



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 Разработка методики определения отметок

порогов стока на неизученных озерах

Исполнитель Чекунов Александр Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доктор географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Барышников Николай Борисович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

Кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«22» июня 2020г.

Санкт-Петербург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Физико-географическое положение.....	5
1.1 Ленинградская область.....	5
1.2 Финский залив.....	14
1.3 Река Нева.....	20
1.4 Ладожское озеро.....	29
2. Определение отметки порога стока Ладожского озера.....	48
3. Расчетная часть.....	63
Заключение.....	67
Список используемых источников.....	68
Приложения.....	70

Введение

На Северо-Западе России находится несколько тысяч озер, которые отличаются по происхождению и своими габаритами. Они хранят в себе большое количество природных ресурсов, эксплуатируются людьми в хозяйственных целях. В первую очередь поверхностные воды используются как транспортные пути, регуляторы стока вытекающих рек, эти огромные ресурсы естественно нужны для водоснабжения населения, гидротехнического градостроительства, промышленности, энергетики, сельского хозяйства. Также озера несут в себе ценность и интерес при разведении и добычи полезной водной растительности, огромного количества рыбы. На берегах озер обустраивают зоны рекреации для лечебных целей. На крупных озерах развернуто ежегодное судоходство в период открытой воды (в период отсутствия ледостава). В целом же для науки и культуры озера представляют собой объекты заинтересованности.

Большинство средних и малых озер на данной территории не достаточно изучены, у некоторых озер даже нет названий. Для этого и нужен обобщенный анализ сведений, которые уже известны, по озерным системам, а также выявлений различных зависимостей, в том числе гидрологических, гидрофизических, морфометрических и других. Поэтому нужно исследовать водные объекты, которые еще не исследованы.

Понятие динамический объем озера довольно часто встречается в различных литературных источниках, что означает объем воды в озере над порогом слива. Также данные об отметках порогов стока нужны для определения отметок уровней воды неизученных проточных озер при максимальном наполнении, для установления границ водоохранных зон, также при гидрографической съемке рельефа дна нужно знать или определить высотную отметку порога стока на неизученном озере для

установления плановых координат береговой линии. Сведений же об отметках порогов стока неисследованных озер и их местоположения нет.

Для этого в данной работе продолжается разработка определения отметок порогов стока для неизученных озер, по примеру достаточно изученного Ладожского озера. Для этого используются данные об уровне и расходах воды вытекающей из Ладожского озера реки Невы.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

1.1 Ленинградская область

Именно в Ленинградской области располагаются река Нева и Ладожское озеро, из которого вытекает река. Расположена Ленинградская область на северо-западе европейской территории России (рис. 1.1).

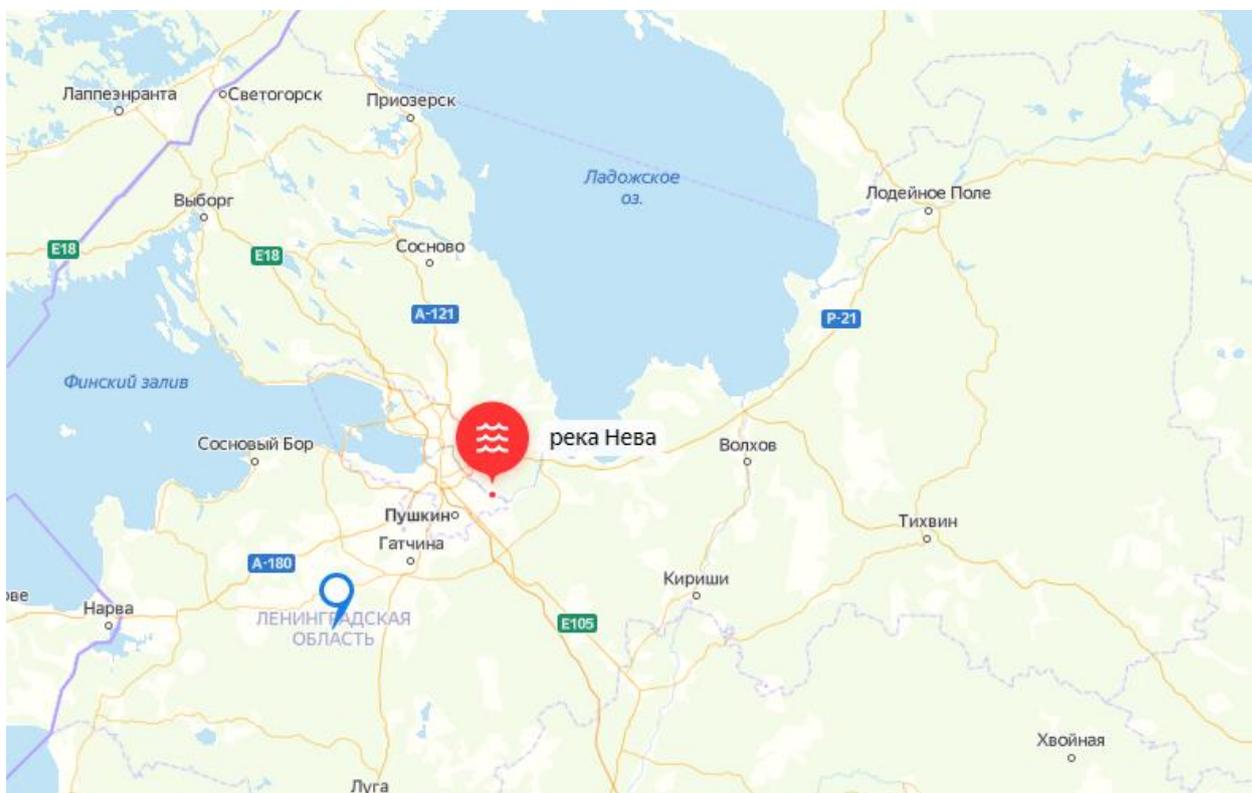


Рисунок 1.1 – Географическое положение Ленинградской области и реки Невы

Территория Ленинградской области занимает 83909км^2 , что составляет 0,5% от общей площади Российской Федерации, что является тридцать девятым показателем в стране.

С запада на восток Ленинградская область протянулась на 500 км, а наибольшая протяжённость с севера на юг составляет 320 км. Граничит же область с некоторыми субъектами России. Республика Карелия располагается севернее Ленинградской области, Вологодская область восточнее, Новгородская область юго-восточнее, Псковская область южнее. Город Санкт-Петербург является отдельным субъектом РФ.

Как уже можно было понять северо-запад области расположен на Балтийском кристаллическом щите, где выходят на поверхность архейские и раннепротерозойские породы, образованные более 590 миллионов лет назад из-за мощных вулканических извержений.

На южных берегах Финского залива и Ладожского озера в кембрийский период (около 500 миллионов лет назад) сформировались мощные толщи осадочных пород (синих глин с прослойками песчаников).

Приблизительно 400 миллионов лет назад, в ордовикский период, появились оболовые песчаники, содержащие месторождения фосфоритов и горючих сланцев на западе Ленинградской области. На юге области на поверхность выходят породы девонского периода.

В восточной части области близко к поверхности находятся породы, образовавшиеся в каменноугольный период [1]. Окончательно рельеф области сформировался в четвертичный период в результате четырёх оледенений и последовательно сменявших их межледниковых эпох.

Практически вся территория Ленинградской области, не считая малый край юго-восточной части, относится к бассейну Балтийского моря, имея развитую, густую речную сеть. Наиболее крупные реки это Нева, Волхов, Луга, Вуокса, Сясь и Свирь [2]. Ленинградская область богата озерами и реками, на ее территории более 1800 озёр, а общая протяженность всех рек более 49 тысяч километров. Половодье, т. е. значительный подъем уровня воды, наблюдается весной у большинства рек. Хотя, в частности в устье

Невы чаще осенью наблюдаются высокие подъемы уровня воды, причем довольно резкие, в связи с нагонными волнами, возникающими в результате дующих сильных ветров со стороны Финского залива. Для защиты города Санкт-Петербурга от наводнений в Финском заливе с 1980х годов начали возводить через остров Котлин, также именуемый как Кронштадт дамбу, протяженностью 25,5 километров. Значительная часть области заболочена, примерно 12 процентов территории. На территории Ленинградской области располагаются частично два крупнейших озера Европы, Ладожское и Онежское. Остальные же озера преимущественно ледникового происхождения, обладают небольшими размерами и в основном находятся на Карельском перешейке, в бассейне реки Луги, в верховьях реки Свирь и ее притоков, такие как Отрадное, Вуокса, Черменецкое, Омчино.

В основном территория Ленинградской области в зонах средней и южной тайги, но в том числе имеются смешанные хвойные и широколиственные леса. Еловые и сосновые леса, леса из березы, ольхи и осины располагаются только на северо-западе и востоке области, также могут встречаться дубовые насаждения. В целом же леса занимают больше половины территории области. В красную книгу растения Ленинградской области включены множество видов грибов, лишайников, мохообразных, водорослей и сосудистых растений.

Рельеф области

Ленинградская область полностью находящиеся на территории Восточно-Европейской (Русской) равнины имеет рельеф, характеризующийся как равнинный с небольшими абсолютными высотами, по большей части 50-150 метров над уровнем моря. Территория области находится на стыке двух крупнейших тектонических структур.

Рельеф изрезан слабо на побережье Финского залива, за исключением Выборгского залива, на котором наблюдаются шхеры. Из-за воздействия

ледника в далёком прошлом рельеф области выглядит равнинным, вследствие этого большую часть территорий занимают низменности – Прибалтийская, Приневская, Вуоксинская, Приладожская, Свирская. Южнее Финского залива и Ладоги протягивается Балтийско-Ладожский уступ. Холмисто-моренные возвышенности, расположенные на востоке области, такие как Тихвинская гряда, Вепсовская возвышенность, на которой располагается одна из высших точек Ленинградской области высотой в 292 метра, осложнённые также карстовыми формами. Наиболее рельефные гряды находятся в районе города Тихвин, своей длиной они доходят до десятков километров с превышениями до 90-95 метров, эти гряды представляют собой контур ледникового края в прошлом [3]. Олонецкая возвышенность, на западе – Ижорская возвышенность с проявлениями покрытого карста, на юго-западе – Лужская возвышенность с повышенной мощностью ледниковых отложений, в её пределах даже сохранились древние дюны, в центральной части Карельского перешейка – Лемболовская возвышенность. Пересечённым рельефом очень сильно от остальных отличается северо-западная часть Карельского перешейка, обладая большим количеством скальных выходов, а также невероятным количеством озёр. Карельский перешеек является частью Балтийского кристаллического щита, высочайшей точкой которого является гора Кивисюръя высотой 203 м над уровнем моря, расположена же она неподалеку от посёлка Новожилово, в урочище Каменная гора.

Основной тип почв в Ленинградской области - подзолистые, которые приурочены к суглинистым отложениям. Дерново-подзолистые почвы формируются на хорошо дренированных возвышенностях, а на переувлажнённых низменностях дерново-подзолисто-глеевые. Альфегумусовые почвы находятся на песках и супесях под сосняками. Дерново-карбонатные почвы располагаются на моренных суглинках Ижорской возвышенности. В центральной равнинной части Ленинградской области, на побережье Финского залива, на Карельском перешейке, при

близком залегании грунтовых вод образуются торфяные почвы. Аллювиальные почвы, которые богаты гумусом, располагаются в поймах и на террасах тех рек, которые в период половодья затапливаются, пример таких рек как Луга, Волхов.

Климат области

В Ленинградской области климат характеризуется как атлантически-континентальный. Зимы здесь сравнительно мягкие с частыми оттепелями, а лето умеренно тёплое, обусловлено это морскими воздушными массами. Средняя температура января колеблется в пределах -8, -11 градусов цельсия, в июле же средняя температура составляет в районе +16, +18 градусов. Максимальная температура была зафиксирована в городе Тихвин в конце июля 2010 года и составила 37,8 градусов цельсия выше нуля. Минимальная же температура, когда-либо зафиксированная на территории Ленинградской области, была зарегистрирована в январе 1940 года, 54,7 градусов цельсия ниже нуля в селе Шугозеро. Холодные районы находятся на востоке области, тёплые же на юго-западе. Среднемесячные температуры воздуха отражены на рисунке 1.2.

t _{ср.мес.} В Лен. Области			
месяц	t _{ср} , °C	месяц	t _{ср} , °C
январь	-9	июль	18
февраль	-7	август	15
март	-2	сентябрь	10
апрель	4	октябрь	3
май	10	ноябрь	0
июнь	14	декабрь	-4

Рисунок 1.2 – Среднемесячные температуры воздуха в Ленинградской области

Главной отличительной чертой климата в Ленинградской области является непостоянство погоды, которое вызвано частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические. Из-за морских воздушных масс,

поступающих с запада, юго-запада или северо-запада при перемещении через северо-западные районы России атлантических циклонов, которые вызывают пасмурную, ветреную погоду и осадки. Зимой же они могут быть причиной резких потеплений, а летом, наоборот, причиной похолодания. Когда приходит сухой континентальный воздух востока, юга или юго-востока, то в антициклонах, которые сформированы в этих воздушных массах, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная. С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, который формируется над льдом. После вторжения арктических воздушных масс устанавливается ясная погода и резкое понижение температуры воздуха. В тех областях, где наблюдается повышенное давление, которое сформировывается в этих воздушных массах, даже летом могут появляться заморозки, а зимой – наиболее сильные и существенные морозы. Такое разнообразие синоптических процессов в тесной связи с частой сменой воздушных масс и является причиной больших междусуточных колебаний метеорологических параметров. Из-за смены воздушных масс, перепады температуры воздуха могут серьезно превышать амплитуду суточных колебаний и довольно часто могут достигать разброса в +/- 15 градусов Цельсия и больше. Известно, что весь северо-западный регион России, в котором находится Ленинградская область, является одним из сложнейших регионов для прогнозирования метеорологических показателей и возможных сопутствующих опасных явлений, как раз из-за большой изменчивости погоды изо дня в день, а иногда и в течение одних суток. Из-за нескольких факторов, в числе которых значатся близкое расположение крупных водоемов (Финский залив, Ладожское и Онежское озера) к Ленинградской области, разнообразие ландшафта, а также большая протяженность области с запада на восток, главной особенностью области является неоднородность погодных условий по всей территории. Кроме резких изменений погоды, которые сами по себе являются неблагоприятными факторами, на территории

области наблюдаются практически все опасные метеорологические явления: сильные ветры, в том числе шквалы и смерчи, снегопады и метели, гололед, туман, сильные морозы и жара, кратковременные интенсивные ливни и продолжительные дожди, грозы, град, лесные пожары, засуха и наводнения.

Для Ленинградской области также характерна высокая облачность. Так в течение года в Санкт-Петербурге в среднем бывает около 30 безоблачных дней. Из-за того, что зимой облачность большая, замедляется падение температуры воздуха, так как облака препятствуют оттоку тепла из нижнего слоя атмосферы. Наименьшая же облачность наблюдается весной и в начале лета, наибольшая - осенью.

Для Ленинградской области самым продолжительным временем года считается зима, которая наступает в конце ноября на востоке и начале декабря на западе, появляется устойчивый снежный покров, а реки покрываются льдом. При этом в начале зимы погода не устойчивая, часто встречаются оттепели из-за циклонов.

В начале зимы суша сильно охлаждается, из-за того что высота солнцестояния маленькая, день короткий и снежный покров лежит на земле в малом количестве или вовсе отсутствует. В декабре обычно около 20 дней пасмурные и только парочка дней может быть ясными. Это связано с облачностью и частыми туманами, которые образуются вследствие того, что морской воздух, который поступает с циклонами, быстро охлаждается и достигает состояния насыщения, и водяной пар, который содержится в этом воздухе, конденсируется.

После новогодних праздников и в феврале, в Ленинградской области зима значительно холоднее, чем в первой половине, так как ослабляется циклоническая деятельность, морской воздух, который поступает с запада становится более холодным и менее влажным. Поэтому облачность

уменьшается, туманы становятся редким явлением. При этом арктический воздух дует все чаще, вызывая резкое понижение температуры.

Весна приходит в Ленинградскую область в конце марта, когда начинается таяние снега. Сначала снежный покров начинает сходить на западе в конце марта, а на востоке таять начинает в первой половине апреля. В это время начинают прилетать птицы и цвести деревья.

Весной циклоны наблюдаются редко, облачность становится меньше, по сравнению с другими временами года, осадков также не очень большое количество выпадает, в целом погода считается сравнительно устойчивой, так как существенное влияние оказывают располагающиеся неподалеку крупные водоемы, которые зимой покрылись льдом. В Петербурге средняя суточная температура выше нуля градусов Цельсия в начале апреля, но поднимается не стремительно, поэтому лишь в конце апреля или в середине мая средняя суточная температура устанавливается в диапазоне отметок 10 – 15 градусов Цельсия выше нуля.

При этом весной нередко могут вторгаться арктические воздушные массы, которые вызывают похолодания, заморозки, в основном в ночное время, причем это может возникнуть и в мае, и даже в июне. Лето же считается наступившим, когда заканчиваются заморозки.

Лето в Ленинградской области принято считать умеренно теплым. Облачность в начале лета практически всегда небольшая из-за преобладания континентальных воздушных масс. Во второй половине лета все чаще начинают появляться циклоны, приносящие за собой пасмурную погоду, сильные ветры и дожди, вследствие этого ясная и теплая погода отступает.

