



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

Деформация берегов карьера

Исполнитель	Цибульский Сергей Евгеньевич
	(фамилия, имя, отчество)
Руководитель	к.г.н., доцент
	(ученая степень, ученое звание)
	Исаев Дмитрий Игоревич
	(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю» Заведующий кафедрой	
	(подпись)
	к.г.н., доцент
	(ученая степень, ученое звание)
	Исаев Д.Е.
	(фамилия, имя, отчество)

«22» июля 2020г.

Санкт-Петербург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	Введение	4
1	Организация режимных наблюдений на озерах и водохранилищах	5
1.1.0	Состав работ по организации наблюдений	6
1.1.1	Техническое руководство работой прикрепленных постов и обработка материалов наблюдений	7
1.1.2	Специальные работы	8
1.1.3	Состав работ исследовательского характера	9
1.1.4	Основные задачи гидрологической станции	10
1.2.1	Наблюдения за стоком воды	10
1.3.1	Наблюдения за уровнем воды	13
1.4.1	Наблюдения за стоком наносов	15
1.5.1	Наблюдения за температурой воды и воздуха	18
1.6.1	Наблюдения за ледовыми явлениями	20
1.7.1	Наблюдение за химическим составом воды рек	28
1.8.1	Общие требования при производстве промерных работ	29
2	Деформация берегов озер и водохранилищ	32
3	Комплекс наблюдений на озере	38
4	Расчет и прогнозирование деформаций береговой линии озера «Окорочек».	40

4.1	Определение расчетных характеристик ветра и волнения	40
4.2	Расчет переформирования берегового уступа	53
	Заключение	57
	Список использованных источников	58
	Приложение А	59

ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе представлен расчет этапов прогноза деформаций берегов озера.

До сих пор, в гидрологии, для расчета прогноза береговых деформаций, используется метод Н.Е. Кондратьева, включенный в СНиП 163 -83

Как оказалось, прогноз береговых деформаций, будь то озеро, карьер или водохранилище, вызывает проблемы в понимании и реализации расчета данного процесса, т.к. является довольно энергозатратным и объемным в своем исполнении. Однако, более современных и надежных аналогов этому методу до сих пор нет.

В связи с этим, было решено подробно разобрать метод Кондратьева, при этом максимально его адаптировать под возможности современных компьютеров с целью максимально возможной автоматизации процесса и исследования процесса в будущем.

Объектом для прогноза береговых деформаций стало озеро «Окорочек», расположенное недалеко от учебной базы практик РГГМУ «Даймище». Озеро представляет собой бывший карьер и, ежегодно является объектом исследований для студентов, что гарантирует хорошую осведомленность и доступ к необходимой информации для дачи прогноза.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ОЗЕРАХ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Гидрологические станции ГУГМС осуществляют изучение гидрологического режима водных объектов суши и государственный учет количества и качества вод для удовлетворения текущих и перспективных потребностей народного хозяйства страны в режимной и оперативной гидрологической информации.

Изучение гидрологического режима поверхностных вод (реки, каналы, соединяющие водные системы или служащие для межбассейновых и межзональных перебросок стока, озера и водохранилища* производится посредством стандартных и специальных наблюдений на постах, а также экспедиционных и тематических исследований.

Гидрологические посты - пункты стационарных гидрологических наблюдений, прикрепленные к гидрологическим станциям, производят стандартные, т.е. регламентированные Наставлениями, наблюдения за следующими основными элементами гидрологического режима рек (каналов):

- 1) Сток воды
- 2) Уровень воды
- 3) Сток наносов
- 4) Температура воды
- 5) Ледовый режим
- 6) Химический состав воды (качество воды)

Гидрологические станции организуют и производят гидрологические наблюдения и связанные с ними работы на прикрепленных постах; осуществляют техническое руководство работой этих постов, обработку и обобщение материалов наблюдений; выполняют специальные и исследовательские работы; осуществляют обеспечение народного хозяйства материалами и сведениями по гидрологическому режиму.

1.1.0 Состав работ по организации наблюдений

В состав работ по организации наблюдений входит:

- организация новых постов и видов наблюдений на действующих постах в порядке, устанавливаемом УГМС (включая обследование участков постов, изыскания под установку приборов и измерительных устройств, установку оборудования; последнее - совместно с гидрометнаблюдателем и РВП);
- подбор, обучение и контроль за работой наблюдателей постов;
- установка (совместно с монтажно-ремонтной партией УГМС и наблюдателем или самостоятельно) приборов и средств автоматизации, их профилактика и текущий ремонт;
- капитальный ремонт постового оборудования (при участии наблюдателя);
- обеспечение постов бланковым материалом, оборудованием и приборами, инвентарем, а также другими материалами и средствами, необходимыми для производства наблюдений;
- непосредственное выполнение гидрометрических (контрольные замеры), топографических и гидрологических работ на прикрепленных постах;

- производство наземных работ в створах определения расходов воды аэрометодами (маркировка участка, определение коэффициента перехода от фиктивного расхода к действительному).

1.1.1 Техническое руководство работой прикрепленных постов и обработка материалов наблюдений

Техническое руководство работой прикрепленных постов и обработка материалов наблюдений включает:

- систематический контроль за выполнением плана и качеством наблюдений и оперативной информации;
- техническую инспекцию постов;
- ежемесячную проверку (выборочно или полностью), текущий анализ и оценку материалов наблюдений;
- обработку и перфорацию материалов наблюдений;
- подготовку таблиц и текста гидрологических ежегодников, входящих в состав "Водного кадастра СССР".

1.1.2 Специальные работы

Специальные работы включают:

- сбор и систематизацию сведений о природных условиях и гидрологической изученности территории деятельности гидрологической станции;
- сбор сведений и систематический учет водопользования на территории деятельности станции (включая сведения о водозаборах и сбросах);
- обследование водных объектов (участков), где имели место особо опасные гидрологические явления;
- определение критических отметок уровней воды (расходов), при которых возникает угроза затопления населенных пунктов и народнохозяйственных объектов;
- проведение гидрографических обследований и экспедиционных работ (согласно планам УГМС);
- составление водных балансов речных бассейнов, русловых водных балансов и водных балансов озер и водохранилищ в соответствии с методическими указаниями и руководствами;
- гидрологическое обеспечение гидрохимических наблюдений и обследований по программе загрязнения, проводимых вне гидрологических постов (измерения или расчет расходов воды при отборе проб, расчеты ежедневных расходов воды и др.);

- производство специальных наблюдений (на постах и вне их) прикладного или научного назначения (по заданию УГМС);
- испытание новых приборов и методов наблюдения (по заданию УГМС).

1.1.3 Состав работ исследовательского характера

В состав работ исследовательского характера входят:

- анализ репрезентативности пунктов наблюдений;
- анализ полноты и надежности материалов наблюдений;
- выявление дублирующих постов в порядке рационализации сети;
- методические проработки (включая экспериментальные наблюдения и измерения), направленные на определение точности, оптимизацию частоты, объема и способов выполнения измерений (в том числе применительно к задачам автоматизации наблюдений и перехода на выполнение измерений силами РГО, а также автоматизации сбора и обработки информации) в соответствии с рекомендациями настоящего Наставления и методическими указаниями;
- изучение региональных особенностей гидрологического режима и влияния хозяйственной деятельности (по специальным программам, см. также п.1.2.8);
- участие в тематических исследованиях ГМО и НИИ ГУГМС.

1.1.4 Основные задачи гидрологической станции

Основными задачами гидрологической станции, наряду с обеспечением полноты и качества стандартных наблюдений на постах, являются проведение методических исследований по установлению оптимальной точности и частоты измерений расходов воды и наносов в связи с автоматизацией наблюдений и обработки результатов, учет водопользования и оценка его влияния на сток, внедрение средств автоматизации с переходом на новую систему организации наблюдений и работ.

1.2.1 Наблюдения за стоком воды

Гидрологические станции организуют и ведут планомерное изучение стока воды рек (в том числе зарегулированных). Учет стока воды в створах сооружений гидроэлектростанций, а также учет количества воды, забираемой из рек и водохранилищ на орошение и другие хозяйственные нужды, осуществляется соответствующими ведомственными организациями. Гидрологические станции контролируют работу гидрологических постов, принадлежащих различным министерствам и ведомствам.

Изучение и учет стока производится на основании измерений расходов воды следующими способами:

а) по кривым расходов, выражающим связь между расходом и уровнем, при систематическом измерении уровня;

б) по расчетным зависимостям между расходом, уровнем и уклономводной поверхности, при систематическом измерении уровня и

уклона;

в) по измеренным расходам, если зависимости, перечисленные в пунктах а и б, не устанавливаются с достаточной надежностью;

г) с использованием протарированных водопропускных и водозаборных гидротехнических сооружений (турбинных трактов, водосбросных отверстий, шлюзов-регуляторов и т.п.) при систематическом измерении напора, степени открытия затворов, направляющего аппарата турбин и выработки энергии.

В табл.1 приведены ориентировочные данные о достаточной в среднем частоте измерений, которые могут оказаться полезными при установлении опытным путем, как указано выше, оптимальной частоты наблюдений для конкретного гидрометрического створа.

Таблица 1. Ориентировочные сроки измерения ур овней и расходов воды

Характеристика режима	В среднем достаточная частота регистрации уровня воды	В среднем достаточная частота опорных измерений расхода воды
Половодье и паводки		
Весеннее половодье в виде плавной одиночной волны, значительно растянутой во времени. Характерно для незарегулированных больших равнинных рек	В 8 и 20 ч ежесуточно	4-5 измерений на подъеме и 5-8 измерений на спаде приблизительно через равные приращения уровня воды
Весеннее половодье в виде одиночной быстротечной волны. Характерно для рек полупустынной и степной зон СССР	Самописец уровня или в 8 и 20 ч ежесуточно и, кроме того, между этими сроками через равные промежутки времени через 1, 2, 4 ч	То же
Половодье и дождевые паводки в виде ряда следующих одна за другой волн разной высоты и продолжительности. Характерно для рек Восточной Сибири, Дальнего Востока, а также для рек Причерноморья и некоторых других	То же	Одно измерение через 5-7 суток и, кроме того, 1-3 измерения на подъеме и 2-3 измерения на спаде каждого значительного паводка
Половодье в виде сравнительно мелких и частых волн, наложенных наподобие "гребенки" на значительно растянутой общей волне. Характерно для рек Средней Азии и Кавказа	"	Одно измерение через 4-5 суток, а в период интенсивной деформации русла, выражающейся в его блуждании, одно измерение через 1-2 суток
Период весеннего половодья небольших рек, когда вода течет в ледяном или снежном русле, постепенно углубляющемся	В 8 и 20 ч ежесуточно и, кроме того, между этими сроками через равные промежутки времени	Одно-два измерения в течение суток

Межень		
Сравнительно длительный период незначительных колебаний стока, наступающий после весеннего половодья на равнинных реках	В 8 и 20 ч ежесуточно	Одно измерение через 7-10 суток
Одиночные дождевые паводки в период межени на крупных равнинных реках	В 8 и 20 ч ежесуточно и, кроме того, между этими сроками через равные промежутки времени	Одно-два измерения на подъеме и 2-3 - на спаде каждого значительного паводка
Период с наличием ледяных образований		
Шугоход и ледоход перед длительным ледоставом и ледоход весенний, особенно в случае возможности образования заторов и зажоров	В 8 и 20 ч ежесуточно и, кроме того, между этими сроками через равные промежутки времени	Наиболее часто, насколько это практически представляется возможным по условиям производства работ
Ледостав устойчивый и длительный при плавном изменении уровня	В 8 ч ежесуточно	Одно измерение через 10-20 суток
Период интенсивного развития наледи на небольших реках в области многолетней мерзлоты и глубокого промерзания	Измерения уровня воды не производятся, ведутся наблюдения за развитием наледи	Одно измерение через 20-30 суток
Неустойчивая ледовая обстановка в течение всей зимы - ледоходы, шугоходы, кратковременные ледоставы сменяются сравнительно длительными периодами "чисто", бывают паводки от дождей и таяния снега. Характерно для рек южных районов Европейской территории СССР, Кавказа и частично для района Прибалтики	В 8 и 20 ч ежесуточно и, кроме того, во время паводков дополнительно через равные промежутки времени	Одно измерение через 7-10 суток и, кроме того, по 1-2 измерения на подъеме и спаде каждого значительного паводка

1.3.1 Наблюдения за уровнем воды

Наблюдения за уровнем воды на реках, как правило, связаны с общей задачей учета стока, но в отдельных случаях могут иметь самостоятельное значение (на постах, расположенных на судоходных реках и каналах, вблизи крупных населенных пунктов, промышленных объектов, транспортных и гидротехнических сооружений, в местах водозабора для водоснабжения промышленных предприятий или для орошения и обводнения и т.д.).

