



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему

Факторы твердого стока р. Невы

Исполнитель

Яковлев Фёдор Анатольевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

к.т.н., доцент


(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«**Защите допускаю**»

Заведующий кафедрой


(подпись)

к.т.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

02 2024

Санкт-Петербург

2024

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО Р.НЕВА И ОБЪЕКТЫ НАБЛЮДЕНИЯ.....	5
1.1. Краткая физико-географическая характеристика р. Нева.....	5
1.2. Строение и рельеф территории бассейна реки Невы.....	6
1.3. Притоки реки Невы.....	9
1.4. Взмучивание в Шлиссельбургской губе.....	10
1.5. Гидрометеорологические характеристики и экология.....	16
1.6. Расположение водозабора ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция».....	18
1.7. Исследование процессов поступления взвешенных наносов.....	19
1.8. Методика прогноза мутности взмыва в Шлиссельбургской губе.....	20
1.9. Исследование стока наносов р. Невы и главных рукавов дельты.....	23
1.10. Современное состояние и проблемы.....	27
2. РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ШТОРМА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА НА МУТНОСТЬ В Р. НЕВА.....	30
2.1. Определение расчётных характеристик мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная Водопроводная Станция».....	30
2.2. Определение расчётных характеристик направление ветра.....	34
2.3. Расчет высоты волн при скорости ветра до 8 м/с.....	37
2.4. Расчет высоты волн при скорости ветра от 10 м/с до 14 м/с.....	45
2.5. Расчет зависимости мутности от даты и скорости ветра.....	52
Заключение.....	58
Список использованных источников.....	59

ВВЕДЕНИЕ

Для выполнения задачи исследования влияния мутности на водозаборе ГУП Водоканал «Северная водопроводная станция», необходимо выявить влияние Ладожского озера на мутность в р. Нева.

Актуальность выпускной квалифицированной работы. Актуальность темы связана с влиянием высокой мутности на работу фильтров на водозаборе ГУП Водоканал «Северная водопроводная станция».

Объектом исследования является река Нева.

Целью является выявить закономерность влияния штормов в Ладожском озере на мутность в р. Нева. Главными задачами являются:

- 1) Сделать общий обзор реки Нева;
- 2) Рассмотреть основную методику прогноза мутности;
- 3) Проанализировать изменения мутности в р. Нева;
- 4) Составить отчет по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям на примере влияния штормов Ладожского озера на мутность в р. Нева.

В выпускной квалификационной работе будет использована актуальная нормативная документация. Будут использованы научные статьи, для подкрепления обоснований о данной территории. И все данные для обработки взяты из открытых источников.

Данная работа должна облегчить поиск данных для изыскательных работ по проектированию водозаборов.

Структура работы обусловлена предметом, целью и задачами исследования. Работа состоит из введения, двух глав и заключения.

Введение раскрывает актуальность, определяет степень научной разработки темы, объект, предмет, цель, задачи и методы исследования, раскрывает теоретическую и практическую значимость работы.

В первой главе рассматриваются: Физико-географическая характеристика р. Нева; Расположение водозабора ГУП Водоканал «Северная водопроводная станция»; методика прогноза мутности на водозаборах. Во второй главе делается акцент на расчет влияния Ладожского озера на мутность в р.Нева.

1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО Р.НЕВА И ОБЪЕКТЫ НАБЛЮДЕНИЯ.

1.1. Краткая физико-географическая характеристика р. Нева

Река Нева берет начало в Ладожском озере и впадает через Невскую губу в Финский залив Балтийского моря. Река находится на территориях Ленинградской области и г. Санкт-Петербург.

Город Санкт-Петербург, который является административным центром Северо-Западного федерального округа, находится в дельте реки Невы у восточной оконечности Финского залива Балтийского моря. Совместно с административно подчиненными территориями г. Санкт - Петербург имеет площадь 1439 км², при этом на водосборный бассейн Невы приходится 718 км², а это половина площади города.

Река Нева (рис. 1.1.) глубокая и широкая, её характеристики составляют следующее: средняя глубина варьируется от 8-11 м., максимальная глубина составляет – 24 м., наименьшая глубина – 4 м.; средняя ширина 400 – 600 м., самые широкие места 1000 – 1250 м.; средний многолетний уровень падения реки – 4,26 м. Общая водосборная площадь реки Невы составляет 281 тыс. км², что составляет около 2% от общей площади бассейна. Река входит в состав Волго-Балтийского водного пути и Беломорско-Балтийского канала и судоходна на всем своём протяжении. Бассейн отличается наличием многочисленных озёр, сложной структурой гидрологической сети и частичным регулированием стока озёрами и водохранилищами. Среди рек Европы Нева занимает 6-7 место по среднегодовому стоку, несмотря на свою относительно небольшую протяженность.



Рис.1.1. Расположение р. Невы.

Ленинградская область входит в СЗФО (Северо-Западный Федеральный Округ) и погранична с пятью субъектами РФ: г. Санкт-Петербургом, Республикой Карелия, Вологодской, Новгородской и Псковской областями. У Ленинградской области государственная граница со странами Европейского Союза: Финляндией и Эстонией. С запада областная территория окружена Финским заливом. Площадь территории Ленинградской области составляет 85,3 тыс. км², из них 53,3 тыс. км² (больше половины) находится в водосборном бассейне Невы (с учетом всего Ладожского озера).

1.2. Строение и рельеф территории бассейна реки Невы

Территория бассейна р. Невы относится к физико-географическим странам Балтийского щита и Русской равнины. Нынешний рельеф сформировался во время Валдайского оледенения в период от 50 до 10 тыс. лет назад. Это и стало определятельным фактором в разнообразии «последледникового» рельефа. На Балтийском кристаллическом щите преобладал вынос, а на Русской равнине – аккумуляция ледниковых осадков.

На большей части территории расположены низменные пространства, такие как Невская и Приладожская низменности, Вуоксинская и Свирская низины и др. Из всех равнин выделяются участки холмистых образований и гряды, произошедшие из водных ледников. Среди возвышенностей района выделяются следующие: обширное Ижорское плато (до 160 м.), Вепсовскую и Лемболовскую возвышенности (200 – 300 м.), Тихвинскую гряду (до 280 м.), конкретные возвышенности около Санкт-Петербурга: Дудерговские, Пулковские и Парголово-ские высоты (100 – 300 м.) и др. Балтийско-Ладожская область граничит на юге глинтom – уступом, расположившегося вдоль южного берега Финского залива и Ладожского озера от г. Нарвы до р. Волхов (рис. 1.2.). Наивысшие абсолютные отметки бровки глинта — на Ижорской возвышенности. Озерно-ледниковые равнины ограничены поясом моренных равнин с отметками высот 50 – 110 м. У них выровненная поверхность, на которой периодически встречаются скопления валунно-галечного материала. К этой полосе присоединены обширные водораздельные болотные массивы.

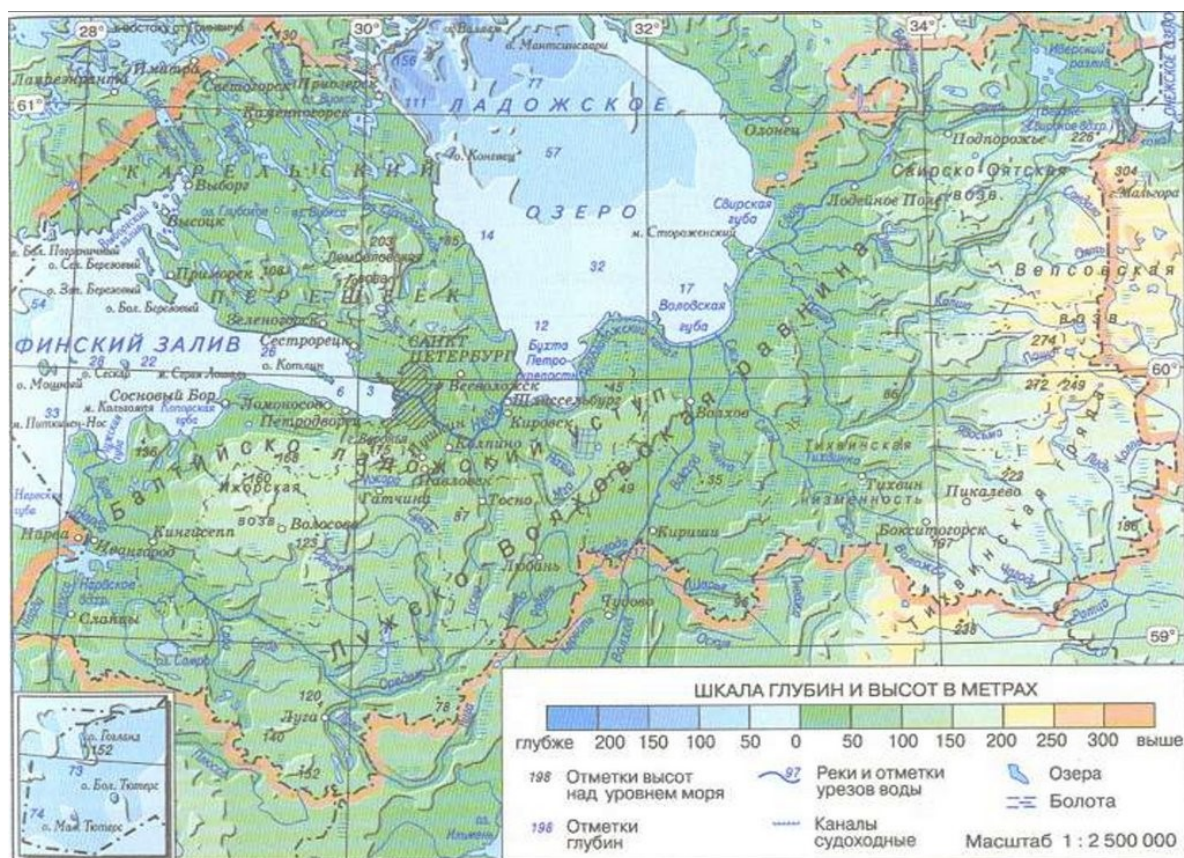


Рис. 1.2. Карта рельефа Ленинградской области.

В физико-географическом строении на территории насчитывается 34 ландшафта, относящихся к 14 видам. В делении на зоны выделяются подзоны средней и южной тайги. В пределах ландшафтной области можно выделить ландшафтные провинции и подпровинции, которые составляют часть природной зоны или подзоны. Большая часть бассейна р. Нева находится в восточноевропейском районе таежной зоны в пределах Северо-Западной таежной провинции. Более 90% территории области можно считать южно-таежной подпровинцией, и лишь небольшая часть на дальнем северо-востоке—северо-таежной. Всяческие описания каждого ландшафта, характерные для него природные условия и ресурсы, для нужд обеспечения текущих и стратегических задач регионального развития, создают начало для систематического подхода к охране и грамотному использованию природных ресурсов, в том числе и водных.

Для Северо-Западного региона бассейна Невы характерны условия, когда количество осадков преобладает над испарением с поверхности суши, что приводит, главным образом, к появлению почвы подзолистого типа, которая обильна перегноем и отличается высокой степенью кислотности. Другой важной особенностью является достаточно сильная переувлажненность большинства почв региона. При этом, на суглинках, в низких местах с обильным накоплением влаги, преобладают сильноподзолистые почвы с мощным верхним слоем, с набором высоты – среднеподзолистые почвы, на супесях и песках – слабоподзолистые почвы. В районах, преобладающих травянистой растительностью – на лесных вырубках, в редких смешанных или лиственных лесах–появляются дерновоподзолистые почвы. В основном, для бассейна Невы характерна значительная неоднородность почвенного покрова. Характер распределения по территории бассейна различных типов почв зависит от состава почвообразующих пород, характера растительного покрова, рельефа

местности и режима увлажнения. Преобладающими почвообразующими породами являются глины, суглинки, пески и торф.

1.3. Притоки реки Невы

В реку Неву впадают примерно 26 рек и ручьев. Большая часть из них протекает по левобережью бассейна реки Невы. Главные из левобережных притоков: р. Мойка, р. Мга, р. Тосна, р. Ижора и р. Славянка. Наиболее крупные правобережные притоки: р. Черная, р. Дубровка, р. Черная Речка, р. Охта.

Устьевые участки притоков реки Невы большую часть года находятся в подпоре, накапливая в виде донных отложений поступившие с верховьев взвешенные наносы. Интенсивное загрязнение притоков реки Невы промышленными и бытовыми стоками существенно изменяет состав воды в устьевых зонах. Обследования [5] устьевых участков реки Славянки, реки Мурзинки и ручья Спартак указывают на большую концентрацию взвешенных наносов даже в практически неподвижной воде.

При сгоне в Невской губе продольные уклоны водной поверхности в нижнем и среднем течении реки Невы возрастают и происходит разгрузка русловых запасов воды устьевых участков рек-притоков. Вместе с водой в реку Неву из притоков поступают и взвешенные наносы. При большой интенсивности этих процессов возможен частичный размыв донных отложений на устьевых участках и переход этого материала во взвешенное состояние с последующим попаданием в реку Неву.

Еще ярче размыв донных отложений на устьевых участках прослеживается при прохождении высоких дождевых паводков. При этом сток наносов в устье формируется смывом продуктов эрозии с поверхности водосбора, за счет местных размывов в верхнем и среднем течении, в результате выноса в реку твердых частиц с промышленными и бытовыми стоками и, наконец, путем размыва донных отложений на устьевом участке.

Заметную роль в формировании стока наносов рек-притоков реки Невы играют многочисленные неорганизованные свалки по берегам устьевых участков, а также береговой смыв городской пыли с оживленного шоссе, проложенного по берегам реки Невы.

При одинаковой влажности почв и равном слое дождя, большее повышение мутности притоков реки Невы вызывают паводки, наблюдающиеся через более продолжительный срок после предыдущего пика мутности. За этот срок успевают накопиться продукты эрозии на водосборах и донные отложения на устьевых участках.

Пик мутности на реках-притоках реки Невы наблюдается почти синхронно с максимумом расходов воды, т.е. в апреле. В среднем мутность воды рек-притоков больше, чем мутность реки Невы. Несмотря на это режим стока наносов в реке Неве слабо зависит от режима стока наносов в притоках. Так как средний годовой расход взвешенных наносов притоков не превышает 0,1 среднего годового расхода взвешенных наносов реки Невы.

1.4. Взмучивание в Шлиссельбургской губе

Несмотря на малую мутность, ежегодный вынос наносов р. Невы в Невскую губу измеряется тысячами тонн и может оказывать значительное влияние на процессы формирования качества воды и рельефа дна.

