунка 3.11(б, в, г, д, ж) показывает, что колебание начинается 9 ноября с понижением атмосферного давления и с повышением скорости. Направление ветра северо-восточное.

С 9 по 14 ноября давление понижается, также понижается и скорость. За этот период направление ветра меняется на юго-юго-восточное.

а)



б)



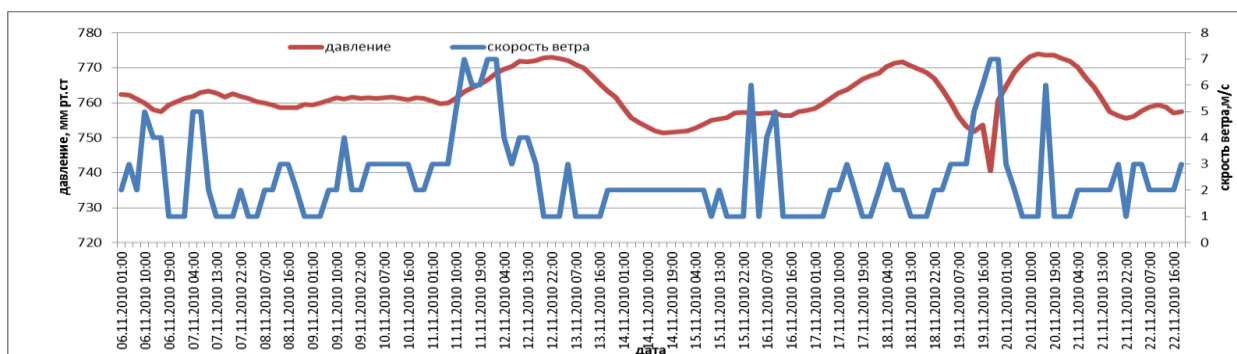
в)



г)



д)



ж)

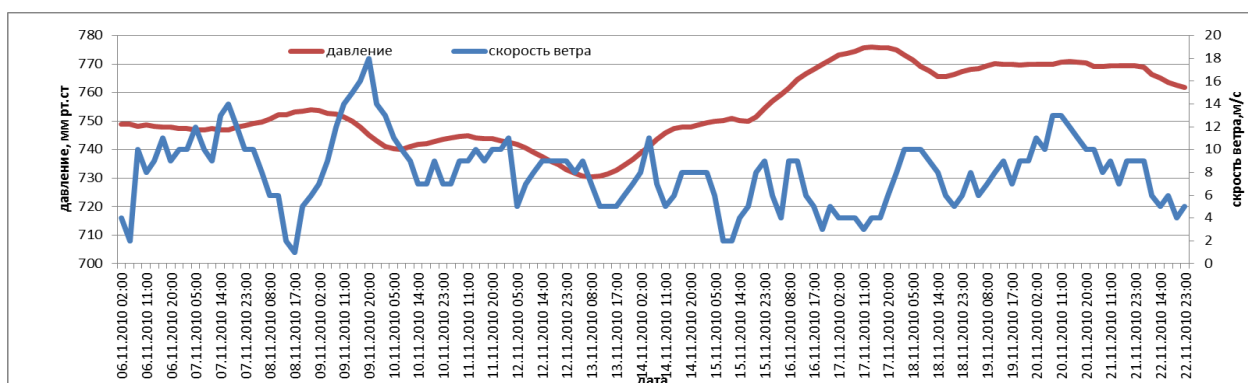


Рисунок 3.11 - Временной ход колебания уровня (а), атмосферного давления и скорости ветра в пунктах Каликс (б), Скагсуддле (в), Ваас (г), Форсмарк (д)Раума (ж) за период с 7 по 22 ноября 2010 года

С 9 по 13 ноября давление раскачивается.

После 14 ноября колебание уровня затухает, это происходит по тому, что атмосферное давление начинает повышаться вместе со скоростью ветра. Также ветер меняет направление с юго-юго-восточного на северо-восточное.