Наблюдения за уровнем воды на гидрологических постах, ведущих учет стока, производятся в сроки применительно к указанным в табл. 1. В период пересыхания реки в створе поста измерения высоты уровня, естественно, прекращаются, но участок поста ежедневно в утренний срок обследуется наблюдателем. Если пост расположен в плёсе и при пересыхании водотока оказывается в водоеме со стоячей водой, измерение

высоты уровня продолжается в утренний срок, но не ежедневно, а через 1 -3 суток или вовсе прекращается (по согласованию со станцией) в зависимости от размеров и хозяйственного использования водотока.

При промерзании реки в створе поста измерение высоты уровня, как и при пересыхании, прекращается, но посещение поста наблюдателем должно продолжаться. При устойчивой (без оттепелей) морозной погоде пост должен посещаться каждые 5-15 суток (по указанию станции), а при наступлении оттепелей - ежедневно, чтобы не упустить момент возобновления стока. Если после промерзания водотока пост оказывается в водоеме со стоячей водой, измерение высоты уровня продолжается в утренний срок, но не ежедневно, а через 5 -10 суток или вовсе прекращается (по согласованию с УГМС).

В этом случае, если при промерзании или пересыхании водотока пост оказывается в водоеме со стоячей водой, для того чтобы не упустить момент возобновления или прекращения стока, станция указывает наблюдателю значение высоты уровня воды на посту, при достижении которой наблюдатель должен ежедневно обследовать (нижележащий промерзающий или обсыхающий перекат в целях более точного определения момента возобновления или прекращения стока.

Во всех случаях появления стока после выпадения дождей, при оттепелях или в результате весеннего снеготаяния измерение высоты уровня немедленно возобновляется и производится в два срока или учащенно.

Наблюдения за уровнем воды на постах, не ведущих учета с тока, но имеющих при этом самостоятельное значение, производятся ежесуточно в 8 и 20 ч и в дополнительные сроки (по указанию УГМС, ГМО), устанавливаемые при необходимости в каждом случае особо для отдельных

периодов года в зависимости от назначения данного поста. Если в течение 2-3 лет наблюдений на таких постах выявлено, что в период межени (летней и зимней) уровень устойчив, то (по согласованию с ГМО) наблюдения за уровнем в этот период могут производиться один раз в сутки в 8 ч. Наблюдения должны быть выполнены при любых экстремальных значениях уровня.

На постах, оборудованных самописцами, контрольные измерения производятся:

- при самописцах суточного действия типа "Валдай" и др. один или два раза в сутки (8 или 8 и 20 ч);
- при самописцах длительного действия типа 501, ГР-38 и др. в зависимости от масштаба записи времени один раз в двое суток, неделю, две недели или месяц.

1.4.1 Наблюдения за стоком наносов

Изучение стока наносов производится на станциях и постах в соответствии со стандартной программой для гидрологических постов (Наставление, вып.2, ч.II, § 5).

Основой для изучения и учета стока наносов являются наблюдения за взвешенными, влекомыми и донными наносами.

Наблюдения за взвешенными и донными наносами производятся на всех станциях и постах, на которых ведется учет стока наносов. Наблюдения за влекомыми наносами ведутся на ограниченном числе станций по специальным указаниям УГМС (пп.12.2.6.1 -12.2.8.3).

Результаты наблюдений за наносами должны дать следующие их характеристики:

- а) годовой сток взвешенных и влекомых наносов и распределение его внутри года;
- б) гранулометрический состав взвешенных, влекомых и донных наносов;
- в) содержание органических включений в составе взвешенных и донных наносов;
- г) плотность частиц донных наносов и плотность донных наносов в естественном залегании.

Для получения указанных характеристик наблюдения за наносами включают следующие виды работ:

- а) отбор единичных проб воды на мутность;
- б) отбор проб воды на мутность по живому сечению для определения расхода взвешенных наносов и содержания в них органических включений;
- в) отбор контрольных единичных проб воды на мутность при измерении расходов взвешенных наносов;
- г) отбор проб для определения гранулометрического состава взвешенных, влекомых и донных наносов, а также для определения плотности частиц донных наносов и их плотности в естественном залегании.

Единичные пробы воды на мутность берутся, как правило, ежедневно в сроки водомерных наблюдений один (в 8 ч), два (в 8 и 20 ч), иногда учащенно - несколько раз в сутки. Односрочные наблюдения за мутностью производятся на всех реках, предназначенных к изучению стока наносов в период устойчивой летней и зимней межени и в период половодья только на больших реках при плавном нарастании уровня. Двухсрочные наблюдения производятся в периоды половодья и паводков на равнинных реках с площадями водосборов более 1000 км^2 и на горных реках с водосборами более 5000 км^2 при отсутствии в течение суток резких подъемов и спадов уровня воды. При наличии резких колебаний уровня воды в течение суток на средних равнинных и горных реках также предусматривается проведение многосрочных наблюдений. На реках с меньшими площадями водосбора, где наблюдается суточный ход уровня, производятся многосрочные наблюдения за мутностью.

На малых реках в периоды кратковременных паводков учащенные наблюдения за мутностью производятся через 1 ч.

Оптимальные сроки наблюдений за мутностью в периоды половодья и паводков выбираются станцией на основании изучения суточного хода мутности по учащенным наблюдениям (см. п.12.2.2).

Единичные пробы следует брать учащенно также на участках рек с зарегулированным водохранилищами режимом в периоды попусков.

В периоды устойчивой летней и зимней межени, когда значение мутности не превышает 50 г/м^3 и суммарный за период сток взвешенных наносов составляет менее 5% годового его значения, измерения ежедневной мутности не производятся.

Отбор ежедневных проб воды на мутность возобновляется сразу же с начала весеннего подъема уровня воды и при прохождении летних паводков.

Количество измерений расходов взвешенных наносов в течение года назначается в зависимости от режима реки и изученности стока наносов на данном посту. В среднем число измерений расходов наносов в первые 2-3 года наблюдений на равнинных реках назначается не менее 15-20, а на горных реках в первые 3-5 лет наблюдений - до 20-30 расходов. В последующие годы на основании анализа материалов наблюдений оно может быть уменьшено.

Наибольшее количество измерений расходов наносов должно производиться в период половодья и паводков, когда в реках переносится

наибольшая доля годового стока наносов.

На равнинных реках с весенним или летним половодьем в первые 2 -3 года наблюдений в течение половодья должно производиться не менее 8 -10 измерений, по возможности равномерно распределенных по амплитуде уровня и фазам подъема и спада половодья.

При наличии дождевых паводков каждый из них освещается измерением по одному расходу на подъеме и спаде.

В летнюю межень в первые 2-3 года измерения расходов наносов производятся 1 раз в месяц и в зимнюю межень по одному расходу в 1-2 месяца в зависимости от мутности воды в реке.

На горных реках, обычно характеризующихся паводочным режимом, в первые 3-5 лет наблюдений измерения распределяются равномерно в течение всего паводочного периода с обязательным освещением фаз подъема и спада отдельных паводков.

1.5.1 Наблюдения за температурой воды и воздуха

Наблюдения за температурой воды производятся на гидрологических постах по указанию станции (ГМО) и включают:

- а) систематические измерения температуры воды в постоянной точке в створе гидрологического поста или в другом месте по указанию станции;
- б) эпизодические специальные исследования на участке поста, связанные с выбором постоянного места измерений;
- в) специальные измерения температуры воды, связанные с изучением явлений шугообразования и шугохода.

Систематические измерения температуры воды ведутся ежедневно в 8 и 20 ч в период начиная с первых оттепелей и признаков таяния снега на льду весной и прекращаются осенью после 3-5 суток измерений при устойчивом ледоставе. В периоды оттепелей и временных нарушений ледяного покрова зимой наблюдения за температурой воды возобновляются.

На реках, где зимы характеризуются на всем своем протяжении неустойчивым ледовым режимом, без длительного устойчивого ледостава, а морозы чередуются с оттепелями, измерения температуры воды ведутся в течение всего года. На горных реках температура воды в период паводков при учащенных наблюдениях за уровнем измеряется также учащенно - при каждом измерении уровня.

Эпизодические специальные исследования производятся в первый год наблюдений для проверки правильности выбора места систематических измерений температуры воды, т.е. соответствия наблюденных значений температуры в постоянном месте измерений термическому режиму всей водной массы на участке поста.

Эти исследования состоят в производстве параллельных наблюдений в ряде точек стрежневой зоны по длине реки выше поста, а также в постоянном месте измерений у берега и на стрежне (в одном с твоем). Оба вида специальных исследований производятся в характерные фазы режима реки: в период половодья и в межень.

Наблюдения за температурой воды ведутся, кроме того, в составе специальных исследований на шугоносных реках при изучении условий шугообразования и шугохода. Измерения температуры воды в этом случае ведутся микротермометром с повышенной точностью (до 0,01 °С) в сроки, устанавливаемые станцией в зависимости от метеорологической обстановки

и

режима

реки.

Наблюдения за температурой воздуха производятся по указанию УГМС на некоторых гидрологических станциях и постах из числа тех, которые удалены от метеорологических станций на расстоянии свыше 30 -50 км в зависимости от условий местности, и на таких станциях и постах, где сведения о температуре воздуха необходимы для службы гидрологических прогнозов или для других гидрологических исследований и расчетов.

Наблюдения за температурой воздуха производятся по сухому термометру аспирационного психрометра в соответствии с Наставлением, вып.3, ч.I в сроки, устанавливаемые УГМС.

1.6.1 Наблюдения за ледовыми явлениями

Изучение ледового режима рек ведется на всех гидрологических станциях и постах, где могут наблюдаться ледовые явления (ежегодно или в отдельные годы).

Наблюдения за ледовой обстановкой организуются на тех гидрологических станциях и постах, на которых измеряется уровень воды, и ведутся на участке протяжением 0,2 -2,0 км ежедневно в тот период, когда на реке возможно появление ледяных образований.

