



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра промышленной океанологии и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

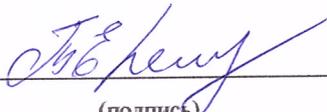
(бакалаврская работа)

На тему Применение вейвлет-анализа для выявления закономерностей
во временных рядах гидрометеорологических характеристик

Исполнитель Березникова Валерия Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой 
(подпись)

канд. физ.-мат. наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна
(фамилия, имя, отчество)

«19» июля 2017г.

Санкт-Петербург

2017



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра промышленной океанологии и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему _____ Применение вейвлет-анализа для выявления закономерностей
во временных рядах гидрометеорологических характеристик _____

Исполнитель _____ Березникова Валерия Николаевна _____
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ кандидат географических наук _____
(ученая степень, ученое звание)

_____ Хаймина Ольга Владимировна _____
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

_____ канд. физ.-мат. наук, доцент _____
(ученая степень, ученое звание)

_____ Ерёмина Татьяна Рэмовна _____
(фамилия, имя, отчество)

« _____ » _____ 20__ г.

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

	стр
Введение	3
1 Уровень природных вод и причины его изменений	5
1.1 Физико-географическая характеристика районов исследования	5
1.2 Факторы, определяющие изменчивость уровня воды в различных природных объектах	18
2 Материалы и методы исследования	31
2.1 Характеристика исходных данных	31
2.2 Статистические методы исследования (описательная статистика, анализ трендов, вейвлет-анализ)	35
3 Результаты исследования изменчивости уровня различных природных вод с применением вейвлет-анализа	41
3.1 Статистические характеристики исследованных временных рядов	41
3.2 Результаты вейвлет-анализа изменения уровня различных природных вод во времени	51
Заключение	56
Список использованной литературы	58

ВВЕДЕНИЕ

Вода занимает $\frac{3}{4}$ поверхности нашей Земли, образуя водную оболочку нашей планеты - гидросферу. Главными составляющими являются: Мировой океан, воды суши и вода в атмосфере. Воды суши – это реки, озера и моря. Эти воды играют важную роль в жизни человека. Вода так же располагается и ниже поверхности Земли. Такие воды называют подземными. Подземные воды могут существовать на глубине до 60 км. Все части гидросферы связаны между собой таким процессом как круговорот воды в природе. Как известно, благодаря этому процессу количество воды на Земле не меняется. Сначала вода испаряется с поверхности водоемов, накапливается в атмосфере и выпадает в виде осадков. Непосредственно в Мировой океан попадает 80 % осадков, на сушу выпадает 20%. Так происходит пополнение уровня воды в океанах, морях, реках, озерах.

Одной из характеристик, характеризующей процессы, происходящих в природных водах, является уровень воды. Данная характеристика применима и к уровню моря, и уровню реки и уровню в пьезометрических скважинах. Поэтому в качестве объекта исследований были выбраны ряды уровня в различных природных объектах.

Предметом исследования являлись возможности вейвлет-анализа, как одного из методов статистического анализа все более широко используемых в гидрометеорологии, при изучении закономерностей во временных рядах уровня различной природы.

Цель работы – изучить возможности вейвлет-анализа при исследовании временных рядов уровня различной природы и дискретности для выявления в них закономерностей.

Для этого решались следующие задачи:

1) дать краткую характеристику объектов исследования (физико-географическое положение районов исследования и факторы, влияющие на формирование уровня вод различной природы), используя опубликованные данные;

2) подготовить массивы данных об уровне вод реки Нягын-Юган и уровня грунтовых вод в пьезометрических скважинах на площадке Няганской ГРЭС, а также ряд уровня моря в п. Кронштадт (Финский залив), а также искусственные ряды различной структуры;

3) выполнить статистический анализ исходных данных, включая вейвлет-анализ;

4) сформулировать основные преимущества и недостатки использования вейвлет-анализа на примере исследованных рядов.

1 Уровень природных вод и причины его изменений

1.1 Физико-географическая характеристика районов исследования

Няганская ГРЭС и река Нягынъ-Юган. Няганская ГРЭС – это действующая конденсационная тепловая электрическая станция. Данный объект является самой крупной тепловой электростанцией, стремлением которой, является создание энергосистемы с низким уровнем выбросов и оптимальным потреблением ресурсов.

В административном отношении район работ расположен в городе Нягань, Октябрьского района, Ханты-Мансийского автономного округа-Югра, Тюменской области, Российской Федерации. Площадка Няганской ГРЭС находится в 6 км к северо-востоку от существующей застройки города и в 1,2 км от жилой застройки п. Энергетиков (см. рисунок 1).

Географическое положение территории определяет ее климатические особенности. Наиболее важными факторами формирования климата является перенос воздушных масс с запада и влияние континента. Взаимодействие двух противоположных факторов придает циркуляции атмосферы над рассматриваемой территорией быструю смену циклонов и антициклонов, способствует частым изменениям погоды и сильным ветрам. Кроме того, на формирование климата существенное влияние оказывает огражденность с запада Уральскими горами, незащищенность с севера и юга. Над территорией осуществляется меридиональная циркуляция, вследствие которой периодически происходит смена холодных и теплых масс, что вызывает резкие перепады от тепла к холоду.

Климатическая характеристика района изысканий принята согласно СНиП 23-01-99*, по ближайшей метеостанции Октябрьское, а при отсутствии или нерепрезентативности соответствующих наблюдений по ближайшей - Ханты-Мансийск.



Рисунок 1 Обзорная схема района расположения Няганской ГРЭС [8]

При составлении климатической характеристики использованы материалы НПС по климату СССР Вып.17, сер.3, ч.7, НПС по климату Вып.17, ч.1-6,сер.3, СП 20.1333.2011 Нагрузки и воздействия, Климатическая характеристика зоны освоения нефти и газа Тюменского Севера, Л., Гимиз,1982 г.[5,6]

По климатическому районированию для строительства (СНиП 23-01-99*) район изысканий относится к I климатическому району, к подрайону – ID.

Климат данного региона континентальный. Зима суровая, холодная, продолжительная. Лето короткое, теплое. Короткие переходные сезоны – осень, весна. Наблюдаются поздние весенние, ранние осенние заморозки, резкие колебания температуры в течение года и даже суток.

Среднегодовая температура воздуха минус 2,9 °С, средняя температура воздуха наиболее холодного месяца января минус 22,8 °С, а самого жаркого - июля 16,9 °С (см. таблицу 1.1). Абсолютный минимум температуры составляет минус 49 °С (1973г), абсолютный максимум 35 °С (1976г.).

Таблица 1.1- Характеристика температурного режима района Няганской ГРЭС

Месяц	Температура, °С				
	Среднемесячная	Среднемесячный максимум	Абсолютный максимум	Среднемесячный минимум	Абсолютный минимум
I	-22,8	-18,6	1	-26,8	-49
II	-20,1	-15,7	3	-23,9	-47
III	-10,2	-5,2	13	-14,6	-40
IV	-2,2	2,9	23	-6,6	-31
V	4,7	10,3	30	0,1	-15
VI	12,0	17,7	33	7,2	-4
VII	16,9	22,3	35	12,3	3
VIII	12,6	17,5	30	8,7	0
IX	7,2	11,6	25	3,8	-6
X	-2,9	0,2	19	-5,7	-30
XI	-11,7	-8,2	8	-15,2	-45
XII	-18,1	-14,1	2	-22,0	-48
год	-2,9	1,7	35	-6,9	-49

Продолжительность безморозного периода 99 дней, устойчивых морозов 168 дней (см. таблицу 1.2). Средняя многолетняя дата первого заморозка 11 сентября, а последнего - 3 июня. Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98% составляет минус 44 °С, а 0,92% - минус 41 °С.

Осадков в районе выпадает много, особенно в теплый период, с апреля по октябрь 442 мм, в холодное время с ноября по март 177 мм, годовая сумма осадков 619 мм. Суточный максимум осадков составляет 104 мм (см. таблицу 1.3). Соответственно держится высокая влажность воздуха, средняя относительная влажность меняется от 63% до 87% (см. таблицу 1.4)

Таблица 1.2 – Дополнительные характеристики температурного режима района Няганской ГРЭС

Дополнительные характеристики температурного режима	Значение
Расчетная температура самой холодной 5 дневки (P=0,92)	-41°С
Продолжительность безморозного периода средняя (максимальная/минимальная)	99 (131/63) суток
Продолжительность устойчивых морозов	168 суток
Дата наступления устойчивых морозов	15 октября
Дата прекращения устойчивых морозов	10 апреля
Дата первого заморозка средняя/ранняя/поздняя	11.09/31.07.1912/02.10.1975
Дата последнего заморозка средняя/ранняя/поздняя	03.06/12.05.1977/03.07.1961

Устойчивый снежный покров в среднем образуется 21 октября, средняя дата схода 13 мая. Сохраняется снежный покров 199 дней.

Преобладающее направление ветра за июнь-август – северное, за декабрь-февраль – юго-западное. Наивысшая расчетная скорость ветра у земли на высоте 10 м обеспеченностью 1 % составляет 24 м/с, 2% - 23м/с, 5 % - 20 м/с. Повторяемость направления ветра представлена на рисунке 1.2 и в таблице 1.5. Среднемесячная и среднегодовая скорость ветра представлены в таблице 1.6.

Согласно СП 20.1333.2011 по нормативному ветровому давлению исследуемая территория относится к I району (0,23кПа), по весу снегового покрова – к V району (расчетный вес снегового покрова для района – 3,2 кПа). Район гололедности II. (Нормативная толщина стенки гололеда 5 мм).

Таблица 1. 3 – Число дней с осадками различной величины (ГМС Ханты-Мансийск)

Месяц	ОСАДКИ, мм							
	0.0	> 0.1	>0.5	>1.0	>5.0	>10.0	>20.0	>30.0
1	5,3	15,7	10,7	7,7	0,8	0,0	0,0	0,0
2	5,1	12,5	9,0	6,4	0,6	0,0	0,0	0,0
3	5,0	13,6	8,9	6,3	0,4	0,0	0,0	0,0
4	4,3	11,7	9,1	7,5	1,5	0,2	0,0	0,0
5	5,3	12,0	9,2	7,0	2,1	0,8	0,3	0,1
6	3,9	14,5	12,3	11,0	5,2	2,3	0,8	0,4
7	3,2	12,2	10,4	9,4	4,9	2,7	1,2	0,6
8	3,8	15,5	12,8	11,2	4,4	2,0	0,6	0,0
9	3,6	15,6	12,8	10,9	3,7	1,6	0,3	0,1
10	5,5	18,2	14,3	11,6	2,8	0,8	0,0	0,0
11	4,4	18,8	13,8	11,0	2,6	0,4	0,0	0,0
12	4,4	17,2	12,0	9,11,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Год	54	178	135	109	30	11	3	1

Территория Няганской ГРЭС относится к району с умеренной пляской проводов, по гололеду – к III району, с величиной гололеда 20 мм, по продолжительности гроз 20-40 часов и ветровому давлению (II район) – 500Па. .[7]

Таблица 1.4 – Относительная влажность воздуха (%) по данным ГМС Ханты-Мансийск

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
81	81	75	67	63	65	69	78	82	85	87	84	76

а)



б)



в)



Рисунок 1.2 Повторяемость ветров в районе Няганской ГРЭС (ГМС Ханты-Мансийск): в январе (а), в июле (б), за весь год (в)

Таблица 1.5 – Повторяемость штилей и направления ветра, %.
(ГМС Ханты-Мансийск)

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
-------	---	----	---	----	---	----	---	----	-------

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
1	5	6	13	12	12	18	27	7	13
2	6	6	17	14	13	16	22	6	11
3	5	7	13	11	15	20	23	6	8
4	8	9	13	12	11	15	22	10	5
5	13	12	12	8	8	11	22	14	5
6	16	13	10	7	8	12	19	15	6
7	18	13	13	8	7	10	16	15	10
8	16	9	10	8	7	11	22	17	11
9	7	5	9	11	12	18	27	11	9
10	6	7	10	11	15	19	23	9	6
11	4	5	10	11	14	21	27	8	6
12	3	6	13	13	15	22	23	5	12
год	9	8	12	11	11	16	23	10	9

Таблица 1.6 – Среднемесячная и годовая скорость ветра (м/с) , ГМС Ханты-Мансийск

Высота флюгера	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
10	2,0	2,4	2,6	3,0	3,2	3,0	2,6	2,3	2,6	2,7	2,4	2,1	2,6

Наибольшее число дней с туманом за год составляет 42. Наибольшее число дней с грозой за год составляет 32. Наибольшее число дней с метелью в год – 80. Наибольшее число дней с градом в год - 6. Наибольшее число дней со всеми видами обледенения – 92.

Максимальная высота снежного покрова составляет 102 см, средняя - 78см., минимальная – 51 см. Более подробная информация о высоте снежного покрова представлена в таблице 1.7. Характерные даты появления, образования, разрушения и схода снежного покрова приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.7 – Средняя декадная высота снежного покрова (см) по постоянной рейке (место установки рейки защищенное)

IX		X			XI			XII			I			II			III			IV
2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
*	*	*	6	13	20	28	35	40	46	52	57	62	63	65	69	72	73	74	75	70

*- снежный покров отсутствовал более чем 50% лет

Таблица 1.1.17 – Снежный покров по многолетним наблюдениям (даты)

Число дней со снежным покровом	Снежный покров, дата											
	Появление			Образование			Разрушение			Сход, дата		
	Средняя	Ранняя	Поздняя	Средняя	Ранняя	Поздняя	Средняя	Ранняя	Поздняя	Средняя	Ранняя	Поздняя
199	08.10	17.09	08.11	21.1 0	20.0 9	26.1 1	30.0 4	2.04	25.0 5	13.0 5	11.0 4	12.0 6

В геоморфологическом отношении рассматриваемый район является частью Западно-Сибирской равнины, расположен в пределах Приуралья и представляет собой холмисто-увалистую, местами ступенчатую, расчлененную территорию с уклоном с юга на север, с запада на восток. Абсолютные отметки территории изменяются от 22,0 до 37,0 метров. . [8]

Площадка Няганской ГРЭС приурочена ко II надпойменной террасе верхнечетвертичного возраста р.Нягын-Юган. Абсолютные отметки рельефа изменяются в пределах 28,0-32,0м. Территория частично заболочена.