Когда уже наступает сентябрь приходит осень, а вместе с ней заморозки становятся все чаще, начинается листопад, однако погода еще напоминает позднее лето. Это так называемое бабье лето, довольно теплое и сухое. В октябре температура начинается стремительно понижаться,

усиливаются циклоны, становится нормой пасмурная, прохладная погода с сильными ветрами и морозящими дождями, а также туманами, такая погода продолжается и в ноябре. Облачность и влажность в это время года самые высокие [4]. В ноябре, а иногда уже и в конце октября начинает идти снег, который моментально или в течение нескольких дней тает, и так происходит неоднократно. Температура вечно колеблется от плюса к минусу, и только в последние дни ноября среднесуточная температура окончательно переваливает за отметку 0 градусов Цельсия, что характеризует конец осени.

Осадки в области

Так как в зоне избыточного увлажнения находится вся территория Ленинградской области, то напрашивается вывод, что относительная влажность воздуха всегда высокая, которая варьируется от 60 процентов летом до 85 процентов зимой. На территории Ленинградской области ежегодно происходит заболачивание почв, так как среднегодовая сумма осадков, которая составляет 560 - 660 мм, на 210 - 260 мм больше количества испаряющейся влаги. Наибольшее количество осадков, количество которых может составлять 700 - 800 мм в год, выпадает на возвышенных частях области, основная же масса осадков, от общего годового количества выпадает с апреля по октябрь. Среднемесячное количество выпавших осадков представлено на рисунке 1.3.

Рср.мес. В Лен. Области			
месяц	Р,мм	месяц	Р,мм
январь	33	июль	55
февраль	32	август	80
март	29	сентябрь	48
апрель	35	октябрь	43
май	44	ноябрь	39
июнь	60	декабрь	36

Рисунок 1.3 – Среднемесячное количество выпадающих осадков на территории Ленинградской области

Существенная часть осадков в Ленинградской области выпадает в виде снега. Так стабильный снежный покров лежит около 125 дней на юго-западе области и до 150 - 160 дней на северо-востоке. К концу зимы высота снежного покрова на северо-востоке обычно находится на отметке 50 - 60 сантиметров, а на западе, где частенько происходят оттепели, не превышает обычно 35 сантиметров.

Климат Санкт-Петербурга имеет такие особенности, что в летнее время днем каменные здания, мостовые и тротуары сильно нагреваются, накапливая тепло, а ночью отдают это тепло в атмосферу. Зимой же воздух получает дополнительное тепло от отопления зданий.

Известно, что в Санкт-Петербурге температура немного выше и осадков может выпасть больше, чем в соседних районах Ленинградской области. Это связано с тем, что многие примеси в воздухе, такие как пыль, дым, сажа и другие замедляют его охлаждение; при этом они собирают влагу, что вызывает образование дождевых капель.

1.2 Финский залив

Финский залив, омывающий своими водами Ленинградскую область на западе, располагается в восточной части Балтийского моря, омывая помимо России такие государства как, Эстония и Финляндия (рис. 1.4).

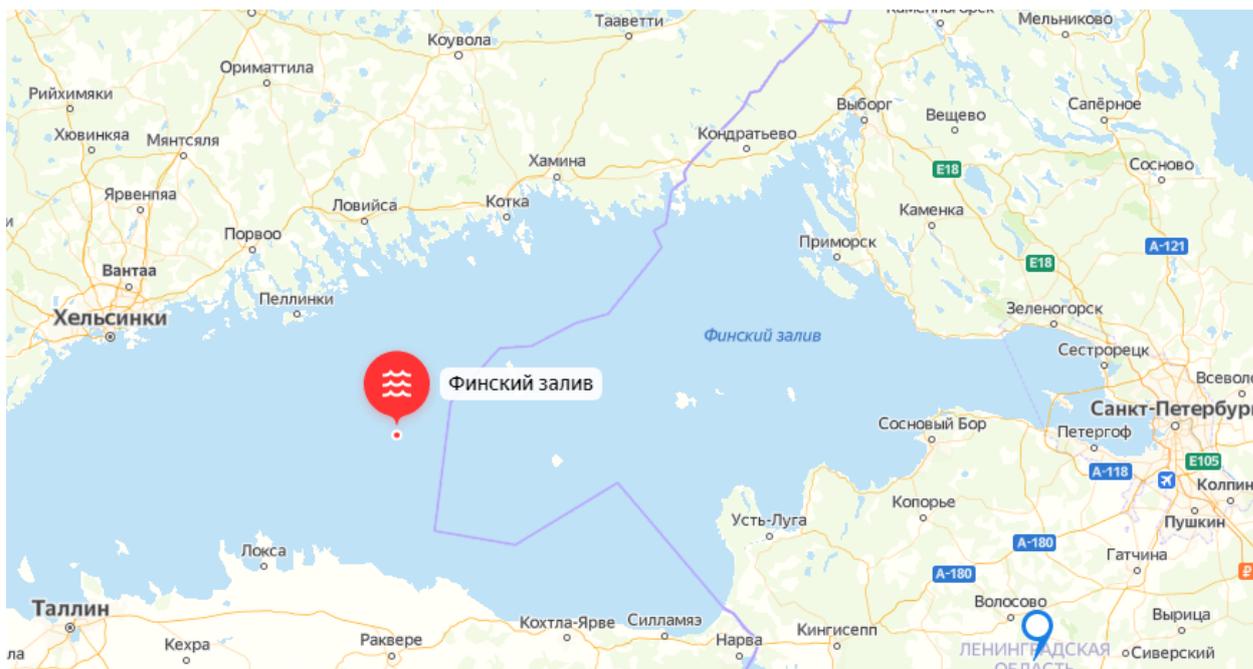


Рисунок 1.4 – Географическое положение Финского залива

Площадь Финского залива составляет 29 500 квадратных километров, его длина 420 километров, максимальная ширина достигает 130 километров. Финский залив, как и Балтийское море, нельзя назвать глубоким – средняя глубина лишь 38 метров, а максимальная составляет 121 метр.

История формирования залива

Наука позволила достаточно точно определить даты и основные принципы формирования акватории современного Финского залива. 390 миллионов лет назад эта территория была покрыта морем, этот вывод можно сделать благодаря оставшимся отложениям песка, глины и известняка. Современный рельеф в конечном итоге был сформирован в ходе оледенений и деятельности ледников, последнее из этих оледенений завершилось 12 тысяч лет назад, называется оно Валдайским оледенением.

После отступления ледника в этом регионе образовалось Литориновое море. Площадь Финского залива, как и Балтийского моря была значительно больше, так как уровень воды был в среднем выше на 8 метров, чем

современный. Постепенно уровень воды снижался и сформировался Финский залив в том виде, в котором мы его видим сегодня.

Также стоит отметить влияние Скандинавского щита, который из-за воздымания обеспечил перекоп дна Финского залива. В современном виде залив окончательно сформировался примерно четыре тысячи лет назад.

Берега Финского залива люди населяли еще в древние времена. Было обнаружено множество стоянок древних людей, отдельный имеют возраст более девяти тысяч лет. Это был период, когда ледник отступал, и люди двигались вслед за ним, осваивая новые земли [5].

Начиная с IX века, все восточные берега входили в состав Водской пятины (Великий Новгород). Вообще, на этих землях было очень много войн, стоит вспомнить только многочисленные конфликты со шведами. Уже начиная с XI века, шведские суда активно перемещались по Финскому заливу, грабя русские купеческие суда и нападая на прибрежные поселения. Они нуждались в крепостях, так в 1293 был основан Выборг.

Вся восточная часть Финского залива отошла России после окончания Северной войны в 1721 году. Ключевые события: строительство Санкт-Петербурга и Кронштадта. Именно с этого времени началось активное осваивание Россией берегов Финского залива, появилось много городов.

Дно Финского залива представляет большой интерес для археологов. Здесь было столько морских сражений, что залив считается одним из крупнейших кладбищем кораблей в мире. Кроме того, многие из них очень хорошо сохранились. Это способствовали холодные и пресные воды. Известны случаи, когда одновременно в Финском заливе погибало огромное количество судов, даже не в результате военных столкновений.

Всего считается, что на дне Финского залива лежит около 2500 кораблей. Также насчитывают около 1500 самолетов, большинство из

которых оказались на дне во времена Великой Отечественной войны. Еще тысяча объектов – небольшие лодки и транспортные средства, которые провалились под лед. Со дна Финского залива уже доставали несколько танков.

Соленость воды достигает 9,2 ‰, что является очень небольшим показателем. То есть, воду в Финском заливе нельзя назвать соленой. Это объясняется тем, что сток из рек является очень большим (на Неву приходится 70% от всего стока), поэтому в залив непрерывно поступает пресная вода. Соленость воды в Финском заливе может кратковременно повышаться в том случае, если ветер нагоняет воду из Балтийского моря. Впрочем, и само море отличается очень пресной водой.

На берегах Финского залива находится много крупных городов: Санкт-Петербург, Зеленогорск, Выборг, Сестрорецк, Приморск, Ломоносов, Сосновый Бор Хельсинки, Таллин, Нарва-Йыэсуу и другие. Издавна Финский залив имел очень важное значение для судоходства [6].

Финский залив замерзает в конце ноября, вскрывается ото льда в апреле, однако стоит заметить, что в теплые зимы он может не замерзать. Особенно это характерно для последних лет, когда зимы очень часто бывает крайне теплыми. Это создает большие проблемы для рыбаков, которые все равно ловят рыбу, не смотря на плохую ледовую обстановку на Финском заливе. Первой замерзает начинает восточная часть.

Для Финского залива характерны нагоны воды вследствие сильных ветров. Это особенно часто происходит тогда, когда дуют западные ветры, которые нагоняют большое количество воды. Это нередко приводит к наводнениям в Санкт-Петербурге, так как вода может подниматься на несколько метров. Во время крупнейшего наводнения в 1824 году воду поднялась на 421 сантиметр. Сегодня ситуация стала несколько лучше после строительства дамбы.

Северные берега по большей части изрезанные, с большим количеством мелких бухт и заливов, иногда встречаются крупные заливы (например, Выборгский), есть большие полуострова. Северный берег Финского залива в целом низкий и с очень большим количеством песчаных пляжей, поэтому здесь в летнее время можно встретить очень большое количество отдыхающих. Однако местами берег каменистый. Южный берег в основном подтопленный, но также встречаются хорошие пляжи.

Восточную часть Финского залива называют вершиной, а западную – горлом. Также восточная часть имеет название Невская губа, грубо говоря, это территория, которая находится восточнее Кронштадта.

Для Финского залива характерно большое количество банок, шхер, островов, отмелей.

Хозяйственное значение

Финский залив имеет важное хозяйственное значение не только для России, но и для Эстонии и Финляндии. На его берегах находится большое количество портов [7]. Самый большой находится в Санкт-Петербурге, также порты есть в Таллине, Турку, Высоцке, Выборге, Усть-Луге, Приморске. Здесь ежегодно перевозят огромное количество грузов.

Есть несколько регулярных паромных линий, услугами которых ежегодно пользуются десятки, а то и сотни тысяч людей. Паромные линии затрагивают практически все города, которые имеют свои порты. Кроме того, из Санкт-Петербурга паромы ходят и в другие государства Северной Европы.

Достаточно развито рыболовство, в Финском заливе ежегодно вылавливают от 2 до 2,5 тысяч тонн рыбы. Промысловое значение имеют лишь несколько видов: лещ, корюшка, плотва, окунь, килька. Однако стоит отметить, что количество выловленной рыбы сокращается. В 1980-х года в Финском заливе вылавливали в среднем в 10-11 раз больше рыбы.

В Финском заливе обитают следующие виды рыб: корюшка, верховка, атлантический лосось, морская щука, щука, язь, судак, сом, синце, сырть, треска, уклея, чехонь, шпрот, красноперка, окунь, плотва, ерш, карась, густера, камбала, колюшка, линь, морская игла, налим, ряпушка, салака, сиг, угорь, елец. Есть два эндемика – балтийская треска и балтийская салака, эти подвиды обитают только в Балтийском море, иногда встречаются и в Финском заливе. Стоит отметить, что не смотря на большое разнообразие рыб, некоторые виды встречаются крайне редко.

Флора и фауна Финского залива

Побережье Финского залива относится к природной зоне южной тайги. Леса в основном состоят из елей и сосен, а также из лиственных пород: рябина, осина, береза, ива и другие. Характерны для Финского залива места, где на песке растут сосна – подобные ландшафты считаются отличительной особенностью и их часто называют «белые дюны».

Из-за пресной воды в районе берегов часто встречаются участки, которые заросли водно-болотной растительностью, это тростник и камыш. Есть отдельные места, где прибрежные зоны на десятки метров на протяжении километров заросли камышом и тростником. Из-за небольших глубин также распространены обычные для этих широт водные растения: кувшинки, кубышки, осока.

Для Финского залива характерно большое количество фитопланктона, в результате чего вода цветет. Иногда и в некоторых местах это может создавать большие проблемы, вплоть до невозможности нормально искупаться.

1.3 Река Нева

Река Нева, располагающаяся на северо-западе Европейской части Российской Федерации, соединяет Ладожское озеро и Финский залив Балтийского моря (Рис. 1.5).

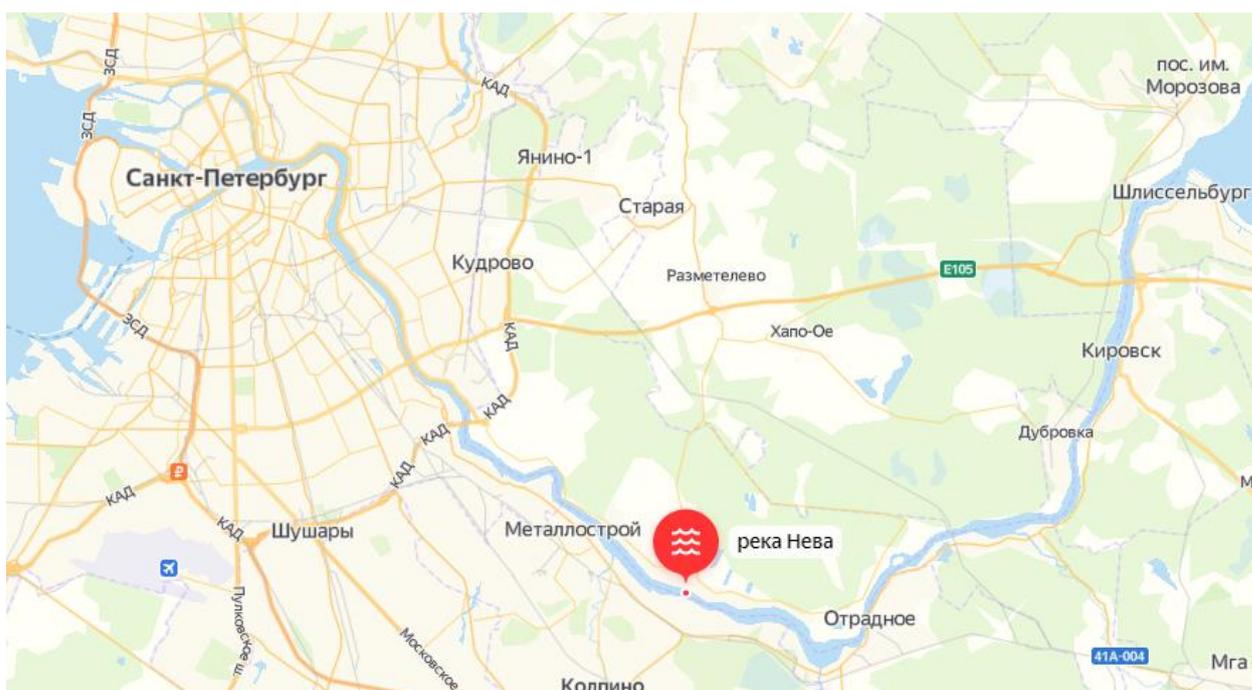


Рисунок 1.5 – Географическое положение реки Невы

Бассейн Невы находится не только на территории России, но и занимает часть Финляндии, а также минимальную часть территории Белоруссии. В процентном соотношении на территорию России приходится примерно (81,3%), на территорию Финляндии примерно (18,6 %), а на Белоруссию всего (0,1%). А теперь рассмотрим какую площадь в процентном соотношении занимает бассейн Невы непосредственно на территории России: на Ленинградскую область приходится примерно (23,8%), на Республику Карелия (36,1%), Новгородскую область (21,2%), Псковскую (7,6%), Тверскую (4,9%), Вологодскую (3,9%), а также на Архангельскую (2,5%). Из семи субъектов Российской Федерации бассейн Невы большей частью расположился в Республике Карелия, а также существенные

территории занимает в Ленинградской и Новгородской областях. В плане гидрографического отношения бассейн Невы включает в себя три участка: Свирь-Онежский, Волхов-Ильменский и Вуокса-Сайменский. По площади Свирь-Онежский и Волхов-Ильменский участки не сильно отличаются, первый занимает площадь в (83,1 тыс. км²), второй занимает площадь, равную (80,2 тыс. км²). Вуокса-Сайменский участок также занимает внушительную площадь, которая составляет (66,7 тыс. км²). На берегах Невы расположились некоторые города и посёлки, естественно самый значимый и большой это Санкт-Петербург, также есть небольшие города как Шлиссельбург, Кировск, Отрадное, посёлок Усть-Ижора и другие.