Календарные сроки периода, в течение которого наблюдатель обязан записывать состояние реки независимо от того, имеются или отсутствуют на ней ледяные образования, назначаются станцией для рек определенного района исходя из многолетних данных о наиболее ранних (осенью) и поздних (весной) сроках наступления ледовых явлений на изучаемых реках

с округлением до первого числа ближайшего месяца (с запасом).

Наблюдения ведутся в светлое время суток, по возможности во все основные и учащенные сроки измерений высоты уровня воды и дополнительно между ними в случаях быстрой смены гидрометеорологической обстановки и ледовых явлений.

Обследование ледовой обстановки в районе поста на участке большего протяжения, чем участок поста, производится преимущественно на гидрологических постах, ведущих наблюдения за стоком воды, и совмещается с выполнением паводочных (в период вскрытия) или осенних (в период замерзания) гидрометрических работ.

Обследование ведется по длине реки, выше и ниже гидрологического поста, на возможно большем протяжении: до 1 -2 км на малых и до 3-5 км на средних и больших реках.

Сроки производства обследований ледовой обстановки (от одного раза в 3-5 дней до ежедневных) определяются гидрологической станцией и изменяются в зависимости от интенсивности развития ледовых явлений и колебания уровня воды на посту (если есть основание предполагать, что эти колебания вызваны не изменением водности, а ледовой обстановкой).

Наблюдения за толщиной льда в единичных точках на участке поста организуются на всех гидрологических станциях и постах, где наблюдается ледяной покров, и производятся наблюдателем на середине реки в створе поста или в другом месте по указанию станции.

Основными сроками производства измерений толщины льда при устойчивой зиме без оттепелей являются каждое 10, 20 -е числа и последний

день

месяца.

В зимы с неустойчивыми морозами, чередующимися с оттепелями, толщина льда измеряется каждого 5, 10, 15, 20, 25 -го числа и в последний день месяца.

После временных нарушений ледяного покрова (зимних вскрытий) наблюдения возобновляются в первый день безопасной ходьбы по льду, вне очередных сроков.

При толщине льда более 70 см измерения производятся ежедекадно, даже если наблюдались оттепели, но не было нарушения ледяного покрова.

Учащенные измерения (один раз в каждые пять дней) ведутся также:
а) на шугоносных реках со дня обнаружения подледной шуги до полного ее исчезновения;
б) на некоторых постах в течение всей зимы для целей гидрологических информации и прогнозов (по указанию ГМО).

Одновременно с общей толщиной льда в точке измеряется толщина погруженного льда, слой снега на льду и толщина подледной шуги.

В особых случаях на участках рек, на которых в результате частых и значительных по объему наледей ледяной покров образуется в виде наледных полей и бугров, систематические измерения толщины льда на участке поста не ведутся. В этих случаях следует вести наблюдения за нарастанием наледного льда.

На участке зарегулированных рек, где учет стока воды производится в створах ГЭС, систематические измерения толщины льда в единичной точке

организуются в верхнем бьефе плотины, вблизи нее. Наблюдения непосредственно на участках ниже плотин организуются только по заданию УГМС (ГМО).

Обследование толщины льда на участке поста (ледомерная съемка) производится на всех гидрологических станциях и постах, где ведутся систематические измерения наблюдателем толщины ледяного покрова, и имеют целью:

а) для рек с однообразными из года в год условиями формирования ледяного покрова выявить в результате съемок типичность выбранного места систематических измерений толщины льда для всего изучаемого участка реки;

б) для рек, на которых условия формирования ледяного покрова из года в год значительно меняются, дать основание для ежегодной оценки результатов систематических измерений толщины льда в единичной точке по сравнению с характером его залегания на всем изучаемом участке в данном го ду.

Ледомерные съемки на вновь открываемых постах производятся начиная с первого года их действия. На действующих постах подобные обследования производятся в том случае, если они не были выполнены ранее.

Очередность производства станцией ледомерной съемки на прикрепленных к ней постах устанавливается УГМС (ГМО) в зависимости от народнохозяйственного значения рек, на которых ведутся наблюдения.

Ледомерные съемки назначаются два раза в зиму: в начале ледостава при тонком льде, сразу после того, как ходьба по нему станет безопасной, и

в конце зимы при наибольшей толщине ледяного покрова.

На реках районов, где условия формирования льда сравнительно однообразны и мало изменяются из года в год, ледомерная съемка на участке повторяется в течение двух-трех зим подряд или в общей сложности, а затем прекращается. В дальнейшем съемки на этих постах повторяются с целью контроля один раз в 10 лет и, по указанию ГМО, в особо выдающиеся, необычные зимы (исключительно суровые или мягкие, много- и малоснежные и пр.).

На реках районов, где условия формирования льда непостоянны и значительно изменяются из года в год, после 2-3 лет проведения этих съемок в полном объеме они повторяются ежегодно, но по сокращенному количеству точек и профилей. Как правило, такие съемки ведутся в течение 10 лет, а при выявившейся большой изменчивости полученных данных и более продолжительное время (по заданию ГМО).

Ледомерную съемку на участках зарегулированных рек ниже плотин, где по заданию ГМО ведутся систематические измерения толщины ледяного покрова, рекомендуется производить ежегодно, согласно указаниям для рек и участков с неустойчивыми условиями формирования льда.

На малых реках (шириной менее 25 м при ледоставе) на участках без явно выраженных плёсов и перекатов в пределах до 1,5-2,0 км от поста сплошная ледомерная съемка по поперечникам заменяется ежедекадными наблюдениями за толщиной льда в пяти точках по длине реки.

При наличии на участке длиной до 1,5-2,0 км от поста ясно выраженных плёсов и перекатов ежедекадные измерения производятся

отдельно на плёсовом и на перекатном участках в трех точках по длине реки на каждом из них.

Сроки производства ежедекадных измерений толщины льда на малых реках сохраняются в зависимости от условий формирования ледяного покрова на участке такие же, как и для ледемерных съемок на больших реках: эпизодически - в течение только 2-3 лет и в характерные зимы или ежегодно на протяжении 10 лет и более.

Специальные наблюдения за условиями образования шуги, за шугоходом, ледоходом, зажорами и заторами организуются по указанию ГМО на некоторых гидрологических станциях и постах, преимущественно на тех шугоносных реках, которым свойственно образование зажоров, и в первую очередь на участках, представляющих интерес для проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений (мостов, ГЭС и др.).

В состав наблюдений за условиями шугообразования и за шугоходом входят:

- 1) производство в осенне-зимний сезон наблюдений за температурой воды микротермометром с целью выявить наличие переохлаждения в период ледообразования;
- 2) наблюдения за шугоходом, за густотой и степенью покрытия поверхности плывущей шугой, за количеством и скоростью движения шуги (льда).

В состав наблюдений за зажорами (заторами) входят:

- 1) наблюдения за уровнем воды в нескольких точках по длине зажорного участка для выявления характера колебаний уровня и определения уклонов

водной поверхности в период за жора;
2) наблюдения за ледовой обстановкой и положением верхней кромки льда с целью получить характеристику процесса формирования зажора;
3) леδοмерная съемка зажорного участка реки с целью определить размеры и форму тела зажора.

Для наблюдений за уровнем воды на зажорном участке и за уклонами водной поверхности на участке распространения зажора организуется несколько (пять-шесть) временных постов в местах характерных переломов продольного профиля реки. Наблюдения на этих постах ведутся с начала шугохода в разные сроки в зависимости от интенсивности зажорных явлений - от одного раза в 3-5 суток в начальный период шугохода до шести раз в сутки в период интенсивного формирования зажора при резких кратковременных колебаниях уровня, обычно связанных с подвижками и ледяного покрова.

Наблюдения на постах прекращаются с наступлением устойчивого ледостава и рассасыванием зажора, когда на основном посту наблюдается систематическое понижение уровня в течение 2-3 суток.

С момента появления ледяных образований на участке ведутся наблюдения за ледовой обстановкой, согласно указаниям главы 10, которые прекращаются в те же сроки, что и наблюдения на временных постах. Наблюдения за положением кромки льда и за ее перемещением начинаются возможно раньше, когда она находится еще вне границ обследуемого участка. Местоположение кромки определяется относительно какого-либо ориентира на участке, условно принимаемого за начало отсчета расстояний по длине реки. В пределах участка такими ориентирами могут служить уклонные посты.

Ледомерные съемки на зажорном участке производятся дважды в зиму: вскоре после установления сплошного ледяного покрова и через 1 -3 месяца для выявления убывания подледных масс шуги.

При организации наблюдений за зажорами для каждой реки и участка на ней разрабатываются особые план и программа работ применительно к местным особенностям гидрологического режима, размерам реки, предполагаемой протяженности участка зажора и прочим условиям конкретного объекта.

Разведка ледовой обстановки по длине больших рек с помощью самолетов производится УГМС с привлечением некоторых гидрологических станций по особому заданию преимущественно весной (перед вскрытием и в период ледохода) и осенью (в период замерзания и в первые дни ледостава). Целью обследования является получение сведений о ледовых фазах реки для обеспечения гидрологической информации, прогнозов и расчетов, а также для изучения особенностей ледового режима отдельных типичных рек.

Разведка ведется с самолета на участке до нескольких десятков и сотен километров по длине реки. В состав работ входит наблюдение за ледовой обстановкой (картирование) и аэрофотосъемка характерных ледовых образований.

План и программа обследования (протяженность участка, количество и сроки вылетов, степень подробности съемки и т.п.) разрабатываются в каждом отдельном случае особо в зависимости от цели обследования, размеров реки и участка, а также местных условий.

Предполагаемые сроки вылетов самолета на ледовую разведку заблаговременно сообщаются на сеть наблюдательных станций и постов, расположенных по трассе полета, для того чтобы в момент прохождения самолета над данным пунктом в последнем были произведены соответствующие наблюдения за ледовой обстановкой и измерена (или взята по ближайшему сроку наблюдений) толщина льда. Бортнаблюдатель при этом должен записать время прохождения самолета и производства наземных наблюдений.

Результаты наблюдений используются как исходные опорные данные при расшифровке сведений разведки с воздуха.

1.7.1 Наблюдение за химическим составом воды рек

В связи с организацией Общегосударственной службы наблюдений и контроля за загрязнением окружающей среды все пункты стационарной сети разделены на четыре категории в зависимости от значимости пункта, сложности и объема программы наблюдения, количества определяемых ингредиентов и показателей качества воды .

На станциях (постах) проводятся наблюдения за химическим составом воды рек в пунктах категории 3 и 4 в соответствии с планом размещения сети пунктов и программой работ. В частности, на постах выполняются работы по отбору проб воды, проведению некоторых полевых химических определений, гидрологическому обеспечению этих работ, а также подготовке и отправке отобранных проб в лабораторию УГМС на полный химический анализ.

Сроки отбора проб для химического анализа и программа работ определяются категорией пункта наблюдений. В зависимости от категории

пункта проводятся наблюдения ежедневные, ежедекадные, ежемесячные и в основные гидрологические фазы.

1.8.1 Общие требования при производстве промерных работ

Промеры глубин производят по линиям (галсам), пересекающим водоем и расположенным на известном расстоянии друг от друга.