Однако бывают условия, когда мутность в р. Неве за короткий период может достигать высоких значений. Резкое увеличение мутности приводит к серьезным проблемам на водозаборах города Санкт-Петербурга.

Причиной такого явления являются шторма в Шлиссельбургской губе Ладожского озера. В результате штормов происходит взмучивание донных отложений, которые поступают в реку Неву. Эти же наносы составляют значительную часть илистых донных отложений рукавов дельты реки Невы и Финского залива.

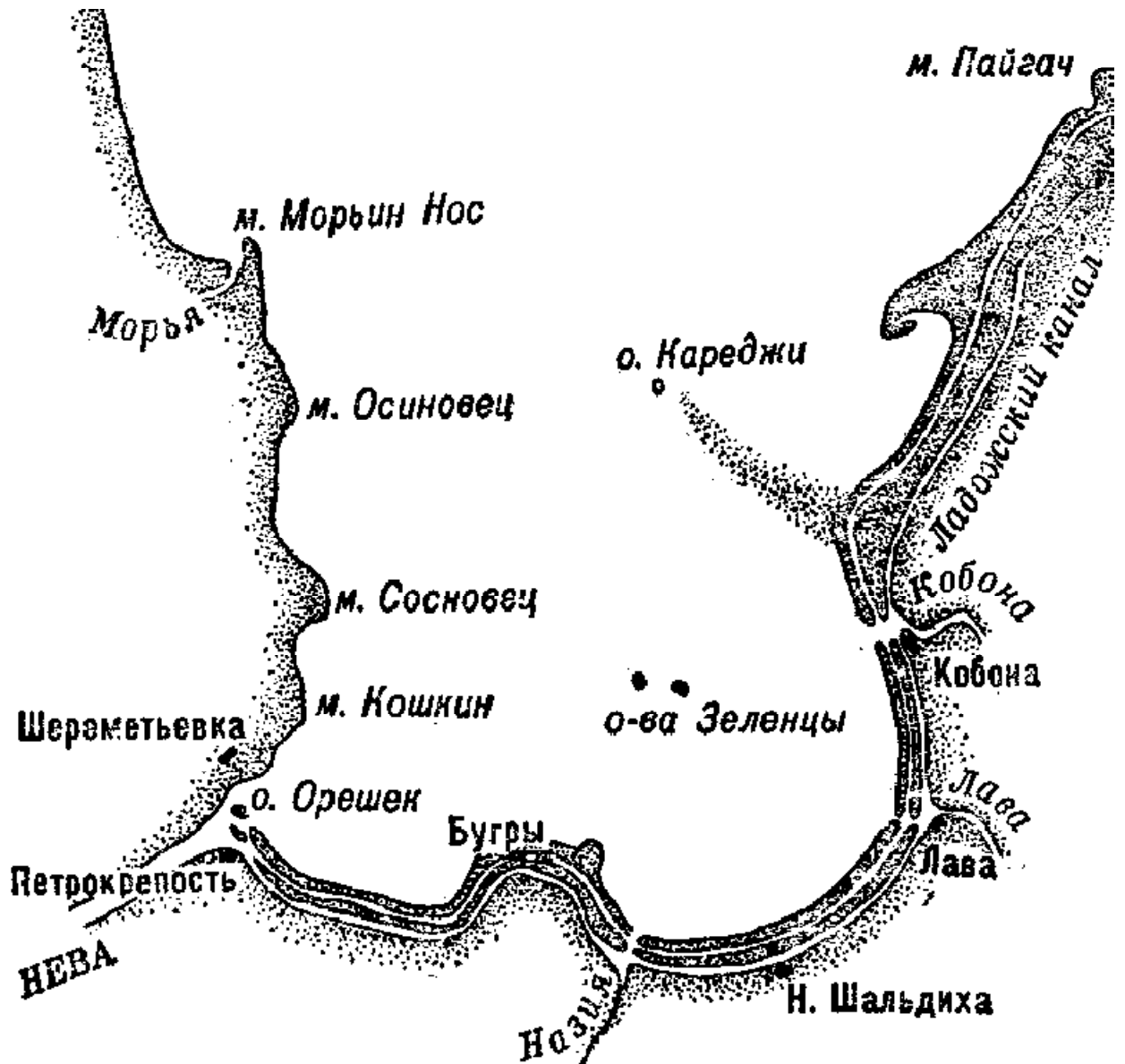


Рис. 1.3. Шлиссельбургская губа Ладожского озера.

Таким образом, мутность реки Невы зависит от погодных условий над Ладожским озером вообще и Шлиссельбургской губой в частности, и, как следствие, от особенностей волнового режима в Шлиссельбургской губе. Также мутность реки Невы будет зависеть от литодинамических процессов и проведения дноуглубительных работ в Шлиссельбургской губе.

Шлиссельбургская губа отделяется от основной акватории Ладожского озера подводными грядами банок Железница, Ольховец, Астречье, и др., глубина над которыми при среднем уровне воды составляет от 1 до 4 м, а во внутренних районах губы глубина увеличивается до 7 м. наибольшая глубина у входа в губу (Северо-западная часть) составляет 12 м.

Мелководность и сложность рельефа дна в губе создают разнообразные

условия волнообразования на различных участках. Северные склоны банки Железница имеют уклоны от 0,002 до 0,007, а в понижениях рельефа (между грядами банок) и на внутренней акватории губы уклоны дна составляют 0,001-0,005, что создает специфические условия трансформации и рефракции волн в разных районах.

Полученные [5] данные свидетельствуют: при низких уровнях воды волны высотой до 3 м (при максимальных ветрах) и до 2 м (при средних ветрах), приходящие с озера, разрушаются на северных склонах подводных банок, т.к. прибойная зона для волн таких высот начинается с глубин 3-4 м. За территорию банок проникают волны высотой 0,6-0,8 м. В узких понижениях дна между банками (ширина 2-4 км) высота волн, проникающих на акваторию губы, составляет 1,5-2,0 м, но под влиянием рефракции их высота быстро уменьшается по мере распространения над пологим дном. Волновое воздействие на дно в этот период сосредоточено главным образом на внешних склонах подводных возвышенностей т.е. почти вся волновая энергия диссипируется на банках.

Картина рефракции волн по акватории губы сохраняется в общих чертах при низких и высоких уровнях, нельзя выделить каких-либо направленных изменений в системе распространения волн. Можно отметить только, что при низких уровнях волнение в большей степени блокируется банками.

При оценке литодинамической активности южной части Шлиссельбургской губы прежде всего стоит обратить внимание на основные волноопасные направления в границах акватории, которую с севера можно примерно обозначить створом м. Кошкин - м. Бугры, а с юга периметром линии южного побережья бухты Петрокрепость. Выбранную акваторию по геоморфологическим признакам можно рассматривать как некую единую систему с общим гидрологическим режимом.

Общая экспозиция берега относительно розы ветров, определяет главные штормовые ситуации, как возникающие вследствие ветров северных

и северо-восточных румбов.

Выполненная в 1990 году батиметрическая съемка дна [5] в масштабе 1:2000 обнаружила в западной части акватории исключительно высокую степень расчлененности дна. По характеру крутизны отдельного шага промеров можно предположить, что выявленные положительные подводные микроформы относятся к элементам коренного подводного рельефа и, скорее всего, представляют собой скрытые нагромождения камней.

Последнему утверждению соответствуют данные о характере поверхностных донных грунтов бухты. Согласно этим данным, каменистые гряды и валунно-галечные отмостки являются одним из наиболее распространенных типов подстилающего грунта. Кроме того, во многих местах на поверхность выходят участки материнской породы в виде плотных (кембрийских) глин.

Отбор проб грунта, выполненный на отдельных участках экспедиционным отрядом ОИЭПР в 1990 году подтвердил, что в южной части Шлиссельбургской губы пласт рыхлых отложений, как единое целое отсутствует. Сыпучие грунты на дне локализованы в виде отдельных пятен или участков. Жесткой связи с рельефом при этом не обнаружено. Илистый материал сконцентрирован вдоль уреза в зарослях высшей водной растительности почти по всему периметру бухты.

Таким образом, исходя из общих литолого-геоморфологических критериев, в пределах рассматриваемой акватории, обнаруживаются явные признаки дефицита подвижного сыпучего материала.

Динамические характеристики исследуемого участка озера определяются в основном ветрами северных румбов. Согласно [6] наносодвижущая сила, создаваемая ветро-волновыми течениями, на западном берегу бухты Петрокрепость направлена с севера на юг и несколько возрастает по сравнению с северной частью западного побережья Ладожского озера. Причём севернее мыса Сосновец берег и подводный береговой склон сложены гравийно-песчаными отложениями, что указывает

на некоторую аккумуляцию наносов. В районе мыса Сосновец ветроэнергетические характеристики почти не меняются, и сила лобового воздействия волн остаётся почти такой же, но из-за наличия мыса значительно возрастает наносодвижущая сила. Баланс наносов на данном участке побережья становится отрицательным и процесс аккумуляции наносов сменяется размывом мыса. Наносодвижущая сила вдольберегового ветро-волнового потока быстро уменьшается по мере приближения к истоку реки Невы.

На южном берегу бухты Петрокрепость отмечается дивергенция волновых потоков. В районе истока реки Невы наносодвижущая сила, незначительная по величине, направлена с востока на запад. В районе мыса Бугры наносодвижущая сила возрастает, таким образом, южный берег бухты Петрокрепость представляет собой зону абразии. Однако, несмотря на то, что, со стороны открытой части Ладожского озера в период ветровой активности к южному берегу формируется поток волновой энергии он в значительной степени гасится обширным мелководьем. При данном типе взаимодействия ветровых волн с дном энергетическое воздействие волн на берег и подводный береговой склон значительно меньше, чем на западном побережье Шлиссельбургской губы, что служит причиной слабого наносодвижущего эффекта.

В следствии указанных причин литодинамический режим можно охарактеризовать как ослабленный.

При проведении дноуглубительных работ на Кошкинском фарватере черпаковыми землеснарядами со дна прорези были изъяты значительные объемы коренной породы, состоящей в основном из твердых глин. Извлеченный грунт по данным оперативных сводок Невско-Ладожского технического участка складывался в районе открытого грунтоотвала на траверсе маяка Бугровский.

Залповый сброс нарушенной глиняной породы на относительно малых глубинах (4-5 м) в ситуации прямого волнового воздействия на дно может

создавать негативный эффект очаговых размывов тонкодисперсного материала и возникновения полей повышенной мутности среды.

В связи с фактами резких ухудшений качества воды в реке Неве, хронологически совпадающими с периодами дноуглубительных работ, в качестве исходного тезиса была принята следующая схема:

Образующая во время размыва глинистых грунтов облака муты попадают в поле скоростей волнового переноса, характерных для условий мелководья. Распространяясь в южном или юго-западном направлениях, шлейф тонкодисперсной взвеси достигает прибрежной зоны, где частично вовлекаются в процесс вдоль берегового переноса, а частично абсорбируется чисто механическим путем прибрежной камышово-тростниковой растительностью. Основная часть дисперсоида, оказавшись в зоне действия северо-восточного потока наносов попадает в реку Неву со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями.

1.5. Гидрометеорологические характеристики и экология



Рис. 1.4. Карта ледовой обстановки.

В течение всего года на р. Неве нет весеннего подъёма воды и паводков, поскольку она имеет равномерный сток из Ладожского озера. Река замерзает по всей длине, в среднем это первая декада декабря, а дата вскрытия — первая декада апреля. Толщина льда составляет 0,3—0,4 м. в пределах г. Санкт-Петербурга, и 0,5—0,6 м. за его пределами (рис.1.4.). Иногда зимой в верхней части р. Невы возникают зажоры и заторы льда, из-за чего наводнения случаются вверх по течению. Общий объёма льда Ладожского озера составляет $10,6 \text{ км}^3$, из которых не более 5 % попадает в р. Неву.

Водная растительность Невы практически отсутствует, за исключением некоторых водных растений, которые распространяются в определенных местах вблизи берега.

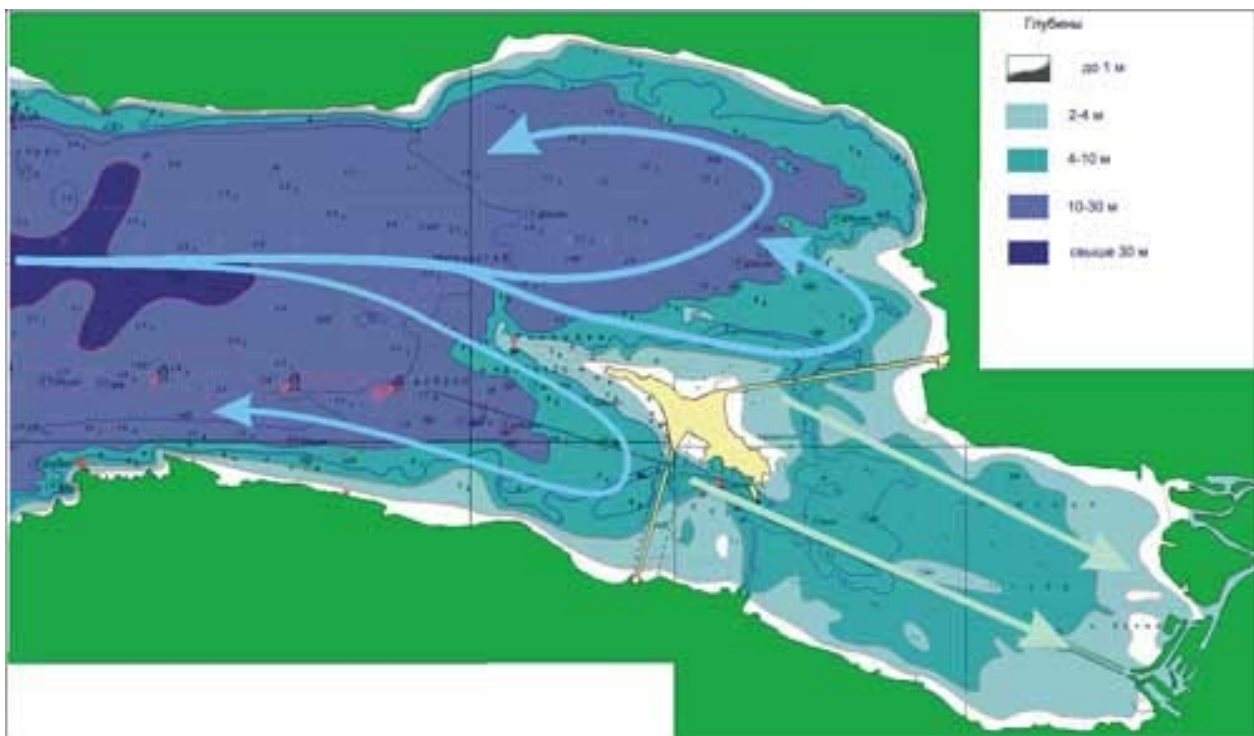


Рис. 1.5. Траектория нагонной волны

Почти каждый год на Неве, чаще всего весной, поднимается уровень воды. Происходит это в результате нагона воды юго-западными и западными ветрами в Финский залив и ее подъему в нижней части Невы (рис. 1.5.). Зачастую эти явления приводят к катастрофическим и опасным наводнениям. Регистрируются эти стихийные бедствия, когда вода поднимается выше 150 см над ординаром у Горного института или более чем на 160 см выше нуля Кронштадтского футштока. Опасными считаются наводнения с подъёмом воды до 210 см., особо опасными до 299 см., свыше 300 см. — катастрофическими.