История формирования дельты

350 млн лет назад территория современной дельты Невы была покрыта морем. Все осадочные отложения того времени, среди которых песчаники, глины, пески, известняки, их покрывают мощной толщей кристаллический фундамент, который состоит из гнейсов и гранитов. Современный же рельеф был образован в результате деятельности ледников, последнее же Валдайское оледенение произошло примерно 11 – 12 тыс. лет назад. Далее в процессе отступления ледника образовывается Литориновое море, уровень которого был примерно на 8 метров выше нынешнего уровня Балтийского моря [8]. Была Приневская низменность, которая протягивалась с востока на запад, примерно в том месте, где в наши дни протекает Нева, протекала река Тосна, которая впадала в залив Литаринового моря. Литориновое море раньше имело связь в виде широкого пролива с Ладожским озером на севере Карельского перешейка, и в Ладожское озеро впадала река Мга, которая в то время текла на восток, в районе, где сейчас находится исток Невы. Между бассейнами рек Тосны и Мги находился водораздел.

Суша поднималась быстрее в районе Ладожского озера, вследствие чего озеро стало замкнутым водоемом. После уровень воды в озере стал повышаться, и в один момент, когда вода стала переливаться через

водораздел, долина реки Мги затопилась этими водами. Эти воды хлынули в долину реки Тосны, в том месте, где вода прорвалась образовались пороги, они в наше время называются Ивановскими и располагаются на Неве. Вот так и образовался пролив между Ладожским озером и Финским заливом около 3,5 тыс. лет назад. В итоге этот пролив стал долиной Невы, а Мга и Тосна теперь являются ее притоками

За последние 2 – 3 тыс. лет практически не изменялся рельеф долины Невы, который создан постледниковыми отложениями.

В створе Шлиссельбургской крепости, в близь одноименного города, находится современный исток реки Невы. Она впадает в Балтийское море, протекая через территорию Ленинградской области. Физические характеристики Невы могут удивить, так ее длина составляет всего 74 километра, причем 32 километра ее течения проходят по городу Санкт-Петербург, а с среднемноголетний расход воды составляет около 2500 кубическим метров в секунду. Площадь водосбора вместе с Ладожским озером составляет 281,6 тыс. км², причем собственная площадь водосбора реки примерно 5 тыс. км². Дельта и Невская губа, так называемое устьевое взморье образуют дельту Невы.

Бассейн реки представляет собой равнинную озёрно-речную систему, в которой многочисленные озёра чередуются с отдельными речными звеньями. В бассейне реки Невы располагается примерно 59 тыс. средних и малых водотоков. Густота речной сети варьируется от 0,40-0,74 до 1,30 км/км². Самой длинной рекой в Невской системе является река Ловать, протяженностью 529 километров [9]. Так в Неву впадает около 20 небольших рек с левого берега, таких как Ижора, Тосна, Мга, а с правого одна река Охта.

В бассейне Невы большое количество озер, примерно 49,9 тыс., с общей площадью более 47 тыс. км², имея суммарный объем воды 1350 км³. Чуть более 16 процентов площади водосбора Невы занимают четыре

крупных озера, два из которых являются самыми крупными в Европе: Ладожское, имея площадь 17,67 тыс км², Онежское, которое имеет площадь более 9,7 тыс. км², озеро Сайма, находящееся на территории соседней страны, Финляндии, имеющее площадь чуть менее 4,5 тыс. км², озеро Ильмень с площадью 1 тыс. км². Со значительных территорий бассейна озера аккумулируют воду, питая такие реки как Вуокса, Свирь, Волхов и собственно Нева.

Около 13 процентов площади бассейна занимают болота, некоторые массивы таких заболоченных местностей достигают по площади 310-390 км². Например, южнее озера Ильмень, заболоченность речных бассейнов может достигать 30, а то и 35 процентов, а в Полистовском болотном ландшафте, неподалеку от рек Полисть, Шелонь и Ловать, заболоченность доходит до 65 процентов относительно всей территории.

Рельеф и гидрография реки

Нева, протекающая по равнинной Невской низменности, имеет невысокие берега, почти на всём протяжении круто обрывающиеся к воде, имея высоты примерно 3—6 метров, в устье — 2—3 метра. Имеются три крутых поворота русла реки: первый у Ивановских порогов, второй у Невского лесопарка и Усть-Славянки, и третий у Смольного собора чуть ниже по течению от Большеохтинского моста, еще его называют мостом Петра Великого. Ивановские пороги образованы вследствие того, что река пересекает моренную гряду, здесь же у начала порогов считается самое узкое место реки, ширина в этом створе у Невы 211 метров [10]. Средняя скорость течения воды в стержне Невы около 0,9—1,0 метра в секунду. До 70х годов двадцатого столетия в районе порогов, не было возможно двустороннее движение судов, так как каменная мель находилась на дне по всей ширине русла, но в результате дноуглубительных и очистительных работ в 1973—1978 годах эта каменная мель была срезана. По итогу судовой ход в районе

этих порогов расширился с 80 до 155 метров, и тем самым удалось обеспечить двухстороннее движение судов.

Нева сама по себе широкая и глубокая река, со средней шириной 400—600 метров. Самые широкие места имеют расстояние больше километра в дельте реки у Невских ворот Морского торгового порта в так называемой воронке рукава Большая Нева, у окончания Ивановских порогов при впадении реки Тосны и у острова Фабричный вблизи истока. Средняя глубина 8—11 м; наибольшая глубина 24 м — ниже по течению относительно Большеохтинского моста в Смольнинской излучине у правого берега, напротив Арсенальной улицы, наименьшая 4,0—4,5 м — в Ивановских порогах, вследствие совершенных дноуглубительных работ в XX веке [11].

Через Неву в Финский залив поступает вода с площади бассейна Ладожского озера. Площадь собственного бассейна Невы составляет 5 тыс. км², а включая бассейн Ладожского озера — 281 тыс. км². На такой территории осадки существенно превышают испарение: на него идёт лишь 37,8 процентов, а на суммарный сток реки — 62,2 процента.

Весеннее половодье на Неве практически незаметно. В теплый период года проходит один несущественный по диапазону изменения уровня воды, в среднем от 1,6 метров у истока и до 0,15 метров в устье, и при этом крупный по объёму стока воды паводок, которые отражает реакцию Ладожского озера, на которое поступают талые весенние воды со всего водосбора. Подъём уровня воды чаще всего начинается медленно в конце марта или начале апреля. Максимальный годовой расход воды составляет в среднем 3500 м³/с, наибольший - 4580 м³/с. В основном максимальный расходы и уровни воды наблюдаются в июне или июле. Средний минимальный расход равен 1530 м³/с, а наименьший измеренный - 550 м³/с. Минимальные же расходы воды формируются в конце зимы. Дожди, которые проходят весной и осенью почти не влияют на колебания расходов и уровней воды в реке.

По режиму уровней воды Неву принято разделять на две части: верхнюю - от Ивановских порогов до истока, где сильно отражается влияние Ладожского озера, и нижнюю - от устья до Ивановских порогов, где большое влияние оказывает Финский залив. Сгонно-нагонные колебания уровня воды в Финском заливе, Невской губе, дельте реки и на её устьевом участке формируют всегда западный и восточный ветры, Нагон в устье Невы обычно сопровождается сгоном в истоке, а нагон в истоке - сгоном в устье. Нагоны имеют максимальную величину у морского края дельты и быстро затухают вверх по течению реки.

Из-за того, что река питается водами Ладожского озера, а также слабого процесса эрозии на собственном водосборе, мутность воды в Неве по сути небольшая. Содержание минеральных частиц в среднем составляет 6,0 г/м³. Средний расход взвешенных наносов в устье Невы составляет 15,2 кг/с. В Невскую губу в среднем за год поступает 0,622 млн тонн наносов. Практически все они 96% накапливаются в восточной половине Невской губы.

Минерализация Невы

Вода в Неве слабо минерализована, что связано с её генезисом, а также отношением собственного и общего водосбора реки, так как величина получается небольшая. Минерализация в реке варьируется в пределах 30 - 70 г/м³, зимой минерализация в среднем выше в два раза, чем весной. Растворенные минеральные вещества, содержащиеся в невиской воде, в среднем составляют 38 г/м³, что примерно в 3-5 раз меньше, чем минерализация вод в таких реках, как Ока, Волга. Среднегодовой расход растворённых солей составляет 94,8 кг/с. В каждый год через реку в Финский залив попадает 3,01 млн тонн таких минерализованных соединений. Вода в Неве относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, также она является очень мягкой, так как ее жесткость не превышает 0,4-0,8 мг-экв/л.

Степень насыщения воды кислородом в истоке реки может достигать 95 процентов.

Качество воды в Неве напрямую зависит от химического состава вод в Ладожском озере, и поступающих сточных вод с её собственного водосбора. По индексу загрязнения воды, качество вод в Ладожском озере колеблется от «условно чистой» в восточной и центральной частях озера, до «загрязнённой» в районе Волховской губы. Исходя из таких показателей вода в Неве относится к «умеренно загрязнённым» выше по течению относительно Санкт-Петербурга или к «загрязнённым» водам, находящимся в черте города. Для Невской губы характерно эвтрофирование вод, т. е. насыщение вод биогенными элементами, которые сопровождаются ростом биологической продуктивности водного пространства.

Средняя многолетняя температура воды в Неве в период открытого русла варьируется в пределах 9 – 10 градусов Цельсия выше нуля. В июле же средняя температура воды близка к плюс 17 градусам Цельсия. На Неве при замерзании реки могут формироваться зажоры, приводя к повышению уровня воды до 3-4 метров. Эти зажоры образуются по большей части на Ивановских порогах из-за внушительного и стремительного образования внутриводного льда на поздно замерзающем участке Невы. Лёд устанавливается в устье реки раньше, чем в истоке (примерно 4 и 20 числа последнего месяца в году соответственно). Наибольшая толщина льда на реке имеет значения в пределах 45-50 сантиметров, а в районе Санкт-Петербурга 35-45 сантиметров. Нева может замерзать на 2-5 месяцев. Вскрытие льда на реке происходит обычно в первой декаде апреля, при этом в истоке вскрытие начинается в среднем на неделю раньше, чем в устье. Для Невы также характерно формирование двух ледоходов. Первый, так называемый невский, имеет небольшую продолжительность в среднем 3 – 5 дней, а вслед за ним появляется второй ледоход, который называют ладожским, и вот он уже имеет продолжительность примерно полторы

недели. В период таких ледоходов возможны заторы, при которых уровень воды может повыситься до 3 метров.

Дельта реки относится к наиболее освоенным территориям России, но в то же время она подвержена влиянию опасных природных явлений, в число которых входят нагонные наводнения, от которых город всегда страдал, так как случались наводнения. Для защиты же от таких опасных природных явлений Санкт-Петербурга в 1979 началось строительство комплекса защитных сооружений (КЗС). Данный проект подразумевал, что дамба, которая была отсыпана вдоль по морского края Невской губы, пройдёт от станции Горская, которая располагается на северном берегу Финского залива через остров Кронштадт до станции Бронка, находящейся в районе города Ораниенбаум на южном берегу залива, будет иметь длину 23 километра и высоту 8 метров. Для того, чтобы суда могли проплывать через дамбу было запланировано сооружение двух ворот, как для местных кораблей, так и для океанских судов и шесть водопропускных отверстий. Когда возникает угроза сильных нагонов эти отверстия и судоходные пролёты должны перекрываться металлическими затворами, вследствие чего вода не могла проникнуть из Финского залива в дельту реки и выше по её течению. В 1989 один из участков данного комплекса защитных сооружений был законсервирован, а именно участок от Кронштадта до станции Бронка на южном берегу вблизи города Ораниенбаум, а возобновление работ на нем случилось только в 2001 году. В 2011 же году строительство комплекса защитных сооружений в основном было завершено. По проекту данные защитные сооружения способны предотвращать нагоны с подъёмом уровня воды на 5,3 м над ординаром [12].

Нева является главным источником водоснабжения города Санкт-Петербург и Ленинградской области. В 2005-2008 годах величина водозабора для нужд населения и хозяйства составляла чуть менее 1,40 км³/год. Около 28-30 процентов объёма воды используется в промышленности. Из Невы за

сутки забирается на водохозяйственные нужды воды 1,70 процента от её годового стока.

Река также серьезно эксплуатируется в качестве естественного коллектора сточных вод разной степени очистки. Эти сточные воды практически в одинаковых количествах поступают в Неву и Невскую губу. Например, в 2007 году объём сточных вод, сброшенных в Неву, составил около 0,60 километров кубических. Сточные воды естественно снижают качество воды в реке и в особой степени в Невской губе, так как уменьшен обмен водой с Финском заливом, вследствие создания комплекса защитных сооружений.

Нева судоходна на всём протяжении. В районе Ивановских порогов получается самый неудобный, опасный участок из-за сложного рельефа и каменистого дна, здесь река прорезает известняковый кряж, также на этом двухкилометровом участке создается довольно-таки быстрое течение со скоростями до 3,5 метров в секунду. Все эти факторы вместе сильно затрудняли судоходство. До 1980х годов, там было только одностороннее движение судов, в последствие, после проведения дноуглубительных работ стало возможно двухстороннее движение судов всех видов. Нева является важным звеном Волго-Балтийского водного пути, который соединяет Волгу с Балтийским морем. Длина всего этого пути составляет примерно 1100 километров, а глубина судоходного фарватера должна быть не менее 4 метров. Продолжением Волго-Балтийского пути является Беломорско-Балтийский канал, который соединяет Онежское озеро с Белым морем. На Волго-Балтийскому пути из года в год увеличивается грузопоток, также популярны перевозки туристов, которые могут лицезреть и наслаждаться многочисленными памятниками природы, архитектуры, мостами и набережными Невы. Со стороны моря имеется несколько фарватеров, такие как Петровский, Елагинский, Корабельный, Галерный, для осуществления

движения судов. Также Нева является привлекательным водным объектом для рафтинга.

1.4 Ладожское озеро

Ладожское озеро располагается на северо-западе России, в краю суровой, но неописуемо красивой природы (Рис.1.6). Это крупнейшее пресноводное озеро на территории Европы. Площадь водного зеркала составляет 17 870 км², суммарная площадь ладожских островов прибавляет к этой внушительной цифре еще 167 км². Размеры озера – 219 на 138 км, а длина извилистой береговой линии составляет 1570 км.

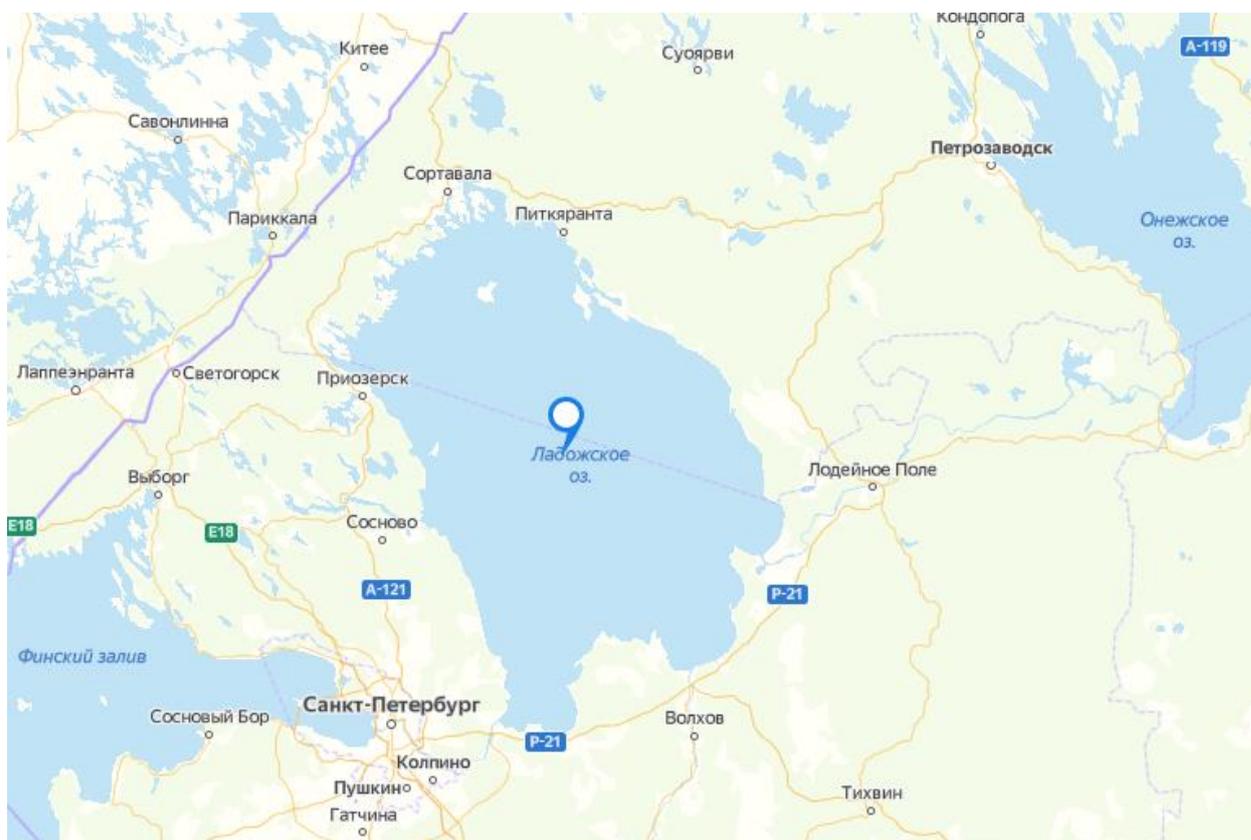


Рисунок 1.6 – Географическое положение Ладожского озера

Ладожское озеро – важное звено Волго-Балтийского пути. В период навигации его воды бороздят пассажирские корабли морского класса, но

судоходство здесь ограничено из-за внезапно возникающих штормов. Основной судоходный трафик пролегает через обходные каналы Волго-Балта.