Планы составляются в изобатах в тех случаях, когда они предназначаются для проектирования мероприятий, непосредственно связанных с эксплуатацией акваторий, и на них должны быть показаны глубины. Для проектирования на воде объектов строительства, сопряженных с берегом, рельеф дна на планах изображается в горизонталях.

Промер глубин классифицируется по нескольким признакам:

- по подробности промера;
- по способам проложения галсов;
- по способам определения места на галсах;
- по способам измерения глубин.

По подробности промер глубин разделяется на специальный, подробный и облегченный.

Каждому из этих видов промера соответствует своя частота галсов и измеренных глубин на них, а также масштаб оформления плана. Основные масштабы для составления промерных планов в соответствии с принятой классификацией промера по подробности и соответствующая им частота галсов с учетом сложности донного рельефа приведены в табл. 2

Высота сечения рельефа дна при изображении его изобатами или горизонталями составляет:

- для специального и подробного промера - 0,5 м - при глубинах до 10 м;
- для облегченного и рекогносцировочного промера - 0,5 м - для глубин менее 5 м и 1,0 м - для глубин более 5 м.

По способам проложения галсов промеры различают:

- по проектным линиям;
- по береговым створам;
- по береговым ориентирам;
- по гирокомпасу или магнитному компасу;
- по изофазометру и индикатору пути;
- маятниковым способом.

По способам определения места на галсе промеры делят на следующие:

- с использованием спутниковых геодезических приемников;
- без инструментальных засечек;
- с инструментальными засечками;
- с инструментальными засечками с берега или катера;
- с непосредственной разбивкой промерных точек;
- с применением фазовых систем.

Способ определения места на галсах устанавливается в каждом отдельном случае, исходя из принятой подробности промера, скорости течения, удаленности участка промеров от берега, масштаба оформления плана и в зависимости от наличия тех или иных приборов .

Таблица 1. Основные масштабы для составления промерных планов

Подробность промера	Масштаб плана	Расстояние между галсами, м		Расстояние между промерными точками, м	
		при сложном рельефе	при спокойном рельефе	при сложном рельефе	при спокойном рельефе
Специальный	1:500	5	10	2	5
	1:1000	10	20	5	10
Подробный	1:2000	20	40	10	20
	1:5000	50	100	20	30
	1:10000	100	200	30	40
Облегченный	1:2000	40	60	10	20
	1:5000	100	150	20	30
	1:10000	200	300	30	40

По способам измерения глубин промеры делят на:

- промер глубин эхолотом;
- промер глубин наметкой или ручным лотом;
- механическим лотом (с гидрометрическим грузом на лебедке со счетчиком).

Основным способом измерения глубин в инженерно -гидрографических изысканиях является промер эхолотом с цифровой записью глубин на электронный носитель и самописцем, непрерывно регистрирующим профиль дна по галсу (в настоящее время с приемниками GPS).

Измерение глубин наметкой, ручным лотом или механическим лотом допускается при выполнении точечного промера по линии или со льда, при измерении глубин у стенок гидротехнических сооружений, при малых объемах работ, а также когда измерение глубин эхолотом невозможно из-за наличия густых водорослей или большого количества воздушных пузырьков в воде, нарушающих нормальную работу эхолота.

Независимо от способов измерения и установленной подробности промера глубины отсчитываются с точностью: $\pm 0,1$ м - при глубинах до 10 м, $\pm 0,2$ м - при глубинах от 10 до 20 м и $\pm 0,5$ м - при глубинах свыше 20 м.

Все виды измерений и наблюдений, сопровождающие промер глубин, а также пояснения, относящиеся к его производству, заносятся на эхограммы эхолота и в журналы установленной формы (приложение Е).

Каждый промер глубин сопровождается контролем, который оформляется актом приемки материалов. Выявленные в результате контроля погрешности или грубые просчеты должны быть исправлены на месте работ.

Глава 2. Деформация берегов озер и водохранилищ

В результате воздействия ветровых волн происходит переформирование берегов, что ведет к образованию четко выраженных морфологических элементов, как и в случае с русловыми процессами. Поэтому подход к изучению переформирования может быть таким же, как и при оценке русловых деформаций.

Алгоритм процесса переформирования берегов посредством ветровых волн можно представить следующим образом.

Ветровое волнение действует на первоначально подтопленный берег озера и теряет устойчивость, после чего начинает разрушаться. Далее разделяют процесс формирования берегов на две стадии.

На первой стадии происходит интенсивный размыв коренного берега, в результате которого продукты размыва переносятся перпендикулярно к береговой линии. За счёт крупных частиц, осаждающихся у берега, формируется береговая отмель, а мелкие частицы выносятся в глубоководную зону. Впоследствии, постепенно формируется пологая отмель. Переформирование берега продолжается до момента достижения отмели определенной ширины, достаточной для поглощения всей волновой энергии, разрушающей береговой откос.

На второй стадии формирования берегов, под влиянием вдольбереговых течений происходит выравнивание береговой линии. На этой стадии роль вдольбереговых течений резко возрастает.

Вдольбереговые течения имеют наибольшую скорость и транспортирующую способность, когда волна идет под углом к берегу и, насыщенная наносами, попадает на прямолинейный участок берега, где откладывает часть наносов, способствуя продвижению отмели в водохранилище. Но большую часть наносов течения уносят вглубь, тем самым замедляя формирование отмели и большому разрушению берегов.

Для прогноза береговых деформаций необходимы следующие исходные данные:

- 1) Профили берегового склона, для которого ведется расчет
- 2) Профили дна водохранилища, ориентированные по четырем наветренным румбам и проходящие через расчетную точку береговой зоны
- 3) Сведения о ветровом режиме рассматриваемого района водохранилища
- 4) Сведения о режиме уровней воды в водохранилище за безледоставный период

В данный момент существует множество методов расчета и прогноза деформаций берегов озер и водохранилищ, которые делят на простые (не учитывающие вдольбереговые течения) и более сложные, основанные на учете воздействия на формирование отмели.

В данной работе будет использоваться методика Н.Е. Кондратьева, которая включена в СНиП 163-83.

Разберем последовательность действий для прогноза по используемой методике:

- 1) Из климатического справочника выбираются сведения о повторяемости ветра p_{10} за каждый месяц по четырем румбам
- 2) Пересчитываются p_{ω} на сезонные повторяемости $p_{\omega c}$, относящиеся ко всему безледоставному периоду, продолжительностью m месяцев по формуле:

$$p_{\omega c} = \frac{(\sum p_{\omega} N_m)}{(\sum N_m)}$$

Где N_m – продолжительность соответствующего полного или не полного месяца.

- 3) Производится переход от ветрового режима водохранилища к волновому режиму участка по четырем наветренным румбам, выражающий в графической форме связь между скоростью ветра ω и высотой волны h на подходе к зоне прибрежного мелководья.
- 4) По сведениям о сезонной повторяемости ветра определяется обеспеченность высот волн p по каждому наветренному румбу.
- 5) Для перехода от повторяемости $p_{\omega c}$ и обеспеченности p , относящихся к интервалам Δh различной величины, к более общим характеристикам пользуются интерполяцией. Для большей надежности желательно пользоваться величинами $\lg P$. Обеспеченность больших высот волн малой повторяемости определяют экстраполяцией. Обеспеченность больших высот волн малой повторяемости определяют экстраполяцией.
- 6) Получив для волн h_i повторяемость p_{ip} отдельно по четырем румбам, определяют среднюю за безледоставный период мощность этих волн, суммированную по румбам и отнесенную к единице протяженности береговой линии. Она рассчитывается по формуле:

$$R_i = 7.95Nh \sum_{i=1}^2 0.5 p_{ip} \cos \alpha_p$$

Где N – суммарная продолжительность безледоставного периода в часах; p_{ip} – повторяемость волн h_i румба p , %; α_p – угол, образованный лучом волны при соответствующем румбе ветра и нормалью к береговой линии.

- 7) В качестве расчетной волны h_0 принимают высоту, соответствующую поступлению к береговой отмели основной части (96—98 %) волновой энергии. Значение h_0 снимают с интегральной кривой относительной мощности волн (рис. 1).

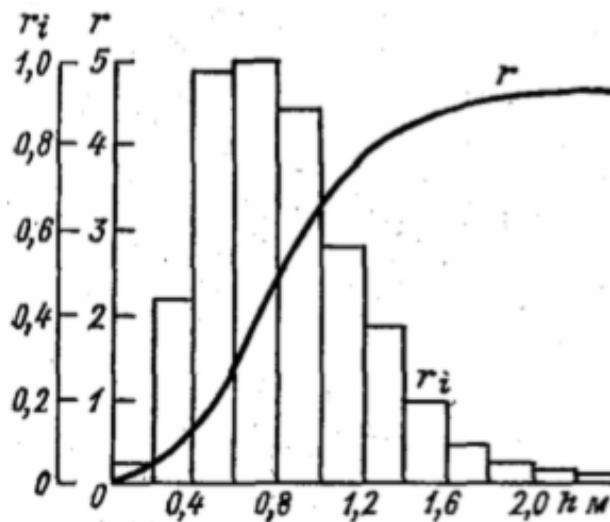


Рисунок 1 – Распределение относительной мощности по высоте волны r_i и интегральная кривая относительной мощности r

- 8) Производится установление профиля устойчивой береговой отмели и определение предельного смещения линии берега.

Профиль устойчивой береговой отмели состоит из верхнего криволинейного участка (рис. 2) до глубины H , равной глубине размывающего действия волны расчетной высоты h_0 , и из прямолинейного участка, простирающегося от глубины H до глубины $H+D$, где D — сработка уровня водохранилища за безледоставный период. Она определяется по данным о режиме работы водохранилища. Ось x устанавливается от расчетного уровня (НПУ) — начало координат в точке уреза при этом уровне. Ось y строится вертикально вниз, линию криволинейного участка строят по уравнению:

$$x = ky^2 + (l/m_n)y$$

Длина криволинейного участка B_H и прямолинейного B_D вычисляется по уравнениям:

$$B_H = kH^2 + (l/m_n)H$$

$$B_D = D[2kH + (l/m_n)].$$

9) Полную ширину устойчивой отмели (B_o) получают суммированием $B_o = B_H + B_D$.

10) Коэффициент k определяют по формуле :

$$k = (m_n - m_o) / 20 m_n m_o$$

где m_n — уклон пляжа (уклон линии профиля в точке уреза); m_o — уклон отмели (уклон линии профиля на условной глубине). Значения m_n и m_o определяются, исходя из фракционного состава грунтов разрушаемого берегового склона. Частицы крупности меньше 0,05 мм из расчета исключаются. Уклон отмели m_o определяется по среднему диаметру 30% наименее крупного материала, уклон пляжа m_n по среднему из 10% наиболее крупных фракций. Глубину размывающего действия волны H определяют по зависимости от высоты расчетной волны h_o и крупности донных наносов на внешнем крае береговой отмели (рис. 3).