Вторая надпойменная терраса в геолого-литологическом отношении представлена аллювиальными минеральными отложениями, частично перекрытыми торфом. Торфа в подавляющем большинстве низинные и лишь некоторые из них переходного или верхового типа. Состав торфа разнообразный, но преобладает торф сфагново-осоковый, реже – сфагновый, гипново-хвощевой, травяной, кустарничковый, древесный. Общая мощность торфов изменяется от 0,5 до 7,0 м.

Минеральные отложения представлены песками, суглинком, супесью, глиной.

Растительность болот бедная, представлена угнетенной сосной, сфагновыми мхами, пушицей.

Пойма реки Нягын-Юган, расположенная в юго-восточной стороне участка Няганской ГРЭС, четко выражена, разделяется на два уровня – высокая пойма и низкая. Относительная высота высокой поймы над уровнем воды 3-4,5м, низкой 2,0-2,5м. Пойма сильно изрезана протоками, старицами и сильно заболочена. Современные отложения пойм формируют высокую и низкую пойму рек, протягиваясь вдоль русла рек в полосе меандр. Представляют собой песчаные отмели, пляжи, косы, сложенные аллювием русловых фаций. Большую часть они перекрыты тонким чехлом пойменного наилка. [8]

Растительность представлена растительностью пойм, средне - и южнотаежными лесами, на заболоченных участках – болотными видами растений.

Суходольные участки террасы покрыты смешанным лесом мелким, густым и средней густоты, состоящим, в основном, из сосны и березы.

Физико-географическая характеристика района Балтийского моря. Балтийское море — крупнейший в мире солоновато-водный бассейн, относящийся к типу внутренних морей, средиземное (внутриматериковое) море Атлантического океана, глубоко вдаётся в материк Европы. Средняя глубина моря 52 м, максимальная 470 м

Оно со всех сторон окружено сушей и лишь в юго-западной части через проливы Каттегат и Скагеррак соединяется с Северным морем Атлантического океана. Омывает берега России, Германии, Дании, Швеции, Финляндии и др. Морская граница Балтийского моря проходит по южным входам проливов Эресунн, Б. и М. Бельты. Берега Балтийского моря на юге и юго-востоке преимущественно низменные, песчаные, лагунного типа; со стороны суши - дюны, покрытые лесом, со стороны моря - песчаные и галечные пляжи. На севере - берега высокие, скалистые, преимущественно шхерного типа. Береговая линия сильно изрезана, образует многочисленные заливы и бухты. Наиболее крупные заливы: Ботнический (по физико-географическим условиям является морем), Финский, Рижский, Куршский, Гданьская бухта, Щецинский и др.

Острова Балтийского моря материкового происхождения. Много небольших скалистых островков - шхер, расположенных вдоль северных берегов и сосредоточенных в группах Васийских и Аландских островов. Наиболее крупные острова: Готланд, Борнхольм, Сарема, Муху, Хиума, Эланд, Рюген и др. В Балтийское море впадает большое количество рек, наиболее крупные из которых Нева, Западная Двина, Неман, Висла, Одра и другие. Балтийское море - неглубокое шельфовое море. Преобладают глубины 40- 100 м. наиболее мелководными районами являются проливы Каттегат (средняя глубина 28 м), Эресунн, Б. и М. Бельты, восточные части Финского и Ботнического заливов и Рижский залив. Эти участки дна моря имеют выровненный аккумулятивный рельеф и хорошо развитый покров рыхлых отложений. Большая же часть дна Балтийского моря характеризуется сильно расчленённым рельефом, имеются относительно глубокие котловины.

Согласно современным представлениям, основные неровности дна моря обусловлены блоковой тектоникой и структурно-денудационными процессами. Последним, в частности, обязаны своим происхождением подводные уступы глинтов. Северная часть дна моря сложена

преимущественно докембрийскими породами, перекрытыми прерывистым покровом ледниковых и новейших морских отложений.

В центральной части моря дно сложено породами силура и девона, скрывающимися к югу под толщей ледниковых и морских осадков значительной мощности.

Наличие подводных речных долин и отсутствие под толщей ледниковых отложений морских осадков свидетельствуют о том, что в предледниковое время на месте Балтийского моря была суша. В течение, по крайней мере, последней ледниковой эпохи впадина Балтийского моря была полностью занята льдом. Только около 13 тыс. лет назад произошло соединение с океаном, и морские воды заполнили впадину; образовалось Иольдиевое море. Балтийское море занимает депрессию тектонического происхождения, являющуюся структурным элементом Балтийского щита и его склона. Уровень последнего моря был на несколько метров выше современного, а солёность больше. Отложения литориновой трансгрессии широко известны на современном побережье моря. Вековое поднятие в северной части бассейна Балтийского моря продолжается и теперь, достигая на севере Ботнического залива 1 м за сто лет и постепенно уменьшаясь к югу . [15]

Климат Балтийского моря морской умеренный, находится под сильным влиянием Атлантического океана. Характеризуется сравнительно небольшими годовыми колебаниями температуры, частыми осадками, довольно равномерно распределяющимися в течение года, и туманами в холодные и переходные сезоны. В течение года преобладают ветры западных направлений, которые связаны с циклонами, приходящими с Атлантического океана. 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 летние месяцы циклоны ослабевают и их повторяемость уменьшается. Вторжение антициклонов сопровождается ветрами восточных

направлений. Количество атмосферных осадков, в общем, значительно меньше речного стока и сравнимо со значением испарения. За год выпадает от 183 до 223 км³ атмосферных осадков.

Современные результаты научных исследований подтверждают, что область Балтийского моря затоплялась уже в глубокой древности, прежде всего, в эпоху от кембрия (500—600 млн лет назад) до силура (440 млн лет назад), а районы, лежащие южнее, подвергались затоплению и в более поздние геологические периоды. Однако, эти древние моря очень сильно отличались от нынешней Балтики. Современный бассейн моря в пределах сегодняшней береговой черты сформировался лишь в четвертичном периоде.

Растянутасть Балтийского моря на 12° по меридиану определяет заметные различия климатических условий отдельных его районов. Средняя температура воздуха южной части моря: в январе —1,1°С, в июле 17,5°С; средней части: в январе —2,3°С, июле 16,5°С; Финского залива: в январе —5°С, в июле 17°С; северной части Ботнического залива: в январе —10,3°С, в июле 15,6°С. Облачность летом около 60%, зимой более 80%. Среднее годовое количество осадков на севере около 500 мм, на юге свыше 600 мм, а в отдельных районах до 1000 мм. Наибольшее число дней с туманами падает на южную и среднюю часть Балтийского моря, где оно в среднем достигает до 59 дней в году, наименьшее — на север Ботнического залива (до 22 дней в году) [3].

Гидрологические условия Балтийского моря определяются в основном его климатом, избытком пресных вод и водообменом с Северным морем. Избыток пресных вод, равный 472 км³ в год, образуется за счёт материкового стока. Количество воды, поступающей в осадках (172,0 км³ в год), равно испарению. Водообмен с Северным морем в среднем составляет 1659 км³ в год (солёная вода 1187 км³ в год, пресная — 472 км³ в год). Пресная вода стоковым течением уходит из Балтийского моря в Северное море, солёная — глубинным течением поступает через проливы из Северного моря в Балтийское море. Сильные западные ветры обычно вызывают приток, а

восточные ветры — сток воды из Балтийского моря через все сечения проливов Эресунн, Б. и М. Бельты.

Течения Балтийского моря образуют круговорот против часовой стрелки. Вдоль южного берега течение направлено на восток, вдоль восточного — на север, вдоль западного — на юг и у северного берега — на запад. Скорость этих течений колеблется от 5 до 20 м/сек. Под влиянием ветров течения могут менять направление и их скорость вблизи берегов может достигать 80 см/сек и более, а в открытой части — 30 см/сек.

Температура воды на поверхности в августе составляет в Финском заливе 15°C, 17°C; в Ботническом заливе 9°C, 13°C и в центральной части моря 14°C, 18°C, а на юге достигает 20°C. В феврале — марте температура в открытой части моря 1°C—3°C, в Ботническом, Финском, Рижском и других заливах и бухтах ниже 0°C. Солёность поверхностной воды быстро уменьшается по мере удаления от проливов от 11‰ до 6—8‰ (1‰—0,1‰) в центральной части моря. В Ботническом заливе она равна 4—5‰ (на С. залива 2‰), в Финском заливе 3—6‰ (в вершине залива 2‰ и меньше). В глубинном и придонном слоях воды температура 5°C и более, солёность меняется от 16‰ на З. до 12—13‰ в центральной части и 10‰ на С. моря. В годы увеличения притока вод солёность повышается на З. до 20‰, в центральной части моря до 14—15‰, а в годы уменьшения притока она падает в средние части моря до 11‰ [4].

Уровень Балтийского моря подвержен колебаниям под влиянием изменений направления ветров, атмосферного давления (поступательно-стоячие длинные волны, сейши), притока речных вод и вод Северного моря. Период этих изменений меняется от нескольких часов до нескольких суток. Быстро сменяющиеся циклоны вызывают колебания уровня до 0,5 м и более у берегов открытого моря и до 1,5—3 м в вершинах бухт и заливов. Особенно большие подъёмы воды, являющиеся, как правило, следствием наложения ветрового нагона на гребень длинной волны, бывают в Невской губе.

Наибольший подъем воды в Ленинграде отмечен в ноябре 1824 (около 410 см) и в сентябре 1924 (369 см).

Колебания уровня, связанные с приливами, крайне невелики. Приливы имеют неправильный полусуточный, неправильный суточный и суточный характер. Их размер меняется от 4 см (Клайпеда) до 10 см (Финский залив) [3].

1.2 Факторы, определяющие изменчивость уровня воды в различных природных объектах

Факторы, определяющие изменчивость уровня воды в реке. Водоносность реки определяется ее питанием. Так от физико-географических условий питание бывает дождевым, снеговым, ледниковым, подземным, озерным и болотным.

Питание реки, чаще всего, носит смешанный характер с преобладанием какого-то определенного условия. Характер питания зависит главным образом от климатических условий.

Объем воды в реке зависит от питания, что проявляется в колебаниях уровня. Равнинные реки, которые питаются в основном талыми водами, наивысший уровень наблюдаются весной. Водный режим реки представляет собой изменение во времени уровней и расходов воды в реках.

Наиболее полная и четкая классификация типов рек разработана М.И. Львовичем. В основу которой положены два основных признака: источники питания и сезонное распределение стока. Для характеристики сезонов года весна, лето, осень, зима есть так же градации. Классификационная градация Львовича М.И. позволяет рассчитывать и выделить всего 144 разновидности режима рек. Были выделены основные зональные типы водного режима на основе сочетаний различных источников питания с различным распределением стока: полярный, субарктический, умеренный, субтропический, тропический и экваториальный.

Годовой цикл водного режима рек подразделяется на характерные фазы: половодье, паводки, межень (летняя и зимняя).

В зависимости от ландшафта, почвы имеют зональное распределение. Различные почвы обладают неодинаковыми водно-физическими свойствами. Водопроницаемые почвы быстро поглощают атмосферные осадки, просачиваясь в почву, осадки, менее подвергаются испарению и увеличивают уровень подземной составляющей стока.

На малопроницаемых почвах, выпавшая атмосферная влага задерживается на поверхности и быстрее испаряется. Можно сделать вывод, что почва влияет на сток через испарение.

Рельеф воздействует на сток через осадки и испарение.

Лес имеет очень важное водорегулирующее значение. Влияние леса на сток может быть вызвано его воздействием на количество осадков и на испарение.

Рассмотрим эти факторы применительно р. Нягынть-Юган.

Река Нягынть - Юган. Район исследований расположен в лесной зоне Западно-Сибирской равнины. Согласно схемы основных орографических единиц (по Г.А. Рихтеру) он приурочен к левобережному (относительно р. Обь) склону Сибирских Увалов. Река Нягынть-Юган расположена в Азиатской части России, в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре; левый приток Оби. Длина реки 120 км, площадь бассейна 2390 км². В геоморфологическом отношении район изысканий приурочен ко II надпойменной террасе р.Обь.

Основные типы рельефа представлены равнинами широких речных долин, плоскими низменностями и повышенными менее заболоченными долинами. Подстилающие породы обусловлены четвертичными отложениями. Густота речной сети района составляет 0,23 км/км².

Южная граница распространения реликтовых многолетнемерзлых пород проходит южнее участка исследований. Водотоки развиваются по типу свободного заверщенного меандрирования.

Основными факторами, определяющими ход уровня реки являются:

- 1) количество выпадающих на водосбор атмосферных осадков;
- 2) температурный режим;
- 3) объем подземного стока, дренируемого рекой;
- 4) режим образования и таяния снегов.

Согласно имеющимся данным в среднем:

- норма годовых осадков (с поправками) составляет около 550 мм,
- норма годового подземного стока, дренируемого средними реками составляет 60-80 мм;
- норма годового поверхностного стока (для средних рек) 110-120 мм;
- норма годового суммарного испарения около 360 мм;
- накопление суммарных влагозапасов на речных водосборах отмечается с сентября по март, а их сработка с апреля по август.