С глубокой древности в этих отдаленных краях селились христианские праведники. Небольшие скиты разрастались в монастыри, ставшие авторитетными духовными центрами России. В мрачный период репрессий 20-30-х годов минувшего века обители были ликвидированы, в их стенах содержались заключенные. В 90-е годы справедливость была восстановлена, и монастыри вернули Русской православной церкви.

Сегодня Приладожье – один из наиболее популярных туристических регионов страны. Здесь созданы заповедники, охраняющие карельскую природу. В городах и поселках, расположенных вокруг Ладожского озера, выстроены туристические базы, гостиницы. Инфраструктура активно развивается в прибрежных городах – Шлиссельбурге, Приозерске, Новой Ладогге, Сортавале, Питкяранте, из которых начинаются основные экскурсионные маршруты. Путешественники знакомятся с красотами северной природы, самобытными памятниками истории и культуры.

Происхождение и морфология озера

Под морфологией озер следует понимать форму озерных котловин и строение их подводного рельефа.

Все водоемы представляют собой котловины заполненные водой, и имеющие водосборные площади, с которых вода поступает в эти котловины. В этом случае водоемы и их водосборы образуют системы, плановые размеры которых (A_c) представляют собой сумму площадей водоемов (A_o) и их водосборов (A_δ):

$$A_c = A_o + A_\sigma \quad (1.1)$$

Систему можно также охарактеризовать через понятие «удельный водосбор» (K) равный:

$$K = A_\sigma / A_o \quad (1.2)$$

Величина удельного водосбора очень важная характеристика, которая определяет многие черты гидрологического режима озер и водохранилищ. Озера и водохранилища являются частью гидрографической сети и участвуют в большом круговороте воды в природе, замедляя водообмен между речными системами и океаном. В засушливых областях озера могут быть конечными звеньями гидрографической сети – водоприемниками. Замедленный водообмен приводит также к изменению физико-химических и биологических процессов по сравнению с реками. Можно также отметить, что озера в геологическом масштабе являются временными образованиями, продолжительность жизни которых меняется от суток до миллионов лет.

Исследуя лимническую роль водообмена озер, нельзя не анализировать их морфометрию, обусловленную генетическим типом озерных котловин и стадией развития водоема.

Для образования водоемов требуются котловины и вода. Поэтому естественные озера распространены практически повсеместно, но наибольшие их скопления приурочены к областям древнего и современного оледенения, к районам крупных тектонических разломов земной коры и к засушливым районам не имеющим стока в океан. Современные котловины водоемов являются результатом преобразования в процессе эволюции первоначальных депрессий образовавшихся в земной коре или емкостей образованных естественным или искусственным путем, которые могут удерживать воду. Эти депрессии и емкости образуются под действием

большого количества разнообразных причин, включающих климатические, геологические, морфологические факторы. Действие этих факторов осуществляется одновременно или последовательно – один за другим, что и приводит к формированию котловин чрезвычайно разнообразных как по своей форме, размерам, так и местоположению.

Озерные котловины наряду с простыми почти правильными воронкообразными формами имеют сложные и даже причудливые формы. Не менее разнообразны очертания котловин в плане: от округлых, вытянутых до неправильно лопастных, изогнутых и др. В широком диапазоне колеблются и размеры котловин. Площади поверхности и объем крупнейших котловин достигают сотен тысяч квадратных километров. При этом в горных районах глубины котловин могут достигать сотен метров, в то же время в полупустынных и пустынных районах глубины даже очень больших котловин могут составлять всего несколько десятков сантиметров. Озерные котловины могут быть как эндогенного, так и экзогенного происхождения, что самым существенным образом отражается на их размерах, форме, водном режиме.

Самые крупные озерные котловины как правило тектонического происхождения. Они расположены либо в простых тектонических структурах – в синеклизах на равнинах, либо в предгорных и межгорных прогибах, либо в грабенах-рифтах.

Но большинство крупных озерных котловин имеет сложное тектоническое происхождение, в их образовании участвуют как вогнутые складки, так и разрывы земной коры. Все тектонические озера отличаются большими размерами и значительными глубинами, а рифтовые – вытянутой и узкой формой в плане, очень большой глубиной, крутыми склонами. Днища многих глубоких озер лежат ниже уровня Мирового океана, имея зеркало воды выше уровня, – это криптодепрессии.

В расположении тектонических озер наблюдаются определенные закономерности: они сосредоточены вдоль разломов земной коры (Сирийско-Африканская и Байкальская рифтовые зоны) либо обрамляют щиты: вдоль Балтийского щита – Выгозеро, Сегозеро, Онежское, Ладожское и др.

Наряду с озерными котловинами, созданными внутренними процессами Земли, весьма многочисленны озерные ванны, образовавшиеся вследствие экзогенных процессов.

Среди них наиболее распространены ледниковые (моренные) озера на равнинах и в горах, как в котловинах, выпаханных ледником, так и в понижениях между холмами при неравномерном отложении морены. Разрушительной деятельности древних ледников обязаны своим происхождением озера Карелии и Финляндии, которые вытянуты по направлению движения ледника с северо-запада на юго-восток вдоль тектонических трещин (фактически они смешанного ледниково-тектонического происхождения, как и Ладожское, Онежское и некоторые другие озера по периферии Балтийского и Канадского щитов). К ледниковым котловинам в горах относятся многочисленные небольшие каровые озера в чашеобразных углублениях на склонах гор ниже снеговой границы и троговые озера – в корытообразных долинах в горах.

С неравномерной аккумуляцией ледниковых отложений связаны озера среди холмистого моренного рельефа: на северо-западе Восточно-Европейской равнины, особенно на Валдайской возвышенности. Эти озера обычно неглубокие, широкие, с лопастными берегами, с островами (Селигер, Валдайское и др.). В горах такие концевые озера возникли на месте бывших языков ледников. В областях бывших оледенений многочисленны озера в ложбинах стока талых ледниковых вод – они удлиненные, корытообразной формы, обычно небольшие и неглубокие (Долгое, Круглое на Клинско-Дмитровской гряде).

К этой же группе относятся каровые и троговые озера. Каровые возникли в карах и цирках — нишеобразных углублениях на верхних склонах гор. Приледниковые озера образуются в результате запруживания ледником рек, текущих в направлении, противоположном направлению движения льда.

Термокарстовые провальные озера возникают при протаивании многолетнемерзлого грунта или вытаявании льда. Благодаря им Колымская низменность — один из самых озерных краев России. Много реликтовых термокарстовых озерных котловин находится на северо-западе Восточно-Европейской равнины в бывшей ледниковой и приледниковой зонах.

На низменных побережьях морей характерны прибрежные озера на месте лиманов и лагун, если последние отделяются от моря песчаными намывными перемычками: косами, барами.

Таковы основные генетические типы озерных котловин Северо-Запада РФ, обусловленные природными процессами. Но в последнее время возникает все больше «рукотворных» озер, созданных человеком, — антропогенных: озера-водохранилища на реках, озера-пруды в каменоломнях, в соляных коях, на месте торфоразработок и т. д. На рисунке 1.7 показаны различные генетические типы происхождения озерных котловин.

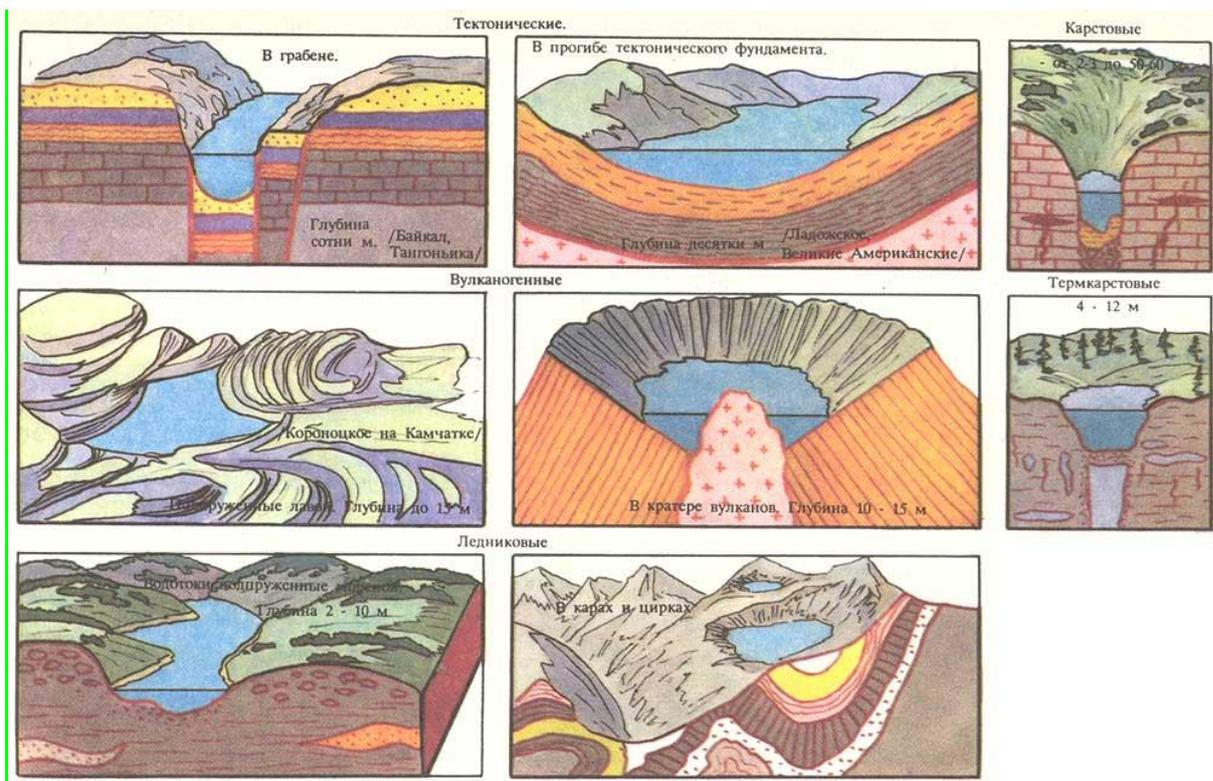


Рисунок 1.7 – Генетические типы происхождения котловин

На развитие гидрографической сети исследуемого региона большое влияние оказал ледниковый рельеф. Д.Д. Квасов отмечал, что возникновение озерных котловин произошло в различное время, и предложил классификацию, основанную на их возрасте и происхождении. Всего им выделено 5 классов и 24 типа озер.

1. Озера, возникшие в отдаленном геологическом прошлом и представляющие собой части древнего океана, рифтовые впадины, результаты вулканической деятельности, движений земной коры.

2. Озера, возникшие во время плейстоценового оледенения и связанные с ледниковым выпахиванием, представляющие собой остатки приледниковых озер, подпертые плейстоценовыми аллювиальными плотинами.

3. Озера, возникшие на рубеже позднеледниковья и голоцена (12 тыс. лет назад).

4. Озера, возникшие в результате повышения уровня океана и представляющие собой озера- лагуны.

5. Озера, возникшие в настоящее время в результате таяния многолетнемерзлых пород, озера речных долин и дельт, завальные озера русел рек.

Ладожское озеро – реликт последнего оледенения, покрывавшего Северное полушарие планеты по геологическим меркам еще совсем недавно – около 10-12 тысяч лет назад. Обширную долину, теперь являющуюся дном озера, заполнила талая вода, в низину устремились реки и ручьи. Вслед за отступающим на север ледником на берега водоема пришли люди. Многочисленные следы поселений были обнаружены во время строительных работ, в археологической науке они получили название Ладожских стоянок. Среди артефактов доисторических времен – каменные наконечники стрел и копий, обломки керамической посуды с орнаментами, захоронения людей и остатки пищи. В рационе местных жителей эпохи неолита преобладала озерная рыба, мясо добывали охотой на тюленей, лесную дичь и водоплавающих птиц.

В скандинавских сагах и в торговых договорах купцов Ганзейского союза озеро именуется Альдога, что может означать «волнистое», однако лингвисты предлагают и другие толкования. Эти места населяли карелы, вепсы, чудь. В языках этих народов сохранились более древние названия Ладожского озера, одно из них – Великий Нево [13].

В период Средневековья Ладога и обширные территории Карелии были включены в сферу влияния Великого Новгорода. По озеру ходили новгородские торговые и военные парусники. На Приладожье испокон веков претендовала и Швеция. Об одном из эпизодов этого противостояния

сообщает Новгородская летопись. В начале лета 1164 года в озеро вошли боевые корабли шведского короля и направились к стенам прибрежной крепости Ладога, выстроенной в устье реки Волхов. Твердыня прикрывала Новгород с севера. В той битве новгородская дружина разгромила шведов, сохранив Карелию за Русью. Но поставить точку в споре за территорию удалось только в начале XVIII века царю Петру I, завершившему победой русско-шведскую войну.

На Ладожском озере часто бушуют штормы, вызванные сильными порывистыми ветрами. Именно это обстоятельство, нередко приводившее к кораблекрушениям, вынудило Петра I принять решение о строительстве обводных каналов, обеспечивших безопасное транзитное судоходство. Строительство каналов продолжалось и в последующие столетия. Благодаря этим рукотворным водным артериям, сегодня озеро связано с южными и северными регионами России оживленным судоходством по современному пути «из варяг в греки» – от Балтики до Азова и берегов Причерноморья.

На Ладоге происходили драматические события времен Великой Отечественной войны. Здесь пролегла знаменитая Дорога жизни, единственная ниточка от Большой земли к осажденному гитлеровскими войсками Ленинграду. В этом районе проходили крупные сражения, направленные на прорыв блокады Северной столицы.

На рисунках 1.7, 1.8, 1.9 проиллюстрировано, как изменялась территория озера со временем.

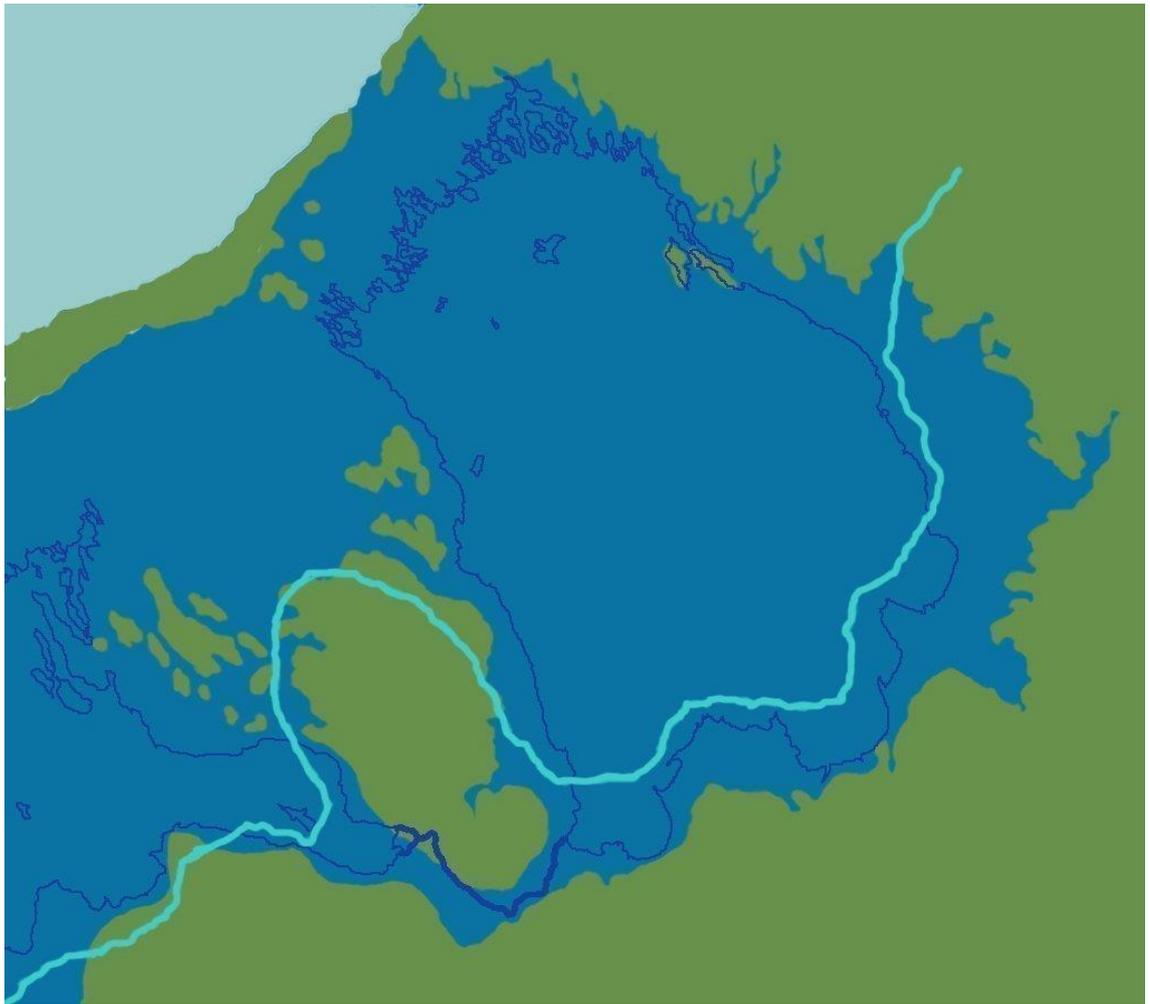


Рисунок 1.7 – Ладожское озеро как часть Балтийского ледникового озера (между 12 200 и 10 500 лет назад). Светло-серая линия — граница покровного оледенения 13 300 лет назад.