Реку Неву, а точнее большую ее часть, относят к третьему классу загрязненности, по которому Росгидромет РФ классифицирует её как «сильно загрязнённую». В г. Санкт-Петербурга река загрязнена промышленными стоками сотен предприятий. Ежегодно в р. Неву попадает

более 80 тыс. тонн загрязняющих веществ, в том числе нефтепродукты, активно транспортируемые по ней.

1.6. Расположение водозабора ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция»



Рис. 1.6. Расположение водозабора ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция»

Водозабор располагается на юго-востоке города Санкт-Петербурга недалеко от Большого Обуховского моста на 57 км КАД, находится на правом берегу реки. С водозаборного участка вода после первичной очистки поступает по сырому водоводу на очистительную Северную водопроводную станцию, где вода проходит полную очистку и поступает потребителю.

Предкритический уровень мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» фиксируется свыше 6 мг/дм^3 в течении длительного времени (более 5 дней) для одноступенчатой схемы водоподготовки. Критическим уровнем мутности в реке Неве считается выше 10 мг/дм^3 . Если критический уровень держится какое-то время, то вода поступает в отстойник.

1.7. Исследование процессов поступления взвешенных наносов

Основными причинами формирования стока наносов являются природные и антропогенные факторы.

Основными природными факторами повышения мутности реки Невы являются:

- усиление северного и северо-восточного ветра над Ладожским озером;
- воздействие ветра указанных направлений в течение продолжительного времени;
- низкие уровни Ладожского озера в пред штормовой период;
- сгонное понижение уровня в устье реки Невы – Невской губе;
- существенное увеличение продольного уклона водной поверхности реки Невы на всем ее протяжении от истока до устья. Это может произойти при значительном по величине повышении уровня у Петрокрепости вследствие усиления северного и северо-восточного ветров над Ладогой, и при спаде уровня в устье реки Невы в результате сгона;
- низкая температура воды к началу осенних штормов на Ладоге, так как возрастание вязкости воды при понижении температуры замедляет процесс осаждения взвешенных частиц на баре Шлиссельбургской губы после шторма, поэтому увеличивается период поступления наносов в реку Неву;
- возникновение шторма вслед за относительно теплым летом с длительным штилевым периодом на Ладоге;
- выпадение существенных осадков на частный бассейн реки Невы;
- до паводка низкая, а затем резко возросшая водность рек-притоков реки Невы;
- достаточно длительный период с момента наступления предыдущего дождевого пика на притоках реки Невы до даты возникновения условий нового повышения мутности.

Перечисленные факторы и в особенности их сочетание друг с другом способны значительно усилить эффект повышения мутности и продлить период времени с аномально большим стоком наносов.

Уменьшение глубин на отмелях вблизи истока реки Невы способствует интенсификации взмучивания воды при усилении ветра. Транспортирующая способность реки Невы в истоке при прочих равных условиях возрастает с увеличением перепада отметок поверхности воды от г. Петрокрепости до Горного института.

Если прохождение циклона, вызвавшего усиление северного ветра над Ладогой, сопровождалось выпадением дождя на частном бассейне реки Невы, то после пика ладожских наносов в реку Неву начинает поступать твердый сток с водосборов её притоков.

Теплое лето с длительными штилевыми периодами благоприятствует "цветению" Ладожского озера. В результате на дне скапливается значительная масса органических отложений. В осенние штормы взвешенные наносы органического происхождения увеличивают мутность невской воды.

В число указанных выше природных факторов увеличения мутности не включен процесс вторжения в устье реки Невы "длинной" волны с Балтики. Эта волна достигает иногда Ивановских порогов, перенося вверх по течению, в том числе и взвешенные наносы, частично сформированные в черте города, т.е. антропогенного происхождения, процесс такого переноса до настоящего времени плохо изучен.

1.8. Методика прогноза мутности взмыва в Шлиссельбургской губе

Основная задача предлагаемой методики – определить значения мутности взмыва в Шлиссельбургской губе при различных метеорологических условиях и разработать прогноз поступления наносов в р. Неву. Так при Северо-Восточном ветре 10% обеспеченности со скоростью 14

м/с наблюдается сильное увеличение мутности (рис. 1.7.), а при Южном и Западных ветрах так же со скоростью 14 м/с увеличение мутности не такое значительное (рис. 1.8. и 1.9.). Значительный вклад в повышение мутности вносят отвалы грунта, сформированные в начале 80-х годов прошлого века при дноуглубительных работах на Кошкином фарватере. Эти отвалы дают большое количество наносов в период осенних штормов на Ладожском озере при ветрах Северном и Восточном направлений. Для завершения исследований необходимо определить гранулометрический состав отвалов, а также статистику повышения мутности на водозаборах и соответствующую погоду на Ладоге. В результате можно прогнозировать повышение мутности на водозаборах в зависимости от прогноза погоды над Ладогой.

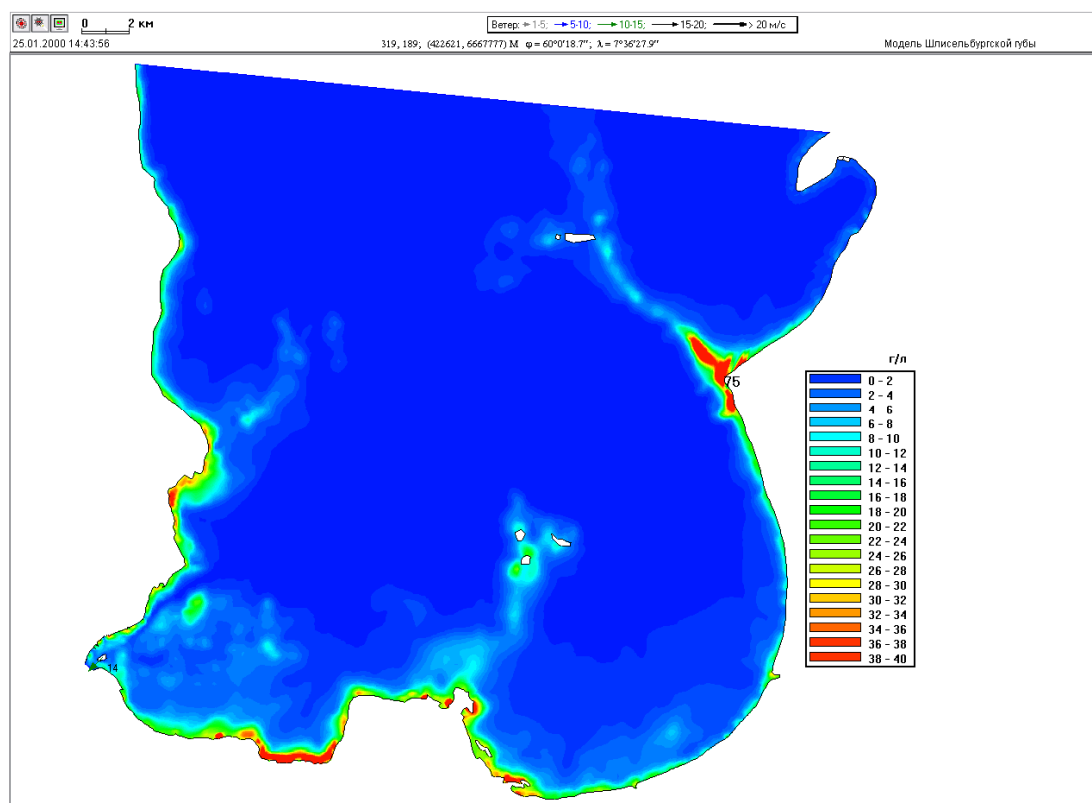


Рис. 1.7. Поле мутности Шлиссельбургской губы при Северо-Восточном ветре, со скоростью 14 м/с.

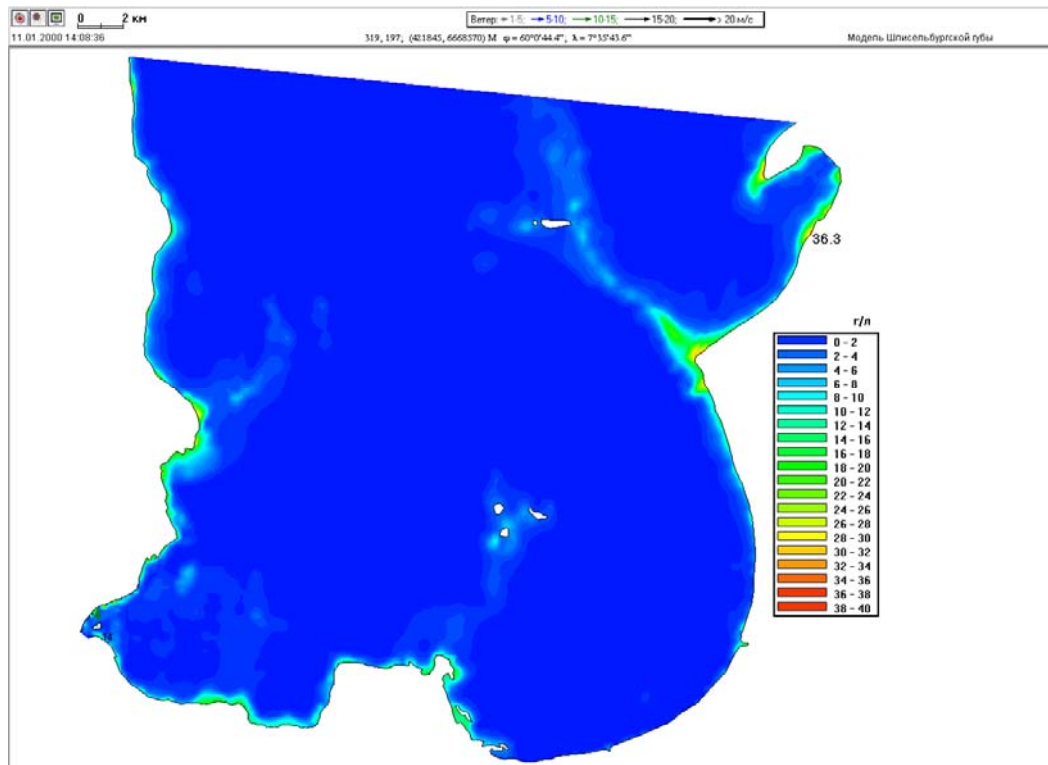


Рис. 1.8. Поле мутности Шлиссельбургской губы при Южном ветре, со скоростью 14 м/с.

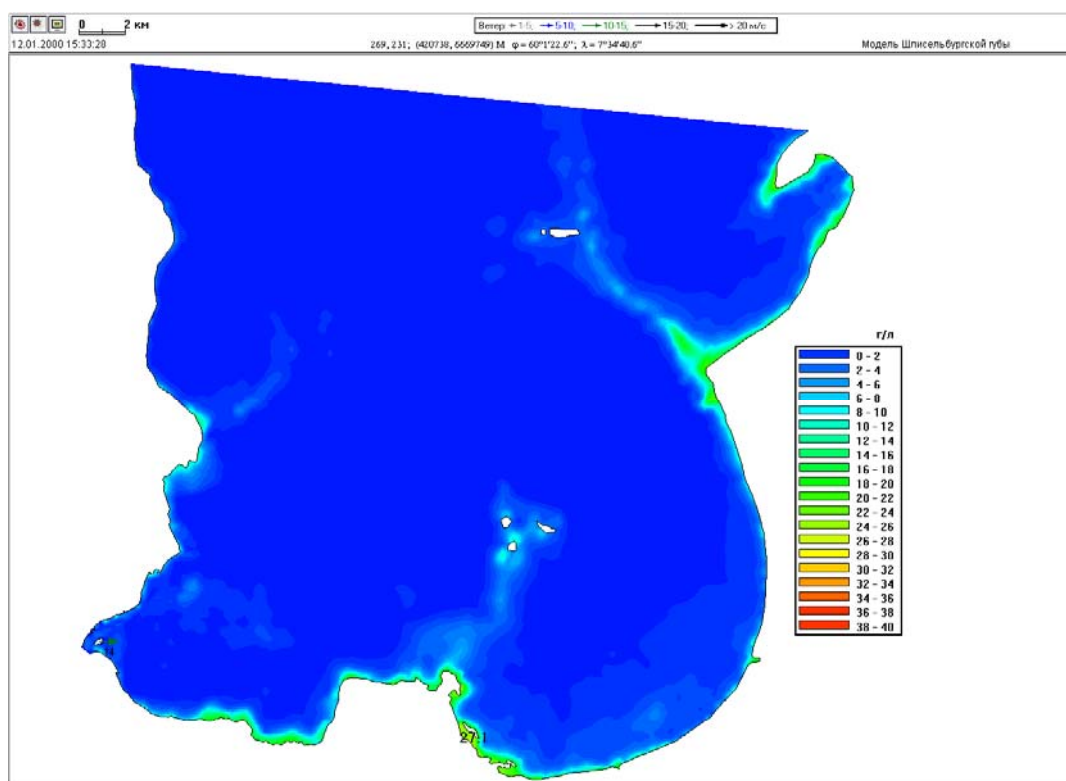


Рис. 1.9. Поле мутности Шлиссельбургской губы при Западном ветре, со скоростью 14 м/с.