По характеру водного режима водотоки рассматриваемого района относятся к типу рек с весенне-летним половодьем и дождевыми паводками в теплое время года. Модуль среднегодового стока составляет 6 л/км². Поверхностный сток составляет 70-80%, подземный 30-20%.

При характеристике внутригодового распределения принято следующее деление на сезоны: весна IV-VI; лето-осень VII-XI; зима XII-III.

Весенний подъем уровня на водотоках начинается в середине апреля – (конце апреля) – начале мая и совпадает с переходом дневных температур воздуха к положительным значениям и началом снеготаяния.

Максимум для небольших водотоков, отмечается при стаивании 2/3 снежного покрова на территории бассейна, через 10-12 дней после начала подъема, т. е. в конце апреля – начале мая. На более крупных водотоках максимальные расходы в среднем наблюдаются в конце апреля – начале июня.

Половодье характеризуется относительно высоким и быстрым подъемом уровня воды и сравнительно медленным спадом.

Гидрограф половодья имеет одновершинное, плавное очертание, если не нарушается выпавшими на водосборе осадками на спаде весеннего половодья.

Продолжительность половодья в разные годы различна, зависит от дружности весны и дифференцирована по площади водосбора: для водотоков с площадью водосбора менее 20 км² его продолжительность не превышает 22 суток, для р. Нягын-Юган около 50-60 суток.

Летне-осенняя межень обычно продолжается с середины июня по конец октября. Летние и осенние паводки не превышают половодья в хронологическом ряду.

Зимняя межень устанавливается в конце октября – начале ноября и продолжается до начала подъема весенних вод.

Для грунтовых вод, характеризующихся уровнем в пьезометрических скважинах, большое значение имеет структура грунтов.

Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы вскрыты скважинами в долине р. Нягын-Юган. Литологические отложения представлены разнородными песками, супесями, суглинками и гравийно-галечными грунтами. Преимущественное распространение имеют пески. Суглинки, супеси и гравийно-галечные грунты встречаются в песчаной толще в виде прослоев. Мощность отложений - 10-15 м.

Непосредственно на площадке Няганской ГРЭС верхняя часть разреза до глубины 6,5-8,5 сложена связными грунтами, представленными суглинком от тугопластичной до текучепластичной консистенции, супесью пластичной.

Нижняя часть геолого-литологического разреза с глубины 7.7-8.4 м представлена супесью пластичной, песком мелким, средней плотности и гравелистым, средней плотности, насыщенным водой, с прослойками суглинка тугопластичного.

Грунты естественного сложения перекрыты насыпным слоем: песком мелким, средней плотности, малой степени водонасыщения. Мощность насыпного слоя составила 0.4-1.0 м.

Пески от пылеватых до гравелистых, серые, содержат включения гравия, гальки, прослой супесей и гравийно-галечниковых грунтов. Залегают они, как правило, в нижней части толщи. С поверхности пески перекрыты толщей суглинков, супесей и глины. Мощность слоев грунта не выдержана. Суглинки, глины и супеси закономерно замещают друг друга, как по глубине, так и по площади.

Современные болотные отложения развиты на пониженных участках рельефа. Представлены они торфом. Торфа в подавляющем большинстве низинные и лишь некоторые из них переходного типа. Ботанический состав торфа разнообразный, но преобладает торф сфагново-осоковый, реже – сфаговый, гипново-хвощевой, травяной, кустарничковый, древесный.

Общая мощность торфов изменяется от 0,5 до 7,0 м.

К физико-геологическим процессам и явлениям можно отнести:

- **З а б о л а ч и в а н и е**. Процессы заболачивания получили в пределах исследуемой территории широкое распространение. Образование болот связано с незначительным уклоном местности, недостаточной естественной дренированностью, избыточным увлажнением подземными водами и атмосферными осадками, слабой испаряемостью, слабой фильтрационной способностью грунтов, слагающих минеральное дно болота.

Значительно меньшая степень заболоченности пойменной части долины реки Нягын-Юган по сравнению с надпойменными террасами связана, очевидно, с литологическими особенностями грунтов поймы. В верхних горизонтах пойменных отложений преобладают пески различной крупности, в то время в верхах разреза надпойменных террас в большинстве преобладают суглинистые отложения.

Незначительные по площади распространения и глубине болота встречаются также в пределах слабодренированной водораздельной равнины на правобережье долины. Питание этих болот смешанное, относятся они к переходному этапу.

Мощность торфа в них незначительна, как правило, менее 1,0 м.

- **Эрозионно-аккумулятивная деятельность рек.** Боковая эрозия р. Нягын-Юган и ее притоков выражается в подмыве и разрушении береговых склонов. В паводковый период река заливает пойму и подходит к высокой пойме и надпойменным террасам, а участками к склонам водораздельной равнины. В этот период происходит размыв береговых уступов террас, наблюдается подмыв и разрушение их.

В меженный период когда река возвращается в свое русло, боковая эрозия проявляется в подмыве берегов. Особенно активно размываются участки, сложенные песчаными грунтами, происходит подмыв нижней части берегового уступа, обрушение либо сползание его верхней части. На таких участках нередко можно наблюдать «пьяный лес» и сползание вниз деревьев и растительного покрова. Аккумулятивная деятельность р. Нягын-Юган и ее притоков заключается в переносе огромных масс песка и ила, образовании песчаных кос, заносов, стариц. В пойменной и высоко-пойменной части долины наблюдается большое количество таких отчлененных от основного русла стариц, большая часть их наполняется водой лишь периодически, в остальное время года эти неправильной формы углубления сухие, поросли мелким лесом, некоторые заболочены.

- **Оврагообразование.** Овражная деятельность развита в южном направлении от исследуемой территории. Образование оврагов связано с деятельностью талых и дождевых вод, стекающих с водоразделов и размывающих рыхлые образования склонов. Овраги корытообразные, либо «V» образной формы, с крутыми, большей частью, залесенными склонами, в устьевой части глубиной до 30 м. Овраги зачастую разветвляющиеся, по дну оврагов протекают временные или постоянные водотоки. Борта оврагов задернованы, эрозия в основном донная.

- **Морозное пучение грунтов** проявляется в виде увеличения объема грунтов при переходе влаги, находящейся в грунте, в лед при сезонном промерзании и приводит перемещение поверхности грунта, главным образом, вверх, а при оттаивании вниз. Исследуемая территория с

поверхности до глубины 5-10м, в основном, сложена глинистыми грунтами, предрасположенными к морозному пучению.

В гидрогеологическом отношении исследуемый район расположен в северо-западной части Западно-Сибирского артезианского бассейна.

Мощный осадочный чехол плиты имеет целый ряд водоносных комплексов и горизонтов. Наибольший интерес представляет верхний гидрогеологический этаж, охватывающий толщу пород четвертичного и верхнепалеогенового возраста.

Водоносный комплекс современных верхне-четвертичных аллювиальных отложений имеет широкое распространение в долинах рек ХМАО.

Водовмещающими породами являются разнозернистые пески и гравийно-галечниковые грунты. Мощность водоносной части комплекса 5-35 м. Глубина залегания комплекса 5-15 м (преобладающая 2-4 м). Уровень в основном свободный. Грунтовый поток имеет уклон в сторону водотока. Иногда, когда в кровле залегают водоупорные глины и суглинки, в потоке возникают напоры, величины которых незначительны, редко превышают 5-7 м.

Основные факторы, определяющие изменения уровня грунтовых вод:

- 1) инфильтрация атмосферных осадков и поверхностных вод,
- 2) переток из водоносного горизонта болотных отложений
- 3) подток вод в местах прямых контактов из нижележащих водоносных горизонтов.

Разгрузка осуществляется в основном естественными дренами и в меньшей степени за счет оттока вод в другие водоносные горизонты.

Воды пресные и ультрапресные с минерализацией 0,1 – 0,6 г/л, жесткостью 0,6-9 мг-экв/л и повышенной окисляемостью. Это объясняется широким развитием на поверхности поймы и надпойменных террас бессточных мочажин, стариц, болот.

В них происходит интенсивный распад растительной массы и инфильтрующиеся воды обогащаются органическими кислотами.

С процессами разложения растительных остатков в условиях замедленного водообмена и недостатка кислорода в зоне аэрации связано появление в подземных водах азотистых соединений. Наблюдается повышенное содержание ионов железа.

Солевой состав вод – гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатно-натриевый, гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый, хлоридно-магниевый.

В целом естественная защищенность подземных вод оценивается как недостаточная, т.к. горизонт недостаточно перекрыт водоупорными породами и принимает основную часть инфильтрующихся с поверхности загрязнений. Категория защищенности грунтовых вод по В.М.Гольдбергу – II (слабо защищенные).

В весенне-летний период возможен подъем уровня грунтовых вод на 1,0-1,5 м.

Для уровня моря, наряду с климатическими факторами, определяющими его изменения, существуют и другие влияющие процессы.

Факторы, определяющие изменчивость воды в Балтийском море. За последние полвека уровень Мирового океана повысился почти на 10 см, но скорость подъема в разных его частях неодинакова.

Все части Мирового океана сообщаются между собой, образуя единую систему. Уровень у всех неодинаков, который изменяется во времени. Имеется ряд факторов, которые вызывают отклонение поверхности от уровня состояния: температура, атмосферное давление, ветер, приливообразующие силы, водный баланс, течения. Колебания уровня поверхности могут иметь характер как периодический, так и непериодический. Периодические колебания поверхности океана возбуждаются приливообразующими силами, а колебания уровня, обусловленные деятельностью атмосферы, солнечной радиации,

геотермическими и геодинамическими явлениями в земной коре (землетрясение и моретрясение, извержение подводных вулканов, тектонические движения и т. д.), имеют непериодический характер. Колебания непериодического характера бывают кратковременными и продолжительными (вековыми). Основными составляющими кратковременных непериодических колебаний в общем режиме уровня моря являются:

1) сгонно-нагонные колебания. Такие колебания связаны с циркуляцией вод у побережий;

2) колебания уровня, вызванные изменением атмосферного давления. При повышении атмосферного давления на 1 мб уровень моря понижается на 10 мм и наоборот;

3) колебания уровня, вызванные неравномерным процессом влагооборота. Так, например, ливневые дожди могут вызвать кратковременный подъем уровня моря. На понижение уровня моря влияет сильное испарение;

4) при изменении плотности воды. При увеличении плотности уровень понижается, и наоборот;

5) под действием подводных землетрясений и иных причин;

Гидрократическое изменение, когда происходит увеличение или уменьшение воды в море (океане). Такое медленное и длительное изменение уровня моря (океана) (вековые непериодические колебания) может быть вызвано различными причинами.

Геократическое изменение – это колебания уровня, при изменении емкости моря (океана) в связи с процессами, которые происходят внутри Земли. Такие колебания не зависят от изменения количества воды и определяются поднятием или опусканием участков литосферы.

Рассмотрим Балтийское море, которое лежит целиком на шельфе. Шельф – это мелководная зона океана и моря В умеренном поясе северного полушария находится 19 млн. кв. км шельфа из 26, имеющих на Земле [10].

Причиной изменения уровня может являться штормовой нагон - очень пологая волна, длина которой в сотни раз превышает глубину водоема. Она образуется под действие перемещающихся систем штормовых ветров.

Штормовой нагон - движение вынужденное, определяемое воздействием внешних сил - касательного напряжения ветра (определяющую роль при взаимодействии ветра с поверхностью воды играют касательные напряжения) и атмосферного давления [10]. В открытом глубоководном океане основную роль в генерации длинных волн играет атмосферное давление, а в мелководных областях - ветер [12].

Прохождение глубоких циклонов над Балтийской частью сопровождается возникновением длинной волны, при этом высота волн в горле Финского залива не превышает 30-50м, а скорость распространения гребня сравнима со скоростью движения циклона и составляет 40-70 км/ч [10, 11, 27].

При входе в залив высота волны увеличивается за счет уменьшения глубины и сужения залива. Имеет значение и характер береговой линии. Финский залив вытянутый и узкий. Ширина залива в горле 70-75 км, в широкой части на меридиане о-ва Мощный 120-130 км, а в Невской губе 12-15 км [15, 21].

Длинная волна может быть свободной и вынужденной. В том случае, когда над Финским заливом штиль и слабый ветер, волна распространяется под действием силы тяжести и называется свободной. Свободная волна может дать подъем в СПб до 250 см [22]. В другом случае волна является вынужденной. Наиболее опасный тип наводнений происходит в случае смещения факторов, действующих на длинную волну [19].

В морях без приливов, к каковым относится и Балтийское море, во время сильных ветров происходят значительные колебания уровня, называемые сгонно-нагонными колебаниями. Ветер считается основной причиной этих колебания. При сгонных ветрах менее плотные воды уносятся в открытое море, а на смену им поднимаются более плотные глубинные

воды. Уровень воды при этом понижается. При нагонных ветрах происходит повышение уровня.

Колебания уровня, вызванные изменением атмосферного давления в первые начали изучать в 60х годах [15, 22].

В природе, колебания уровня являются результатом действия многих сил. Изменение элементов волн (периодов длин высот) при переводе на мелководье в прибрежную зону зависят одновременно от многих факторов: от скорости ветра, глубины, трения о дно, уклона дна, начальных элементов волн [17]. Поэтому, в настоящее время механизм возникновения ветровых нагонов описывается различными гидродинамическими моделями. Наиболее популярна для описания и прогноза штормового нагона – модель мелкой воды. Уравнение модели мелкой воды позволяют учитывать помимо ветра и другие факторы, влияющие на развитие штормового нагона.

Ветровой нагон создают положительные сильные ветры. Сильные ветры характерны для глубоких циклонов. Проходящий над водоемом циклон создают не только сгон и нагон, но также длинную волну и сейшу.