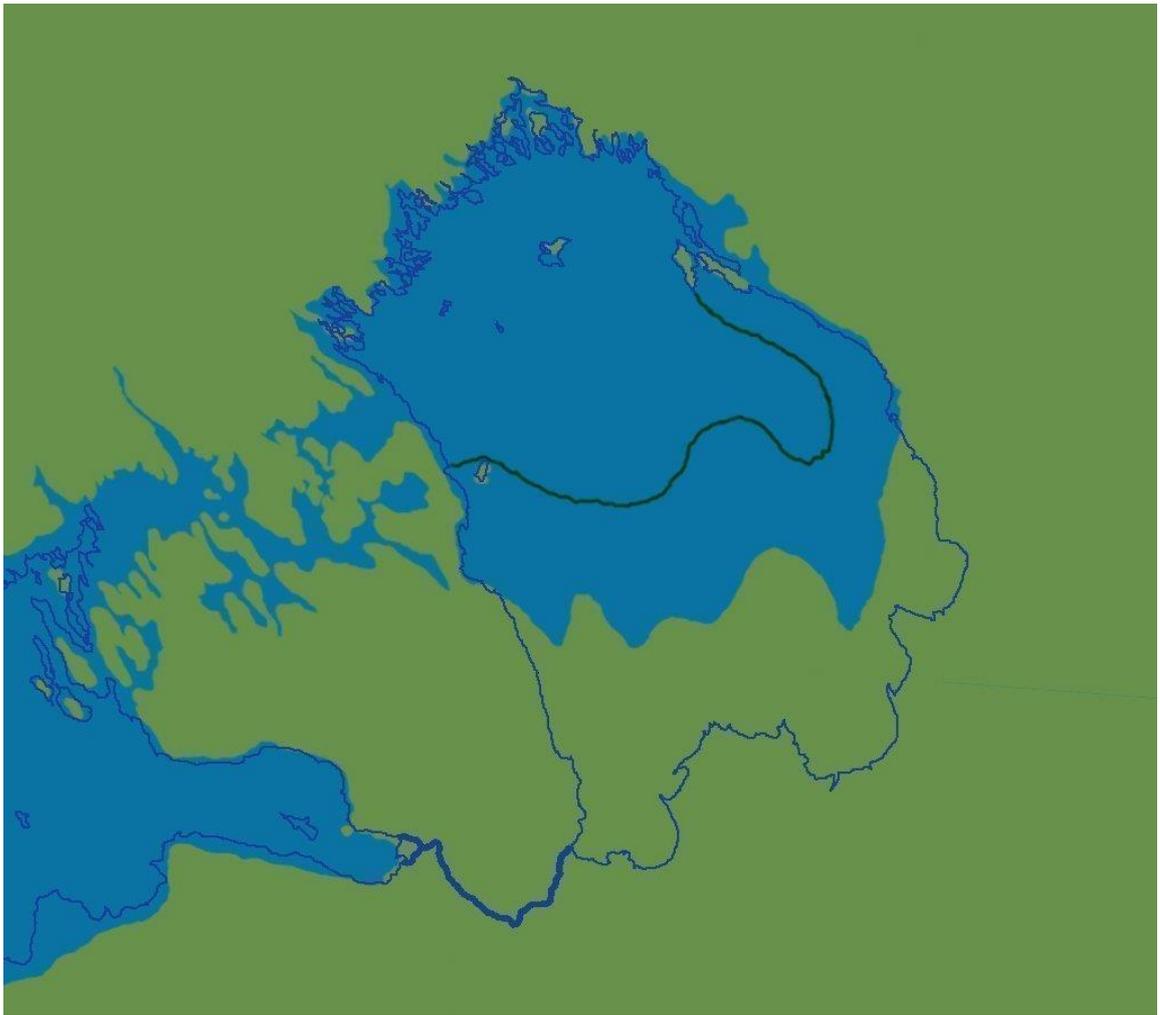


Рисунок 1.8 – Ладожское озеро как часть Анцилового озера (между 9300 и 9200 лет назад). Темная линия — положение южной береговой линии Ладожского озера во время существования Иольдиевого моря.

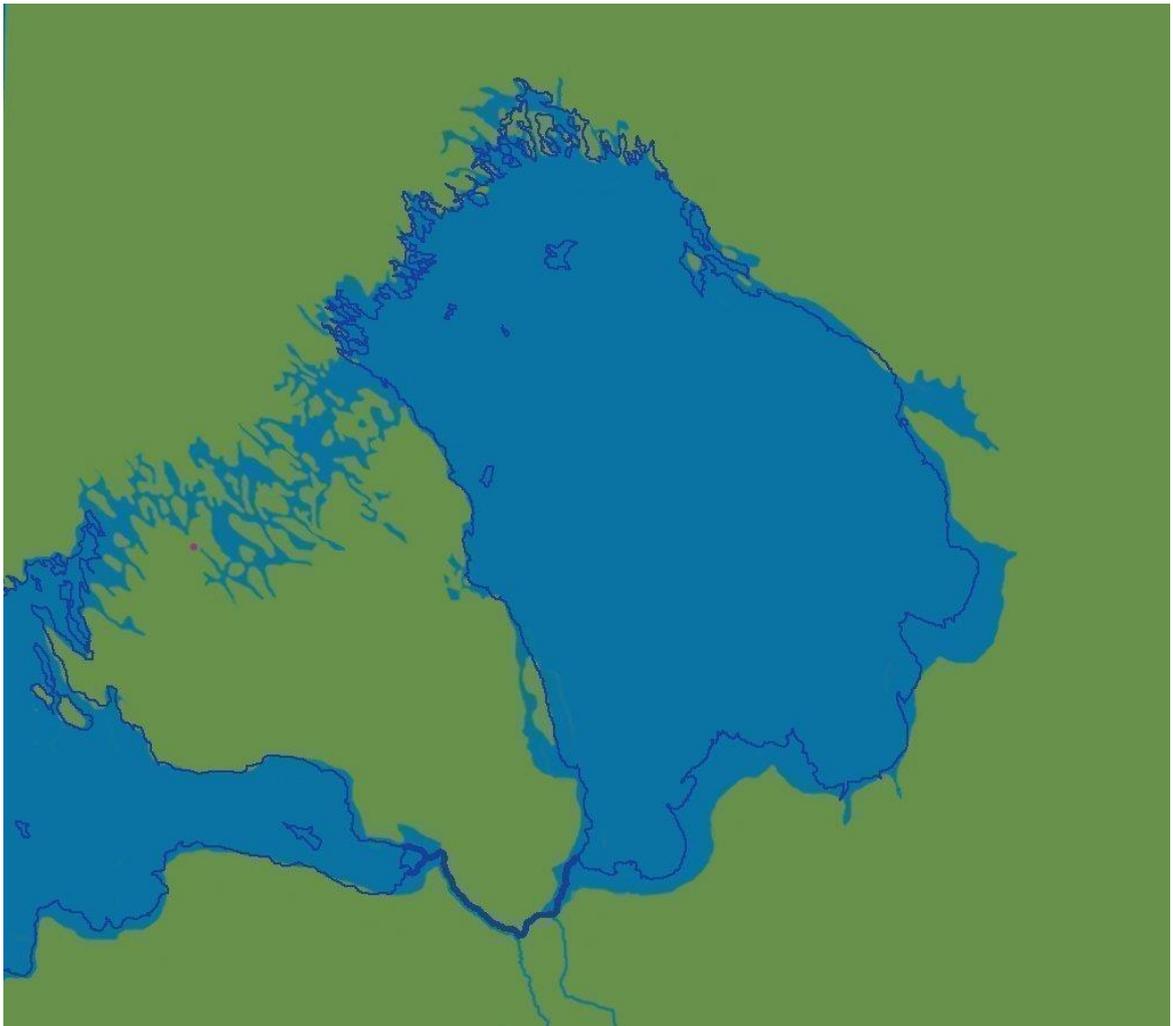


Рисунок 1.9 – Береговая линия Ладожского озера в период максимума Ладожской трансгрессии перед появлением Невы (между 4500 и 2500 лет назад). Показаны долины рек Мга и Тосна и водораздел между ними.

География и природные ресурсы

Береговая линия Ладожского озера живописна и разнообразна. Северный берег сложен каменистыми грядами, сглаженными ледником, среди них разбросаны огромные валуны. Эта часть озерного ландшафта усыпана островками, изрезана глубоко вдающимися в материк узкими извилистыми заливами, здесь их называют шхерами. Острова и побережья поросли березами, соснами и елями, в мшистом подлеске господствуют

кустарники, в изобилии растут ягоды и грибы. В северной части глубина вод достигает 230 м.

Западный берег также каменистый, но склоны, украшенные смешанными лесами, почти не изрезаны заливами.

Характерная черта восточного берега Ладожского озера – широкие песчаные пляжи, в речных устьях намыты высокие дюны, поросшие мачтовыми соснами. Здесь расположен остров Мантсинсаари, один из крупнейших на озере.

Южное побережье низменное и заболоченное, его покрывают густые заросли тростника, тут находятся места гнездовий разнообразных водоплавающих пернатых. Прибрежная часть опасна для судоходства, под неглубокой водой скрываются каменные рифы и песчаные отмели [14].

Часть побережья озера включена в северные и северо-восточные районы Ленинградской области, другая часть относится к территории Республики Карелия.

В Ладожское озеро впадает 35 рек, крупнейшие из них – Волхов, Свирь, Вуокса. А вытекает из него лишь одна Нева, сохранившая старинное карельское название озера Нево. Отсюда, вероятно, происходит и понятие невод – рыболовная сеть. Геологам удалось выяснить, что этот сток в Балтику образовался совсем недавно, в обозримые исторические времена. Неве от роду около 2500 лет. До появления прорыва горных пород невским вытоком в Финский залив, уровень озера был выше примерно на 12 метров, все современные прибрежные регионы находились под водой.

К востоку от Выборга геологи обнаружили следы русла более древней реки, уносившей избыток ладожских вод. Эта ледниковая проторека существовала около 10 тысяч лет назад. Со временем земля, освобожденная от веса миллиардов тонн льда, словно бы облегченно вздохнула, и старое

русло постепенно поднялось выше уровня воды. Геологи отмечают, что поднятие гранитного щита, на котором располагается Карелия, продолжается и по сей день.

На Ладоге созданы исторические и природные заповедники. С 2017 года, по указу правительства РФ, к охраняемым территориям относятся 650 скалистых островков, сгрудившихся у северного побережья водоема. Здесь организован национальный парк «Ладожские шхеры» с уникальной экосистемой – тут обитает несколько тысяч пресноводных тюленей, занесенных в Красную книгу, они известны как ладожские нерпы. Местные воды населены редкими видами рыб, также охраняемыми российским законодательством. На островах гнездятся колонии чаек. Заповедник расположен на территории Республики Карелия, площадь парка превышает 122 тысячи гектаров.

На западе шхеры ограничивает крупный остров Кильпола, связанный с материком мостом. На острове есть собственное озеро – Витсалампи, а также водоемы поменьше. Здесь находятся старинные карельские поселения, выстроены турбазы и кафе, кемпинги и гостевые домики. Для прогулок по шхерам существует целый флот парусных ялов.

Климат и погода

Климат над Ладожским озером умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией характерной для Ленинградской области. Это обуславливается сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла.

Среднее годовое количество осадков по данным за тот же период - 475 мм. Наименьшее количество осадков выпадает в феврале-марте (24 мм в месяц), наибольшее - в сентябре (58 мм в месяц).

Из-за небольшого количества солнечного тепла влага испаряется медленно. За год бывает в среднем 62 солнечных дня. Поэтому на протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением. Продолжительность дня меняется от 5 часов 51 минуты в зимнее солнцестояние до 18 часов 50 минут в летнее солнцестояние. Над озером наблюдаются так называемые «белые ночи», наступающие 25—26 мая, когда солнце опускается за горизонт не более чем на 9°, и вечерние сумерки практически сливаются с утренними. Заканчиваются белые ночи 16—17 июля. В общей сложности продолжительность белых ночей более 50 дней.

Годовая амплитуда сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе от 25 МДж/м² в декабре до 686 МДж/м² в июне. Облачность уменьшает в среднем за год приход суммарной солнечной радиации на 21 %, а прямой солнечной радиации на 60 %. Среднегодовая суммарная радиация 3156 МДж/м. Число часов солнечного сияния — 1628 в год.

Заметное влияние на климатические условия оказывает само озеро. Это характеризуется сглаживанием экстремальных значений климатических характеристик, вследствие чего континентальные воздушные массы, проходя над поверхностью озера, приобретают характер морских воздушных масс. Средняя температура воздуха в районе Ладожского озера +3,2 °С. Средняя температура самого холодного месяца (февраля) -8,8 °С, самого тёплого (июля) +16,3 °С. Среднее годовое количество осадков — 475 мм. Наименьшее месячное количество осадков выпадает в феврале — марте (24 мм), наибольшее — в сентябре (58 мм).

В течение года в большей части Ладожского озера преобладают западные и юго-западные ветры. Средняя месячная скорость ветра в открытой части озера и на большинстве островов с октября по январь — февраль 6—9 м/с, в остальные месяцы 4—7 м/с. На побережье средняя

месячная скорость ветра изменяется от 3 до 5 м/с. Штили отмечаются редко. В октябре на Ладожском озере часто наблюдаются штормовые ветры со скоростью более 20 м/с, максимальная скорость ветра достигает 34 м/с. Бризы наблюдаются на всём побережье летом в безветренные солнечные дни и ясные ночи. Озёрный бриз начинается около 9 часов утра и продолжается до 20 часов вечера, скорость его 2—6 м/с; распространяется он на 9—15 км в глубь суши. Туманы наблюдаются чаще всего весной, в конце лета и осенью.

У Ладожских ветров есть одна особенность - они крайне не устойчивы. Действительно, в течение суток ветер не раз может менять свое направление. Резкие переходы с одного румба на другой за какие-нибудь 20-40 минут служат предвестником шторма. Было замечено, что когда после западных и северо-западных ветров наступает короткое затишье, а потом потянет с севера или северо-востока, то шторма не миновать. Он разыграется быстр, в течении 1-2 часов.

Не всегда ветер одного направление охватывает все озеро. Случается так, что в одних районах Ладоги стоит штиль, а в других довольно ветренная погода. Из-за большой протяженности озера непостоянна и скорость ветров. Северные ветер обычно усиливается к югу, а южный развивает большую скорость вблизи Валаамского архипелага.

В теплое время года из-за неравномерного прогревания воды и суши на Ладоге возникают местные ветры - бризы. Днем они дуют с озера на берег - озерный бриз, ночью наоборот - береговой бриз. О том, что эти ветры слабы, говорит одно название - "бриз", в переводе с французского означает ветерок. Однако иногда озерный бриз бывает довольно ощутим - до 6 метров в секунду. Он может проникнуть в глубь побережья на 10 - 12 километров, вызывая похолодание воздуха на 1-1,5 градуса.

Достопримечательности Ладожского озера

Обширный список достопримечательностей Ладожского озера возглавляет всемирно известный древний монастырь на острове Валаам. По преданию, первый крест здесь воздвиг апостол Андрей. Историки относят основание монастыря к XI столетию [14].

На соседнем острове Путсаари, окруженном хороводом небольших островков, располагается уединенный Свято-Георгиевский скит. Эта тихая обитель принадлежит Валаамскому монастырю, туристы бывают здесь редко.

В 20 км от города Лодейное Поле, на лесистом берегу реки Свирь находится Александро-Свирский мужской монастырь. Здесь достойны осмотра прекрасные образцы московской архитектуры XV-XVII столетий. Интерьеры сооружений обители украшены старинными фресками. Среди святынь, хранящихся здесь, – освященная копия знаменитой Туринской плащаницы.

Интересную прогулку можно совершить по историческому центру города Сортавала, расположенного на северном берегу Ладожского озера. Здесь сохранились каменные и деревянные постройки позапрошлого столетия. В этом регионе находится более 60 памятников исторического и культурного наследия коренного населения Карелии. Древние городища и некрополи датируются VI тысячелетием до н. э.