1.9. Исследование стока наносов р. Невы и главных рукавов дельты

Наблюдения за мутностью реки Невы на опорной сети Росгидромета велись эпизодически: у города Отрадного в 1940 г., у посёлка Новосаратовка в 1948-1950 гг., у города Петрокрепости в 1952-1955 гг. и неполный 1956 г. [7] С 1958 г. наблюдения над мутностью в устье Невы и в Невской губе стала производить НУС [8].

Согласно сведениям, приведённым в [8], мутность воды реки Невы в среднем составляет 4-10 мг/л, незначительно изменяясь от истока к устью. По данным наблюдений у посёлка Новосаратовка, были построены графики связи расходов воды и расходов взвешенных наносов с помощью которых вычислялись среднемесячные, среднегодовые и средние многолетние расходы взвешенных наносов. Среднемноголетняя величина стока наносов реки Невы, полученная из среднемесячных данных за 1948-1956 гг. выраженная в виде расхода взвешенных наносов, равна 16,07 кг/сек.

Норма стока взвешенных наносов была, определена методом Г. П. Иванова по кривой обеспеченности отдельно для каждого года: 1949, 1952-1955 гг., а за окончательный результат было взято среднее значение 17,74 кг/сек.

Распределение стока наносов внутри года зависит от множества факторов от годового хода стока воды, от режима волнения в Шлиссельбургской губе, от стока наносов притоков и от сброса промышленных вод.

Согласно [8] сезонный ход взвешенных наносов в Неве имеет два минимума и два максимума. Минимальные расходы взвешенных наносов в Неве наблюдаются в феврале и марте при минимальном стоке воды. Ледяной покров в Шлиссельбургской губе исключает влияние ветра и волнения на взмучивание наносов и вынос их в Неву. Максимальные расходы взвешенных наносов наблюдаются во время половодья. В августе бывает

второй минимум, а в октябре – второй максимум. С начала ледостава расход взвешенных наносов резко уменьшается. Такое внутригодовое распределение расходов взвешенных наносов можно объяснить неодинаковым взмучиванием, связанным с режимом ветра и выносом взвешенных частиц из Шлиссельбургской губы в Неву.

Среднегодовой расход взвешенных наносов притоков не превышает одной десятой среднегодового расхода взвешенных наносов Невы. Поэтому режим наносов в Неве в малой степени зависит от режима наносов в притоках. Естественная мутность невской воды может повышаться в десятки раз вследствие сброса промышленных, канализационных и ливневых вод. Влиянием сброса канализационных вод можно также объяснить увеличение мутности в дельте по сравнению с мутностью в истоке. При этом необходимо учитывать очень малую изменчивость мутности на всем протяжении реки Невы.

В связи с началом строительства комплекса защитных сооружений города Санкт-Петербурга от наводнений в 1979 г. ГГИ проводились исследования, с целью выяснить повлияют ли эти сооружения на режим наносов в реке Неве и Невской губе. В связи с чем, в 1981-1982 гг. были выполнены исследования по определению гранулометрического состава донных отложений и мутности воды в Невской губе, и оценке количества наносов, поступающих в губу вместе со стоком реки Невы [9]. Несмотря на малую мутность, ежегодный вынос наносов реки Невы в Невскую губу измеряется сотнями тысяч тонн и может оказывать ощутимое влияние на качество Невской воды и рельеф дна Невской губы. Поэтому установление объёмов стока наносов реки Невы представляет определенный интерес при рассмотрении возможных изменений гидрологического режима Невской губы в результате строительства комплекса защитных сооружений города Санкт-Петербурга от наводнений.

В [9] для получения многолетних характеристик стока наносов использовались косвенные способы, опирающиеся на данные многолетних измерений стока воды (1859-1978 гг.). Сток взвешенных наносов подсчитывался с использованием графика связи измеренных расходов взвешенных наносов с расходами воды реки Невы. Последние получены по кривым вероятности превышения средних суточных расходов воды реки Невы за характерные по водности годы. Сток влекомых наносов подсчитывался аналогичным способом. Результаты расчётов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. – Многолетние характеристики стока наносов, поступающих в Невскую губу со стоком реки Невы в различные по водности годы.

Характеристика года	Сток воды, км ³	Сток наносов					
		Взвешенных		Влекомых		Суммарный	
		тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
Многоводный P = 5%	104,4	1716	79	459	21	2175	100
Средний по водности P = 50%	79,1	482	77,5	140	22,5	622	100
Маловодный P = 95%	61,0	235	75,6	76	24,4	311	100

Сколько-нибудь надёжных расчётов статистических характеристик твёрдого стока реки Невы не выполнено до настоящего времени. Так как вычисление расхода наносов в зависимости от расхода воды не учитывает климатические факторы над Ладожским озером, являющиеся причиной взмучивания наносов в Шлиссельбургской губе с последующим их поступлением в реку Неву.

Согласно некоторым предварительным выводам, сделанным в работах Р. А. Нежиховского [10], средняя мутность невиской воды составляет около 7мг/л. В течение года значения мутности изменяются: зимой достигают

минимума (2-3мг/л), весной несколько возрастают (до 10-20 мг/л), но особенно сильно возрастают осенью (до 30-40мг/л). Особенно резкие изменения происходят во время штормов на Ладоге – главным образом потому, что волнение поднимает со дна Шлиссельбургской губы ил и песок, при этом за многолетний период отмечены случаи, когда мутность возрастала до 100-120мг/л.

Наблюдения 1990 г., выполненные в рамках экспедиционных [5] не подтвердили вывода Р. А. Нежиховского о том, что взвешенные наносы на 80 % состоят из минеральных веществ, а на 20 % – из органических. В меженный период при относительно слабом ветре над Ладожским озером в июле-октябре 1990 г. большинство проб невской воды, свидетельствовали о примерном равенстве долей органических и минеральных веществ, вплоть до некоторого количественного преобладания органики. В пробах воды, отобранных на максимуме мутности 21.10.90 г. (сильный северо-северо-восточный ветер над Ладожским озером), минеральные вещества составили более 90 % выделенных на фильтр наносов.

В работе Р. А. Нежиховского [10] указано, что за многолетний период наблюдений отмечены случаи возрастания мутности невской воды до 100-120 мг/л; Примерно таких же значений достигла мутность 21.10.90 г., а именно 145мг/л.

Имеющихся данных недостаточно для надежной оценки вариации твердого стока реки Невы. Теоретические исследования по выявлению и ранжированию факторов, влияющих на изменение мутности невской воды, создают научную базу для моделирования процессов формирования наносов и для расчета параметров распределения важнейших показателей твердого стока.

1.10. Современное состояние и проблемы

Сток наносов в поступательном потоке и при волновом режиме следует различать по способу перемещения наносов. Выделяют соответственно влечение наносов по дну, движение сальтацией в придонной области, когда частицы наносов отрываются от дна и перебрасываются на короткие расстояния в придонном слое водного потока, и движение во взвеси, когда наносы сравнительно долго пребывают в толще потока, поддерживаемые турбулентными вихрями в массе движущейся воды.

Поднятые со дна наносы находятся под воздействием кинетической энергии потока, силы тяжести, притягивающей их ко дну, и сил трения, особенно проявляющихся в турбулентном потоке при разности скоростей отдельных струй и при падении частиц. Если в последнем случае вес частицы уравнивает силу трения, то это приводит в спокойной воде к равномерному падению ее со скоростью, называемой гидравлической крупностью частицы. Для естественных, турбулентных потоков, жидкость в которых находится в возмущенном состоянии, встречается ряд дополнительных трудностей при применении понятия гидравлической крупности. Это, в частности, вопросы поведения частицы в турбулентных потоках и вопросы влияния концентрации наносов на гидравлическую крупность (так называемое «стесненное обтекание частиц»), представляющие самостоятельную проблему.

При свободном падении в жидкости частица под действием силы тяжести сначала движется ускоренно, пока сила тяжести не уравновесится силой сопротивления, затем – равномерно. Длина пути разгона частицы невелика и зависит от ее массы. Для мелких частиц она измеряется миллиметрами. [11]

Не существует общепризнанной теории турбулентности жидкого потока, что является причиной отсутствия теории взвешивания наносов. Несмотря на это, благодаря накоплению сведений о структуре турбулентных потоков и построению реалистичных моделей турбулентности, рядом исследователей были предприняты попытки разработать достаточно обоснованные

полуэмпирические теории взвешивания наносов.

М.А. Великановым была предпринята оригинальная попытка разработать «гравитационную теорию» движения взвешенных наносов. Он исходил из положения, что взвешивание и движение тяжелых частиц происходят за счет гравитационных сил потока, и предполагал учитывать взаимное влияние взвешенных частиц и их влияние на структуру потока. Следует признать, что теория Великанова не доработана до конца, хотя его концепции являются оригинальными. Широкого распространения теория не получила.

В 1938 г. В.Н. Гончаровым была разработана «структурная теория» движения наносов, основанная на собственной концепции кинематической структуры потока. За счет гидродинамических условий обтекания частицы над ней создаются подъемные силы, отрывающие частицу от дна потока. Последующее перемещение частицы вверх осуществляется основными вихрями.

Сильной стороной концепции является физическое обоснование процесса движения наносов вверх, т.е. против действия силы тяжести, которое Гончаров объясняет вихревыми силами. Кроме того, им введено понятие потолка взвешивания как той максимальной высоты, на которую частицы наносов могут быть подняты вихрями. Значение этой величины может быть меньше или равно глубине потока, что, в общем, подтверждается данными натурных измерений. [11]

В.М. Маккавеев наиболее подробно разработал принципы диффузионной теории, основанной на гипотезе, что среднее количество материала, переносимое турбулентным потоком, пропорционально градиенту ее осредненной концентрации в потоке, т. е. частицы взвеси движутся из области высокой в область более низкой мутности. Диффузионная теория нашла широкое применение в расчетах для потоков равномерного установившегося движения и подтверждена как натурными, так и экспериментальными данными. В то же время она не лишена недостатков. Основными из них, как отмечает А.В. Караушев, являются: не учет влияния

взвешенных частиц на структуру турбулентного потока, а также не учет взаимного влияния частиц, отсутствие учета инерции твердых частиц в пульсирующем потоке и др. Одним из наиболее крупных недостатков диффузионной теории является широкое применение коэффициента турбулентного обмена, рассчитываемого с недостаточной точностью ввиду наличия только эмпирических формул.

Не входя в детальное рассмотрение этих теорий, отметим применение одной из них – диффузионной Ржаницыным, Башкировым и Караушевым для расчета твердого расхода в поступательном потоке, при условии распространения по его поверхности прогрессивных волн.

2. РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ШТОРМА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА НА МУТНОСТЬ В Р. НЕВА

2.1. Определение расчётных характеристик мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная Водопроводная Станция»

Из массива данных ежедневных наблюдений за мутностью в период наблюдений за 2018 - 2023 гг. были построены графики чтобы узнать количество максимальных пиков мутности (рис. 2.1 – 2.7.).

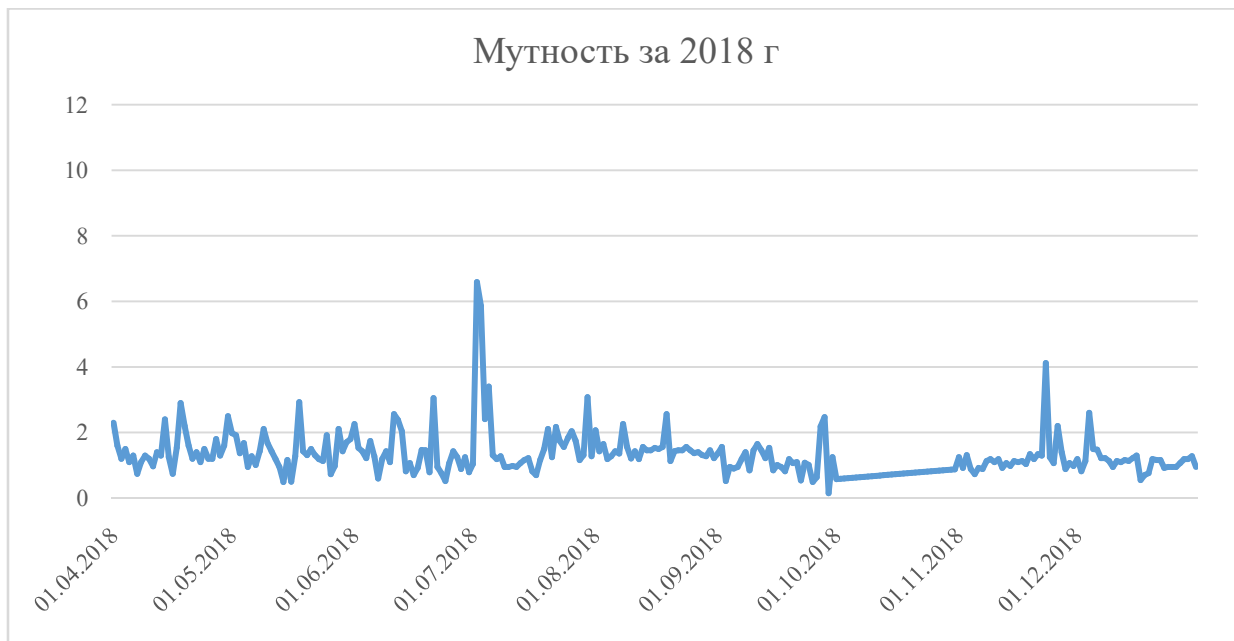


Рис. 2.1. График наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за 2018 г.