Если рассматривать вершину Финского залива, то очевидно что для кратковременной изменчивости уровня ветровой вагон, очевидно, имеет основное значение. Например, в большинстве случаев, сильнейшему наводнению в СПб западные и юго-западные ветра. Они могут достигать 30-40 м/с. Уже при 20м/с значительно уменьшается сток Невы. В тоже время при более низких скоростях ветра - ветровой нагон не приводит к наводнениям. Восточные ветра противодействуют нагону и приводят к сгонным явлениям на акватории Финского залива.

Поскольку Балтийское море с заливами представляет собой почти замкнутый бассейн, соединенный весьма узкими и мелкими проливами с Северным морем, то характерной особенностью изменения уровня является существование сейш. Сейши в Балтийском море возникают в результате реакции приспособления водных масс бассейна с нарушением равновесного состояния под влиянием внешних воздействий.

Сейши – это стоячие периодические колебания массы воды во всем водоеме или в обособленной его части [12]. Сейшевые колебания охватывают всю толщу вод моря, достаточно быстро возбуждаются, а затухают на протяжении нескольких суток. Простейший вид сейшевых колебаний - продольная одноузловая сейша, однако, в реальных бассейнах из-за сложности очертаний берегов и рельефа дна сейшевые колебания сопровождаются колебаниями более высокого порядка; двух-, трех-, и даже четырехузловыми. При этом заливы и бухты являются в определенной степени резонаторами, в которых могут возбуждаться свои собственные колебания.

Установлено несколько видов сейшевых колебаний в Балтийском море. При одной фазе колебаний максимальный уровень наблюдался в юго-западной части Балтики, а минимальный в восточной части Финского залива, в противоположной фазе наоборот. Амплитуда колебаний в восточной части Финского залива достигает 100 см, а в юго-западной Балтике 70 см. Узловая линия проходит практически по центру Балтийского моря в направлении Лиепая - Ландсорт [15].

Аналогичный характер имеет одноузловая сейша в системе Балтийского море - Ботнический залив. Амплитуда колебаний в Ботническом заливе достигает 70-90 см, а в юго-западной Балтике 40-50 см. Узловая линия происходит в районе Аландских островов [15].

Несколько иной характер колебаний уровня имеют при двухузловой сейши в системе Балтийского море - Финский залив. Амплитуда колебаний в восточной части Финского залива при такой сейши достигает 30-50 см, а юго-западной Балтике 40-60 см [15,22].

Если период изменения метеорологических условий над бассейном будет значительно отличаться от периода сейш, то на начавшиеся сейшиобразные колебания будут накладываться вынужденные, которые будут также искажать общую картину колебаний.

Таким образом, колебания уровня воды различных природных объектов прежде всего связаны с климатическими особенностями региона, что должно прослеживаться в структуре временных рядов. Исследуем это на рядах уровня грунтовых вод площадки Няганской ГРЭС, вод р. Нягын-Юган и уровня моря в г. Кронштадт (Финский залив).

2. Материалы и методы исследования

2.1 Характеристика исходных данных

Для исследования возможностей вейвлет-анализа были использованы искусственные ряды, представляющие собой сочетание гармоник различного периода и амплитуды, а также ряды наблюдений за уровнем воды в различных объектах (море, река, пьезометрические скважины).

Для искусственных рядов максимальное количество учтенных гармоник – 3. Длина каждого ряда – 90 значений. Вид периодических зависимостей представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Периодические зависимости, использованные для генерации рядов

Имя ряда	Количество гармоник	Вид зависимости
Gar1	1 гармоника	$y = 10\sin(\pi t / 90)$
Gar2	2 гармоники	$y = 10\sin(\pi t / 90) + 20\sin(\pi t / 24 - 2)$
Gar3	3 гармоники	$y = 10\sin(\pi t / 90) + 20\sin(\pi t / 24 - 2) + 10\sin(\pi t / 4 - 7)$
Gar3isk	3 гармоники с нарушенным периодом	$y = 10\sin(\pi t / 90) + 20\sin(\pi t / 24 - 2) + 10\sin(\pi t / 4 - 7)$ с единичными и групповыми выбросами

Дополнительно в ряд Gar3isk вводились выбросы (малые группы по 2-3 значения) для проверки чувствительности к ним вейвлет-анализа. Такой прием был использован в связи с наличием в исходных рядах уровня грунтовых вод аналогичных выбросов.

Для оценки изменений положения уровня подземных вод, их температуры и химического состава, на площадке Няганской ГРЭС была создана стационарная сеть наблюдательных скважин (см. рисунок 2.1). Сеть наблюдательных скважин для проведения замеров уровня подземных вод состоит из 19 скважин (характерная глубина уровня представлена на рисунке 2.2). В данной работе были рассмотрены данные об уровне грунтовых вод с 14 скважин из 19 пьезометрических скважин, существующих за период с 01.08.2014 по 04.02.2017 года, а также за уровнем воды в реке Нягын-Юган. В исследования не вошли материалы по:

1) скважине №10, так как она была уничтожена при постройке здания на территории Няганской ГРЭС,

2) скважине №3- данные не за весь период наблюдений, (начинаются с конца октября 2014 года, в связи с отсутствием доступа на закрытую территорию)

3) скважинам №5,6, 16 данные так же были не за весь период, в связи с отсутствием воды из-за сезонности наполнения.

Итоговый массив данных был представлен 1246 значениями (14 рядов по 89 значений). Дискретность наблюдений – три раза в месяц.

Характерной особенностью имеющихся результатов наблюдений за уровнем грунтовых вод являются скачкообразные выбросы, связанные с обязательной прочисткой скважин от ила в весенний и осенний период. При этом амплитуда таких выбросов может превосходить естественную изменчивость уровня в несколько раз. Выбросы в рядах были представлены как единичными значениями, так групповыми (до 5 значений подряд) (см. рисунок 2.3).

Параллельно были исследованы данные об уровне моря в г. Кронштадт за период 08.05.2014 года по 20.05.2014 года. Дискретность наблюдений – 1 час. Длина ряда - 312 значений (см. рисунок 2.4).

Дополнительно был рассмотрен ряд температуры воздуха для района площадки Няганской ГРЭС. Длина ряда - 89 значений, дискретность

наблюдений - 3 раза в месяц. Результаты наблюдений за температурой воздуха представлены на рисунке 2.5

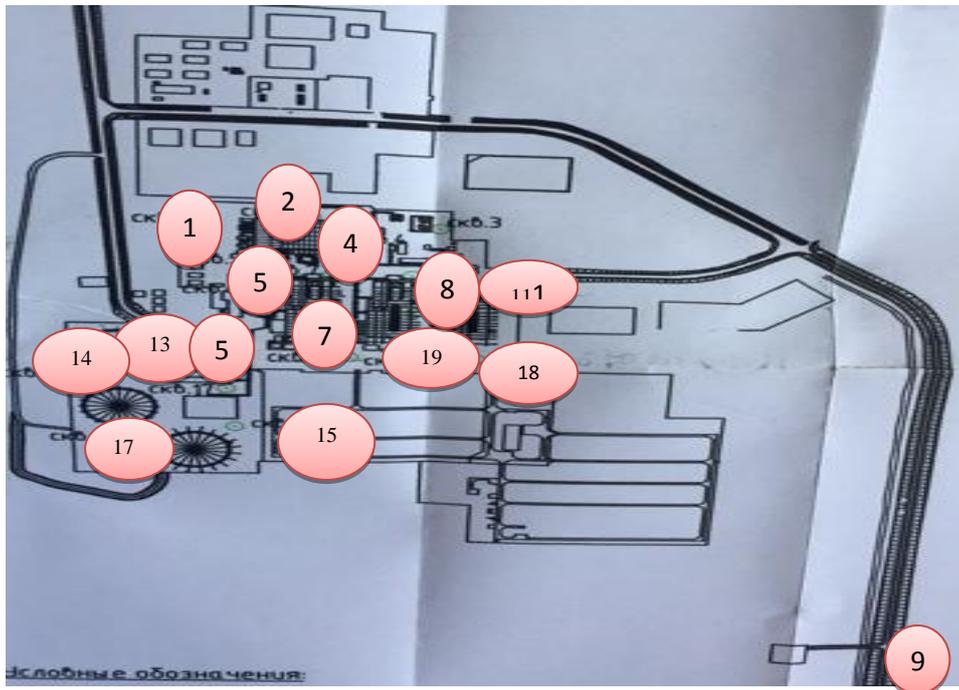


Рисунок 2.1 Схема расположения пьезометрических скважин на площадке Няганской ГРЭС (номера скважин указаны в розовых овалах)



Рисунок 2.2. Характерная глубина пьезометрических скважин на площадке Няганской ГРЭС

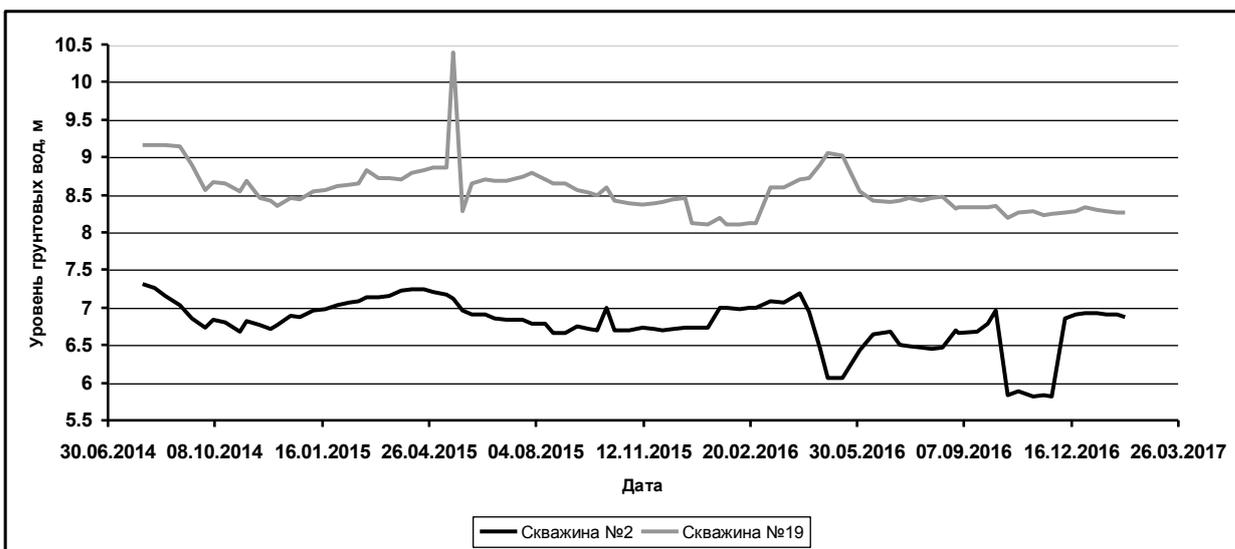


Рисунок 2.3 Динамика уровня грунтовых вод в скважинах на площадке Няганской ГРЭС в период 01.08.2014 по 04.02.2017 года

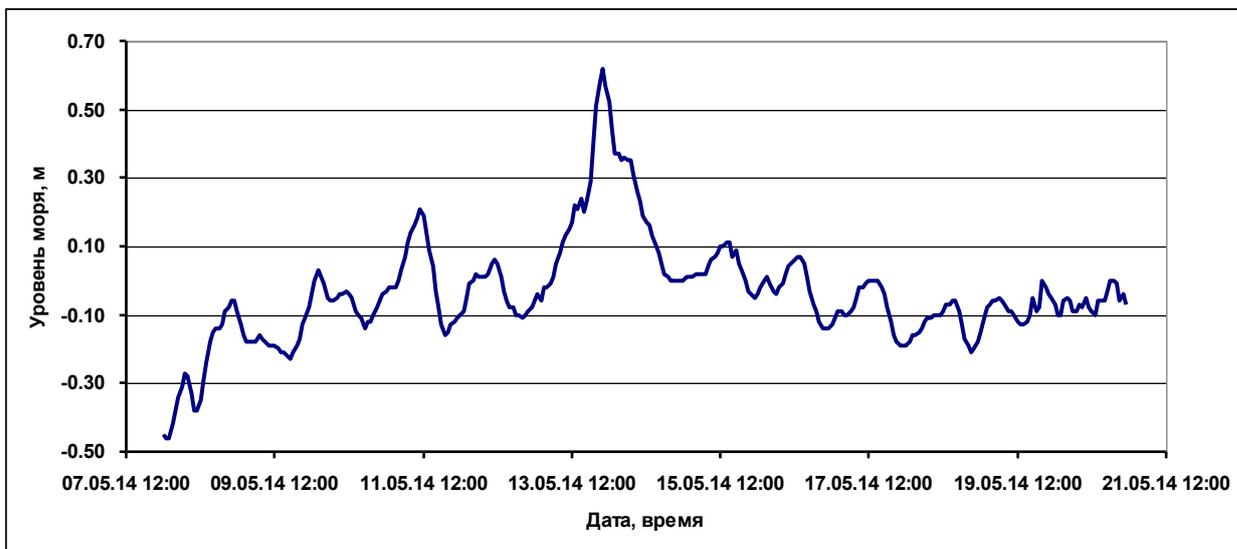


Рисунок 2.4 Ход уровня моря г. Кронштадт в период с 08.05.2014 года по 20.05.2014