Руины новгородской крепости можно осмотреть в старинном городе Старая Ладога. Здесь сохранились фрагменты стен, сложенных из речных валунов на крепком известковом растворе. Их можно увидеть возле церкви Святого Георгия.

В километре от деревни Коккореве возведен монумент «Разорванное кольцо», посвященный Дороге жизни.

Манят к себе и природные заповедники Ладожского озера. В горном парке возле поселка Рускеала пенятся живописные Рускеальские водопады.

Тут были отсняты ключевые эпизоды трогательного фильма «А зори здесь тихие» (1972 г.). У водопадов обустроены беседки, есть автостоянка. В магазине можно купить сувениры и копченую рыбу.

Активный отдых

Ладожский регион предоставляет массу возможностей для спорта и активного отдыха – от сплава по рекам до альпинизма. В этом районе популярны пешие походы по грибным и ягодным местам. Зимой вдоль берегов прокладывают лыжные трассы, на льду устраивают катки. Но наиболее массовое увлечение путешественников на Ладожском озере – рыбалка, причем удачно порыбачить тут можно в любую пору года [15].

Самые рыбные места Ладоги – в южной части озера. Здесь неглубоко, в теплой воде достаточно растительной пищи для рыбы. Рыболовы хвастают знатными уловами. Среди трофеев – крупные судаки, налимы, сомы, а однажды неподалеку от Сортавалы выловили щуку весом в полцентнера.

С декабря по начало апреля на Ладожском озере царит пора зимней рыбалки и сезонных развлечений. Поначалу озерная вода промерзает лишь на прибрежном мелководье. Здесь уже в первой декаде декабря рыболовы начинают бурить во льду лунки для мормышек, а туристы катаются по поверхности Ладоги на коньках и снегоходах. Однако местные жители предупреждают, что ближе к глубоководью в центре озера в это время подходить еще опасно. Там к поверхности восходят струи донных источников, над водой бушуют штормовые ветры, а потому достаточно прочный ледовый покров образуется лишь в середине января, когда ударят карельские морозы. Холода не пугают рыбаков-экстремалов и любителей зимних видов спорта, ведь на берегах их ожидают уютные турбазы с теплыми бревенчатыми коттеджами и жарко натопленные финские бани.

Прибрежный лед становится хрупким и к середине весны, поверхность озера окончательно оттаивает лишь в мае.

На протяжении более 20 лет вдоль побережья озера проводится международное ралли «Ладога-Трофи». В соревнованиях, которые обычно проходят в июне, могут принять участие все желающие, нужно лишь зарегистрироваться. На кольцевую трассу длиной 1200 км, намеченную вокруг Ладожского озера, выходят спортсмены на стандартных и специально подготовленных внедорожниках, квадроциклах. В других категориях соревнуются мотоциклисты, а с 2016 года в пробеге участвуют и велосипедисты. Старт и финиш соревнований – на Исаакиевской площади Санкт-Петербурга.

Опытные аквалангисты могут присоединиться к увлекательному проекту «Тайны затонувших кораблей». Во время ежегодных подводных экспедиций дайверы пополняют реестр объектов, обнаруженных на дне Ладожского озера. Среди них – старинные корабли, самолеты времен Второй Мировой войны.

2. Определение отметки порога стока Ладожского озера

Для определения отметки порога стока Ладожского озера использовались данные, учитывающие морфологические свойства реки в месте ее вытекания из озера, при этом учитывая происхождение котловины водоема.

А чтобы найти отметку порога стока на неизученном озере, нужно использовать режимную информацию об изученных озерах-аналогах с похожими по факторами, влияющими на сток, который случается на данном водосборе конкретного озера.

Чтобы решить данную задачу на безусловно понадобится коэффициент зарегулированности рассматриваемого нами проточного озера.

$$k = \frac{\Delta V}{V_{MO}} \quad (2.1)$$

где ΔV является динамическим объемом озера, то есть тем объемом водной массы, которая располагается выше отметки порога стока.

V_{MO} является мертвым объемом озера, соответственно тем объемом водной массы, которая располагается ниже отметки порога слива.

При наличии возможности произвести гидрографическую съёмку неизученного озера «х», следует установить основные морфометрические характеристики этого озера:

- 1) отметку порога слива, м БС;
- 2) объём пелагиали на дату гидрографической съёмки — $V_{х,t}$, м³; – мёртвый объём — $V_{MO,x}$, м³;

3) динамический объём на дату обследования: $\Delta V_{x,t} = V_{x,t} - V_{mo,x}$;

4) параметры кривых объёма и водного зеркала: $V_x = f(z)$, $\omega_x = f(z)$, где V_x — объём; ω_x — площадь зеркала; z — отметка уровня воды озера «х». мёртвый объём — $V_{mo,x}$, м³ ;

При этом ширина водоохраной зоны озера, из-за требования Водного кодекса, должна отсчитываться от береговой линии, то есть от уреза воды, причем эта линия уреза воды высчитывается, используя данные о среднемноголетнем уровне воды за период, когда озеро не покрыто льдом. На неизученных же озерах, когда нужно установить плановые координаты для этой линии уреза, лучше обратить внимание на озера-аналоги, находятся на однородной по генезису озерных котловин территории, со схожими факторами стокообразования на водосборе конкретного озера, и воспользоваться режимной информацией. Для этого необходимо выполнить съемку рельефа дна выбранного озера-аналога, а также определить высотную отметку порога стока.

“Чтобы рассчитать, водный баланс озера нужно знать объемную кривую регулирующей призмы озера выше отметки порога слива. Чтобы задать кривую объема, достаточно принять изменение уровня воды в пределах до двух – трех метров над порогом слива”.

Чтобы решить водобалансовое уравнение озера, которое лежит в основе методики расчета речного стока под влиянием озерного регулирования, нужно задать уравнение зависимости $Q = f(H)$ на пороге слива из озера, то есть кривую расходов на истоке из озера, которая устанавливает связь между расходом отдачи из озера $Q_{отд}$ и уровнем воды в озере (H , м). Схематические условия истечения воды из озера изображены на рис. 2.1

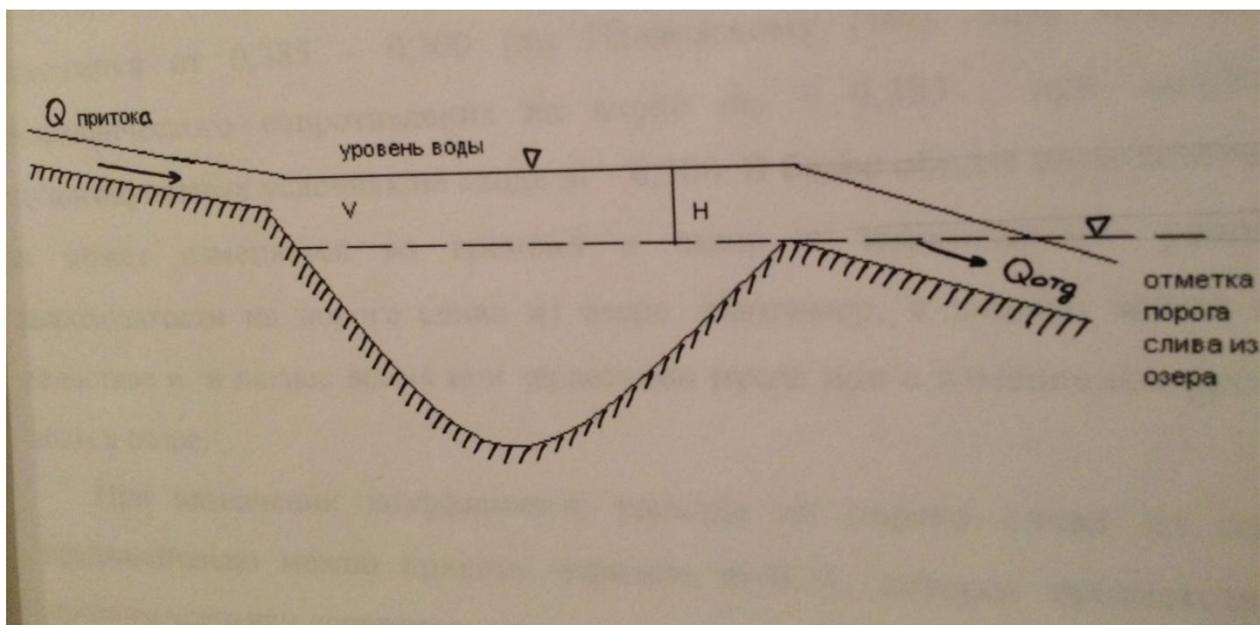


Рисунок 2.1 – Условие истечения воды из озера

Далее, предполагаем, что эта зависимость должна иметь вид аналогичный уравнению кривой расходов на водосливе с широким порогом:

$$Q = m \cdot B \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.2)$$

Где Q – расход воды на пороге, [м³/с];

m – коэффициент расхода, характеризующий гидравлические условия;

B – ширина порога слива из озера, [м];

σ – коэффициент подтопления

H – напор воды над порогом слива, [м].

“Истечение через порог слива из озера можно рассматривать как истечение в неподтопленных условиях, то есть величина подтопления составляет менее 70% от напора. В связи с этим коэффициент подтопления

на пороге слива из озера принимаем равным одному ($\sigma=1$), что соответствует условию отсутствия подтопления. В зависимости от условия подхода водного потока к входному ребру водослива с широким порогом, коэффициент расхода изменяется от 0,385 до 0,300 (По Павловскому). При отсутствии гидравлического сопротивления на входе $m_0 = 0,385$, а при неблагоприятных условиях на входе $m=0,300$. В более общем виде величина m может изменяться во времени, в связи с изменениями условий шероховатости на пороге слива из озера. Например, в зимнее время при ледоставе и в летнее время при зарастании русла или с изменением уровня воды в озере.

При назначении коэффициента расхода на пороге слива из озера можно принять значение $m = 0,34$, которое соответствует средним условиям сопротивления.”

“Также в зависимости от изменения уровня воды, соответственно может изменяться ширина порога слива. В реальных же условиях ширина порога слива не остается постоянной. Если принять, что ширина порога слива ($B, м$) линейно зависит от напора воды над порогом слива ($H, м$), получается.”

$$B=a*N \quad (2.3)$$

Где a – коэффициент пропорциональности, то уравнение (2.3) принимает вид:

$$Q=a*m*\sigma*g*\sqrt{2}*N*N^{3/2} \quad (2.4)$$

Если подставить значения m , σ , B в формулу (2.4) и принять, что $B=10*N$ получаем зависимость:

$$Q=15,1*N^{5/2} \quad (2.5)$$

Чтобы определить сток в реке, для этого нужно выразить зависимость между расходами и уровнями воды в виде графика кривой расходов. Сток – это количество воды, которое протекает через поперечное сечение русла за определенное количество времени. Вычисление стока обычно производится ежегодно, за предыдущий год, благодаря измеренным расходам воды. Выделяются некоторые периоды в течение года, когда сток вычисляется разными методами. Это зависит от состояния реки, на ней могут наблюдаться ледовые явления, интенсивное зарастание русла.

Существует гидрологическая зависимость между уровнями и расходами воды, которая может приобретать как сложный вид, так и не очень сложный. Сложным он становится, когда на водотоке наблюдается неустановившееся движение воды, при этом русло является деформируемым, может быть заросшим, а также подвергаться ледяным явлениям, например шуге, что также сильно влияет на общий вид зависимости. Простой же вид зависимости характеризуется недеформируемым руслом с равномерным движением воды и одинаковой формой поперечного сечения, чего в существующих реках реальной жизни практически не возможно. На практике для определения такой зависимости нужны наблюдения, которые производятся на реках, каналах, ручьях и т.д.

Функция записывается как $Q = f(H)$, уровень воды измеряется на гидрологических станциях (постах) каждый день в определенное время, а расход нет, из-за сложного трудоемкого и длительного процесса, они измеряются гораздо реже. Это зависит от режима водотока и места его географического положения, в разные сезоны частота измерения расхода меняется. Естественно часто расходы измеряют в периоды половодья и дождевых паводков, так как они существенно влияют состояние реки.

Как раз этими наблюдениями мы и пользуемся, чтобы построить график зависимости $Q = f(H)$, соответственно, сколько значений расхода в

течение года было измерено и вместе с этим снято значений уровней воды, столько точек и должно находиться на этом графике.

Кривая расходов строится в прямоугольной системе координат, она выражается в виде одной плавной кривой. Так определенное значение расхода воды соответствует одному определенному значению уровня. Также стоит учитывать, что мы имеем дело только с приближенно однозначной зависимостью, ведь точки измеренных расходов на графике находятся в разброс, так как при практическом их измерении всегда имеются погрешности. Во многих случаях зависимость $Q = f(H)$, приобретает сложный вид, этому способствуют такие искажающие факторы, как неустановившееся движение воды, ледовые явления, зарастание растительностью, размывы и аккумуляция наносов, переменный подпор. При влиянии одного из вышеперечисленных факторов нарушается зависимость, и данная связь уровней воды и расходов считается неоднозначной. Так при одном и том же уровне воды, расход в реке может отличаться друг от друга.

Приступаем непосредственно к построению зависимости $Q = f(H)$. При анализе своих исходных данных надо помнить и учитывать, что при измерении расходов воды детальным способом значения получаются наиболее достоверными с погрешностью в 2 - 3 процента, с учетом, что в день снятия значений условия были благоприятными. Другие же способы (основной, сокращенный, измерение с помощью поплавков) являются менее достоверны, и при измерении в благоприятных условиях имеют погрешность 5 и более процентов. Благоприятными условиями можно считать отсутствие ветра, отсутствие косоструйности, малые скорости течения.

При построении расходов в координатной системе (Q , H) наносят точки измеренных расходов, располагающиеся в основном в узкий ряд, а кривую расходов проводим на глаз с таким расчетом, чтобы с обеих сторон от линии было примерно одинаковое количество точек, линию проводить нужно плавно. Расходы, относящиеся к определенным точкам, используется

те, которые были измерены при свободном русле, что подразумевает отсутствие ледовых явлений и растительности.

“После построения кривой расходов, на этом же чертеже строятся кривые площадей живого сечения $\omega = f(H)$ и кривые скоростей $V = f(H)$. Для их построения используется та же шкала H по оси ординат, что и для кривой расходов. По оси абсцисс откладывают: для кривой площадей — площади живого сечения при соответствующих уровнях воды, а для кривой средних скоростей — средние скорости течения. Эти шкалы проводят с некоторым смещением вправо.”

Кривая $\omega = f(H)$ становится выпуклой кверху в связи с повышением уровня воды характерно увеличение площади живого сечения. При уровне же когда вода выходит на пойму кривая на графике становится более полой, так как резко увеличивается поток вширь (Рис. 2.2).

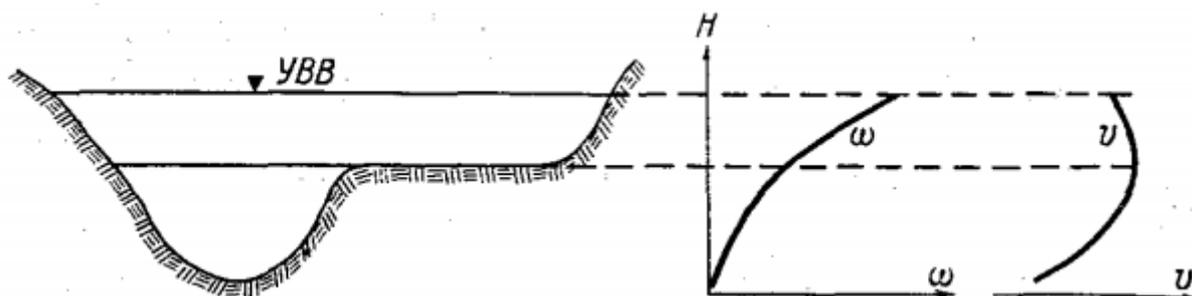


Рисунок 2.2 – Кривые $\omega = f(H)$ и $V = f(H)$ при выходе потока на пойму.

Кривая $V = f(H)$ имеет выпуклость в сторону оси V , а при выходе воды на пойму склоняется к оси H , так как при увеличении площади живого сечения значительно уменьшаются средние скорости.

Кривые площадей и средних скоростей нужны для экстраполяции кривой расходов и также для анализа надежности измеренных расходов. Все три кривые увязываются между собой. Увязка производится при

определенных уровнях воды, которые рассчитываются таким путем: находим максимальный и минимальный уровни воды, вычитаем из большего меньшее, получаем разницу, и эту разницу делим примерно на 7 – 11 равных интервалов. Далее путем умножения соответствующих площадей живого сечения и средних скоростей производится сверка. При этом нужно учитывать, если полученный расход отличается от того, который мы сняли с кривой $Q = f(H)$ более чем на один процент, то нужно выяснить причины этого и произвести изменения.

Экстраполяцией кривой расходов называют продление ее вверх и вниз за пределы измеренных расходов воды. Экстраполяция необходима для подсчета стока воды на всю амплитуду колебания уровня. Расходы воды обычно бывают измерены не при всех наблюдавшихся уровнях. Это особенно относится к высоким уровням при прохождении паводков и половодий; измерение расходов в этих условиях связано с техническими трудностями, а также часто бывает невозможно из-за кратковременности периода пика паводка, а также при сплаве леса и ледоходе.