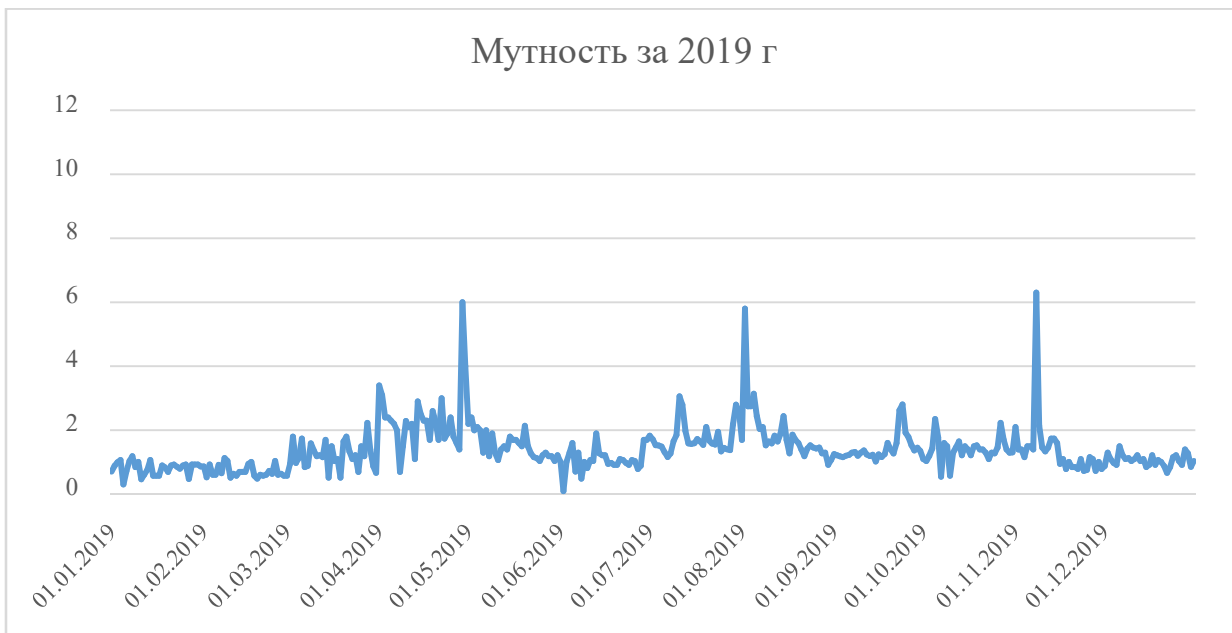


Рис. 2.2. График наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за 2019 г.



Рис. 2.3. График наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за 2020 г.

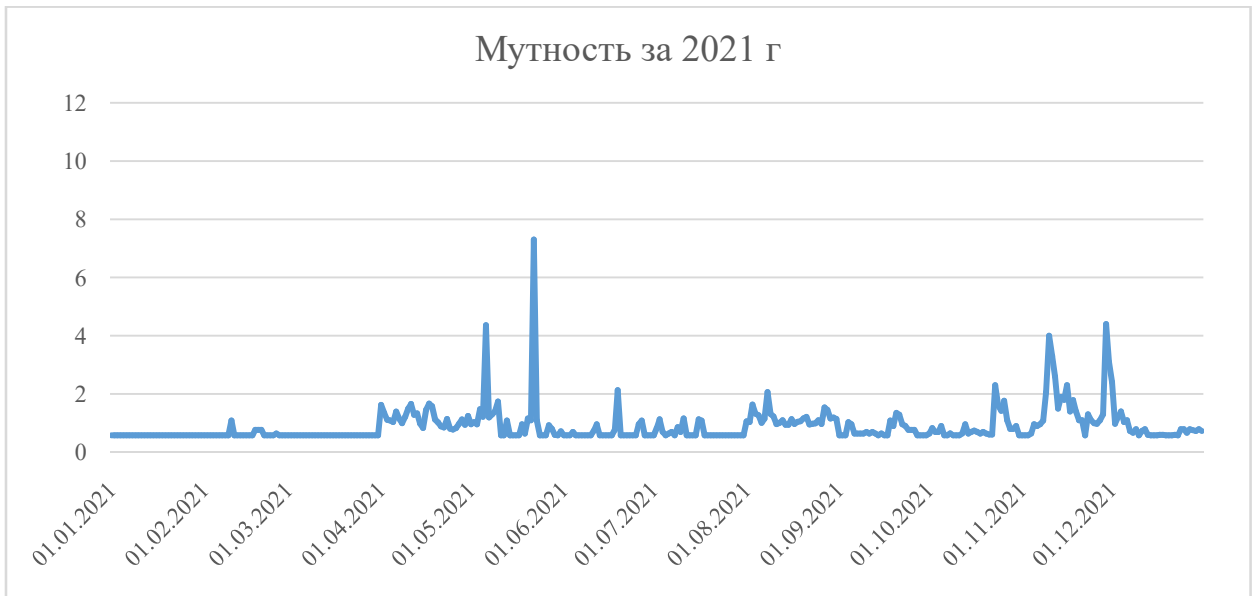


Рис. 2.4. График наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за 2021 г.



Рис. 2.5. График наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за 2022 г.



Рис. 2.6. График наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за 2023 г.

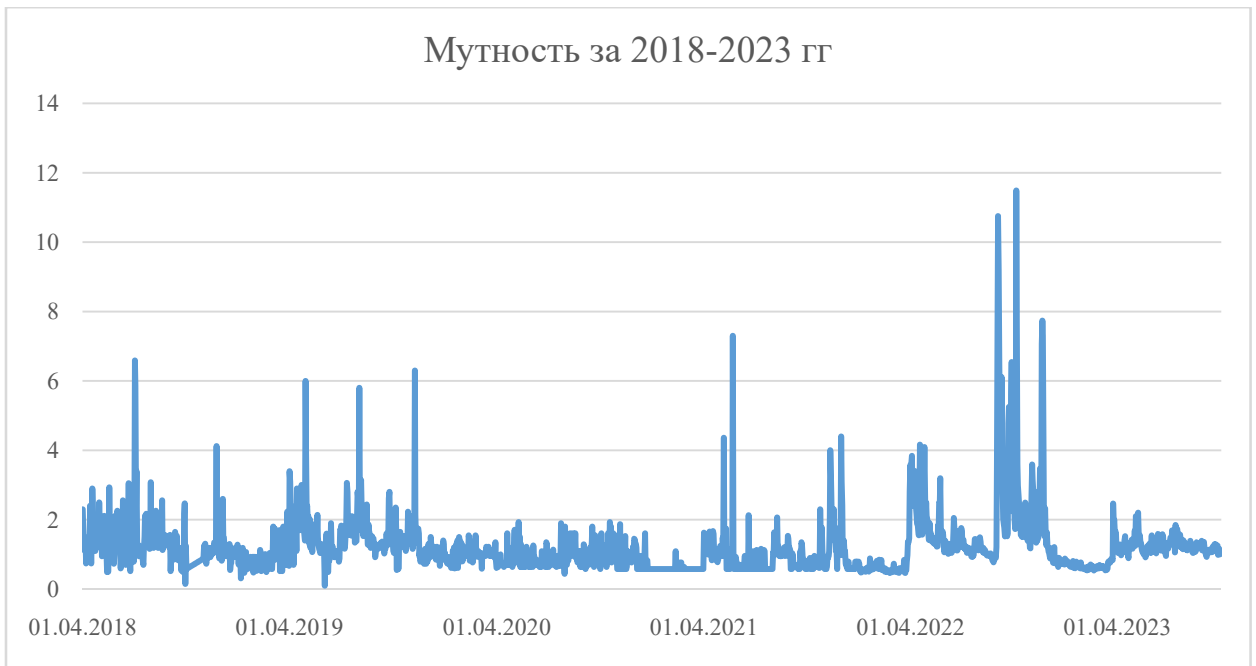


Рис. 2.7. Общий график наблюдения мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная водопроводная станция» за период 2018-2023 гг.

Для расчётов были выбраны пики от 6 мг/дм³.

2.2. Определение расчётных характеристик направление ветра

Из массива данных ежедневных наблюдений, взятых с сайта rp5.ru, были использованы данные скорости и направления ветра в период 2018 - 2023 гг. Были построены графики чтобы узнать розу ветров и скорость ветра в районе города Шлиссельбург (рис. 2.8. и рис. 2.9.).



Рис. 2.8. Роза ветров за период с 2018-2023 гг.



Рис. 2.9. Роза ветров за период с 2018-2023 гг. (порывы).

Таблица 2.1. Направление скорости ветра

Скорость м/с	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	Все румбы	%
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	17	17	68	0,5
16	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	48	0	16	16	16	0	128	0,9
15	0	15	0	0	0	0	0	0	30	30	75	0	135	15	0	15	315	2,1
14	28	14	28	14	0	28	0	0	56	14	196	98	126	0	42	56	700	4,7
13	13	26	39	26	13	39	0	13	143	78	286	143	0	52	39	39	949	6,4
12	96	132	108	0	0	156	0	12	264	300	480	0	588	192	228	96	2652	17,9
11	55	77	154	33	33	429	22	22	572	451	0	451	781	286	198	275	3839	25,9
10	170	290	200	10	70	480	80	50	730	0	1030	550	1440	520	360	200	6180	41,7
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	24	0,1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	14	7	0	0	0	70	0,2
6	12	0	0	0	0	0	0	0	114	60	174	24	54	6	12	30	486	1,6
5	20	10	10	0	0	45	0	0	315	325	465	155	320	35	25	30	1755	5,7
4	64	80	24	0	8	208	0	4	716	776	1164	440	952	336	188	152	5112	16,6
3	273	285	189	12	54	654	30	57	1281	870	1452	963	1224	489	447	303	8583	27,9
2	428	444	544	164	454	1176	194	222	1026	644	1182	1130	1138	360	474	456	10036	32,6
1	307	274	452	395	619	376	145	127	228	155	297	324	463	174	183	156	4675	15,2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Скорость	1104	1093	1219	571	1135	2459	369	410	3680	2830	4807	3050	4158	1400	1329	1127	-	-
Скорость,%	3,6	3,6	4,0	1,9	3,7	8,0	1,2	1,3	12,0	9,2	15,6	9,9	13,5	4,6	4,3	3,7	-	100
Порыв	362	554	529	83	116	1132	102	97	1811	889	2115	1276	3086	1081	900	698	-	-
Порыв,%	2,4	3,7	3,6	0,6	0,8	7,6	0,7	0,7	12,2	6,0	14,3	8,6	20,8	7,3	6,1	4,7	-	100

2.3. Расчет высоты волн при скорости ветра до 8 м/с

Прежде чем перейти к расчёту высоты волн, необходимо определиться с выбором направлением ветра, которые в будущем, смогут в значительной степени повлиять на определения взмыва в Шлиссельбургской губе Ладожского озера. Определять направления будем руководствоваться из данных наблюдений направление ветра в момент пиков мутности, данные которые приведены в таблицах 2.2. – 2.9. расчёт до 8 м/с.

Таблица 2.2. Таблица мутности воды и параметров ветра для 1 пика

1 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	02.07.2018	6,59	1,75	СВ
t-1	01.07.2018	1,04	3,13	СВ
t-2	30.06.2018	0,79	2,75	СВ

Таблица 2.3. Таблица мутности воды и параметров ветра для 2 пика

2 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	29.04.2019	6	1,00	СВ
t-1	28.04.2019	1,4	2,25	СВ
t-2	27.04.2019	1,6	1,63	СВ

Таблица 2.4. Таблица мутности воды и параметров ветра для 3 пика

3 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	08.11.2019	6,3	1,25	В
t-1	07.11.2019	1,4	1,63	В
t-2	06.11.2019	1,5	2,38	СВ

Таблица 2.5. Таблица мутности воды и параметров ветра для 4 пика

4 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	22.05.2021	7,3	3,00	ЮЮЗ
t-1	21.05.2021	1,1	2,50	ЮЗ
t-2	20.05.2021	1,16	2,63	ЮЮЗ

Таблица 2.6. Таблица мутности воды и параметров ветра для 5 пика

5 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	02.09.2022	10,75	2,14	ССЗ
t-1	01.09.2022	7,86	2,75	ССЗ
t-2	31.08.2022	3,57	3,29	ССЗ

Таблица 2.7. Таблица мутности воды и параметров ветра для 6 пика

6 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	26.09.2022	6,50	0,43	З
t-1	25.09.2022	5,67	1,63	ССВ
t-2	24.09.2022	3,28	1,43	СВ

Таблица 2.8. Таблица мутности воды и параметров ветра для 7 пика

7 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	04.10.2022	11,49	0,86	ВСВ
t-1	03.10.2022	2,30	2,25	СВ
t-2	02.10.2022	1,74	0,57	ВЮВ

Таблица 2.9. Таблица мутности воды и параметров ветра для 8 пика

8 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	19.11.2022	7,74	1,14	ВСВ
t-1	18.11.2022	7,06	1,00	СВ
t-2	17.11.2022	2,56	1,57	ВСВ

Чтобы наглядно узнать уровень значимости ветров, обратимся к карте, ориентированной по сторонам света (Рис. 2.10.).



Рис. 2.10. Ориентация относительно сторон света

На снимке видно, что стороны от СВ до В имеют самое большое расстояние. Уже сейчас можно предположить, что волны, нагоняемые СВ, ВСВ и В ветров, проходят через всю Шлиссельбургскую губу Ладожского озера, будет большое влияние на поднятие мутности.

Итак, перейдём к расчёту высоты волн. Расчёт будет вестись по методу Н.А.Лобзовского, основанном на уравнении баланса волновой энергии Маккавеева. Этот метод лучше всего подходит для озёр и водохранилищ, а также даёт нам возможность автоматизировать расчёт посредством MicrosoftExceli использовать шаблон расчёта в будущем, манипулируя лишь исходными данными.

Формула Лобзовского имеет вид:

$$h = 0.073 * k * W * \sqrt{\varepsilon D}$$

где: W – скорость ветра

ε – крутизна волны

D – длина разгона волны

k –коэффициент, учитывающий повышенную интенсивность развития волн в начале разгона.

В этой формуле мы сможем вычислить все неизвестные характеристики

$$\text{Крутизна волны: } \varepsilon = \frac{1}{0,9*(100+W^2)^{1/2}};$$

$$\text{Коэффициент } k: k = 1 + e^{0.4 D/w}.$$

Расчёт высоты волн произведен для всех направлений зафиксированных в даты пиков мутности. Длина разгона волны взята из таблицы 2.10.