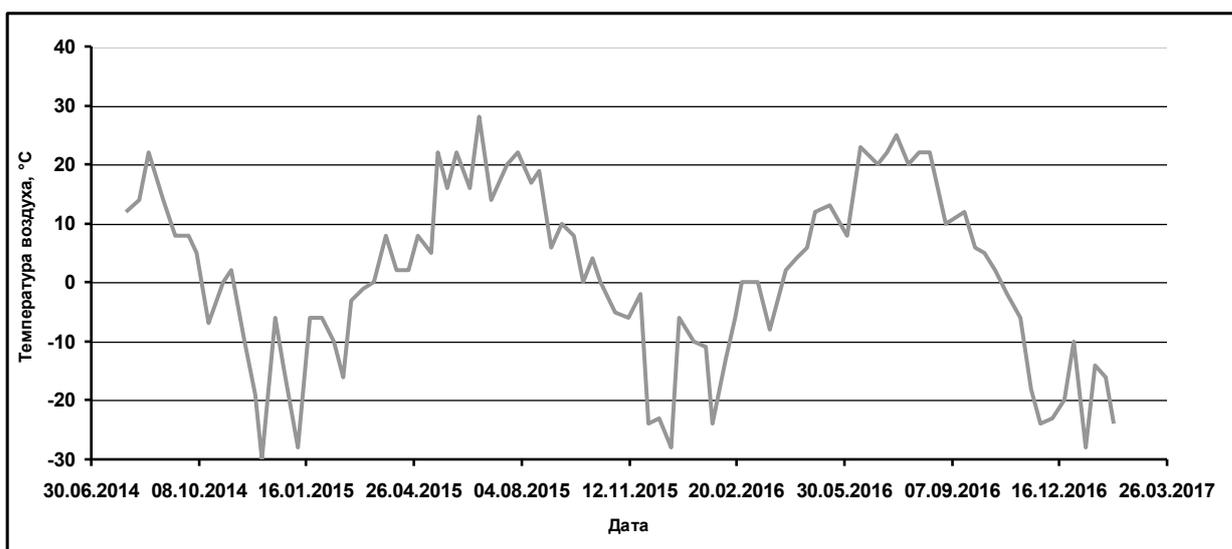


Рисунок 2.5 Динамика температуры воздуха (°C) на площадке Няганской ГРЭС в период 01.08.2014 по 04.02.2017 года

2.2 Статистические методы исследования

Для характеристики рядов уровня использовались показатели описательной статистики: среднее арифметическое значение (математическое ожидание), медиана, мода, стандартное отклонение, коэффициенты асимметрии и эксцесса, которые характеризуют распределении и свойствах случайной величины.

Среднее арифметическое значение статистического ряда, определяющее центр тяжести исследуемой характеристики при различных колебаниях, рассчитывалось по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

Медиана (значение признака, приходящегося на середину ранжированного ряда) вычислялась по формуле:

$$\sum_{i=1}^N |x - Me| = \min \square \quad (2)$$

Мода определялась как наиболее часто встречающаяся в ряду величина.

Стандартное отклонение рассчитывалось по формуле:

$$\bar{d} = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (3)$$

Так же в выборках определялись максимальное и минимальное значение, размах вариации, значения эксцесса и асимметрии.

Расчеты выполнялись с использованием пакета «Анализ данных» программы Excel.

Для выявления закономерностей в исходных временных рядах были выполнены автокорреляционный анализ, тренд-анализ и вейвлет-анализ. С целью возможности замены выбросов в рядах уровня грунтовых вод выполнялся взаимнокорреляционный анализ.

Автокорреляционный анализ проводился с использованием формул (4) и (5). Вычислялись коэффициенты автокорреляции $R(\tau)$ и их критические значения [37]:

$$R(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (y_i - \bar{y})(y_{i+\tau} - \bar{y})}{\sigma_y^2 (n - 1 - \tau)} \quad (4)$$

где $R(\tau)$ – коэффициент автокорреляции;

τ – сдвиг, годы.

$$R_{кр}(\tau) = \frac{-\sqrt{n - \tau - 1} + \sqrt{n - \tau - 1 + 4t_{кр}^2}}{2t_{кр}}, \quad (5)$$

где $R_{кр}(\tau)$ – критическое значение коэффициента корреляции;

$t_{кр}$ – критерий Стьюдента при $\alpha = 0.05$, $\nu = n - \tau - 1$.

После построения графиков автокорреляционных функций (АКФ), определялась инерционность рядов (как значение сдвига, соответствующее первому пересечению АКФ с «0» ординат), а также анализировалось присутствие гармонических колебаний в рядах.

Взаимный корреляционный анализ используется для выявления линейной взаимосвязи двух и более рядов. При рассмотрении двух дискретных временных рядов (X и Y) формула для вычисления взаимной корреляционной функции будет иметь вид [1]:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N-|\tau|} [(x_i - \bar{x}) \times (y_{i\pm\tau} - \bar{y})]}{\sigma_x \times \sigma_y \times (N - 1 - |\tau|)}, \quad (6)$$

где N – длина реализации;
 τ – сдвиг, изменяющийся от $-\tau_{max}$ до τ_{max} ;
 \bar{x} и \bar{y} – средние значения рядов;
 σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения выборок

Для оценки значимости коэффициентов взаимной корреляции использовался критерий Стьюдента, аналогично автокорреляционному анализу (5)

Анализ трендов. Согласно существующим представлениям, под трендом понимается некоторое медленное изменение процесса с периодом, превышающим длину исходной реализации [1]. В данной работе рассчитывался линейный тренд для каждого из анализируемых рядов. При оценке значимости линейного тренда определялись коэффициент корреляции r (6) и выборочный критерий Стьюдента t (8):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_{\hat{y}}\sigma_y}, \quad (7)$$

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, \quad (8)$$

где n - длина ряда, \hat{y}_i, y_i - значения трендовой составляющей и исходного ряда, $\bar{\hat{y}}, \bar{y}$ - средние арифметические трендовой составляющей и исходного ряда; $\sigma_{\hat{y}}, \sigma_y$ - стандартные отклонения трендовой составляющей и исходного ряда.

Тренд считался значимым, если оценки критерия Стьюдента превышали его критическое значение при заданном уровне значимости α и числе степеней свободы ν [1]:

$$t > t_{kp}(\alpha, \nu = n - 2). \quad (9)$$

Также рассчитывались коэффициент детерминации R^2 , представляющий собой квадрат коэффициента корреляции и величина линейного тренда. Значение коэффициента детерминации характеризовало долю дисперсии исходного ряда, определяемую трендовой составляющей.

Применение вейвлет-анализ для исследования временной структуры рядов гидрометеорологических характеристик обусловлено тем, что в природе характеристики процессов претерпевают изменения частоты колебаний присутствующих в них и приводит к необходимости анализа квазигармоник. Как правило, исследователи прибегают к использованию спектрального анализа, но преобразование Фурье позволяет надежно и просто исследовать процессы, не меняющие во времени частоту (период). Получить картину изменения во времени вклада квазигармоник и оценку их базовых частот позволяет применение вейвлет-анализа. то определяется использованием локализованной во временном пространстве и по частоте базисной функции.

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала представляет собой его разложение по базису (13), сконструированному из обладающих особыми свойствами солитоноподобных функции (вейвлетов) посредством их масштабирования и переносов вдоль оси времени [2].

$$W(a, b) = \frac{1}{|a|^{0.5}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, \quad (13)$$

где $W(a, b)$ - коэффициенты (амплитуда) вейвлет-преобразования; $\psi(t)$ – базисный вейвлет, * - обозначает процедуру комплексного сопряжения, a – масштаб вейвлета (определяет размер вейвлета); b – сдвиг (задает временную локализацию вейвлета).

Таким образом, вейвлет-преобразование можно рассматривать как полосовой фильтр с переменной шириной полосы пропускания, а получаемые в итоге коэффициенты вейвлет-преобразования являются результатом фильтрации функции в диапазоне частот, центр которого определяется значением масштабного коэффициента, а размер – свойствами принятого базисного вейвлета [23].

В качестве базисной функции в данной работе использовался вейвлет Морле (14) [23]:

$$\psi(t) = e^{-t^2/\alpha^2} \left[e^{ik_0 t} - e^{-k_0^2 \alpha^2 / 4} \right]. \quad (14)$$

При $\alpha^2 = 2$ и $k_0 = 2\pi$ вейвлет Морле может быть записан следующим образом [23]:

$$\psi(t) = \exp(i2\pi t - t^2/2) \quad (15)$$

Графический вид вейвлета Морле представлен на рисунке. 2.3 Данный вариант базисной функции широко применяется при анализе временной изменчивости различных физических характеристик [4]. Максимальный масштаб вейвлета не превышал половины длины анализируемого ряда. Расчеты коэффициентов вейвлет-преобразования были выполнены в пакете MATLAB [24].

а)



б)



Рисунок 2.3. Комплексный вейвлет Морле [24]: а) вещественная часть; б) мнимая часть

3 Результаты исследования изменчивости уровня различных природных вод с применением вейвлет-анализа

3.1 Статистические характеристики исследованных временных рядов

Рассмотрим динамику изменения уровня грунтовых вод и уровня вод р. Нягын-Юган в районе Няганской ГРЭС. По данным об уровне вод были оценены первичные статистические моменты (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1 Описательные статистики рядов уровня воды в пьезометрических скважинах и реке Нягын-Юган за период 2014-2017 гг (без исключения выбросов)

Показатели	Среднее, м	Медиана, м	Мода, м	Стандартное отклонение, м	Экссесс	Асимметрия	Минимум, м	Максимум, м	Размах вариации, м
1	6,79	6,84	6,70	0,34	1,72	-1,21	5,82	7,44	1,62
2	6,77	6,77	6,58	0,26	-0,28	-0,01	6,11	7,46	1,35
4	6,67	6,58	6,52	0,49	20,99	3,93	5,86	9,47	3,61
7	8,22	8,17	8,19	0,47	21,08	4,05	7,60	10,88	3,28
8	7,35	7,33	7,22	0,40	8,13	0,96	6,13	9,40	3,27
9	5,74	5,78	5,96	0,51	7,62	1,19	4,50	8,37	3,87
11	8,11	8,01	8,16	0,52	4,88	2,15	7,43	9,85	2,42
12	8,62	8,59	8,43	0,26	0,50	0,20	7,80	9,26	1,46
13	9,71	9,64	9,63	0,41	33,92	-4,41	6,65	10,51	3,86
14	10,78	10,84	10,96	0,34	0,91	-0,95	9,86	11,41	1,55
15	10,71	10,70	10,76	0,23	4,72	0,54	9,97	11,63	1,66
17	10,10	10,06	9,88	0,31	5,20	0,51	8,89	11,40	2,51
18	8,50	8,41	8,34	0,45	13,35	0,09	6,16	10,50	4,34
19	8,54	8,48	8,66	0,34	9,39	1,79	7,56	10,40	2,84
река Нягын-Юган	0,63	0,60	0,60	0,20	-0,04	-0,48	0,05	0,98	0,93

Как уже было отмечено ранее, на площадке Няганской ГРЭС по данным маркшейдерской группы были вскрыты водоносные горизонты, глубина залегания которых от 2 до 20 метров. На основании этих данных были построены пьезометрические скважины, глубины которых приведены на рисунке 2.2. При сравнении фактических и запланированных данных о глубине залегания грунтовых вод, можно сделать выводы:

- 1) максимальный уровень воды в пьезометрических скважинах за период 2014-2017 гг был зафиксирован в скважине №14 (10,71 м) при запланированной глубине скважины 15 метров;
- 2) минимальный уровень воды был характерен для скважины №9 (5,74 м), ее предположительная глубина 11 метров;
- 3) в самой глубокой скважине №17, запланированная глубина которой 19,5 метров, уровень воды составил всего 10,1 метра;
- 4) так же скважина №13, глубина которой 18 метров, фактический средний уровень воды был 9,71 метра.

Стандартное отклонение, характеризующее среднее рассеяние значений ряда уровней воды в скважинах от среднего арифметического значения, показывает, что максимальное отклонение уровня воды от предполагаемого результата наблюдается в скважинах №11 и №9 отклонение составляет практически 0,50 м. Минимальная изменчивость уровня наблюдалась в скважинах №15, №2 и №12 (0,23 – 0,26 м).

Проанализировав данные (см. таблица 3.1) по скважинам можно заметить, что первичные статистики: среднее, медиана и мода для всех скважин практически одинаковы, что говорит о близости структуры временных рядов к нормальному распределению.

Значение асимметрии, которая характеризует симметричность эмпирической функции распределения относительно среднего значения, имеет отрицательное значение для скважин №1,2,13,14,15 и уровня воды в реке, т.е. $A_s < 0$, что говорит о большем количестве наблюдений, которые выше среднего значения. Для скважин №4,7,8,9,11,12,17,18,19 $A_s > 0$, т.е. в

выборке преобладают наблюдения, величины которых меньше среднего значения.

Эксцесс характеризует островершинность распределения данных. В нашем случае отрицательные значения эксцесса ($E_x < 0$) характерны для скважины №2 и реки Нягын-Юган, т.е. распределение уровня было относительно плосковершинным и стремилось к случайному. Распределения данных уровня остальных скважин характеризовались положительными значениями эксцесса $E_x > 0$, что говорит об относительной островершинности.

Так же был рассчитан размах вариации R характеризующий максимальный разброс значений $R = \max - \min$, который показывает пределы, в которых изменяется величина уровня воды в пьезометрических скважинах и уровня воды в реке. Максимальный предел изменения уровня воды в исследуемой совокупности наблюдений отмечался в скважинах №18, №9, №13 (3,9-4,3 м), минимальный шаг изменений в скважине №2 (1,35 м). Следует отметить, что все выполненные оценки проводились с учетом выбросов присутствующих в исходных рядах и связанных с периодической прочисткой скважин, как уже говорилось в п. 2.1. Так в период с 09.10.2015 по 16.10.2015 так же была проведена чистка скважин от заиливания. Выброс в этот период наблюдался во всех скважинах. В период с 03.05.16 по 16.05.2016 так же проводилось мероприятие по чистке скважин. Самыми заилинными были скважины №4,7,13,14,15,17,18,19. В данных скважинах выброс был максимально заметным. Еще один групповой выброс, который наблюдался по графикам, был в период с 28.12.2015 по 22.01.2016. Связано со сменой оборудования по техническим причинам. Единичные выбросы так же были, связанные с некорректными записями. При сравнении с записями, которые велись в полевом журнале для наблюдений за уровнем воды в скважинах, в дальнейшем данные были исправлены.

