

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

На правах рукописи
УДК 556.556.4

РУДНЕВ Сергей Федорович

ДИНАМИКА ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

И.00.08 — океанология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург 1992

Работа выполнена в Институте водных проблем Севера КНЦ РАН

- Научный руководитель - доктор географических наук
Ю.В. Суставов
- Официальные оппоненты - доктор географических наук,
профессор, заслуженный деятель
науки РСФСР И.Н. Давидан
- кандидат географических наук,
ст.н.с. А.Н. Мичурин
- Ведущая организация - Институт озераедения РАН

Защита состоится 27 февраля 1992 г. в ____ часов
на заседании специализированного совета Д 063.19.01
при Санкт-Петербургском государственном университете

С диссертацией
по адресу: 195196, С
пр., д. 98.

Автореферат раз

Ученый секретарь
специализированного
доктор географических
профессор

Актуальность темы. Одно из крупнейших в Европе -
Онежское озеро является важным источником пресной воды и рыб-
ных запасов. С научной позиции озеро представляет уникальную
естественную лабораторию ^{для} проведения исследований гидрофизиче-
ских процессов. Взаимосвязь научных и практических интересов,
распространяющихся на озеро, очевидна, поскольку от уровня
научных знаний зависит эффективность выполнения практических
задач. Однако фактически эта взаимосвязь нарушена по двум ос-
новным причинам. Первая связана с отсутствием научного подхо-
да в решении большинства практических задач. Вторая обуслов-
лена недостаточно высоким уровнем самих научных исследований.

С развитием на берегах озера человеческой деятельности
возросла антропогенная нагрузка на водную среду, обострились
экологические проблемы. В связи с этим важной современной за-
дачей является выбор оптимальной стратегии в вопросах рацио-
нального использования природных ресурсов озера и защиты его
от загрязнения. Основой для этого могут служить фундаменталь-
ные научные знания. Это предусматривает изучение всех особен-
ностей механизма взаимодействия атмосферы и водоема, так как
человек прямо или косвенно воздействует на состояние указан-
ной системы (Horn, 1980). До сих пор при рассмотрении этого
механизма выпадал один из основных физических процессов, свя-
занный с собственными колебаниями водных масс. Он включает
поверхностные и внутренние сейши. Первые наблюдаются в озере
в течение всего года. Вторые, обусловленные наличием страти-
фикации, существуют в летне-осенний период. Особая роль, ко-
торую сейши выполняют в формировании горизонтальной и верти-
кальной циркуляции, охватывая своим влиянием всю толщу озера,
ставит их на центральное место среди остальных физических

ВИАРО

№

Библиотека

процессов. Из-за слабой изученности сейш нарушалось понимание взаимосвязи процессов, составляющих единый механизм взаимодействия "атмосфера-водоем". Это затрудняло интерпретацию данных наблюдений.

Следовательно, изучение сейш Онежского озера является ключевой задачей, решение которой позволит систематизировать знания о гидродинамике водоема, а также послужит основой рационального использования ресурсов озера.

Цель и задачи исследования. Цель работы - изучение структуры и динамики внутренних и поверхностных сейш Онежского озера.

Основные задачи:

- 1) выявление модовой структуры внутренних сейш;
- 2) уточнение модовой структуры поверхностных сейш;
- 3) изучение основных закономерностей изменчивости температуры и течений, связанных с собственными колебаниями водных масс озера;
- 4) исследование влияния внутренних волн (сейш) на характер водообмена между основной акваторией озера и его заливами;
- 5) исследование взаимодействия сейш со стоковыми течениями в приустьевых зонах;
- 6) математическое моделирование поверхностных и внутренних сейш;
- 7) разработка технических приспособлений с целью повышения эффективности инструментальных наблюдений за внутренними волнами.

Метод исследования и фактический материал.