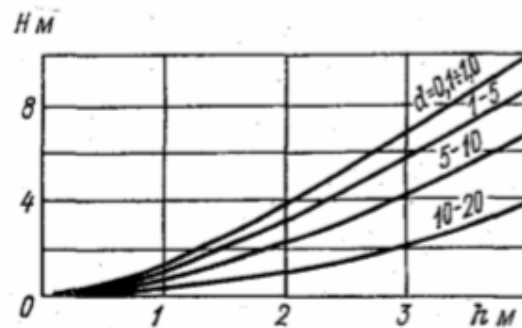


Рисунок 3 – Зависимость глубины размывающего действия волн (H) от высоты волны (h) при различной крупности донных наносов

11) Уклон подводного берегового склона $tg \nu_n$ (рис. 2) рекомендуется принимать равным 0,5, а надводного — не следует брать более пологим, чем уклон берега в естественном состоянии. Положение профиля устойчивой отмели начального профиля получается путем совмещения их, с соблюдением условия $Q_a / Q_p = \chi$, где Q_a — объем аккумуляции, Q_p — объем разрушения начального склона, χ — коэффициент аккумуляции, равный отношению содержания в материале разрушения фракций, меньших 0,05 мм. Предельное

смещение бровки берега равно расстоянию между положением точки уреза на исходном профиле и на профиле устойчивой отмели.

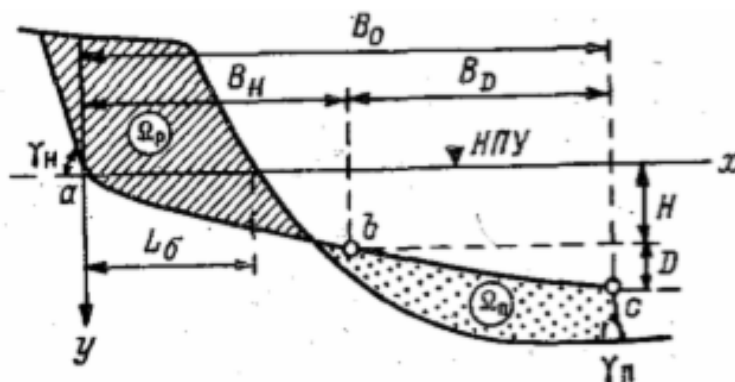


Рисунок 2 – Схема конечной стадии переформирования берега и его основные элементы

Ω_p – объем разрушения, Ω_a – объем аккумуляции, ab – криволинейная часть профиля береговой отмели шириной B_n , bc – прямолинейная часть береговой отмели шириной B_d , B_o – суммарная ширина береговой отмели, H – глубина размывающего действия волны при НПУ, D – сработка уровня воды в водохранилище, γ_n – угол наклона внешнего склона береговой отмели, L_b – значения смещения бровки берега.

3. КОМПЛЕКС НАБЛЮДЕНИЙ НА ОЗЕРЕ

Озеро «Окорочек» находится в д. Замостье, Гатчинского района, Ленинградской области, в 6 км от д. Даймище в северном направлении.

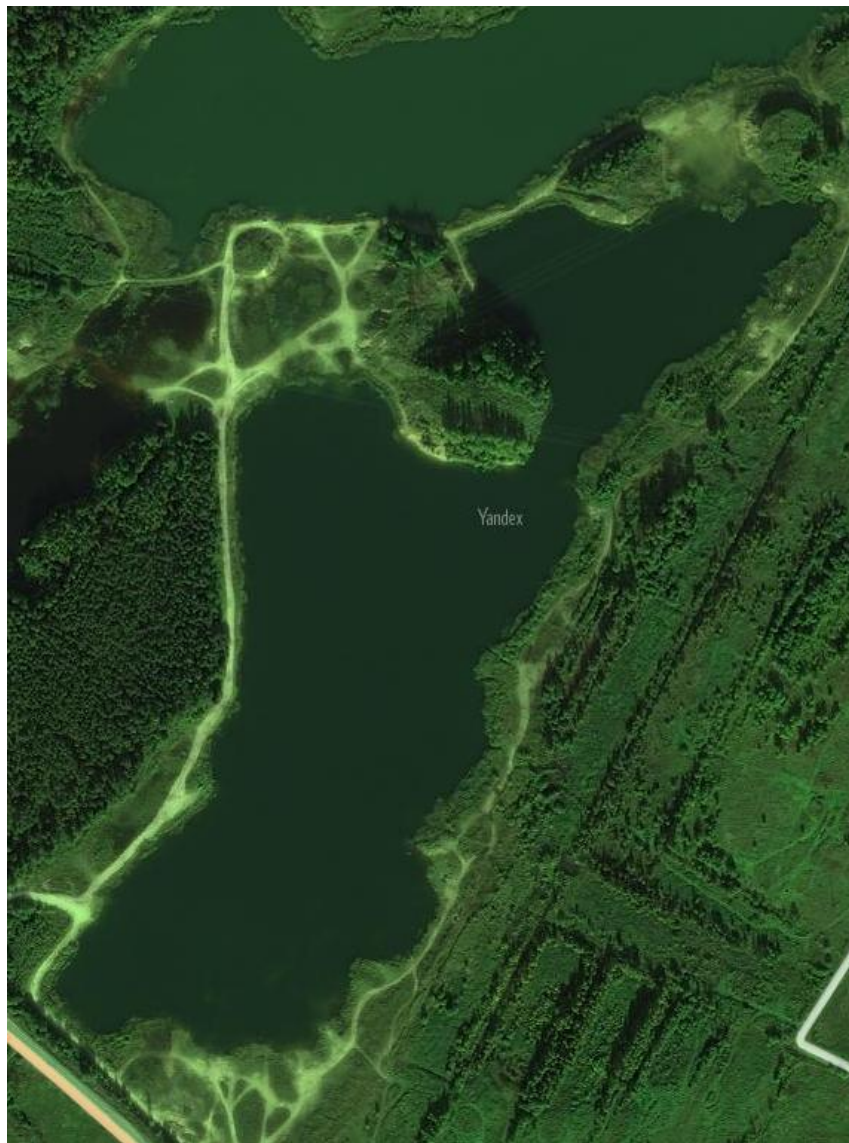


Рисунок 3 – Аэрофотоснимок карьера, д. Замостье

Озеро антропогенного происхождения, появилось около десяти лет назад, после окончания добычи сланца в котловине озера (карьере).

Карьер имеет неправильную форму. Северный берег песчаный с резкими уклонами и редкой растительностью. Вблизи стоит линия электропередач. На склоне растут хвойные и лиственные деревья.

Южный берег пологий, песчаный с травяной растительностью и кустарником.

Западный берег крутой с уклоном около 40°. Густая полевая растительность, имеются водоросли.

Восточный берег песчаный с сильным зарастанием. Растут кусты и смешанные деревья.

Вода в карьере прозрачная дно с резкими перепадами из-за производившихся технических работ. Питание: осадочное и поверхностный сток.

За рассматриваемый период 2017-2019 гг. на «Окорочке», как в летний, так и в зимний период проводились следующие гидрологические работы:

- 1) Промеры глубин
- 2) Измерения температуры
- 3) Наблюдения за прозрачностью и цветностью воды
- 4) Отбор проб донных отложений

Также, на основе выполненных работ были построены планы ложа озера в горизонталях и изобатах, термические разрезы, рассчитаны морфологические характеристики.

Планы ложа и термические разрезы представлены в Приложении А.1

4. РАСЧЕТ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ОЗЕРА «ОКОРОЧЕК».

4.1 Определение расчетных характеристик ветра и волнения

Исходными данными служат сведения о повторяемости ветра различной скорости по направлениям p_w . Данные взяты с интернет-ресурса «<http://lakka-sails.ru/winds/26069#all>» для метеостанции Белогорка за последние 10 лет по сезонам года за безледоставный период. Т.к. на озере не ведутся наблюдения за ледовыми явлениями и нет точных дат установления ледостава и вскрытия ледяного покрова, будем считать безледоставным периодом все сезоны года за исключением зимних месяцев, т.е. 275 суток.