Пересчет первичных статистик после исключения выбросов (значений отклонявшихся от соседних величин на 1 м и более) показал (см. таблицу

3.2), что среднее значение уровня для каждой из скважин изменилось на величину не превышающую 1% от исходного среднего значения, еще меньшие изменения произошли при расчете медианы, а моды уровня сохранились без изменений. Наибольшие искажения выбросы в рядах уровня вносили в характеристики разброса: стандартное отклонение (до 47% для скважины №7), эксцесс, асимметричность, максимально и минимальное значение. Сохранение равенства среднего, моды и медианы указывает на близость распределения значений исследованных рядов уровня к нормальному закону.

Таблица 3.2 Описательные статистики рядов уровня воды в пьезометрических скважинах и реке Нягын-Юган за период 2014-2017 гг (после исключения выбросов)

Показатели	Среднее, м	Медиана, м	Мода, м	Стандартное отклонение, м	Эксцесс	Асимметрия	Минимум, м	Максимум, м	Размах вариации, м
1	6.87	6.86	6.7	0.21	-0.5	0.02	6.44	7.31	0.87
2	6.77	6.77	6.58	0.26	-0.28	-0.01	6.11	7.46	1.35
4	6.62	6.57	6.5	0.23	-0.98	0.31	6.27	7.08	0.81
7	8.16	8.11	8.19	0.25	-0.02	0.49	7.6	8.86	1.26
8	7.34	7.32	7.22	0.26	0.05	-0.32	6.69	7.82	1.13
9	5.7	5.78	5.96	0.34	0.09	-0.93	4.69	6.14	1.45
11	8.03	8.01	8.16	0.32	0.36	0.68	7.54	8.85	1.31
12	8.62	8.59	8.43	0.24	-0.22	0.46	8.17	9.26	1.09
13	9.72	9.63	9.63	0.23	1.07	1.02	9.4	10.51	1.11
14	10.85	10.88	10.96	0.24	-0.12	-0.22	10.32	11.41	1.09
15	10.7	10.7	10.76	0.15	0.63	0.35	10.35	11.16	0.81
17	10.09	10.06	9.88	0.21	0.36	0.71	9.68	10.76	1.08
18	8.5	8.41	8.34	0.24	0.35	0.9	8.11	9.25	1.14
19	8.52	8.48	8.66	0.25	0.16	0.54	8.1	9.16	1.06

река Нягынъ- Юган	0,63	0,60	0,60	0,20	-0,04	-0,48	0,05	0,98	0,93
-------------------------	------	------	------	------	-------	-------	------	------	------

Аналогично первичные статистические характеристики были рассчитаны для ряда уровня моря в г. Кронштадт за период с 08.05.2014 года по 20.05.2014 и температуры воздуха в районе Няганской ГРЭС (см. таблицу 3.3).

Ряда уровня моря в г. Кронштадт также близок к нормальному распределению (среднее \approx мода = медиана). Для ряда температуры воздуха такая закономерность не прослеживается.

Таблица 3.3 Описательные статистики рядов уровня моря г. Кронштадт за период с 08.05.2014 по 20.05.2014 и температуры воздуха в районе Няганской ГРЭС за период 2014-2017 гг

Показатели	Среднее	Медиана,	Мода,	Стандартное отклонение,	Эксцесс	Асимметрия	Минимум,	Максимум,	Размах вариации
Температура, °С	0.82	2	22	14.88	-0.76	-0.26	-30	28	58
Уровень моря, м	-0.04	-0.06	-0.06	0.16	3.37	1.05	-0.46	0.62	1.08

Проследим динамику изменения исследуемых гидрометеорологических характеристик (см. рисунки 3.1, 3.2, 3.3). Для выявления тенденций изменения воспользуемся результатами тренд-анализа (таблица 3.4). Следует отметить, что анализ трендов для рядов уровня грунтовых вод выполнялся после исключения выбросов. Так значимые тренды были характерны для уровня грунтовых вод практически во всех пьезометрических скважинах (кроме скважин №№ 6, 11 и 18), при этом наблюдалась тенденция к повышению уровня грунтовых вод в среднем на 20 см/год. Максимальный вклад линейного тренда отмечен для динамики уровня в скважине № 13 (величина вклада линейного тренда в дисперсию составила 63%, см. рисунок

3.1а), что составило 25 см/год. Минимальное значимое изменение уровня грунтовых вод наблюдалось в скважине №15 и составило 10 см/год (см. рисунок 3.1б).

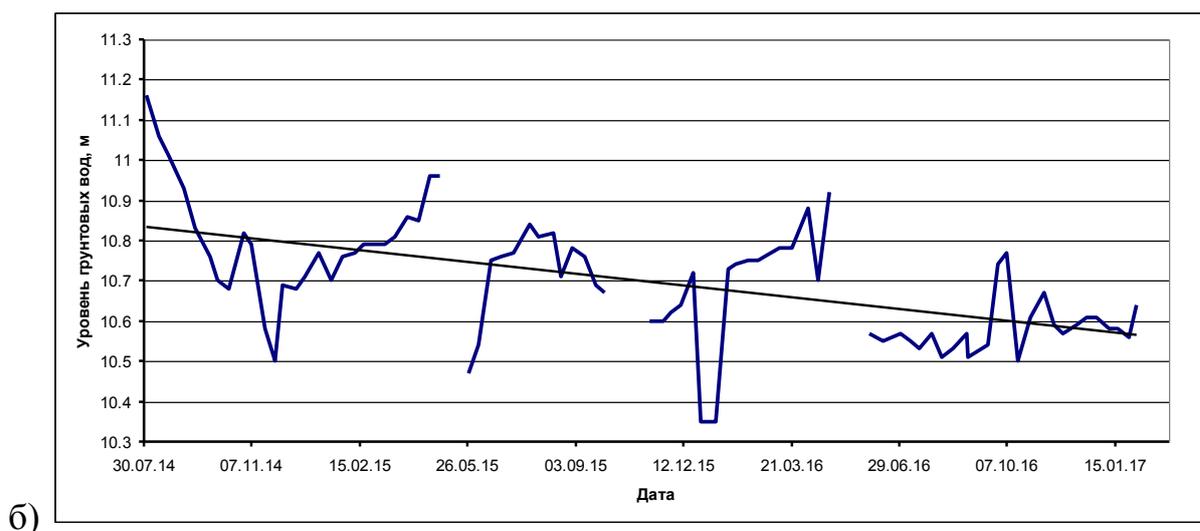
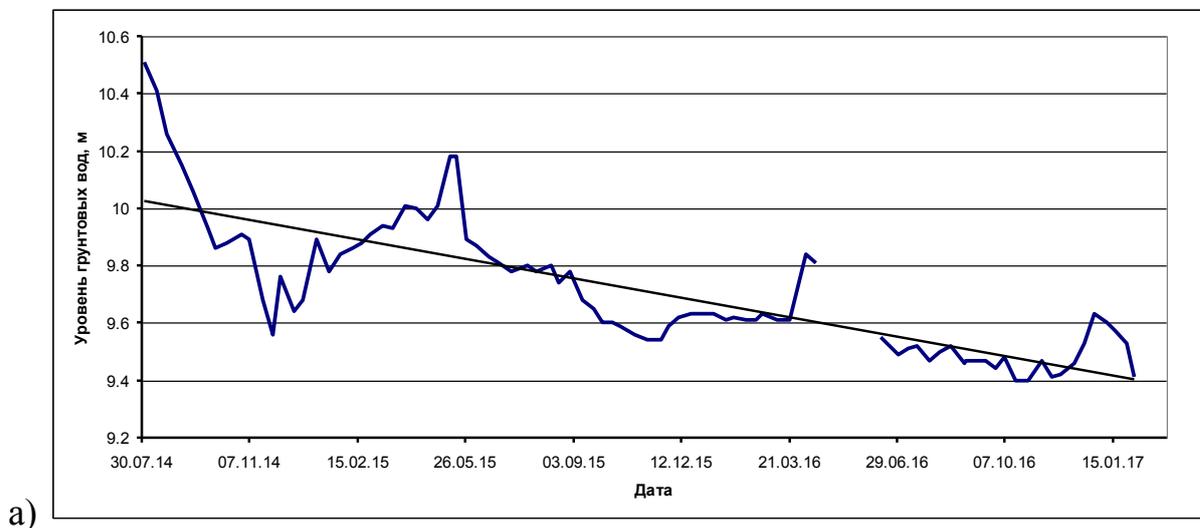


Рисунок 3.1 Динамика уровня грунтовых вод на площадке Няганской ГРЭС за период 2014-2017 гг: скважина № 13(а), скважина №15 (б)

Для уровня вод реки Нягын-Югын была характерна обратная значимая тенденция – за период исследования уровень вод в реке понижался со скоростью 14 см в год (см. рисунок 3.2а). Изменения температуры воздуха в районе исследования не имели выраженной тенденции (см. рисунок 3.2.б).

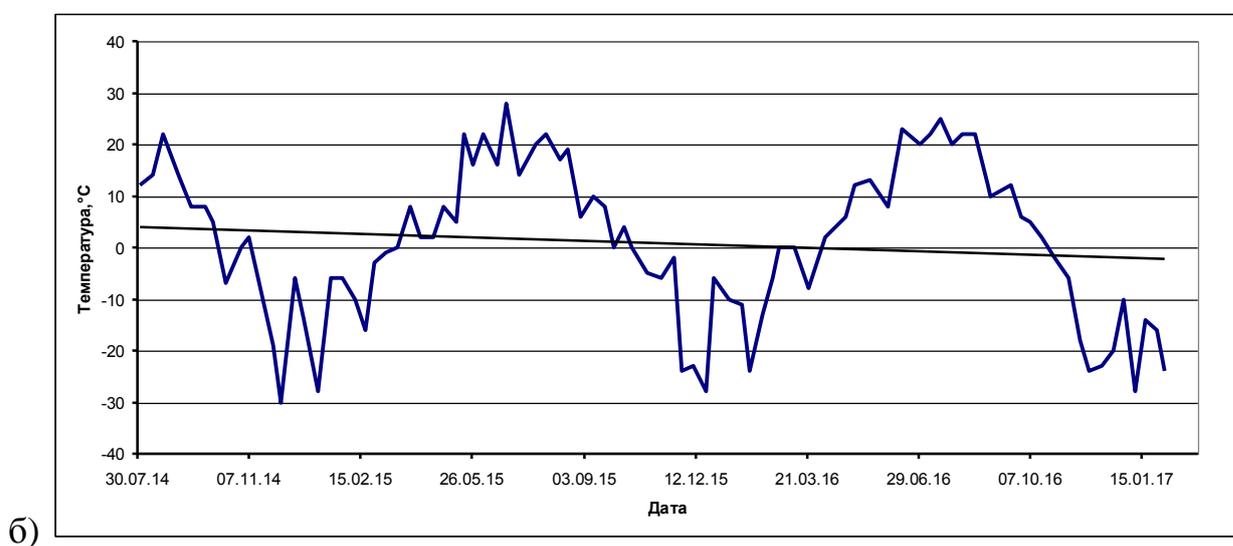
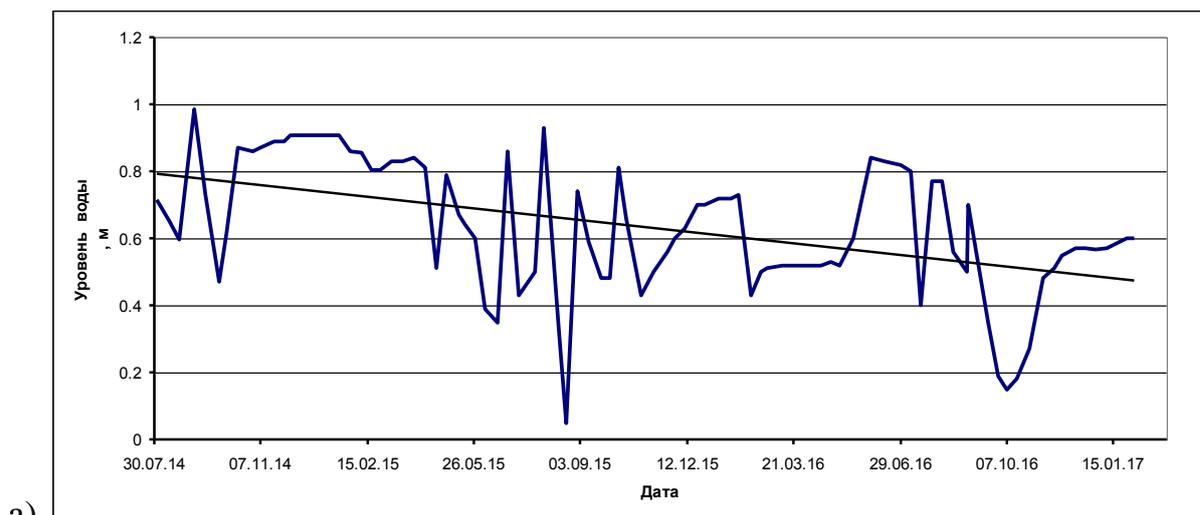


Рисунок 3.2 Динамика уровня вод реки Нягынть-Юган и температуры воздуха на площадке Няганской ГРЭС за период 2014-2017 гг: уровень реки (а), температура воздуха (б)

Для изменений уровня моря в г. Кронштадт в выбранный период была характерна значимая нелинейная тенденция (см. рисунок 3.3)

Рассмотрим результаты автокорреляционного анализа исследуемых рядов, примеры АКФ представлены на рисунке 3.4.