В работе были использованы результаты многолетних полевых инструментальных измерений температуры и течений, выполненных автором в течение ряда последних лет при участии сотрудников Института водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук, а также архивные материалы Института Озероведения РАН и материалы Карельского республиканского центра по гидрометеорологии г. Петрозаводска.

Наблюдения за внутренними волнами проведены традиционными в океанологии методами. Для этого использовались автономные буйковые станции с притопленным несущим бумом и установленными регистраторами течений и температуры: RCM-4, TR-I и TR-2 (система Aanderaa, Норвегия) и БПВ-2 (-2р), АЦИТТ. Для повышения эксплуатационных характеристик буйковых станций автором были разработаны и внедрены два изобретения.

Полученные гидрологические ряды наблюдений обработаны автором на персональных компьютерах с помощью современных методов спектрального анализа.

Научная новизна. Выполнены длительные целенаправленные наблюдения за внутренними волнами с использованием автономных регистраторов течений и температуры в различных районах крупного озера в синхронном режиме работы. Большой объем полученных данных позволил предложить классификацию длинно-волновых колебаний в озере. Исследована модовая структура поверхностных (баротропных) сейш. Показана их роль в динамике течений в приустьевых районах озера в период ледостава. Выполнена идентификация колебаний температуры, течений и уровня с периодом 12 час как периода, связанного с основной поверхностной

сейшей, имеющей узловую линию на входе в Заонежский залив и максимальную амплитуду в вершине Повенецкого залива. Выполнено математическое моделирование поверхностных сейш, результаты которого хорошо согласуются с данными наблюдений. Получена целостная картина структуры поверхностных сейш. Исследована модовая структура внутренних сейш и основные особенности их динамики. Показана особо важная роль внутренних сейш в формировании циркуляции и процессов водообмена между основной акваторией озера и его заливами. Детально исследован широкий спектр внутренних колебаний на основе большого натурального материала по изменчивости полей течений и температуры. Выполнен расчет периодов внутренних сейш с помощью 2-х слойной модели для различных вариантов стратификации.

Практическая значимость результатов работы. Полученные данные являются физической основой для понимания гидротермодинамических и химико-биологических процессов, происходящих в озере. Результаты исследований сейш необходимо учитывать при выполнении следующих практических задач:

- выбор места водозабора для водоснабжения городов, расположенных на берегах озера;
- выбор месторасположения вдоль береговой линии предприятий, осуществляющих сброс жидких отходов;
- гидротехническое строительство;
- рыбный промысел;
- прогноз состояния экосистемы озера

На защиту выносятся:

- результаты экспериментальных исследований внутренних волн и сейш в Онежском озере;

- результаты моделирования поверхностных и внутренних сейш Онежского озера.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах лаборатории гидрологии Отдела водных проблем КНЦ АН СССР (1987-1991 гг.), на I Всесоюзной конференции молодых ученых по проблемам современной лимнологии в Институте озероведения АН СССР (Ленинград, 1988 г.), на 3-й Всесоюзной конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей" (Москва, 1989 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Объем работы 231 машинописная страница текста, 5 таблиц, 129 рисунков и список литературы, включающий 108 наименований, в том числе 68 иностранных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I содержит краткое описание долгопериодных волновых колебаний в озере, где особое внимание отведено сейшам. Показано, что сейши подразделяются на поверхностные и внутренние и являются типичным физическим явлением, свойственным замкнутым и полужамкнутым водоемам. Основными внешними источниками генерации сейш служат изменения атмосферного давления и скорости ветра. Первый тип сейш зависит от геоморфометрии озера, его протяженности и наблюдается в течение всего года. Второй тип сейш зависит главным образом от стратификации. Характер изменчивости внешних источников обуславливает порядок моды сейш. Изменения во времени геоморфометрических параметров и стратификации приводят к трансформации модовой

структуры сейш. В крупных озерах модовая структура сейш изменяется также под воздействием силы Кориолиса. Имеет место и обратная связь - существование сейш оказывает влияние на гидрофизические процессы в водоеме - на динамику водных масс.