Рисунок 4 – Роза ветров для весеннего

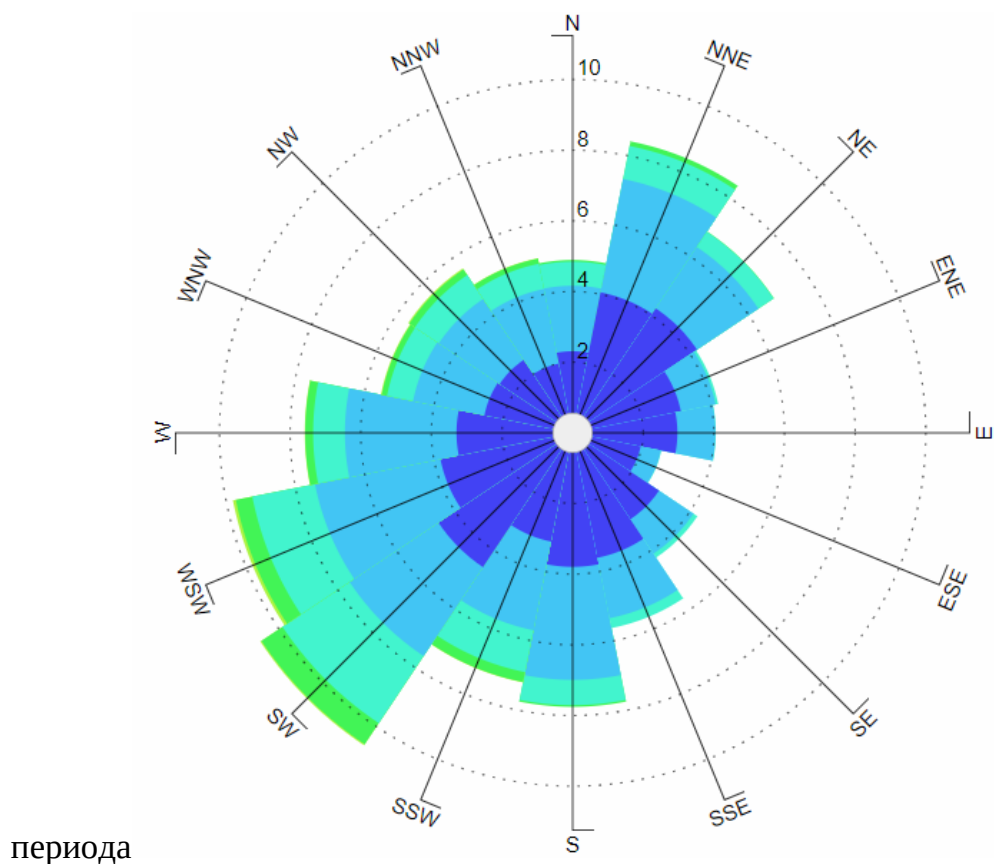


Рисунок 5 – Роза ветров для летнего периода

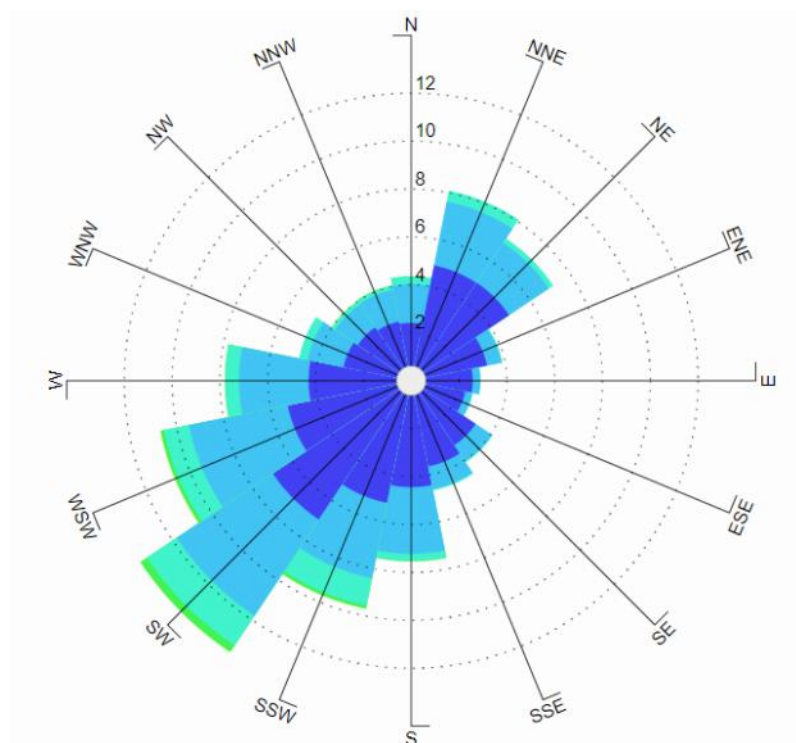


Рисунок 6 – Роза ветров для осеннего периода

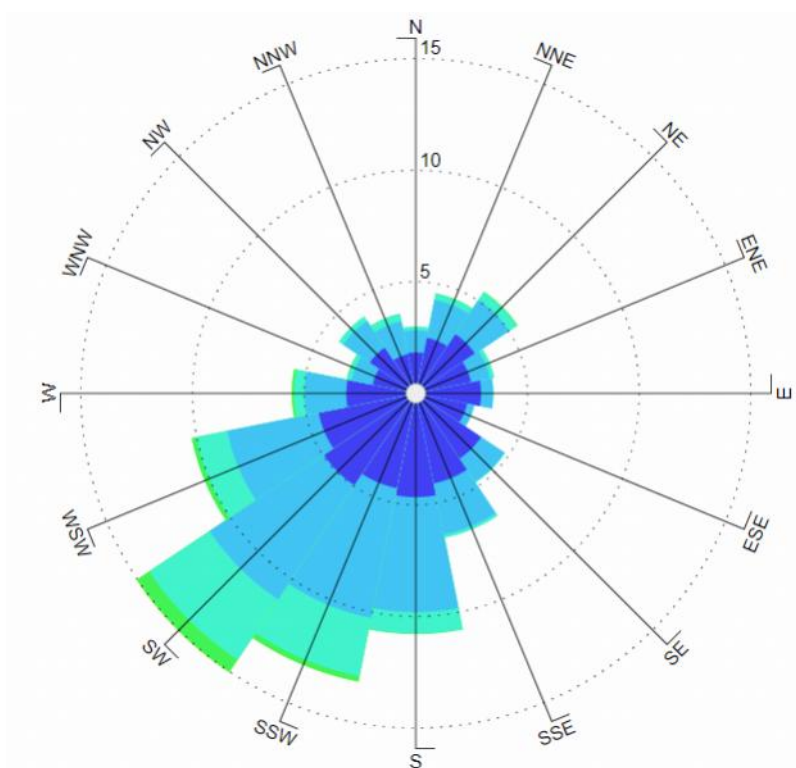


Таблица 2 –Повторяемости ветра различной скорости по направлениям за весенний период

Скорость ветра, м/с	Направление ветра																Все румбы
	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	
13+																	
11-12																	
9-10												0.1					0.2
7-8		0.1								0.3	0.7	0.5	0.2	0.1	0.2	0.1	2.4
5-6	0.7	1.0	0.5	0.1			0.1	0.3	0.7	1.2	2.3	1.8	0.9	0.8	0.8	0.7	11.9
3-4	1.9	3.3	2.1	1.0	1.1	0.6	1.2	1.7	3.2	2.6	3.0	3.6	3.2	2.1	2.1	2.1	34.6
1-2	1.8	3.5	3.7	2.6	2.4	1.4	2.4	3.1	3.2	2.6	4.0	3.3	2.7	2.0	1.9	1.4	41.9
0-1																	8.9
Все скорости	4.8	7.9	6.3	3.6	3.5	2.0	3.7	5.1	7.2	6.6	10.1	9.3	7.0	5.0	5.0	4.5	

Таблица 3 – Повторяемости ветра различной скорости по направлениям за летний период

Скорость ветра, м/с	Направление ветра																Все румбы
	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	
13+																	
11-12																	
9-10																	0.1
7-8										0.1	0.3	0.1					0.7
5-6	0.3	0.5	0.2						0.3	1.1	1.5	1.1	0.6	0.4	0.1	0.2	6.4
3-4	1.6	2.7	2.0	0.6	0.3	0.3	0.8	1.0	2.8	3.2	4.8	4.2	2.9	1.5	1.1	1.3	31.3
1-2	1.8	4.3	4.3	2.6	2.0	1.7	2.6	3.0	3.8	4.6	6.3	4.7	3.7	2.3	2.1	1.9	51.7
0-1																	9.8
Все скорости	3.8	7.5	6.5	3.3	2.3	2.0	3.5	4.1	6.9	9.1	13.0	10.1	7.2	4.2	3.4	3.4	

Таблица 4 – Повторяемости ветра различной скорости по направлениям за осенний период

Скорость ветра, м/с	Направление ветра																Все румбы
	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	
13+																	
11-12																	
9-10																	0.1
7-8																	1.4
5-6										0.2	0.7	0.2	0.1				10.7
3-4	0.2	0.3	0.4	0.2				0.1	0.9	2.7	3.2	1.4	0.5	0.2	0.2	0.3	37.1
1-2	1.0	1.7	1.8	0.9	0.5	0.3	1.3	2.3	5.2	5.9	6.2	4.2	1.9	1.0	1.4	1.5	43.8
0-1																	6.9
Все скорости	2.6	4.1	5.1	3.2	3.0	2.2	4.4	6.2	10.4	12.7	14.6	9.8	5.1	2.7	3.7	3.2	

$$P_{\omega c} = \frac{(\sum P_{\omega} N_m)}{3 \cdot (\sum N_m)}$$

По данным повторяемости ветра за сезоны по формуле вычислены сезонные повторяемости ветров, отнесенные ко всему безледоставному периоду.

Таблица 5 - Повторяемости ветра различной скорости по направлениям за безледоставный период

Скорость ветра, м/с	Направление ветра															
	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	СШ
13+																
11-12																
9-10												0.03				
7-8		0.0								0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0
5-6	0.3	0.5	0.2	0.0			0.0	0.1	0.3	0.8	1.5	1.0	0.5	0.4	0.3	0
3-4	1.2	2.1	1.5	0.6	0.5	0.3	0.7	0.9	2.3	2.8	3.7	3.1	2.2	1.3	1.1	1
1-2	1.5	3.2	3.3	2.0	1.6	1.1	2.1	2.8	4.1	4.4	5.5	4.1	2.8	1.8	1.8	1
0-1																
Все скорости	3.9	5.8	5.0	2.7	2.1	1.4	2.8	3.8	6.7	8.2	11.0	8.4	5.6	3.5	3.3	3

Прежде чем перейти к расчету высоты волн, необходимо определить с выбором направлений, для которых они будут рассчитаны, выбирая наиболее приоритетные направления, которые, в будущем, смогут в значительной степени повлиять на береговые деформации, форму озера и его окружающую среду. Определяя нужные направления, будем руководствоваться исходными данными и положением озера в пространстве.

Из таблицы 5, мы делаем вывод, что в данном районе преобладают юго-западные и юго-юго-западные ветра, составляющие 5,5 и 4,4 % соответственно, а скорости ветра в данных направлениях варьируются от 1 до 8 м/с.

Чтобы наглядно прояснить уровень значимости ветров выделенных направлений, обратимся к аэрофотоснимку, ориентированному по сторонам света (Рис. 7).

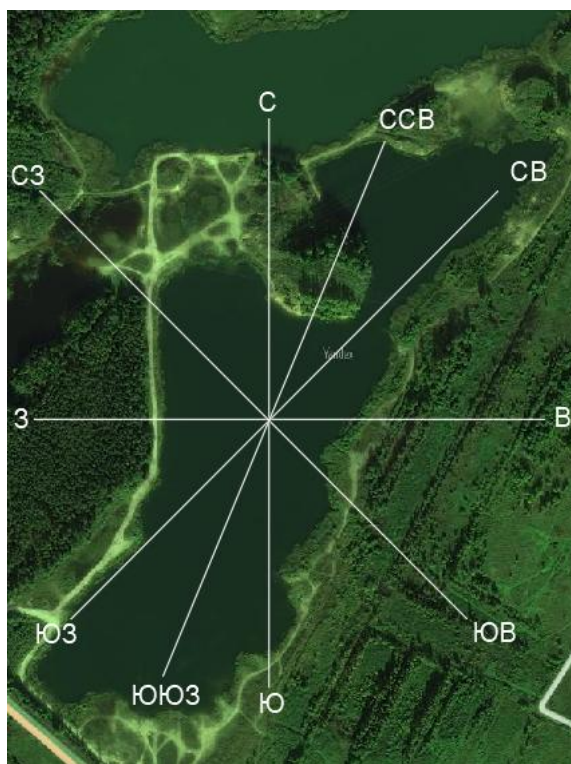


Рисунок 7 – Ориентация озера относительно сторон света

Итак, на снимке видим, что озеро протянулось вдоль одной из линий, с юго-запада на северо-восток, где имеет наибольшую удаленность одного берега от другого, а следовательно, и наибольшую длину разгона генерируемых ветровых волн. Кроме того, как мы заключили ранее, именно в этом и смежном ему направлении (юго-юго-западном) дуют самые сильные ветра, преобладающие в годовом цикле. Вдобавок к этому, рассмотрим объекты в непосредственной близости к озеру. Если мы взглянем на полуостров в северной части озера, то увидим две вышки линий электропередач и высоковольтные провода, тянущиеся над водной поверхностью (Рис. 8,9).



Рисунок 8 – Отмеченные вышки ЛЭП на полуострове в северной части озера



Рисунок 9 -Вышки ЛЭП на местности

Исходя из всего вышеперечисленного, мы определяем приоритетной, задачу по расчету береговых деформаций в области южного берега полуострова. Эта задача имеет важное значение для электрификации д. Замостье, а также для безопасности жизнедеятельности местного населения, т.к. озеро является рекреационным объектом. Важно определить какое количество времени пройдет прежде, чем опорные конструкции вышек линий электропередач придут в неустойчивое состояние в результате береговых деформаций.

Уже сейчас можно предположить, что волны, нагоняемые юго-юго-западными ветрами, будут размывать непосредственно южную береговую линию, а волны юго-западного направления, проходя через пролив забирая часть наносов с западного берега полуострова, которые в дальнейшем будут откладываться севернее.



Рисунок 10 – Направление волн на озере

Итак, перейдем к расчету высоты волн по выделенным направлениям. Расчет будет вестись по методу Н.А. Лабзовского, основанном на уравнении баланса волновой энергии Маккавеева. Этот метод лучше всего подходит для озер и водохранилищ, а также дает нам возможность автоматизировать расчет посредством MicrosoftExcel и использовать шаблон расчета в будущем, манипулируя лишь исходными данными.

Формула Лабзовского имеет вид:

$$h = 0,073 \cdot k \cdot w \cdot \sqrt{\epsilon D}$$

- W** – скорость ветра
- ε** – крутизна волны
- D** – длина разгона волны
- k** – коэффициент, учитывающий повышенную интенсивность развития волн в начале разгона.