Таблица 2.10. Расстояние от точки измерений

расстояние от точки измерений	км
С	0,9
ССВ	1,35
СВ	27
ВСВ	29
В	28,8
ВЮВ	10,6
ЮВ	5,4
ЮЮВ	2,6
Ю	0,39
ЮЮЗ	0,58
ЮЗ	3,2
ЗЮЗ	0,68
З	0,62
ЗСЗ	0,6
СЗ	0,59
ССЗ	0,57

Таблица 2.11. Расчёт волны для ССВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ϵ	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	1,35	0,00	0,00
1	0,11	1,35	2,34	0,01
2	0,11	1,35	2,71	0,02
3	0,11	1,35	2,94	0,02
4	0,10	1,35	3,08	0,03
5	0,10	1,35	3,18	0,04
6	0,10	1,35	3,26	0,05
7	0,09	1,35	3,31	0,06
8	0,09	1,35	3,36	0,07

Таблица 2.12. Расчёт волны для СВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ϵ	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	27	0,00	0,00
1	0,11	27	2,00	0,03
2	0,11	27	2,00	0,05
3	0,11	27	2,00	0,07
4	0,10	27	2,00	0,10
5	0,10	27	2,01	0,12
6	0,10	27	2,02	0,14
7	0,09	27	2,03	0,16
8	0,09	27	2,05	0,18

Таблица 2.13. Расчёт волны для ВСВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ϵ	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	29	0,00	0,00
1	0,11	29	2,00	0,03
2	0,11	29	2,00	0,05
3	0,11	29	2,00	0,08
4	0,10	29	2,00	0,10
5	0,10	29	2,00	0,12
6	0,10	29	2,01	0,15
7	0,09	29	2,02	0,17
8	0,09	29	2,04	0,19

Таблица 2.14. Расчёт волны для В румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	28,8	0,00	0,00
1	0,11	28,8	2,00	0,03
2	0,11	28,8	2,00	0,05
3	0,11	28,8	2,00	0,08
4	0,10	28,8	2,00	0,10
5	0,10	28,8	2,01	0,12
6	0,10	28,8	2,01	0,15
7	0,09	28,8	2,02	0,17
8	0,09	28,8	2,04	0,19

Таблица 2.15. Расчёт волны для ВЮВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	10,6	0,00	0,00
1	0,11	10,6	2,00	0,02
2	0,11	10,6	2,01	0,03
3	0,11	10,6	2,04	0,05
4	0,10	10,6	2,09	0,06
5	0,10	10,6	2,15	0,08
6	0,10	10,6	2,22	0,10
7	0,09	10,6	2,28	0,11
8	0,09	10,6	2,35	0,13

Таблица 2.16. Расчёт волны для ЮЮЗ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	0,58	0,00	0,00
1	0,11	0,58	2,80	0,01
2	0,11	0,58	3,15	0,01
3	0,11	0,58	3,31	0,02
4	0,10	0,58	3,40	0,02
5	0,10	0,58	3,46	0,03
6	0,10	0,58	3,50	0,04
7	0,09	0,58	3,53	0,04
8	0,09	0,58	3,55	0,05

Таблица 2.17. Расчёт волны для ЮЗ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	3,2	0,00	0,00
1	0,11	3,2	2,05	0,01
2	0,11	3,2	2,26	0,02
3	0,11	3,2	2,46	0,03
4	0,10	3,2	2,62	0,04
5	0,10	3,2	2,74	0,06
6	0,10	3,2	2,85	0,07
7	0,09	3,2	2,93	0,08
8	0,09	3,2	3,00	0,09

Таблица 2.18. Расчёт волны для З румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	0,62	0,00	0,00
1	0,11	0,62	2,76	0,01
2	0,11	0,62	3,12	0,01
3	0,11	0,62	3,29	0,02
4	0,10	0,62	3,38	0,02
5	0,10	0,62	3,44	0,03
6	0,10	0,62	3,48	0,04
7	0,09	0,62	3,51	0,04
8	0,09	0,62	3,54	0,05

Таблица 2.19. Расчёт волны для ССЗ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	0,57	0,00	0,00
1	0,11	0,57	2,81	0,01
2	0,11	0,57	3,16	0,01
3	0,11	0,57	3,32	0,02
4	0,10	0,57	3,41	0,02
5	0,10	0,57	3,46	0,03
6	0,10	0,57	3,50	0,04
7	0,09	0,57	3,53	0,04
8	0,09	0,57	3,55	0,05

По данным полученных расчётов построена зависимость высот волн от мутности рассчитанных направлений.

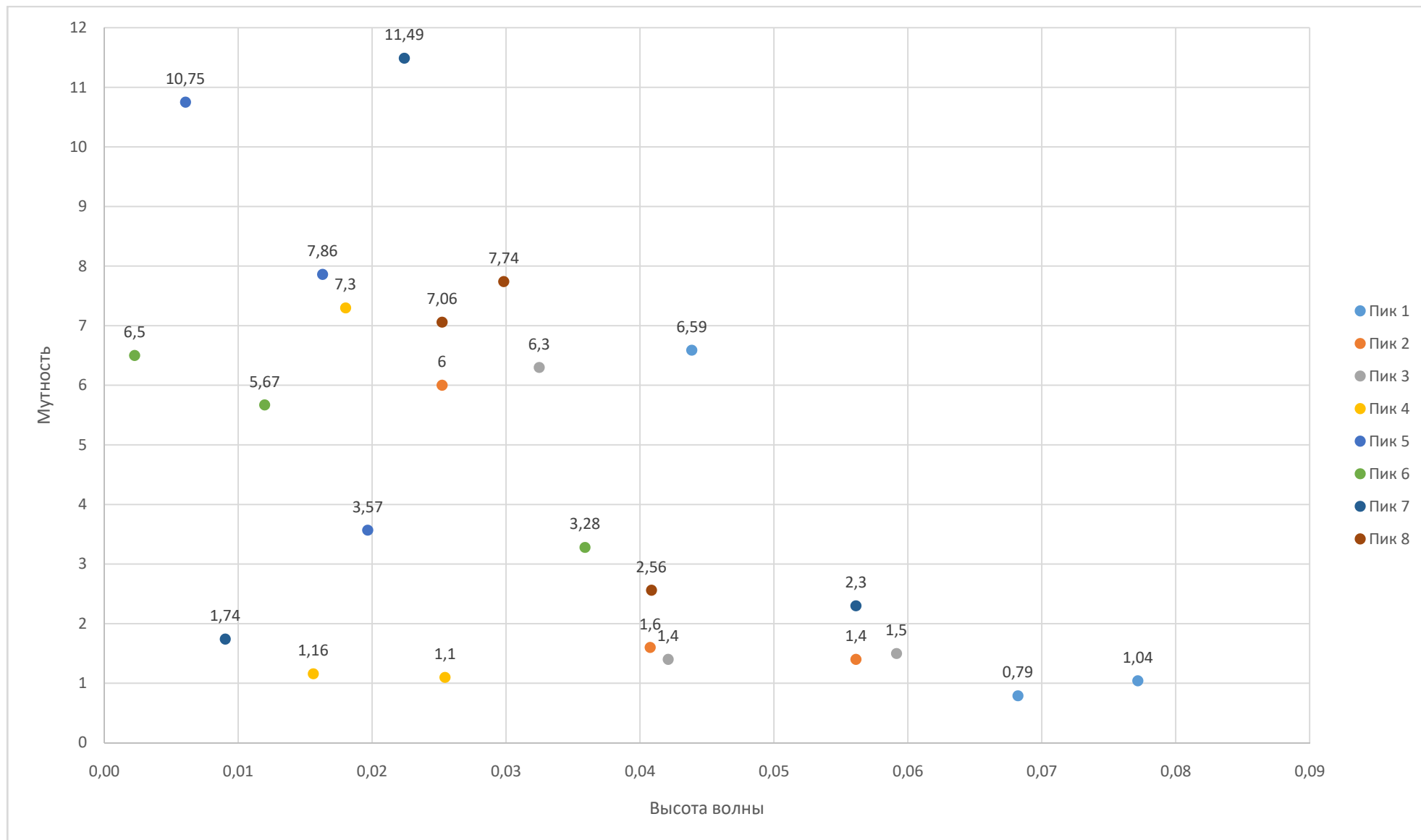


Рис. 2.11. График зависимости мутности от высоты волны при обычных скоростях

Как видно на (Рис 2.11.) зависимость не выявлена. Так как расчёт был проведен при малых скоростях, и высота волна является не значительной чтобы поднять мутность.

2.4.Расчет высоты волн при скорости ветра от 10 м/с до 14 м/с

Расчёты будут проведены те же, только скорость ветра будет использована от 10 м/с до 14 м/с.

Таблица 2.20.Таблица мутности воды и параметров ветра для 1 пика

1 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	02.07.2018	6,59	10,60	СВ
t-1	01.07.2018	1,04	12,00	СВ
t-2	30.06.2018	0,79	10,75	ССВ

Таблица 2.21.Таблица мутности воды и параметров ветра для 2 пика

2 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	29.04.2019	6,00	1,00	СВ
t-1	28.04.2019	1,40	11,50	СВ
t-2	27.04.2019	1,60	11,00	СВ

Таблица 2.22. Таблица мутности воды и параметров ветра для 3 пика

3 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	08.11.2019	6,30	1,25	В
t-1	07.11.2019	1,40	1,63	В
t-2	06.11.2019	1,50	11,67	СВ

Таблица 2.23.Таблица мутности воды и параметров ветра для 4 пика

4 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	22.05.2021	7,30	3,00	ЮЮЗ
t-1	21.05.2021	1,10	2,50	ЮЗ
t-2	20.05.2021	1,16	10,00	ЮЮЗ

Таблица 2.24. Таблица мутности воды и параметров ветра для 7 пика

5 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	02.09.2022	10,75	2,14	ССЗ
t-1	01.09.2022	7,86	11,00	ССЗ
t-2	31.08.2022	3,57	10,67	ССЗ

Таблица 2.25. Таблица мутности воды и параметров ветра для 8 пика

7 пик	Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Среднее направление ветра
t=0	04.10.2022	11,49	13,00	ВСВ
t-1	03.10.2022	2,30	12,33	СВ
t-2	02.10.2022	1,74	0,57	ВЮВ

Таблица 2.26. Расчёт волны для ССВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	1,35	0	0
1	0,11	1,35	2,34	0,01
2	0,11	1,35	2,71	0,02
3	0,11	1,35	2,94	0,02
4	0,10	1,35	3,08	0,03
5	0,10	1,35	3,18	0,04
6	0,10	1,35	3,26	0,05
7	0,09	1,35	3,31	0,06
8	0,09	1,35	3,36	0,07
9	0,08	1,35	3,39	0,07
10	0,08	1,35	3,42	0,08
11	0,07	1,35	3,44	0,09
12	0,07	1,35	3,46	0,09
13	0,07	1,35	3,48	0,10
14	0,06	1,35	3,50	0,11

Таблица 2.27.Расчёт волны для СВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	27	0	0
1	0,11	27	2,00	0,03
2	0,11	27	2,00	0,05
3	0,11	27	2,00	0,07
4	0,10	27	2,00	0,10
5	0,10	27	2,01	0,12
6	0,10	27	2,02	0,14
7	0,09	27	2,03	0,16
8	0,09	27	2,05	0,18
9	0,08	27	2,07	0,20
10	0,08	27	2,09	0,22
11	0,07	27	2,11	0,24
12	0,07	27	2,14	0,26
13	0,07	27	2,16	0,28
14	0,06	27	2,19	0,30

Таблица 2.28.Расчёт волны для ВСВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	29	0	0
1	0,11	29	2,00	0,03
2	0,11	29	2,00	0,05
3	0,11	29	2,00	0,08
4	0,10	29	2,00	0,10
5	0,10	29	2,00	0,12
6	0,10	29	2,01	0,15
7	0,09	29	2,02	0,17
8	0,09	29	2,04	0,19
9	0,08	29	2,05	0,21
10	0,08	29	2,07	0,23
11	0,07	29	2,09	0,25
12	0,07	29	2,12	0,27
13	0,07	29	2,14	0,28
14	0,06	29	2,16	0,30

Таблица 2.29.Расчёт волны для В румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	28,8	0	0
1	0,11	28,8	2,00	0,03
2	0,11	28,8	2,00	0,05
3	0,11	28,8	2,00	0,08
4	0,10	28,8	2,00	0,10
5	0,10	28,8	2,01	0,12
6	0,10	28,8	2,01	0,15
7	0,09	28,8	2,02	0,17
8	0,09	28,8	2,04	0,19
9	0,08	28,8	2,05	0,21
10	0,08	28,8	2,07	0,23
11	0,07	28,8	2,10	0,25
12	0,07	28,8	2,12	0,27
13	0,07	28,8	2,14	0,28
14	0,06	28,8	2,16	0,30

Таблица 2.30.Расчёт волны для ВЮВ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	10,6	0	0
1	0,11	10,6	2,00	0,02
2	0,11	10,6	2,01	0,03
3	0,11	10,6	2,04	0,05
4	0,10	10,6	2,09	0,06
5	0,10	10,6	2,15	0,08
6	0,10	10,6	2,22	0,10
7	0,09	10,6	2,28	0,11
8	0,09	10,6	2,35	0,13
9	0,08	10,6	2,40	0,15
10	0,08	10,6	2,46	0,16
11	0,07	10,6	2,51	0,18
12	0,07	10,6	2,56	0,19
13	0,07	10,6	2,61	0,21
14	0,06	10,6	2,65	0,22

Таблица 2.31.Расчёт волны для ЮЮЗ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	0,58	0	0
1	0,11	0,58	2,80	0,01
2	0,11	0,58	3,15	0,01
3	0,11	0,58	3,31	0,02
4	0,10	0,58	3,40	0,02
5	0,10	0,58	3,46	0,03
6	0,10	0,58	3,50	0,04
7	0,09	0,58	3,53	0,04
8	0,09	0,58	3,55	0,05
9	0,08	0,58	3,57	0,05
10	0,08	0,58	3,58	0,06
11	0,07	0,58	3,59	0,06
12	0,07	0,58	3,60	0,06
13	0,07	0,58	3,61	0,07
14	0,06	0,58	3,62	0,07

Таблица 2.32.Расчёт волны для ЮЗ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	3,2	0	0
1	0,11	3,2	2,05	0,01
2	0,11	3,2	2,26	0,02
3	0,11	3,2	2,46	0,03
4	0,10	3,2	2,62	0,04
5	0,10	3,2	2,74	0,06
6	0,10	3,2	2,85	0,07
7	0,09	3,2	2,93	0,08
8	0,09	3,2	3,00	0,09
9	0,08	3,2	3,06	0,10
10	0,08	3,2	3,11	0,11
11	0,07	3,2	3,15	0,12
12	0,07	3,2	3,19	0,13
13	0,07	3,2	3,22	0,14
14	0,06	3,2	3,25	0,15

Таблица 2.32.Расчёт волны для ССЗ румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε	Длина разгона D, км	k	Высота волны h, м
0	0,11	0,57	0	0
1	0,11	0,57	2,81	0,01
2	0,11	0,57	3,16	0,01
3	0,11	0,57	3,32	0,02
4	0,10	0,57	3,41	0,02
5	0,10	0,57	3,46	0,03
6	0,10	0,57	3,50	0,04
7	0,09	0,57	3,53	0,04
8	0,09	0,57	3,55	0,05
9	0,08	0,57	3,57	0,05
10	0,08	0,57	3,58	0,06
11	0,07	0,57	3,60	0,06
12	0,07	0,57	3,60	0,06
13	0,07	0,57	3,61	0,07
14	0,06	0,57	3,62	0,07

По данным полученных расчётов построена зависимость высот волн от мутности рассчитанных направлений.