В отличие от поверхностных волн (сейш) для развития внутренних колебаний не требуется такой же большой энергии. Однако, поскольку они не поддаются визуальному наблюдению на поверхности их открытие состоялось позднее поверхностных.

Выявление внутренних волн сводится к анализу колебаний изотерм или различных консервативных примесей в стратифицированном бассейне. Внутренние волны могут в большой степени видоизменять движения водных масс в озере, приводя к сложным формам циркуляции, горизонтальному и вертикальному водообмену. Это является важным для процессов перемешивания. Преобладающая роль в них между эпилимнионом и гиполимнионом отводится взаимодействию течений, связанных с внутренними волнами и сейшами, которое является более динамичным при наличии стратификации и менее при ее отсутствии.

Во II главе описана методика инструментальных наблюдений за внутренними волнами и методы спектрального анализа, использованные при обработке данных.

В основу наблюдений за внутренними волнами было положено предположение о том, что форма колебаний изотерм соответствует форме внутренних колебаний. Регистрация температуры и скорости течений выполнялась на нескольких горизонтах, преимущественно в слое термоклина и близких к нему слоях. Приборы устанавливались на заякоренных буйковых станциях с притопленным несущим бумом с целью уменьшения влияния ветрового волнения.

Конструкции отдельных элементов основного такелажа буйковых станций (скобы, зажимы, вертлюги, якоря, сигнальные вежи и т.д.) были разработаны автором с учетом особенностей объекта исследований. С целью повышения надежности буйковых станций автором разработаны и внедрены в практику способы соединения такелажа, на которые получены 2 авторских свидетельства.

Для анализа полученных данных был использован спектральный анализ, поскольку описание физического процесса в частотной области является основой для выяснения происхождения и механизма колебаний в тех или иных временных масштабах и представляет интерес с прогностической точки зрения. Принимая во внимание особенности природы волновых колебаний в водоемах, важным моментом является выбор оптимальных методов спектрального анализа. Так, при решении задачи определения собственных частот колебаний водоема использование высокоразрешающих по частоте методов является часто основным требованием. Поэтому для анализа данных о температуре и течениях были использованы метод спектрального анализа (основанный на Фурье-анализе) и анализ, основанный на методе максимальной энтропии (ММЭ). Эффективность последнего метода состоит в высокой разрешающей способности. Он позволяет даже при короткой реализации дискретизированной случайной функции вычислить функцию спектральной плотности произвольного случайного процесса.

Кроме того, применение ММЭ соответствует стратегии, предложенной ранее Крауссом (1968). Он считает целесообразным перейти к использованию методов с высокой разрешающей способностью спектров, отказавшись от статистической обеспеченности результатов. Это связано с тем, что из длинных рядов, из-за

незначительной разрешающей способности всегда получается широкий спектр, в котором могут затусневываться некоторые существующие колебания. Вследствие этого интерпретация результатов наблюдений становится затруднительной и может привести к неверным выводам. Почти все колебания возрастают по амплитуде в стадии возбуждения, а затем снова затухают. По мнению Краусса более рационально выполнять анализ многочисленных коротких рядов, обработанных методами с высокой разрешающей способностью, чем один длинный ряд с высокой статистической обеспеченностью. Количество случаев толкования случайных максимумов, как реальных периодов можно уменьшить, сравнивая спектры таких коротких рядов, и считая достоверными только максимумы, имеющие большую повторяемость.

В III главе представлено описание данных инструментальных измерений, полученных во время проведения нескольких натуральных экспериментов в различных районах озера.

Наблюдения, выполненные на основной акватории озера в июне-августе 1989 г. (эксперимент "Онего-89"), показали, что изменчивость температуры и течений имеет периодический характер, обусловленный внутренними (бароклинными) сейшми. Подтверждением этого служит хорошая согласованность периодов колебаний температуры и течений, полученных из данных наблюдений путем спектрального анализа и рассчитанных по формуле Мериана.