В этой формуле мы можем вычислить все неизвестные величины.

$$\varepsilon = \frac{1}{0,9 * (100 + W^2)^{\frac{1}{2}}}$$

Крутизна волны:

$$\text{Коэффициент } k: k = 1 + e^{\frac{0,4 * D}{W}}$$

Расчет высоты волн произведен для юго-западного и юго-юго-западного румбов, для всех наблюдаемых скоростей ветра (см. таблицу 6). За длину разгона принято расстояние между самыми удаленными точками берега озера по заданному направлению.

Таблица 6 – Расчет высоты волн для юго-западного румба

Скорость ветра W, м/с	Крутизна волны ε , °	Длина разгона D, км	k	Высота волн h, м
0	0.11	0.88	2.00	0.00
1	0.11		2.42	0.06
2	0.11		2.19	0.10
3	0.11		2.12	0.14
4	0.10		2.09	0.18
5	0.10		2.07	0.22
6	0.10		2.06	0.26
7	0.09		2.05	0.30
8	0.09		2.04	0.33
9	0.08		2.04	0.36
10	0.08		2.04	0.39

Таблица 7 – Расчет высоты волн для юго-юго-западного румба

Скорость ветра W , м/с	Крутизна волны ε , °	Длина разгона D , км	k	Высота волн h , м
0	0.11	0.5	2.00	0.00
1	0.11		2.22	0.04
2	0.11		2.11	0.07
3	0.11		2.07	0.10
4	0.10		2.05	0.14
5	0.10		2.04	0.17
6	0.10		2.03	0.19
7	0.09		2.03	0.22
8	0.09		2.03	0.25
9	0.08		2.02	0.27
10	0.08		2.02	0.29

По данным полученных расчетов построена зависимость высот волн от скорости ветра выделенных направлений.

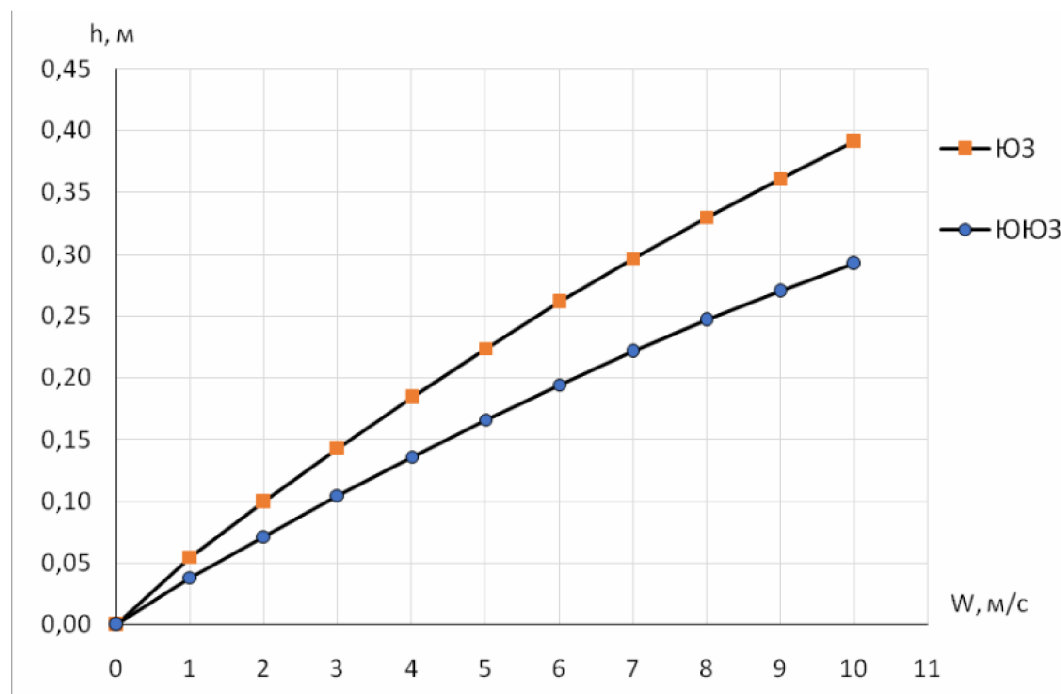


Рисунок 11 – Зависимости высот волн от скорости ветра выделенных направлений

По данным о повторяемости ветра для интервалов, приведенных в таблице 5, снимаются соответствующие высоты волн по зависимости

$h = f(W)$ (Рис. 11), а также определяются их обеспеченности.

Расчет приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет обеспеченностей высот волн

Румб	Скорость ветра W, м/с	Повторяемость ветра pW_c %	Высота волны h м	Обеспеченность высоты волны, %	
				P	lg P
ЮЗ				11.0	1.0400746
	0-2	5.5			
			0.1	5.5	0.7377226
	3-4	3.7			
			0.21	1.8	0.2552725
	5-6	1.5			
			0.26	0.3	-0.522879
	7-8	0.3			
ЮЮЗ				8.13	0.9102686
	0-2	4.37			
			0.07	3.77	0.5759572
	3-4	2.83			
			0.15	0.93	-0.0299632
	5-6	0.83			
			0.21	0.10	-1.0000000
	7-8	0.13			

Полученные характеристики волнения относятся к интервалам высот волн Δh , которые имеют единое достаточно малое значение интервала для всех румбов.

Интервал принят равным 0,20 м. Соответствующие обеспеченности P_i вычислены интерполяцией и представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики волнения, отнесенные к интервалу 0,20 м

I, м	ЮЗ			ЮЮЗ		
	lg P	P	p %	lg P	P	p %
0.05	0.85	7.07		0.61	4.09	
			1.62			1.33
0.1	0.74	5.44		0.44	2.76	
			1.62			1.33
0.15	0.58	3.82		0.15	1.42	
			1.62			1.33
0.2	0.34	2.20		-1.06	0.09	
			1.62			0.06
0.25	-0.24	0.57		-1.52	0.03	
			0.27			
0.3	-0.52	0.30				
			0.27			
0.35	-1.52	0.03				

Получив для волн повторяемость отдельно по интересующим наветренным румбам, следует определить среднюю годовую (точнее, среднюю за безледоставный период) мощность этих волн, суммированную по румбам и отнесенную к единице протяженности береговой линии .

Мощность рассчитывается по формуле:

$$R_i = 7,95 N \sum h_i^{2,5} p_{ip} \cos \alpha_p$$

Здесь N - суммарная продолжительность безледоставного периода в часах; p_{ip} - повторяемость волн h_i румба p в процентах; α_p - угол, образованный лучом волны при соответствующем румбе ветра и нормалью к береговой линии, в градусах.

Расчет представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет среднегодовой мощности волн на подходе к
береговой отмели

h, м	$h^{2.5}$	ЮЗ		ЮЮЗ		$r_i =$	$r =$
		p %	$ph^{2.5}\cos\alpha$	p %	$ph^{2.5}\cos\alpha$	$\sum ph^{2.5}\cos\alpha$	
0.05	0.0006	1.62	0.00083	1.33	0.00074	0.00158	0.00158
0.10	0.0032	1.62	0.00471	1.33	0.00421	0.00892	0.01050
0.15	0.0087	1.62	0.01299	1.33	0.01159	0.02458	0.03507
0.20	0.0179	1.62	0.02666	0.06	0.00107	0.02773	0.06281
0.25	0.0313	0.27	0.00776			0.00776	0.07057
0.30	0.0493	0.27	0.01224			0.01224	0.08281
0.35	0.0725						

По данным таблицы построен график распределения относительной мощности r_i по высоте волны и интегральная кривая относительной мощности r .

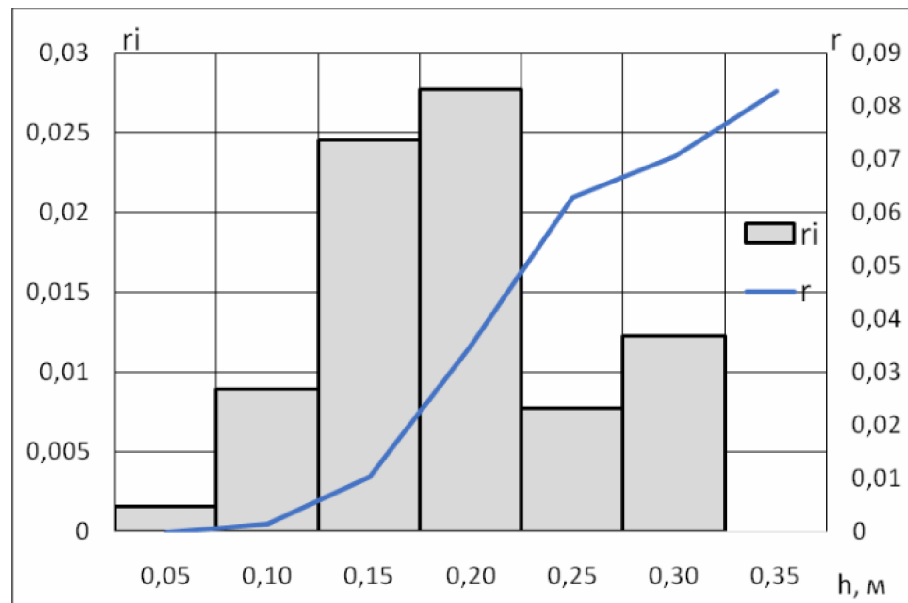


Рисунок 12 – График распределения относительной мощности r_i по
высоте волны и интегральная кривая относительной мощности

4.2 Расчет переформирования берегового уступа

В качестве расчетной высоты волны h_0 принимают высоту, соответствующую поступлению к береговой отмели основной части волновой энергии. Значение расчетной высоты волны снимается с интегральной кривой относительной мощности волн (Рис. 12). Высота расчетной волны h_0 принята равной 0,3 м

Для начала необходимо определить уклон пляжа m_n и уклон отмели m_0 , которые определяются исходя из фракционного состава грунтов разрушаемого берегового склона. На карьере диаметр фракций намывного песка на пляже составляет 1,00-2,00 мм. Этому диаметру соответствует уклон пляжа $m_n = 0,19$ и уклон отмели $m_0 = 0,03$. Уклоны определены по таблице 11.

Таблица 11 – Уклоны пляжа и отмели для соответствующих диаметров фракций

Грунт	Диаметр фракций d мм	Уклон пляжа m_n	Уклон отмели m_0
Песок мелкий	0.10-0.25	0.03	0.005
Песок средний	0.25-0.50	0.07	0.01
Песок крупный	0.50-1.00	0.14	0.02
Гравий мелкий	1.00-2.00	0.19	0.03
Гравий средний	2.00-5.00	0.21	0.05
Гравий крупный	5.00-10.00	0.25	0.08
Галечник мелкий	10-20	0.30	0.10
Галечник средний	20-50	0.36	0.15
Галечник крупный	50-100	0.40	0.20

Рассчитываем коэффициент k по формуле:

$$k = (m_n - m_0) / (20 * m_n * m_0) = 1.40$$

Глубину размывающего действия волны $H = 0.50$ м, определяем по графику (Рис. 13) в зависимости от высоты расчетной волны h_0 и крупности донных наносов на внешнем крае береговой отмели.