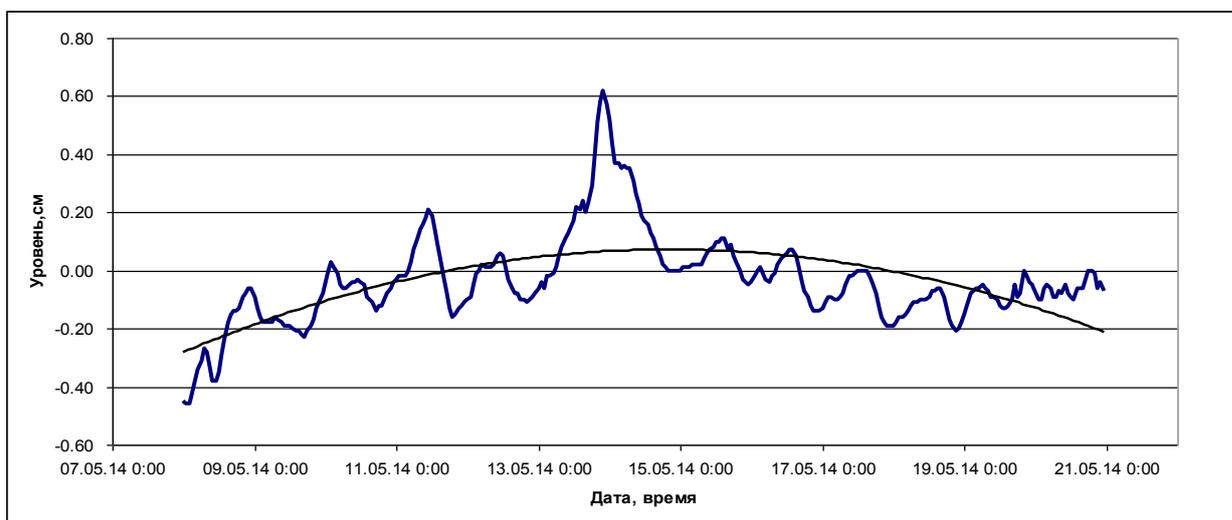


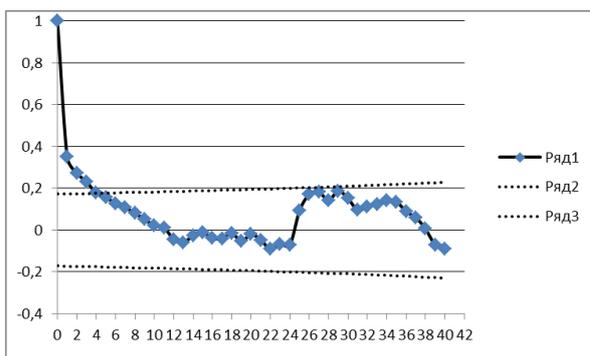
Рисунок 3.3 Динамика уровня моря в г. Кронштадт с 08.05.2014 года по 20.05.2014

Таблица 3.4 Оценка значимости линейного тренда исследованных рядах

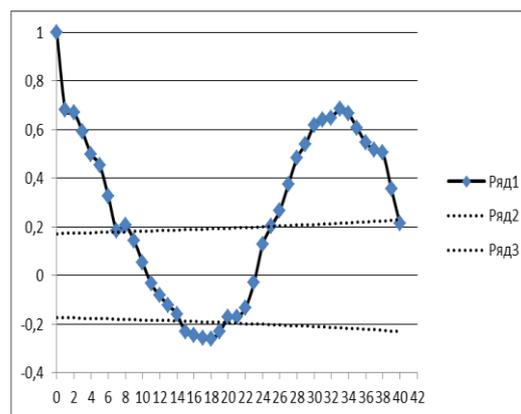
Ряд	R^2 , %	Величина тренда	Значимость (+/-)	Уравнение тренда
Скв.№1	15	11 см/год	+	$y = -0,0032x + 7,0036$
Скв.№2	26	18 см/год	+	$y = -0,0051x + 6,999$
Скв.№4	35	18 см/год	+	$y = -0,0052x + 6,8555$
Скв.№7	41	22 см/год	+	$y = -0,0061x + 8,4311$
Скв.№8	20	16 см/год	+	$y = -0,0044x + 7,5382$
Скв 9	3	-	-	$y = -0,0024x + 5,80951$
Скв 11	2	-	-	$y = -0,0019x + 8,118$
Скв 12	42	21 см/год	+	$y = -0,006x + 8,8931$
Скв 13	63	25 см/год	+	$y = -0,0071x + 10,033$
Скв 14	56	21 см/год	+	$y = -0,006x + 11,152$
Скв 15	30	1 см/год	-	$y = -0,0003x + 10,836$
Скв 17	36	17 см/год	+	$y = -0,0049x + 10,308$
Скв 18	2	-	-	$y = -0,0013x + 8,5553$
Скв 19	45	23 см/год	+	$y = -0,0064x + 8,8079$
река	23	-14 см/год	+	$y = -0,0037x + 0,7985$
Уровень моря	- 38(н/л)	-	- +(н/л)	$y = 0,0002x - 0,0709$ $y = -1e-05x + 0,0043x - 0,2857$
Температура воздуха	1	-	-	$y = -0,0709x + 4,011$

Важным этапом обработки данных является анализ корреляционных связей колебания уровня между пьезометрическими скважинами и уровнем реки, а также внутренняя взаимосвязанность колебаний уровня в отдельных скважинах.

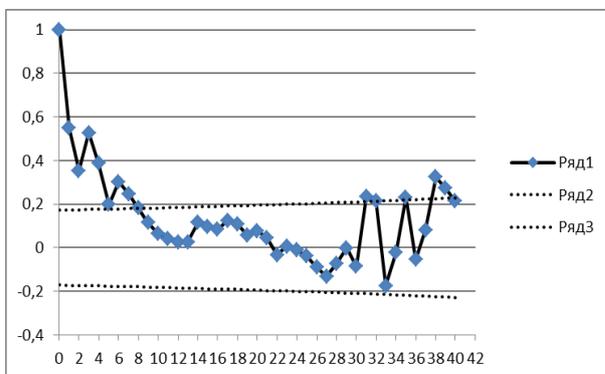
а) Скважина №13



б) Скважина №2



в) Река



г) Скважина №7

Рисунок 3.4 АКФ уровня грунтовых вод и уровня вод в реке за период с 01.08.2014 по 04.02.2017 гг.

По графикам АКФ видно, что инерционность процессов изменения уровня грунтовых вод составляет 10-12 сдвигов (см. рисунок 3.4а и 3.4б), что соответствует 3-4 месяцам. Для АКФ уровня грунтовых вод в скважине №2 четко прослеживается наличие полугодового хода (см. рисунок 3.4 б). Для

ряда уровня воды в реке Нягын-Юган вид АКФ свидетельствует о (см, рисунок 3.4в),

а для уровня моря в г. Кронштадт - (см. рисунок 3.4г).

Для подтверждения согласованности изменений хода уровня грунтовых вод в различных скважинах, а также влияния на это температурного фона и уровня реки рассмотрим результаты взаимного корреляционного анализа (таблица 3.5). По t-критерию Стьюдента большинство коэффициентов корреляции в приведенной матрице являются значимыми ($r \geq 0.19$) и характеризуют как связь как прямую положительную. Наиболее интересным является тот факт, что значимая связь между уровнем грунтовых вод и уровнем реки, как правило, наблюдается для тех скважин, которые не имеют значимой связи с температурой воздуха, и наоборот. И

Таблица 3.5 Взаимокорреляционная матрица между рядами уровня грунтовых вод в пьезометрических скважинах площадки Няганской ГРЭС, уровнем реки Нягын-Юган и температурой воздуха в районе исследования

	<i>Ta</i>	1	2	4	7	8	9	11	12	13	14	15	17	18	19	река
<i>Ta</i>	1.00															
1	-0.01	1.00														
2	-0.05	0.65	1.00													
4	-0.06	0.41	0.47	1.00												
7	0.19	0.05	0.51	0.01	1.00											
8	0.11	0.43	0.60	0.20	0.41	1.00										
9	-0.20	0.34	0.28	0.22	0.04	0.32	1.00									
11	0.53	0.00	0.09	0.27	0.13	0.09	0.17	1.00								
12	0.35	0.35	0.48	0.24	0.58	0.51	0.15	0.24	1.00							
13	0.15	0.29	0.43	0.18	0.45	0.29	0.05	0.13	0.48	1.00						
14	0.29	0.22	0.30	0.14	0.37	0.25	0.10	0.16	0.52	0.32	1.00					
15	0.07	0.06	0.26	0.00	0.50	0.22	0.13	0.03	0.43	0.23	0.52	1.00				
17	0.38	0.19	0.31	0.12	0.51	0.42	0.15	0.18	0.76	0.40	0.46	0.45	1.00			
18	0.20	0.20	0.17	0.08	0.16	0.29	0.01	0.11	0.27	0.13	0.29	-0.29	0.17	1.00		
19	0.42	0.28	0.47	0.20	0.52	0.63	0.01	0.27	0.63	0.44	0.44	0.17	0.56	0.33	1.00	
река	-0.15	0.36	0.38	0.25	0.10	0.24	0.01	0.09	0.20	0.25	0.27	-0.01	0.06	0.10	0.20	1.00

Перейдем к рассмотрению результатов применения вейвлет-анализа к исходным рядам, а также искусственным рядам.

3.2 Результаты вейвлет-анализа изменения уровня различных природных вод во времени

Как уже было указано в п. 2.1 для исследования возможностей вейвлет-преобразования при работе с рядами гидрометеорологических характеристик, в данном исследовании были генерированы искусственные ряды (см. рисунок 3.5). Эти ряды представляли собой сумму различного числа гармонических колебаний с некратными периодами и отличными амплитудами. Кроме того в один из рядов специально вводились искажения, представлявшие собой одиночные и групповые выбросы. Для имитации нелинейного тренда базовая гармоника имела период, сопоставимый с длиной исходного ряда (90 значений). Рассмотрим отображение внутренней структуры искусственных рядов на вейвлет-преобразовании при использовании вейвлета Морле (см. рисунок 3.6).

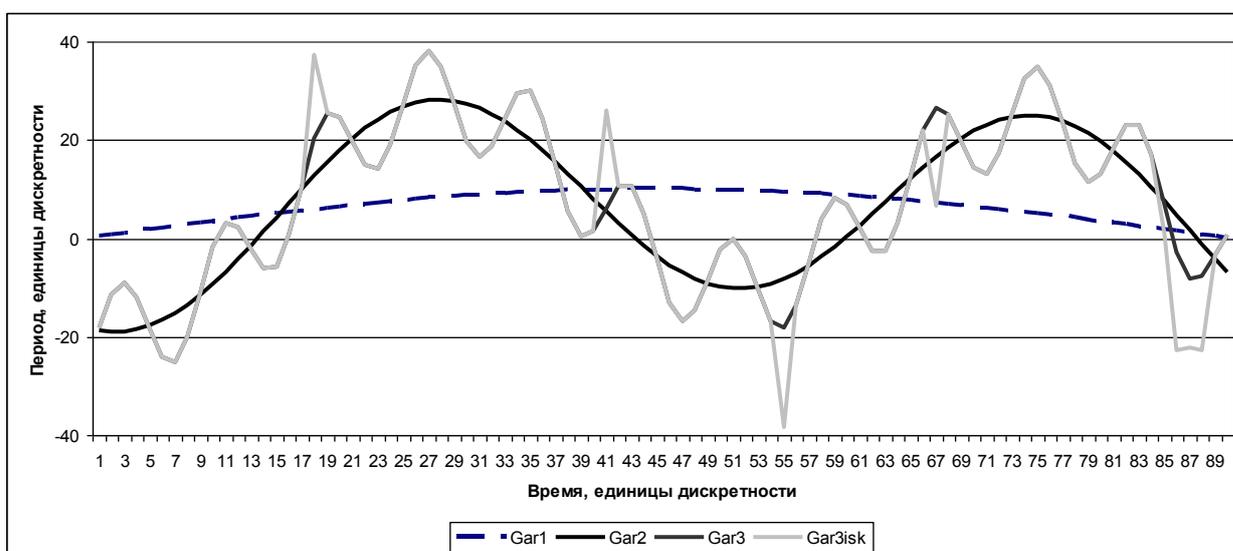


Рисунок 3.5 Искусственные ряды данных с учетом различного числа гармоник (см. таблицу 2.1)