Принято считать кривую расходов надежной, если она обоснована измерениями расходов на 80% амплитуды уровней или более. При этом для остальной части амплитуды, не обоснованной измерениями расходов, должна производиться экстраполяция.

Наиболее часто в гидрометрической практике проводится экстраполяция кривой расходов вверх. Если не обоснованная измерениями расходов часть амплитуды уровней мала, то экстраполяция не вызывает затруднений. Кроме того, для гидрометрических створов без пойм, где движение воды при высоких уровнях близко к равномерному, для экстраполяции вверх разработаны достаточно простые и надежные способы. Наиболее трудна экстраполяция для пойменных створов, в которых при высоких уровнях происходит изменение и существенное усложнение скоростного поля потока. При этом, как правило, наблюдается

неравномерное движение воды, картина которого бывает весьма сложна при наличии на пойме протоков, участков с различной шероховатостью и др.

Экстраполяция кривой расходов вниз обычно не вызывает затруднений.

Также отмечу, что в некоторых случаях возникает необходимость экстраполяции кривых расходов вверх до отметок, значительно превышающих положение наблюдаемых высоких уровней. Это бывает, в частности, необходимо для расчета кривых подпора при проектировании крупных гидроузлов. При этом от точности расчета положения кривых подпора зависит правильное определение границ затопления территории создаваемым водохранилищем. Методы экстраполяции кривых расходов для подобных случаев разработаны еще недостаточно; обычно экстраполируют «по тенденции».

Экстраполяция кривых расходов для беспойменных створов. Беспойменным створом называется створ, в котором отсутствует пойма, т. е. при высоких положениях уровня воды поток остается в главном русле. С точки зрения методики экстраполяции кривой расходов сюда же можно отнести створы с неширокой ровной поймой, если гидравлические условия движения потока не претерпевают существенных изменений при выходе воды из главного русла.

Экстраполяция кривой расходов непосредственным продолжением. Этот способ применяют в случаях, если не обоснованная измерениями часть кривой расходов не превышает 10% амплитуды уровней и профиль поперечного сечения реки в пределах этой зоны не имеет резких переломов, а шероховатость русла существенно не изменяется.

В этом случае кривую расходов продолжают в том же направлении на глаз до отметки наивысшего уровня, осредненного ко всем точкам измеренных наибольших расходов. Экстраполированный участок кривой

показывают обычно пунктиром.

Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода. Этот способ заключается в том, что отдельно экстраполируют кривые $\omega = f(H)$ и $V = f(H)$. Экстраполированные участки этих кривых используют для продления кривой расходов до высшего уровня. Кривую $\omega = f(H)$ продолжают вверх, определяя площади живого сечения по поперечному профилю створа при заданных уровнях. Кривую средних скоростей экстраполируют непосредственным продолжением на глаз. Расход воды определяют умножением площади живого сечения на среднюю скорость течения. Чаще всего ограничиваются только определением наибольшего расхода; обоснованную измерениями расходов часть кривой $Q = f(H)$ продлевают вверх до полученного значения наибольшего расхода. Данный способ применяется при тех же условиях, что и способ непосредственного продолжения [16].

Если не обоснованная измерениями расходов часть амплитуды уровней превышает указанную величину и составляет 15 — 20%, а русло реки при высоких уровнях имеет более сложную конфигурацию и к тому же переменную шероховатость, то применяют другие способы экстраполяции. В этих условиях для успешной экстраполяции большое значение имеет наличие измеренных уклонов водной поверхности; при этом экстраполяция выполняется с помощью формулы Шези.

Экстраполяция с помощью формулы Шези. Такую экстраполяцию производят только при наличии надежно измеренных уклонов водной поверхности. Хорошие результаты получаются для рек, в которых движение воды можно принимать за равномерное, для которого справедлива формула Шези. Установлено, что в этих условиях при высоких уровнях воды значение коэффициента Шези сохраняется постоянным $C = \text{const}$.

Эта закономерность подтвердилась на большом материале натуральных наблюдений на равнинных, полугорных и горных реках со средними глубинами в паводок более 1—2 м. Сущность экстраполяции заключается в

том, что расходы в экстраполируемой части кривой $Q=f(H)$ вычисляют умножением площади живого сечения, определяемой по профилю створа, на среднюю скорость течения, определяемую по формуле Шези.

$$V = \sqrt{h_{cp}I} \quad (2.6)$$

Величина h_{cp} определяется по профилю створа. Значения уклона I и коэффициента Шези C для экстраполируемого участка определяют путем построения и экстраполяции кривых $I=f(H)$ и $C=f(H)$. Зависимость $I = f(H)$ строят по данным измерения уклонов водной поверхности, затем ее экстраполируют до требуемого высокого уровня непосредственным продолжением (рис. 2.3а). При наличии измеренных уклонов при высоких уровнях кривая проводится без экстраполяции.

Для построения кривой $C=f(H)$ по измеренным расходам вычисляют значения коэффициентов Шези по формуле. Кривую $C = f(H)$ экстраполируют непосредственным продолжением до требуемого высокого уровня (рис. 2.3 б).

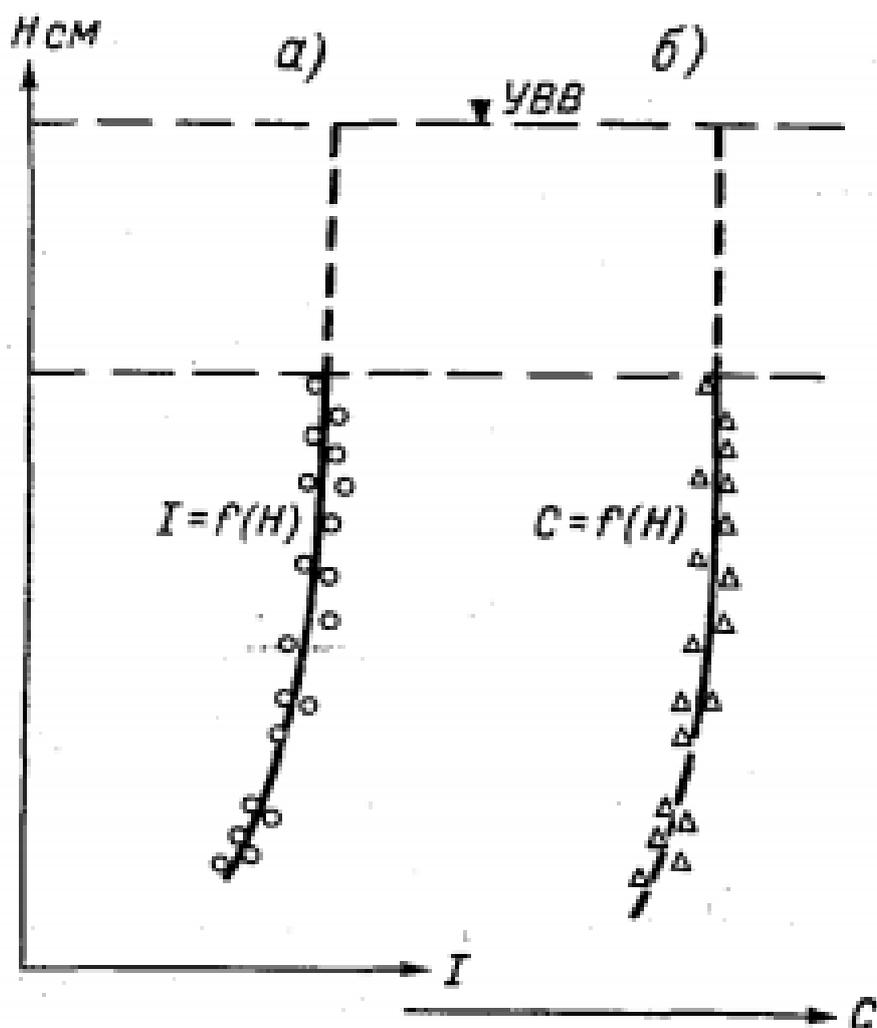


Рисунок 2.3 – Кривые $I = f(H)$ и $C = f(H)$ и их экстраполяция

На реках, отвечающих указанным выше условиям, в большинстве случаев кривые $I = f(H)$ и $C = f(H)$ в верхних частях легко экстраполируются, а кривая $C = f(H)$ принимает вид прямой, параллельной оси H . Если же эти кривые будут иметь значительную кривизну или перегибы в верхней зоне, то от экстраполяции по формуле Шези следует отказаться.

Экстраполяция по способу Дж. Стивенса. Этот способ дает обычно хорошие результаты для сравнительно крупных рек со средней глубиной в паводок не менее 3,5—4,0 м и с движением воды, близким к равномерному. В таких условиях применима формула Шези. Опытным установлено, что в

этих условиях величина практически не зависит от расхода. Основываясь на этом можно считать, что расход воды есть функция выражения $\omega\sqrt{h_{cp}}$, т. е.

$$Q=f(\omega\sqrt{h_{cp}}) \quad (2.7)$$

При этом принято, что $C\sqrt{I}=\text{const}$.

Эта зависимость (2.7) на графике выражается кривой, в верхней части обычно переходящей в прямую, что представляет большое удобство для экстраполяции. Характер кривой $Q = f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ определяет возможность применения способа Стивенса. Если в верхней части эта линия имеет большую кривизну или точки на графике ложатся с большим разбросом, то данный способ неприменим. При незначительной кривизне считается допустимым экстраполировать линию $Q = f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ по тенденции верхнего участка обоснованной - измерениями расхода части. Если эта кривая имеет незначительную, но переменную по направлению кривизну, то ее экстраполируют, схематизируя в виде прямой; в подобных случаях эта прямая не проходит через начало координат, как это имеет место при прямолинейности верхнего участка кривой. Во всех случаях кривую $Q = f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ экстраполируют до значения $(\omega\sqrt{h_{cp}})_{\text{макс}}$ с соответствующего наивысшему уровню $H_{\text{макс}}$.

Для построения графика $Q=f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ по данным измерений расходов вычисляют величины $\omega\sqrt{h_{cp}}$. Это удобнее всего делать в табличной форме. В таблицу вписывают все измеренные расходы и соответствующие им уровни, для каждого расхода заполняют графы ω , V , h_{cp} и вычисляют значения $\omega\sqrt{h_{cp}}$.

Значения Q откладывают по оси абсцисс, а значения $\omega\sqrt{h_{cp}}$ — по оси ординат. Это построение делают на том же листе, на котором построена и кривая расходов; ось абсцисс служит общей шкалой (рис. 2.4). Масштаб шкалы $\omega\sqrt{h_{cp}}$ выбирают произвольно, но с учетом того, чтобы наибольшее значение $\omega\sqrt{h_{cp}}$ (при $H_{\text{макс}}$) находилось ниже наибольшего уровня шкалы Y . По наложенным точкам проводят кривую, которую экстраполируют вверх до

$(\omega\sqrt{h_{cp}})_{\max}$, как было указано ранее. По экстраполированному участку можно определить расходы, пользуясь общей для обеих кривых шкалой Q . Полученные таким путем расходы переносят графически вверх до пересечения с линиями соответствующих уровней; по полученным точкам проводят кривую расходов в зоне экстраполяции. Если зона экстраполяции невелика, то нередко ограничиваются одной точкой — значением максимального расхода, как это показано на рис. 2.4.

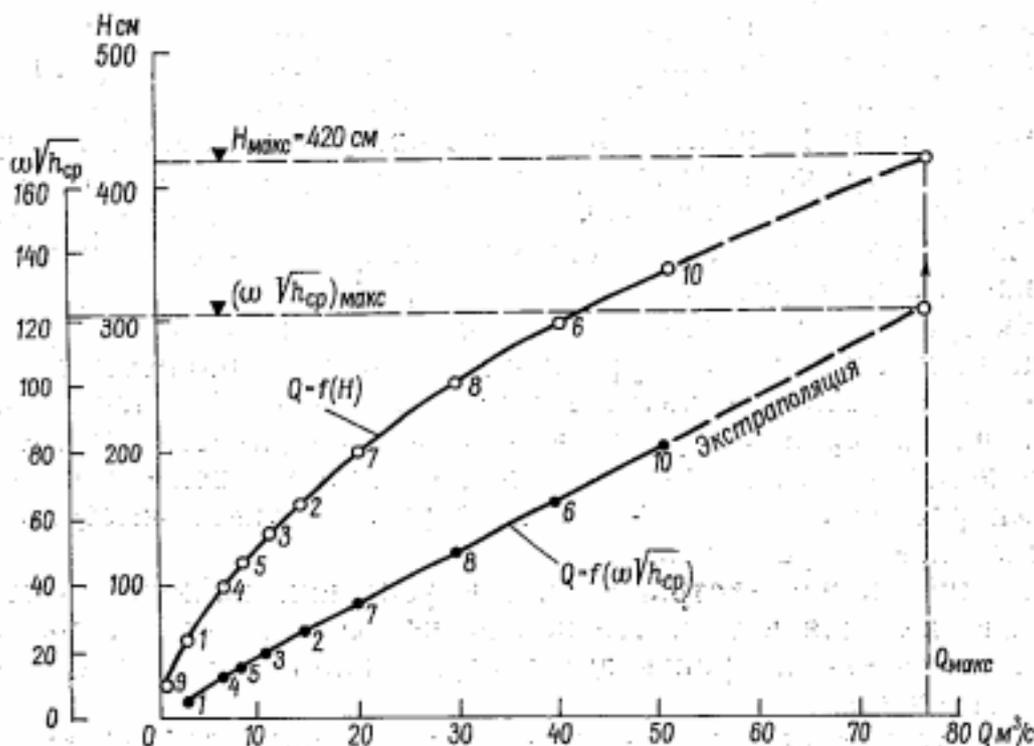


Рисунок 2.4 – Экстраполяция кривой расходов по способу Стивенса.

Применяют другой прием экстраполяции по способу Стивенса. Вместо графика $Q=f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ строят график $V=f(\omega\sqrt{h_{cp}})$. Они вполне идентичны, так как во втором из них аргумент и функция, разделены на одну и ту же величину ω . График $V=f(\omega\sqrt{h_{cp}})$ строят обычно на отдельном листе и экстраполируют вверх до $(\sqrt{h_{cp}})_{\max}$. Пользуясь этим графиком, определяют средние скорости течения при высоких уровнях, в том числе и при H_{\max} .

Значения расходов для экстраполяции кривой $Q=f(H)$ определяют, умножая полученные средние скорости на соответствующие площади живых сечений, определяемые по профилю створа. При экстраполяции кривой $V=f(\sqrt{h_{cp}})$ следует учитывать сказанное выше об экстраполяции кривой $Q=f(\omega\sqrt{h_{cp}})$.

3. Расчетная часть

В качестве исходных данных были выбраны измеренные расходы воды, а также уровни воды по станции Петрокрепость, река Нева за 1968, 1969, 1971, 1972, 1973 годы.

Данные я брал из гидрологических ежегодников, по таблицам “измеренные расходы воды”. Также, помимо уровней воды (H) и расходов (Q), мне понадобились значения площади живого сечения (ω) и средних скоростей течения (V).

Далее в программе AutoCAD были построены графики кривых зависимостей $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$, $V = f(H)$, за все пять лет измерений. Данные, которые учитывались, при построении кривых брались за безледостанный период. Графики представлены на рисунках 3.1 – 3.3.