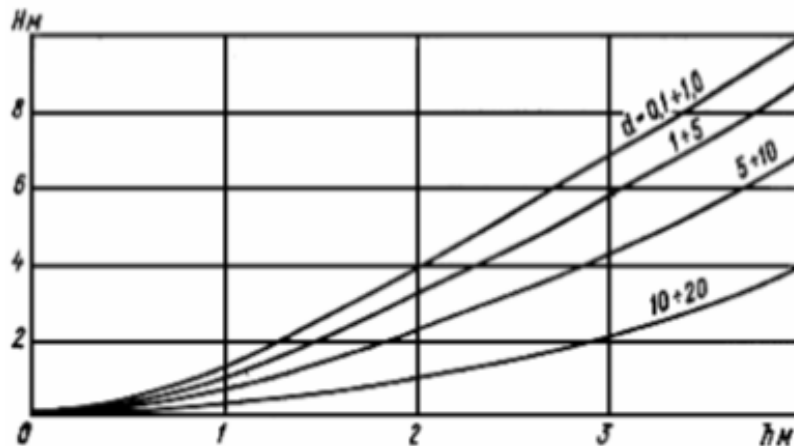


Рисунок 13 – Зависимость глубины размывающего действия волны от высоты волны при различной крупности донных наносов

Протяженности криволинейного участка V_H прямолинейного V_D вычисляются по уравнениям:

$$V_H = kH^2 + (1/m_n)H = 2.98\text{ м};$$

$$V_D = D[2kH + (1/m_n)] = 0\text{ м};$$

Где D – сработка уровня за безледоставный период, равная нулю на карьере.

Полная ширина устойчивой береговой отмели V_0 равна

$$V_0 = V_H + V_D = 2.98\text{ м}$$

Профиль криволинейного участка следует строить по уравнению:

$$x = ky^2 + (1/m_n)y$$

Расчет профиля отмели по этой формуле до глубины размывающего действия расчетной волны, соответствующей $y = H = 0.50$, приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет профиля береговой отмели

y, м	5.26 y	y ²	1.4y ²	x, м
0.00	0.26	0.0025	0.0035	0.27
0.10	0.53	0.01	0.01	0.54
0.15	0.79	0.02	0.03	0.82
0.20	1.05	0.04	0.06	1.11
0.25	1.32	0.06	0.09	1.40
0.30	1.58	0.09	0.13	1.71
0.35	1.84	0.12	0.17	2.01
0.40	2.11	0.16	0.22	2.33
0.45	2.37	0.20	0.28	2.65
0.50	2.63	0.25	0.35	2.98

По данным таблицы 12 построен расчетный профиль береговой отмели северного побережья карьера

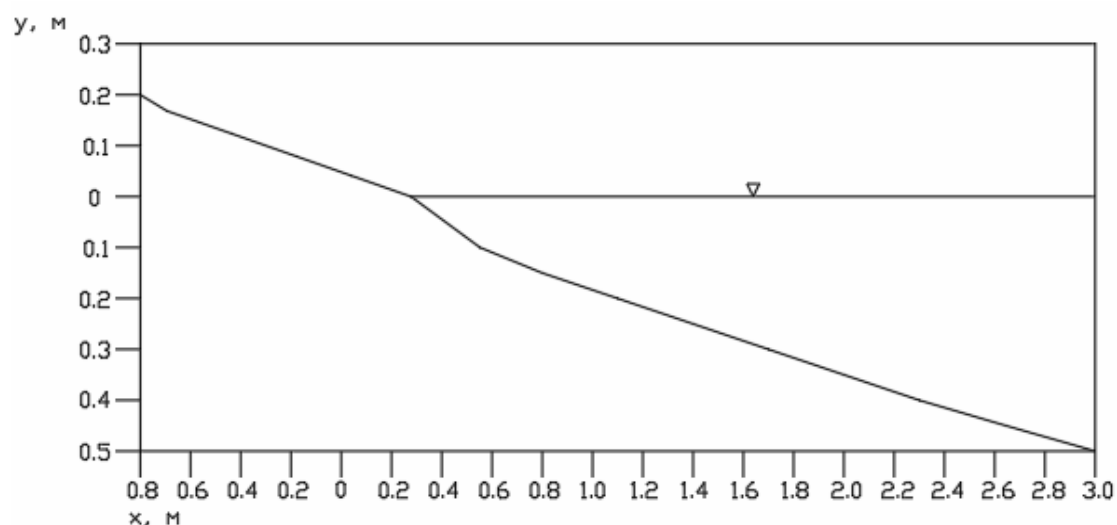


Рисунок 14 – Расчетный профиль береговой отмели

Для последнего этапа прогноза береговых деформаций, необходимо сопоставить графики начального профиля берегового склона и расчетного профиля устойчивой береговой отмели путем графического совмещения. И в заключение, нахождение объема аккумуляции Ω_a и разрушения наносов Ω_p , с последующим вычислением величины смещения береговой линии L_6 .

Однако, из-за событий, произошедших в 2020 году, получить данные для построения фактического профиля не удалось. Выезд на местность для сбора данных оказался невозможным, а архив кафедры не располагал необходимой информацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К сожалению, прямую задачу данной выпускной квалификационной работы, а именно, прогноз береговых деформаций карьера, выполнить не удалось в виду непредвиденных обстоятельств, произошедших не только в нашей стране, но и во всем мире.

Однако, не смотря на это, мною проделана большая работа по поиску информации и ее источников. Последующая обработка информации и ее систематизация относительно всех этапов прогноза.

Также, бóльшая часть расчетов была выполнена и автоматизирована в программе Excel. Автоматизация расчета позволит не выполнять расчетные этапы прогноза с нуля и дает возможность для систематизации новых материалов и их интеграции в расчетную схему.

Проделанная работа станет хорошей базой для будущих исследований в данной области при соответствующем подходе к пополнению и систематизации данных, а также значительно упростит процесс расчета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть 1. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. Л.: Гидрометеиздат, 1978 год
2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 7. Часть 1. Гидрологические наблюдения и работы на озерах и водохранилищах. Л.: Гидрометеиздат, 1978 год
3. Н.Б. Барышников, И.В. Попов, Динамика русловых потоков и русловые процессы. [Учебник].- Л.: Гидрометиздат., 1988. -449 Стр
4. Ведомственные строительные нормы : Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов): ВСН 163-83: Введ. 1.01.1985: Взамен СНиП II-45-75. -М.: ВНИИСТ
5. <http://l akka-sails.ru/winds/26069#all>
6. <http://rp5.ru>

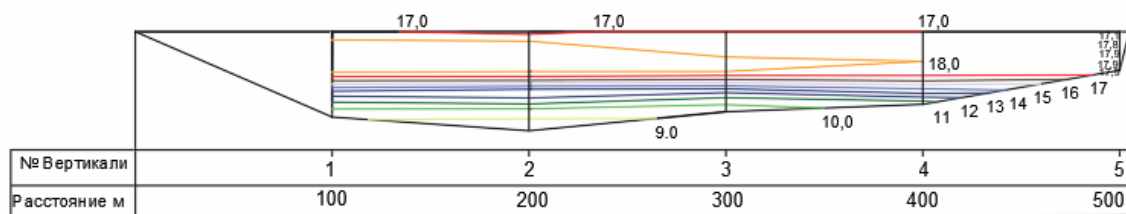
ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А – Планы ложа и термические разрезы озера Окорочек



Рисунок А.1 – План ложа озера Окорочек в 2017г.

Продольный профиль распределения температур на озере Окорочок



Условные обозначения:

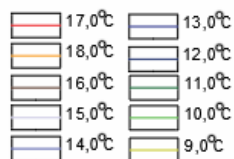


Рисунок А.2 – Термический разрез озера Окорочек в 2017г.

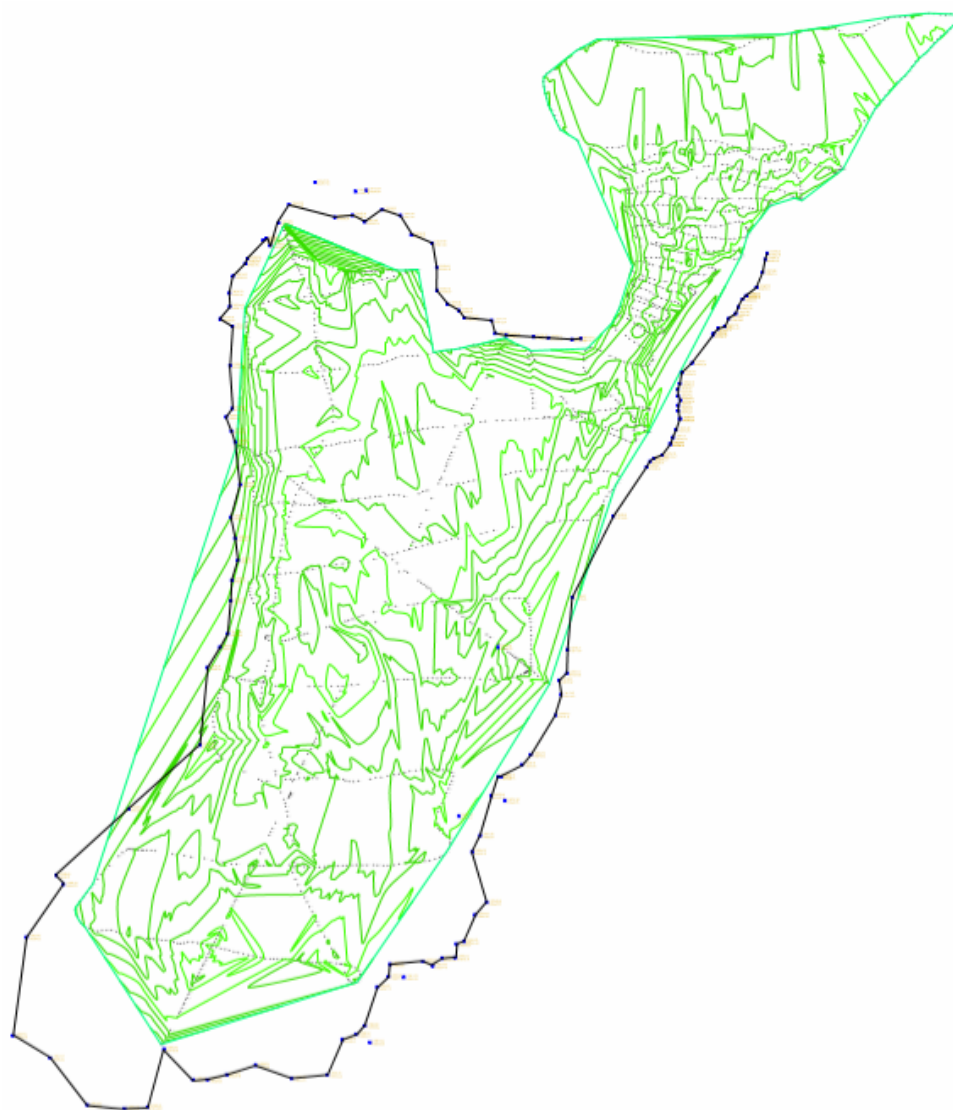


Рисунок А.3 – План ложа озера Окорочек в 2018г.



Рисунок А.4 – Термический разрез озера Окорочек в 2018г.



А.5 – План ложа озера Окорочек в 2020г.