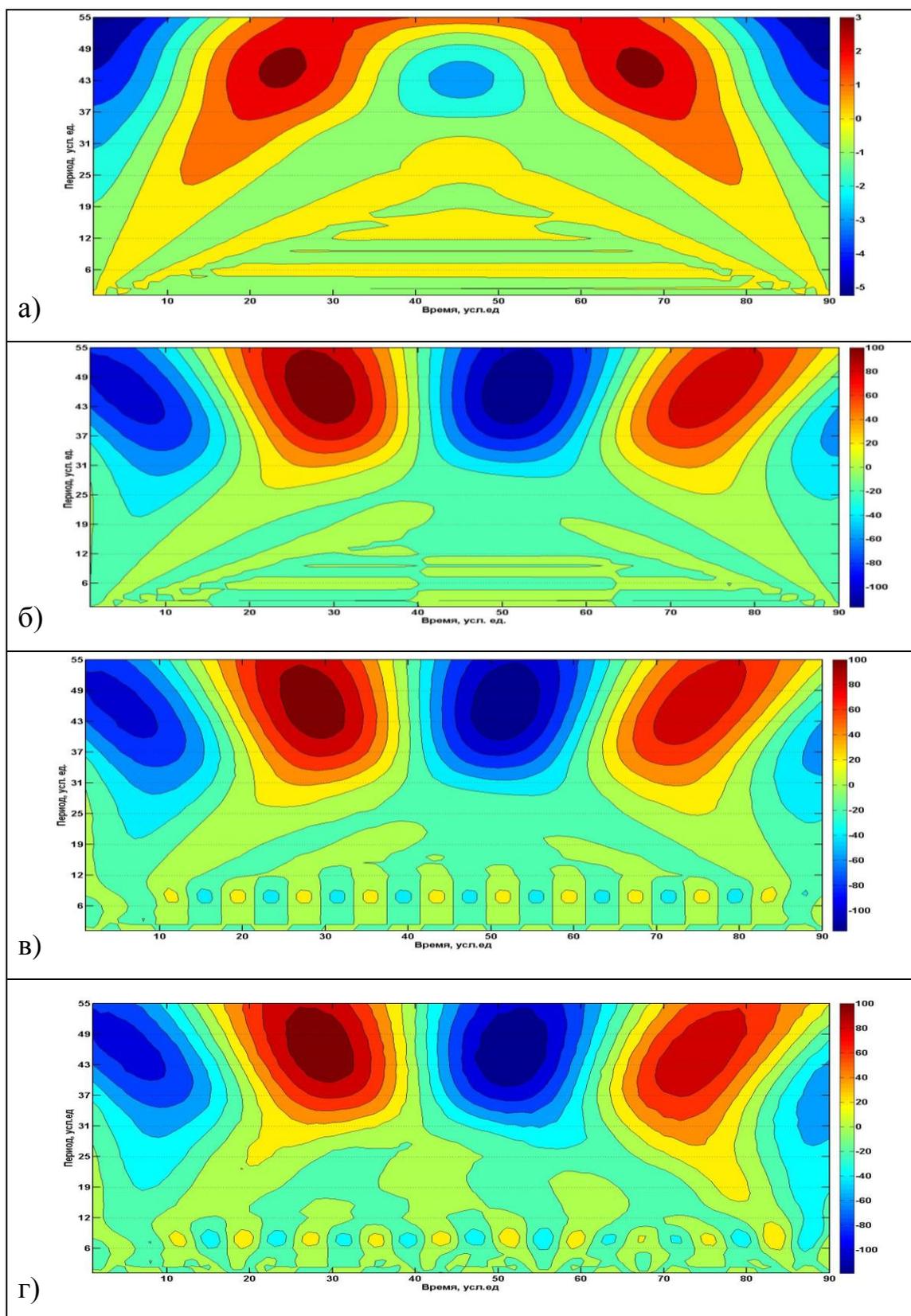


Рисунок 3.6 Вейвлет-преобразование искусственных рядов данных с учетом различного числа гармоник: одна гармоника с периодом, сопоставимым с длиной ряда (а), две гармоники (б), три гармоники (в), три гармоники с учетом выбросов (г) (см. таблицу 2.1)

Применив вейвлет-преобразование к искусственным рядам данных с учетом различных гармоник, где ряд брался 90 условных единиц, можно заметить, на рисунке 3.6 а, гармоника не имеет особых изменений, ряд не устойчив, значимого изменения нет. При увеличении периода на рисунке 3.6 б виден тренд. Изменив, увеличив период, на рисунке 3.6в появилась гармоника. Рассмотрев три гармоники с учетом выбросов, так же наблюдается гармоника с характерными изменениями. Данные условия были применены и к наблюдательным скважинам, где так же присутствуют выбросы.

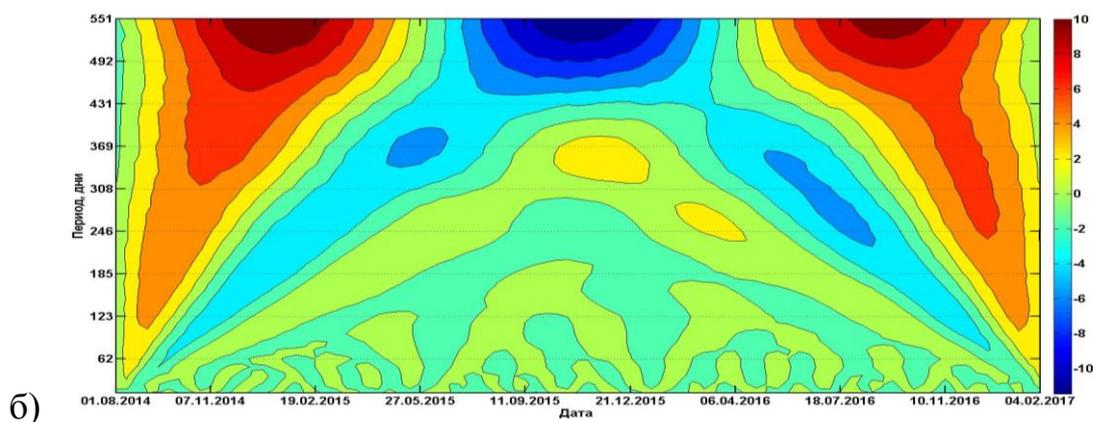
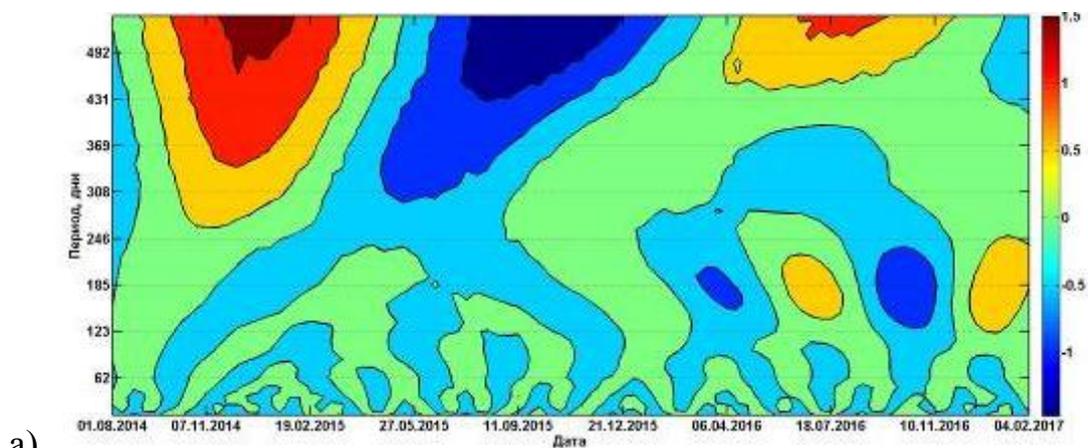


Рисунок 3.7 Вейвлет-преобразование ряда уровня воды в реке Нягыньюган (а) и уровня грунтовых вод в скважине №2 на площадке Няганской ГРЭС (б) в период с 01.08.2014 по 04.02.2017гг.

Применив данный анализ к наблюдениям за уровнем вод в реке Нягыньюган, можем обратить внимание на наличие двух пиков (см.рисунок 3.7). Можно предположить, что характер изменения уровня воды в реке Нягыньюган не постоянен. Желтому цвету соответствует низкий уровень воды в период зимнего времени года, наблюдается практически годовой ход изменения уровня воды в реке.

Применив вейвлет-преобразование Морле к рядам температуры (см.рисунок 3.8) воздуха , можно обратить внимание, что виден цикл годового хода температуры. Происходит нормальное распределение температур согласно сезонам. Зиме соответствует максимальные значения, выделенные синим цветом, соответственно в летний период наблюдается потепление.

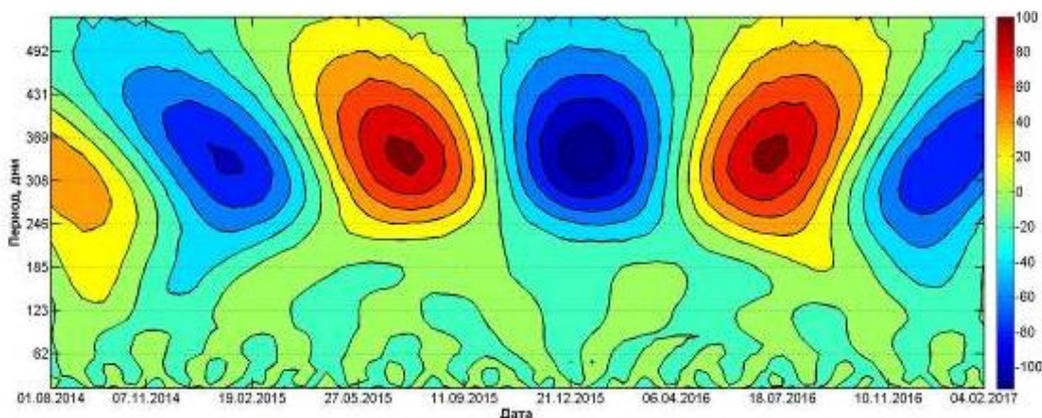


Рисунок 3.8 Вейвлет-преобразование ряда температуры воздуха на площадке Няганской ГРЭС в период с 01.08.2014 по 04.02.2017 гг.

В случае применения вейвлет-анализа к пьезометрическим скважинам, в данном случае, рассмотрена скважина №2, при наблюдении за уровнем

воды в них выявлен так же годовой ход изменения. Этот рисунок подходит ко всем скважинам.

Применив вейвлет–преобразование к изменению уровня воды в г. Кронштадт (Балтийское море) в период с 29.04.2014 по 18.06.2014 можно выделить несколько временных интервалов с различным сочетанием квазигармонических колебаний. Так в период первых 16 суток наблюдаются суточные колебания, трех-пяти суточные колебания и наиболее значимые колебания с периодом около 10 суток. Далее в течение еще 15 суток происходит изменение структуры колебаний и основной вклад начинает вносить колебание с периодом около 10 суток. На последнем временном интервале практически отсутствуют высокочастотные квазиколебания.

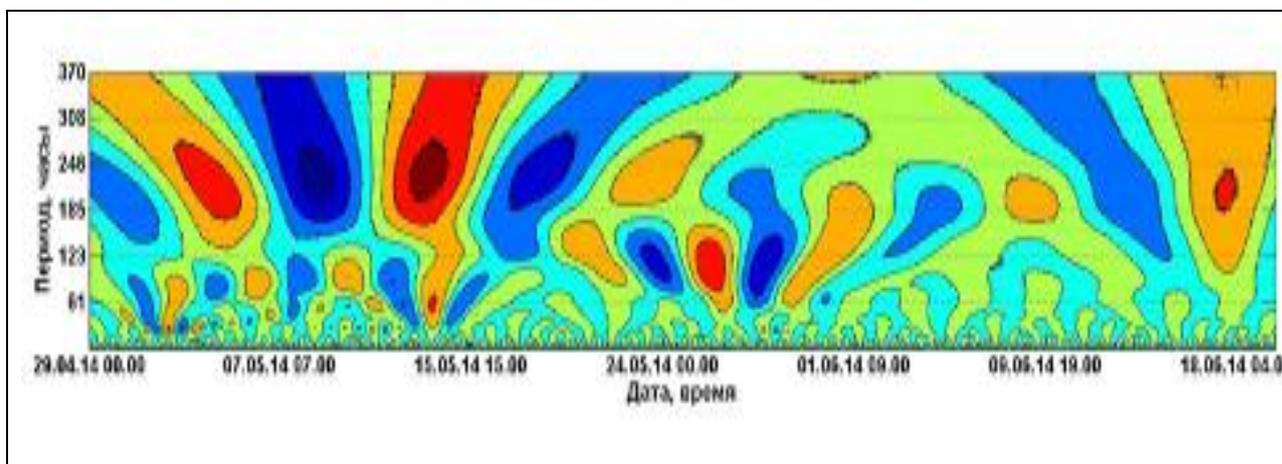


Рисунок 3.9 Вейвлет-преобразование ряда уровня моря в г. Кронштадт в период с 29.04.2014 по 18.06.2014

Именно эта возможность проследить изменение основных энергонесущих частот в динамике гидрометеорологических характеристик представляется основным преимуществом использования вейвлет-анализа. Возможно применение результатов вейвлет-анализа для верификации модельных распределений гидрометеорологических характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное исследование позволило выявить некоторые достоинства и недостатки использования вейвлет-анализа:

- 1) применение вейвлет-преобразования к искусственно генерированным рядам показало, его нечувствительность к наличию тренда в присутствии значимых гармонических колебаний меньшего периода, однако при наличии только изменений по периоду сопоставимых с длиной ряда в вейвлет-преобразовании возникают ложные квазигармоники с периодом близким к масштабу преобразования;
- 2) проведенные эксперименты показали, что при наличии единичных и групповых выбросов результаты вейвлет-преобразования искажаются, но сохраняются параметры основных энергонесущих гармоник, а именно период колебаний. Это позволяет применять метод к рядам без предварительной выбраковки выбросов. Однако в рамках данного исследования с генерированные выбросы носили случайный характер и не превышали по объему 10% от выборки, в дальнейшем следует выполнить исследование, увеличив процент выбросов;
- 3) основным достоинством применения вейвлет-анализа является возможность проследить изменение основных энергонесущих частот в динамике гидрометеорологических характеристик.

Дополнительно были получены результаты, имеющие прикладное значение:

- 1) выявлено значимое повышение уровня грунтовых вод для большинства пьезометрических скважин площадки Няганской ГРЭС, достигающее 20 см/год;

- 2) показано, что ряды наблюдений за уровнем грунтовых вод на площадке Няганской ГРЭС имеют систематические выбросы, вызванные прочисткой скважин от заиления и при оценке межгодовой динамики характеристики это необходимо учитывать;
- 3) повышение уровня грунтовых вод наблюдается на фоне снижения уровня вод в реке Нягын-Юган.