Таблица 3.4 Сводная таблица

Дата колебания		Период, сут	Направление ветра			Атмосферное давление			Скорость ветра		
от	до		начала	раскачка	конец	начала	раскачка	конец	начала	раскачка	конец
21.02.2010	27.02.2010	7	СВ	В,ЮВ	ЮВ	понижение	не меняется	не меняется	понижение	не меняется	не меняется
04.03.2010	09.03.2010	6	ЮЮЗ	ЮЮЗ	ЮЗ	повышение	повышение	понижение	понижение	повышение	понижение
09.11.2010	11.11.2010	6	СВ	ЮЮВ	СВ	понижение	понижение	повышение	повышение	понижение	повышение

Из таблицы 3.4 видно, что период синхронного колебания 6-7 суток. А масштаб колебания колеблется от 47 до 62 часов (таблица 3.3).

Из выше перечисленного была выделена следующая закономерность, что колебание уровня в большинстве случаев начинается с понижения атмосферного давления и с понижения скорости северо-восточного ветра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании колебаний уровня моря для двух систем Балтийского моря: Западная Балтика - Финский залив и Балтийское море–Ботнический залив были выявлены короткопериодные колебания.

В системе Западная Балтика–Финский залив выявляются, как синхронные, так и несинхронные колебания с масштабом 25-56 часов. Можно предположить, что асинхронные колебания являются сейшами с нечетным количеством узлов. Тогда как синхронные колебания могут быть сейшами с четным количеством узлов. Период асинхронных и синхронных колебаний равен 4 суткам.

В системе Балтийское море – Ботнический залив выявляются, только синхронные колебания с масштабом 47-62 часов. Период таких колебаний составил 6-7 суток. Это могут быть как сейши с четным количеством узлов, так и просто короткопериодные колебания, которые вызваны внешними факторами.

На появление короткопериодных колебаний влияют метеорологические факторы, такие как атмосферное давление, скорость и направление ветра. Для всех выбранных промежутков времени наблюдается похожая картина. Перед началом короткопериодного колебания наблюдается понижение атмосферного давления. Вместе с понижением атмосферного давления наблюдается возрастание скорости ветра. Эти два фактора провоцируют начало короткопериодного колебания.

Далее атмосферное давление, также как и скорость ветра, с течением времени становится более устойчивым. В этот промежуток времени колебания уровня усиливаются.

Усиления колебания уровня происходит до того момента времени, пока атмосферное давление и скорость ветра снова не изменятся, то есть

либо повысится или понизятся. Тогда колебания начинают затухать, и вскоре совсем прекращаются. Также на затухание колебаний влияет изменения направления ветра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Балтийское море [Электронный ресурс] / Моря СССР. 2016.– Режим доступа: <http://tapemark.narod.ru/more/09.html>
- 2 Балтийское море [Электронный ресурс] / База знаний. 2016 – Режим доступа: http://proznania.ru/?page_id=2368
- 3 Жуков Л.А. Общая Океанология: Учебник.– Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 380с.
- 4 Миронов Т.И., Слепян Э.И. Природа Ленинградской области и ее охрана.– Л.: Лениздат, 1983.– 277 с.
- 5 Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект «Моря СССР». Т.III. Балтийское море. Вып. I. Гидрометеорологические условия/ Под ред. Ф.С. Терзиева, В.А. Рожкова, А.И. Смирновой. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. –451 с
- 6 Безруков Ю.Ф. Колебания уровня и волны в Мировом океане: учебное пособие.– Симферополь: Таврический национальный университет им. В.И.Вернадского, 2001. – 50 с.
- 7 Сейши и тягун [Электронный ресурс] / Популярная гидрометеорология и судовождение. 2016. – Режим доступа: http://www.argolis-yacht.ru/School/popular_hydrometeo/hydrometeo.htm
- 9 Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук – 1996. – том 166. – №11. – с. 1145–1170
- 10 Torrence C., G. P. Compo. A Practical Guide to Wavelet Analysis [Электронный ресурс] / C. Torrence and G. P. Compo. 2016. – Режим доступа: <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>