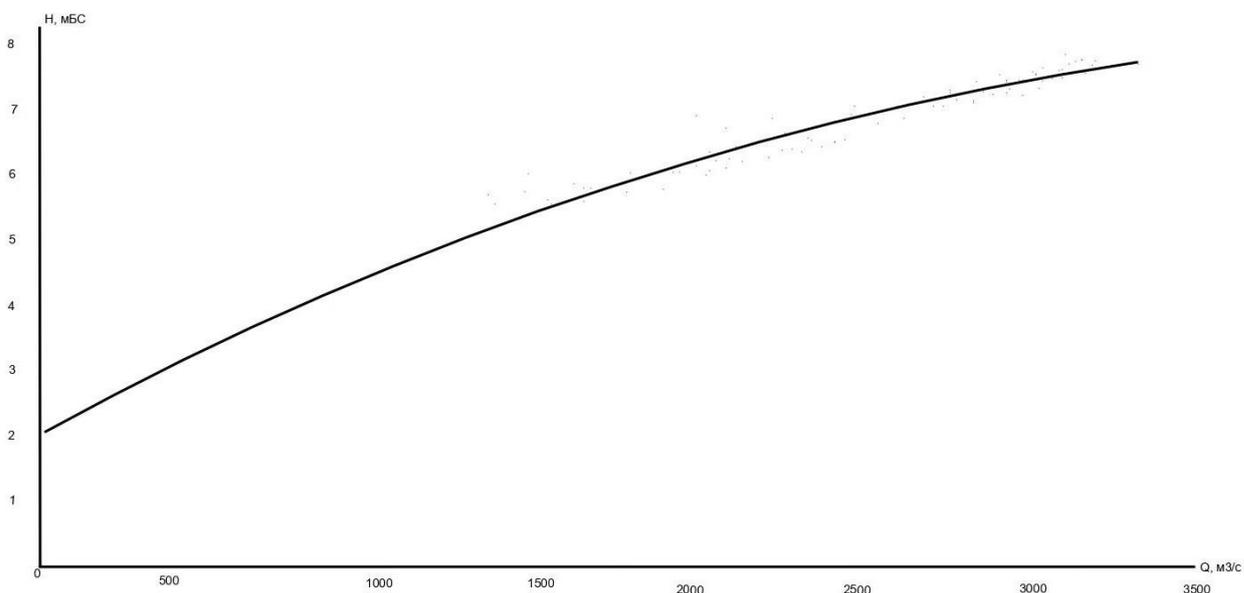


Рисунок 3.1 – кривая зависимости $Q = f(H)$

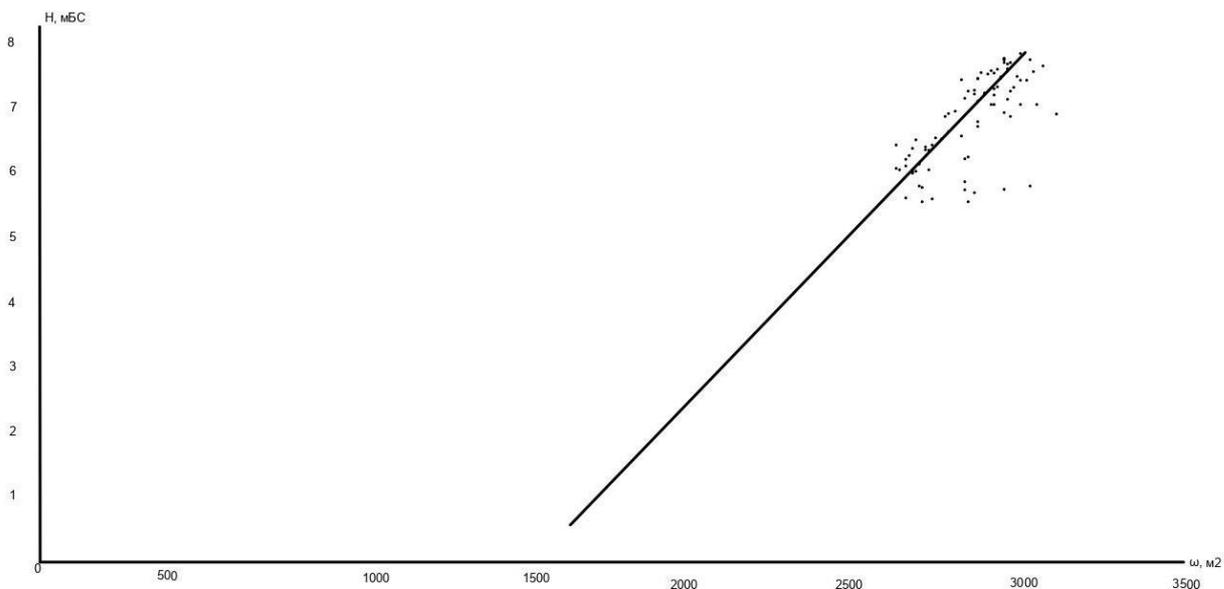


Рисунок 3.2 – кривая зависимости $\omega = f(H)$

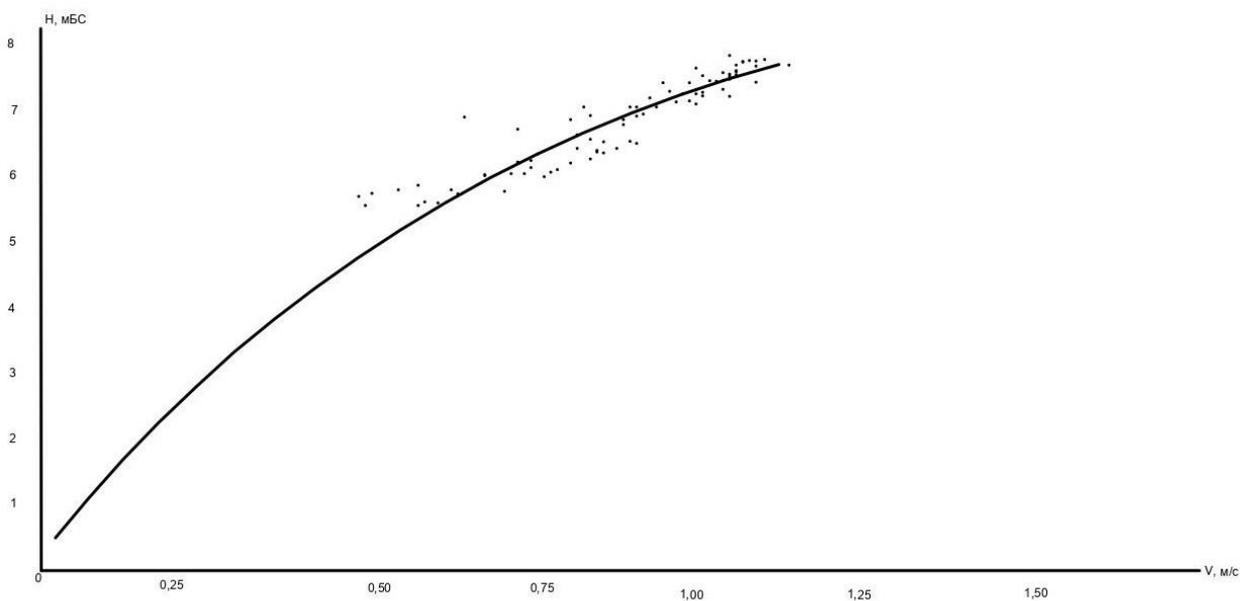


Рисунок 3.3 – кривая зависимости $V = f(H)$

Глядя на рисунок 3.1 кривая расходов воды была экстраполирована вниз по методу экстраполяции вниз по элементам расхода. В итоге была получена приблизительная отметка порога слива, равная 2.1 мБС.

Безусловно была произведена увязка кривых $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$

$V = f(H)$ за весь рассматриваемый период, составляющий пять лет (Рис. 3.4).

Увязка кривых						
H , см	$\omega_{кр}$, м ²	$V_{кр}$, м/с	$Q_{выч}$, м ³ /с	$Q_{кр}$, м ³ /с	ΔQ	$\Delta Q/Q_{кр} \cdot 100$
550	2570	0.56	1439	1490	51	3.4
574	2620	0.62	1624	1650	26	1.6
593	2710	0.7	1897	1890	-7	-0.4
612	2740	0.71	1945	1920	-25	-1.3
631	2760	0.73	2015	2000	-15	-0.7
650	2790	0.74	2065	2080	15	0.7
669	2820	0.75	2115	2150	35	1.6
688	2890	0.79	2283	2300	17	0.7
707	2900	0.89	2581	2590	9	0.3
726	2930	0.99	2901	2900	-1	0.0
745	2950	1.04	3068	3090	22	0.7
764	2970	1.08	3208	3200	-8	-0.2
783	3100	1.1	3410	3310	-100	-3.0

Рисунок 3.4 – Увязка кривых $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$

$$V = f(H)$$

Также в программе Profile был построен морфометрический створ чуть ниже по течению относительно станции Петрокрепость на реке Неве (Рис. 3.5).

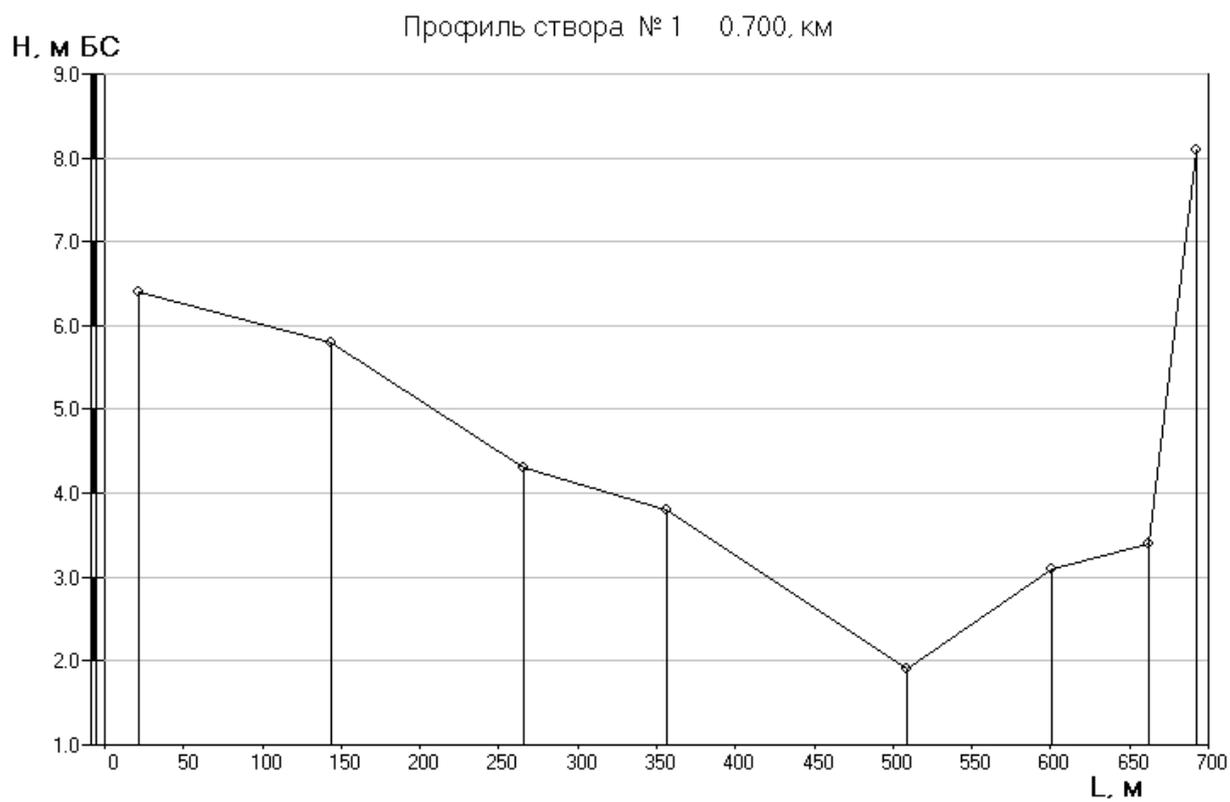


Рисунок 3.5 – Поперечный профиль, морфометрический створ чуть ниже по течению относительно станции Петрокрепость на реке Неве

Заключение

В данной работе по были построены графики кривых зависимостей расходов от уровня воды, площадей живого сечений от уровня воды, а также средних скоростей от уровня воды по станции Петрокрепость на реке Неве за 1968, 1969, 1971, 1972, 1973 годы. При этом была определена приблизительная отметка порога стока Ладожского озера.

Все же стоит учитывать, что проделанная работа сделана на уровне экспертных оценок. Для увеличения точности таких исследований, считаю, что нужно вводить поправки в расчеты отметок порогов стока, учитывая крутизну береговых склонов. Также считаю уместным дальше по более-менее исследованным озерам строить такие зависимости и определять отметки порогов стока, чтобы потом данные исследования можно было использовать для неизученных озер, у которых одинаковое происхождение и морфология котловины.

В дальнейшем же продолжается создание модели, позволяющая определять отметки порогов слива озер, и основываясь на этих данных, давать рекомендации для дальнейшей эксплуатации данных водных объектов.

Список используемых источников

1. Догановский А.М., Гинзбург Е.С. Некоторые закономерности многолетних колебаний уровней воды озер// Сборник работ по гидрологии, Л.: Гидрометеиздат, 1990, с.180-185
2. Багров Н.А., О колебаниях уровня бессточных водоемов [текст]/ Н.А. Багров // Метеорология и гидрология. – 1963. – № 6. – с. 41-48.
3. <http://www.varvar.ru/arhiv/slovo/neva.html>
4. Догановский А.М., Гидрология суши (общий курс) [текст]/А.М.Догановский. – СПб.: изд. РГГМУ, 2012. – 524 с.
5. <https://bigenc.ru/geography/text/2139438>
6. <https://russiaregions.ru/finskij-zaliv/finskij-zaliv-podrobnaya-informatsiya-opisanie-foto-video>
7. Фролов А.В., Динамико-стохастические модели многолетних колебаний уровня проточных озер[текст]/А.В. Фролов. – М.: Наука, 1985. – 103 с.
8. Сикан А.В., Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [текст]/А.В.Сикан. – СПб: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.
9. <https://4642222.ru/?catid=0&id=267>
10. В. Д. Быков, А. В. Васильев, Гидрометрия – СПб: изд. 1977. – 268 с.
11. Музылев, С.Д., Привальский В.Е., Раткович Д.Я.: Стохастические модели в инженерной гидрологии. – М.: Наука, 1982. – 184 с.
12. Нежиховский, Р.А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ и озер [текст]/ Р.А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 296 с.

13. Мякишева, Н.В. Многокритериальная классификация озер [текст] / Н.В. Мякишева. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2009. – 153 с.
14. Ресурсы поверхностных вод
15. Гидрологический ежегодник. Т.9, вып. 0-3 [текст]/ Северо-Западное УГМС. – Л.: Гидрометеоздат, 1938 - 2011
16. Гидрологические процессы в водохранилищах. Матарзин Ю.М., Богословский Б.Б., Мацкевич И.К. Учебное пособие по спецкурсу «Гидрология водохранилищ» под общей редакцией Матарзина Ю.М. Изд. Пермского ун-та, 1977, 88 с.

Приложение 1. Измеренные расходы воды Ладожского озера 1968 год

Н см	Q м ³ /с	ωкр, м ²	Vкр, м/с
276	3160	2950	1.07
274	3200	3030	1.06
275	3160	2950	1.08
269	3120	2970	1.05
264	3040	3070	0.99
283	3110	3000	1.04
273	3140	2950	1.06
259	3090	2930	1.05
257	3010	2910	1.03
252	3020	2900	1.04
254	3020	2880	1.05
243	3040	2820	1.08
229	2760	2920	0.95
242	2840	3020	0.94
242	2930	3000	0.98

Приложение 2. Измеренные расходы воды Ладожского озера 1969 год

267	3190	2960	1.08
269	3330	2950	1.13
260	3100	2960	1.05
255	3170	3040	1.04
248	3100	2990	1.04
247	3070	2940	1.04
225	2760	2840	0.97
221	2980	2860	1.04
219	2680	2920	0.92
214	2780	2830	0.98
190	1990	3110	0.64
205	2740	3050	0.90
205	2600	2920	0.89
205	2470	3000	0.82
186	2620	2970	0.88

Приложение 3. Измеренные расходы воды Ладожского озера 1971 год

245	2970	2870	1.03
253	2910	2920	1.00
244	2930	2870	1.02
245	2980	2940	1.01
232	3030	2930	1.03
231	2940	2980	0.99
227	2860	2860	1.00
225	2930	2970	0.99
213	2830	2960	0.96
222	2890	2890	1.00
210	2830	2870	0.99
205	2710	2910	0.93
192	2460	2950	0.83
178	2540	2870	0.88

Приложение 4. Измеренные расходы воды Ладожского озера 1972 год

194	2530	2800	0.91
191	2500	2780	0.90
186	2220	2770	0.80
171	2080	2870	0.72
163	2260	2780	0.81
156	2330	2820	0.83
142	2370	2730	0.87
139	2280	2710	0.84
135	2310	2710	0.85
121	2050	2830	0.72
153	2440	2740	0.89
126	2210	2660	0.83
124	2090	2840	0.74
152	2340	2760	0.85
104	1940	2720	0.71
73	1780	2830	0.63
79	1650	3030	0.54

Приложение 5. Измеренные расходы воды Ладожского озера 1973 год

150	2410	2680	0.90
142	2110	2620	0.81
134	2030	2720	0.75
137	2250	2670	0.84
113	1990	2690	0.74
120	2130	2650	0.80
110	2080	2650	0.78
106	2030	2620	0.77
104	1920	2630	0.73
102	1790	2680	0.67
99	2020	2670	0.76
86	1620	2830	0.57
79	1670	2690	0.62
77	1890	2700	0.70
69	1360	2860	0.48
55	1380	2840	0.49
74	1470	2950	0.50
59	1650	2730	0.60
55	1550	2700	0.57
61	1540	2650	0.58
101	1480	2670	0.67

Приложение 6. Таблица увязки кривых

Н, см	$\omega_{кр}$, м ²	V _{кр} , м/с	Q _{выч} , м ³ /с	Q _{кр} , м ³ /с	ΔQ	$\Delta Q/Q_{кр} \cdot 100$
550	2570	0.56	1439	1490	51	3.4
574	2620	0.62	1624	1650	26	1.6
593	2710	0.7	1897	1890	-7	-0.4
612	2740	0.71	1945	1920	-25	-1.3
631	2760	0.73	2015	2000	-15	-0.7
650	2790	0.74	2065	2080	15	0.7
669	2820	0.75	2115	2150	35	1.6
688	2890	0.79	2283	2300	17	0.7
707	2900	0.89	2581	2590	9	0.3
726	2930	0.99	2901	2900	-1	0.0
745	2950	1.04	3068	3090	22	0.7
764	2970	1.08	3208	3200	-8	-0.2
783	3100	1.1	3410	3310	-100	-3.0