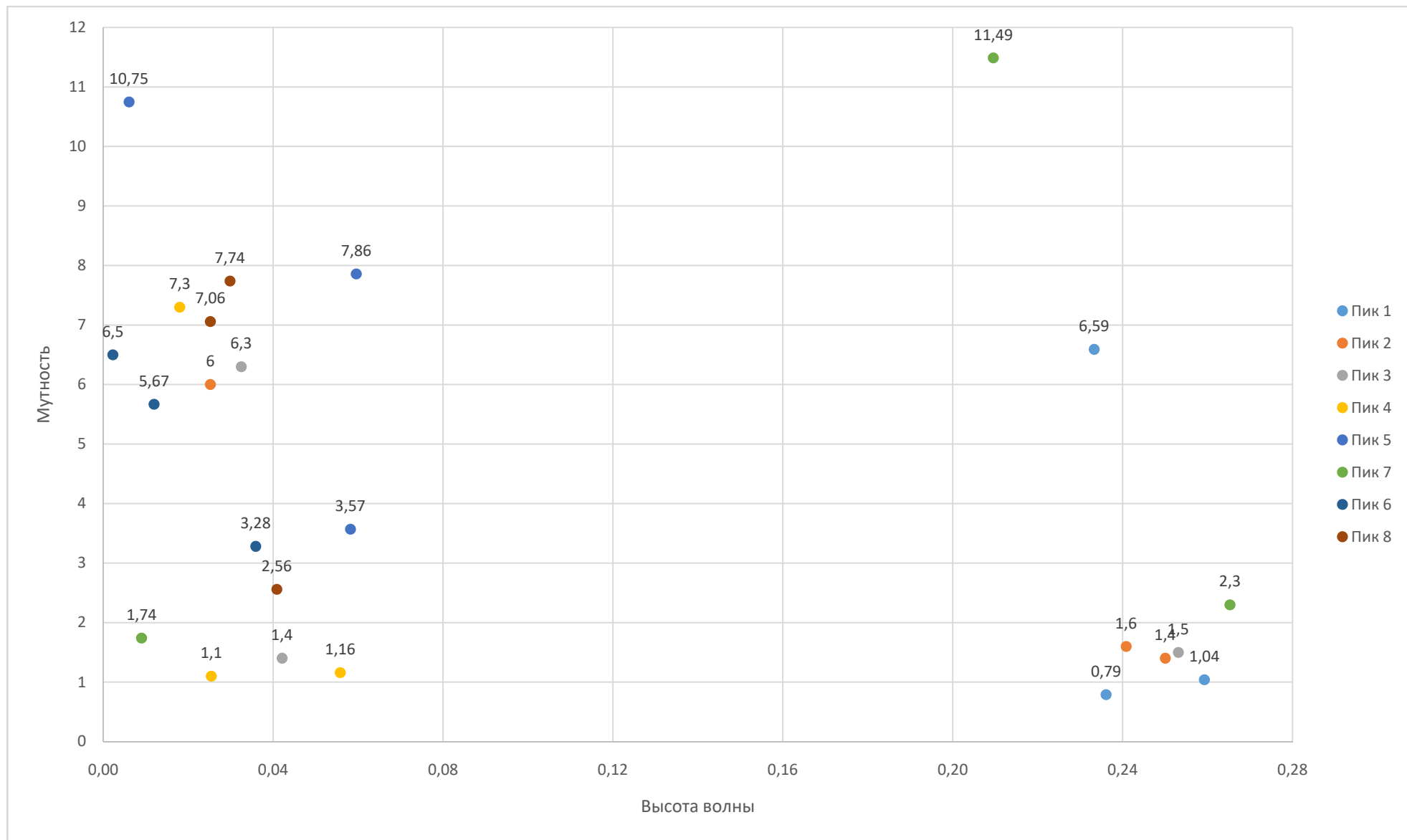


Рис. 2.12. График зависимости мутности от высоты волны при порывах ветра

Как видно на (Рис 2.12.) зависимость не выявлена. Так как высота волна является не значительной чтобы поднять мутность.

Вывод: расчёт по формуле Лабзовского не показал зависимости влияние штормов в Ладожском озере на мутность в реке Нева, так как, при расчётах получились, что высота волна является не значительной чтобы поднять мутность и пики мутность до 7 мг/дм^3 и ниже возможно являются антропогенном: из-за выпадения осадков, движением судов или влияние ближайших притоков реки Невы к водозабору.

2.5.Расчет зависимости мутности от даты и скорости ветра

Так как прошлые расчёты не показали закономерности влияния шторма Ладожского озера на мутность в реке Неве, выберем пики мутности больше 10 мг/дм^3 . Под такие требования подходят 2 пика мутности 5 и 7, в дальнейших расчётах будем использовать их.

Для начала составим сводные таблицы 2.33. и 2.34. для 5 и 7 пиков, чтобы выявить закономерность влияние шторма в Ладожском озере на мутность в реке Неве. Данные о длине разгона взяты из таблицы 2.10.

Таблица 2.33. Сводная таблица для 5 пика

Дата	Мутность	Средняя скорость ветра	Средний порыв ветра	Румб	Средняя скорость * D	Средняя скорость порыва ветра * D
27.08.2022	0,93	0,75	-	В	21,60	-
28.08.2022	0,94	1,00	-	Ю	0,39	-
29.08.2022	0,90	1,38	-	ССВ	1,86	-
30.08.2022	1,21	2,13	-	СВ	57,38	-
31.08.2022	3,57	3,13	10,00	С	1,78	5,7
01.09.2022	7,86	2,75	10,67	СВ	1,57	6,08
02.09.2022	10,75	2,25	11,00	ССЗ	1,28	6,27
03.09.2022	9,21	1,88	-	ЗСЗ	1,13	-
04.09.2022	6,44	1,75	-	ССЗ	1,00	-
05.09.2022	5,16	1,63	-	С	1,46	-

Таблица 2.34. Сводная таблица для 7 пика

Дата	Мут-ность	Средняя скорость ветра	Средний порыв ветра	Румб	Средняя скорость * D	Средний порыв ветра * D
29.09.2022	2,78	1,25	-	В	36,00	-
30.09.2022	2,98	1,50	-	ЮЮЗ	0,87	-
01.10.2022	2,02	1,38	-	ЮЮЗ	0,80	-
02.10.2022	1,74	0,63	-	ВЮВ	6,63	-
03.10.2022	2,30	2,25	11,75	СВ	60,75	317,25
04.10.2022	11,49	1,00	13,00	ВСВ	29,00	377,00
05.10.2022	7,96	1,25	-	З	0,78	-
06.10.2022	3,60	2,63	-	ЮЮЗ	1,52	-
07.10.2022	2,99	3,50	10,00	ЗЮЗ	2,38	6,80
08.10.2022	2,71	3,75	11,33	ЮЗ	12,00	36,26

После того как сделали сводные таблицы 2.33. и 2.34. для 5 и 7 пиков, строим для каждого пика по 4 графика: зависимость мутности от времени и скорости ветра; зависимость мутности от времени и порыва ветра; зависимость мутности от времени, скорости ветра и длины разгона; зависимость мутности и от времени, порыва ветра и длины разгона. Чтобы выявить закономерность.

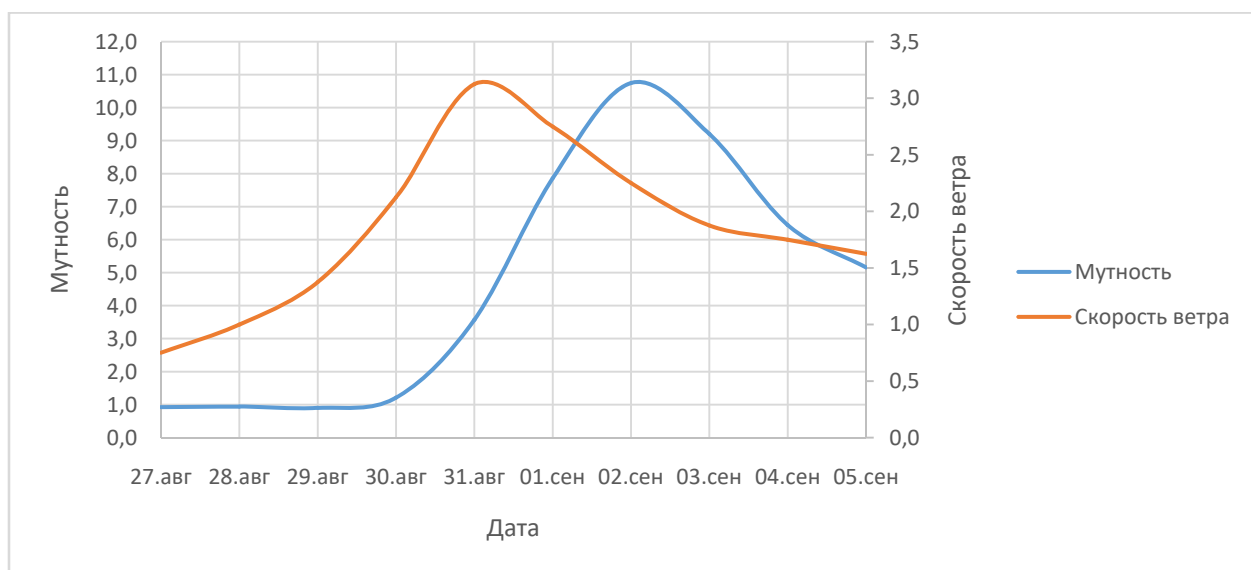


Рис. 2.13. Зависимость мутности от времени и скорости ветра для 5 пика

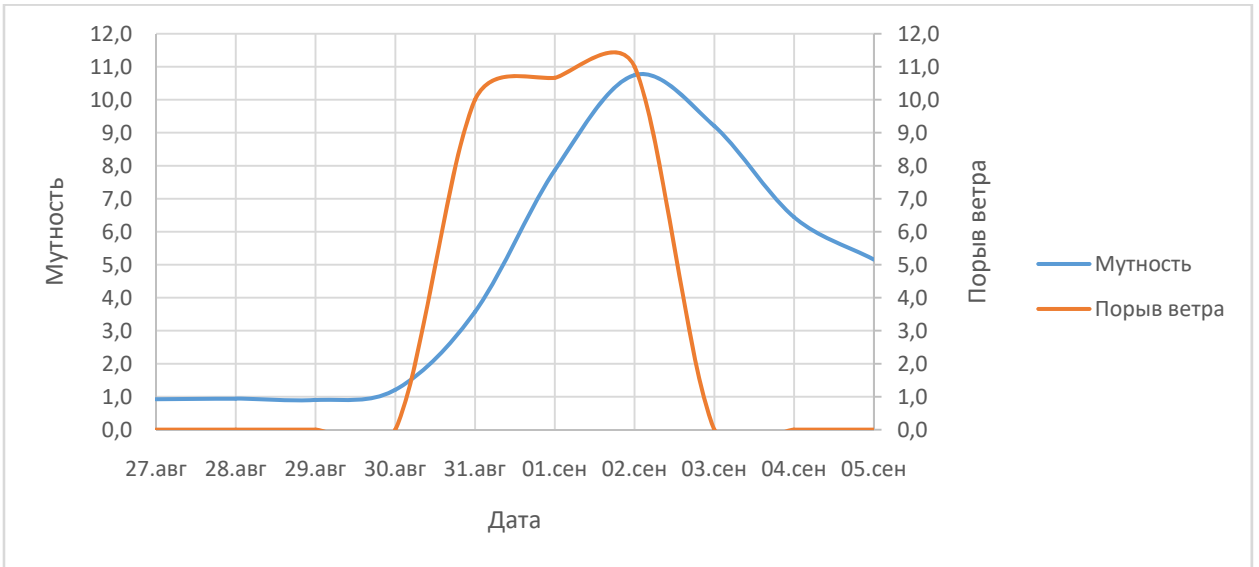


Рис. 2.14. Зависимость мутности от времени и порыва ветра для 5 пика

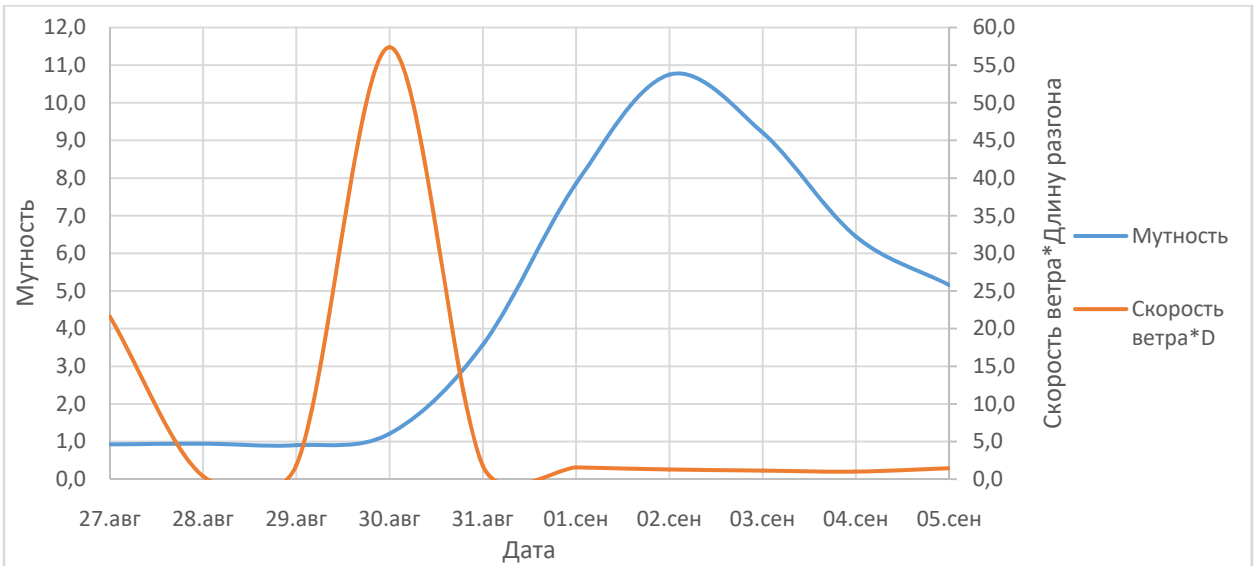


Рис. 2.15. Зависимость мутности от времени, скорости ветра и длины разгона для 5 пика

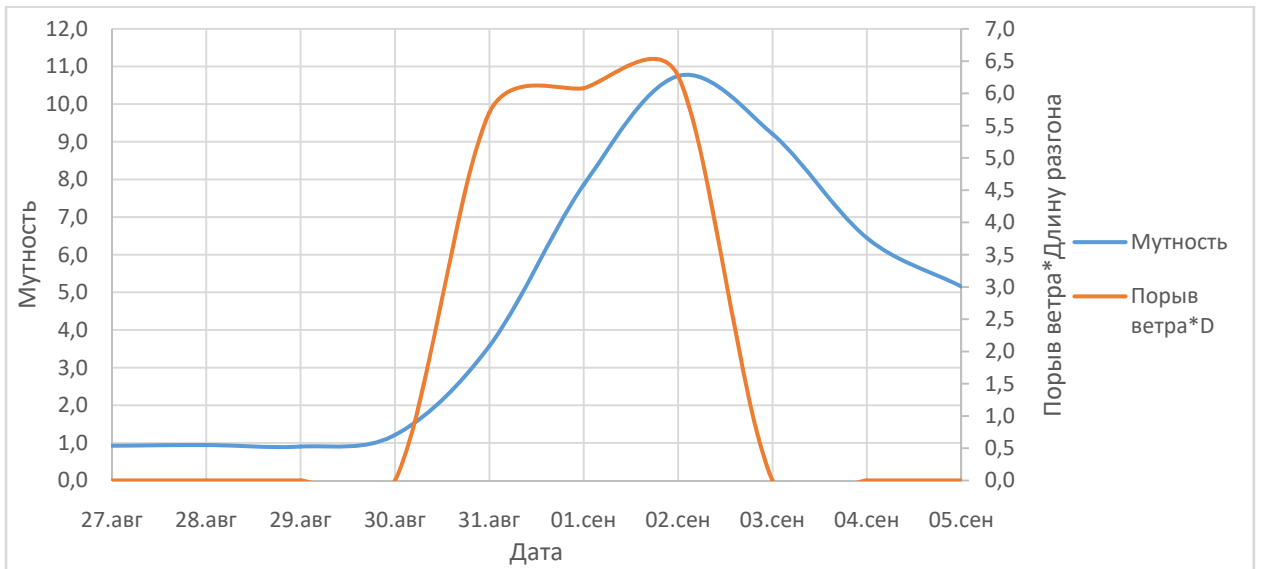


Рис. 2.16. Зависимость мутности и от времени, порыва ветра и длины разгона для 5 пика

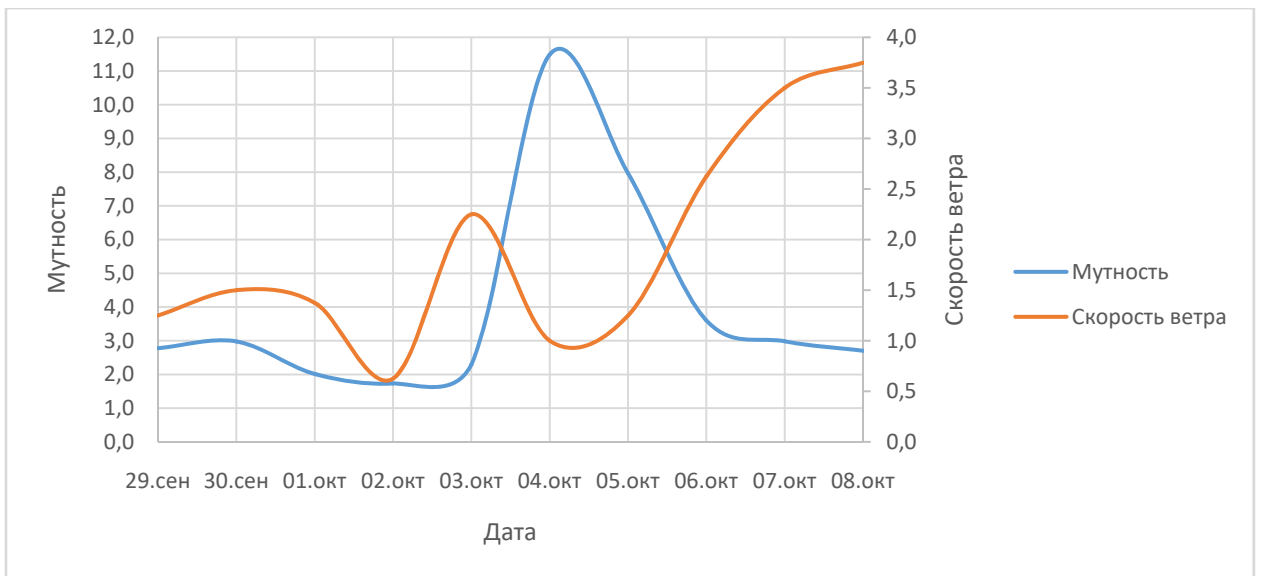


Рис. 2.17. Зависимость мутности от времени и скорости ветра для 7 пика

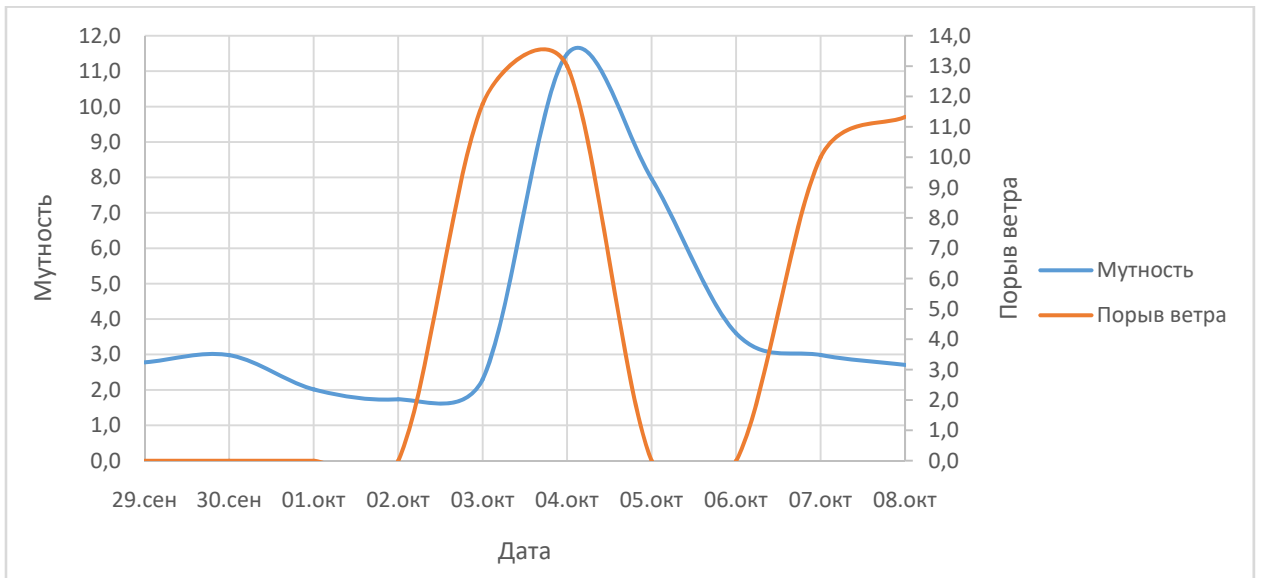


Рис. 2.18. Зависимость мутности от времени и порыва ветра для 7 пика

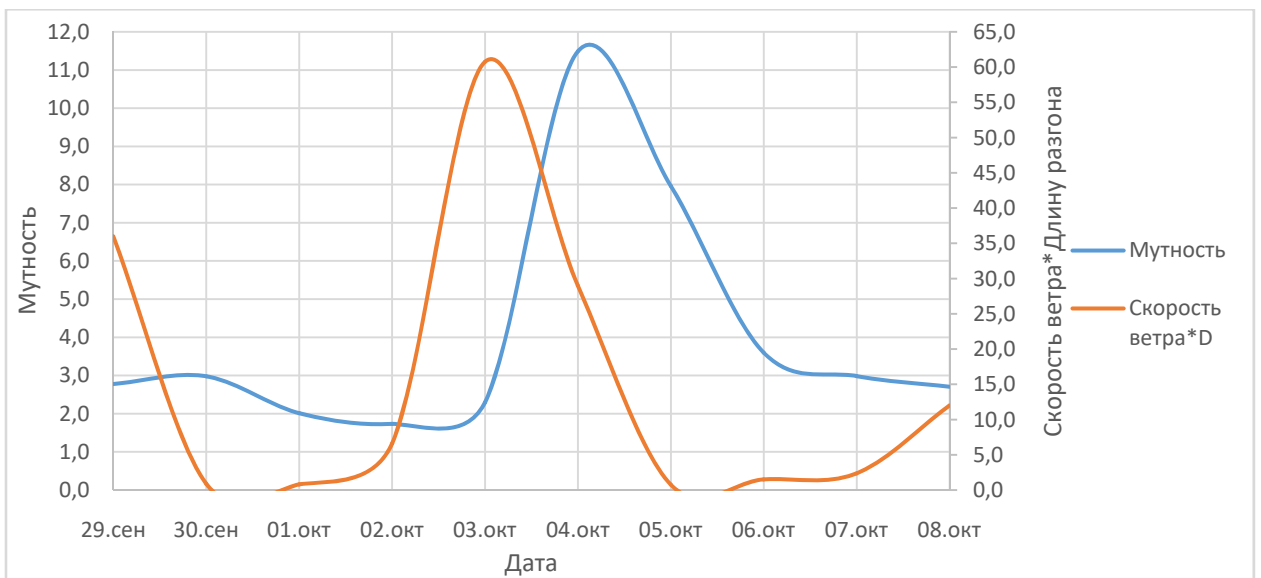


Рис. 2.19. Зависимость мутности от времени, скорости ветра и длины разгона для 7 пика

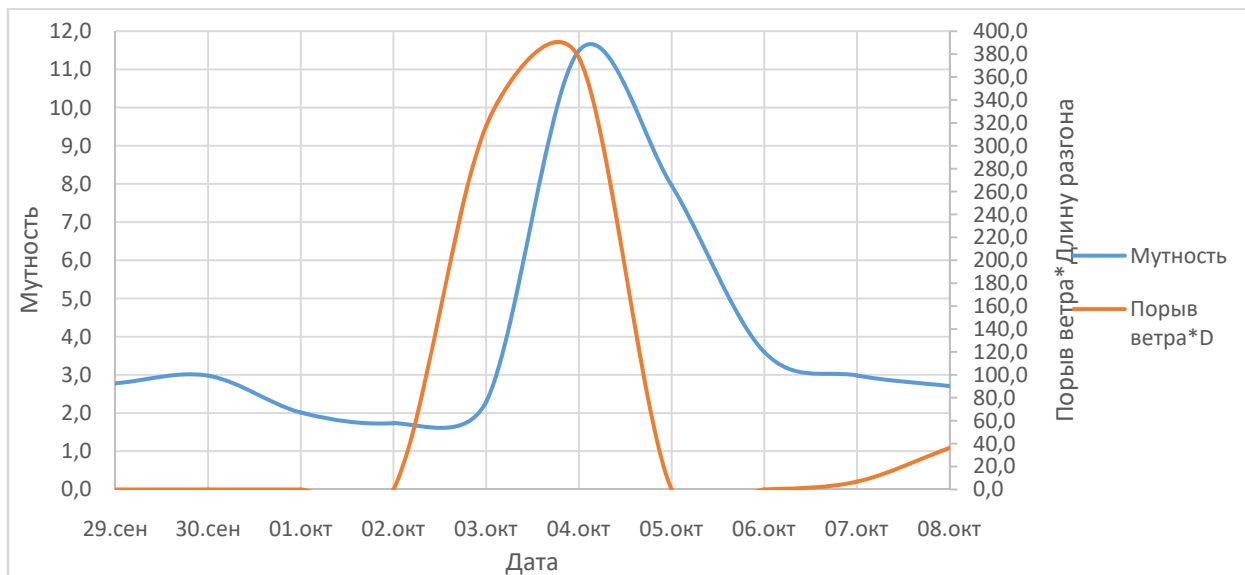


Рис. 2.20. Зависимость мутности от времени, порыва ветра и длины разгона для 7 пика

Вывод: При небольшом повышении мутности при слабых ветрах закономерность не наблюдается, а при порывах от 10 м/с и направлениях СВ, ВСВ и В ветрах, как показано на рисунках: 2.14., 2.16., 2.18., 2.20. зависимость появляется.

Заключение

В результате исследования был проведен комплекс исследований по мутности на водозаборе ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Северная Водопроводная Станция», направлению ветра и определению влияния штормов в Ладожском озере на мутность в р.Нева.

Список использованных источников

- 1) *Кузнецов Г.С., Исаев Д.И.*, ВКР, «Твёрдый сток р. Невы», //Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия 2020 г. – 50 с.
- 2) *М. В. Соболев, Е. В. Яковлев*, «Сток наносов реки Невы», // Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия. – 5 с.
- 3) «Атлас единой глубоководной системы Европейской части РСФСР» Том 3. Волго-балтийский водный путь имени В. И. Ленина от Ленинграда до Рыбинска. – отпечатано на ЦКФ ВМФ, 1990г. – 315 с.
- 4) *Р. А. Нежиховский*, «Река Нева и Невская губа». – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 112 с.
- 5) Отчет ЛГМИ.
- 6) *Барков Л.К., Щербаков Е.М., Усенков С.М.* «Состав и динамика современных донных осадков южной части Ладожского озера» // Вестник ЛГУ. Сер. Геология и география. 1983. №6. С. 32-40.
- 7) «Ресурсы поверхностных вод СССР». Гидрологическая изученность. Т.2. Карелия и Северо-Запад. Л., 1965. 700 с.
- 8) «Гидрология устьевой области Невы» / Под ред. *С.С. Байдина*. - М.: Гидрометеиздат, Московское отделение, 1965. - 384 с.
- 9) *Боголюбова И.В.* «Наносы Невы и Невской Губы» // Труды ГГИ, 1986, Вып. 319.
- 10) *Нежиховский Р.А.* «Река Нева и Невская губа». Л.: Гидрометеиздат, 1981.
- 11) *Барышников Н.Б.* «Русловые процессы». – СПб.: РГГМУ, 2006.