Основной характер колебаний температуры и течений отражает реакцию водных масс на воздействие атмосферных процессов, происходящих над поверхностью озера. На всех станциях колебания температуры имели волновой характер, причем в верхнем слое (горизонт 10 м) флуктуации температуры прослеживались

на фоне тренда, обусловленного сезонным прогревом. В зависимости от расположения станций на акватории озера изменения температуры воды на горизонте 10 м отличались по величине. У восточного берега диапазон колебаний составил от 5 до 15°C, у западного от 8 до 18°C, в центральной части от 5 до 14°C. При этом флуктуации температуры у восточного и западного берегов происходили в противофазе на всех горизонтах. На всех станциях, включая нижние горизонты, в колебаниях температуры отмечались значительные по амплитуде скачки в течение непродолжительных периодов времени, связанных со штормовыми ветрами. Кроме колебаний аperiodического характера (продолжительностью более 300 час) наблюдались колебания, интерпретированные как внутренние сейши с периодами от 23 до 235 час (для первых 10 мод). Инерционные колебания температуры с периодом 13.6 час наиболее четко наблюдались в центральной части озера в верхних и средних слоях. С приближением к берегам и дну их амплитуда существенно уменьшалась. Основными причинами этого являются диссипация энергии инерционных волн из-за трения с дном и берегами, а также взаимодействие их с вдольбереговым переносом, связанным с общей циркуляцией, которая энергетически доминирует в этом районе и характеризуется долгопериодными реверсивными изменениями направления вектора течения.

Показано, что наличие внутренних сейш проявляется в изменчивости как температуры, так и течений. Спектральный анализ компонент скорости течения выделил колебания с периодами, близкими по величине к периодам флуктуаций температуры.

В главе приведен подробный анализ прогрессивно-векторных диаграмм течений, который обнаружил ряд закономерностей в

пространственно-временной изменчивости течения. Сравнение полученных данных с выводами, сделанными ранее В.Х. Лифшицем (1984) выявило некоторое сходство. Согласно В.Х. Лифшицу, синхронный анализ материала по прибрежным станциям обнаруживает устойчивые циркуляции. При этом у восточного берега перенос водных масс происходит в одном направлении от поверхности до дна, а у западного в придонном слое развивается компенсационное противотечение. Автором также было отмечено наличие периодичности в смене направления течений на горизонтах, что связывалось с деятельностью ветра и сейшми. Периодические изменения скорости и направления течения были обнаружены в различных районах озера и имели период 4-2 и 1 суток, и 8,5 и 4 час (Лифшиц, 1980).

Приведенные данные позволяют сделать предположение о существовании определенных закономерностей в формировании полей течений, которые связаны с внутренней волной Кельвина. Бароклиная волна Кельвина проявляется в прибрежной зоне шириной, равной бароклинному радиусу деформации (2-4 км) и характеризуется вдольбереговым переносом вод против часовой стрелки, причем в нижнем слое (гиполимнионе) течение имеет противоположное направление. Распространение волновых колебаний такого типа сопровождается периодическими колебаниями термоклина вверх (в районе гребня) и вниз (в районе подошвы). Поэтому у противоположных берегов в результате геострофического баланса будут наблюдаться колебания термоклина в противофазе. То есть, при повышении температуры у западного берега, температура у восточного будет уменьшаться.

Известно, что при поступлении ветровой энергии к озеру реакция водных масс прослеживается в виде денивеляции уровня

и депрессии термоклина вдоль основной продольной оси озера (Mortimer, 1953), которая составляет для Онежского озера около 330° . После генерации стоячей внутренней волны (сейши) основной моды на продольной оси начинается ее трансформация под влиянием силы Кориолиса во вращающуюся волну Кельвина (Spigel, Imberger, 1987). Учитывая особый характер морфометрии котловины озера, очевидно, что при наличии больших глубоководных заливов в озере, основная потенциальная энергия волновых колебаний (на единицу площади), поступающая от ветра, будет аккумулироваться в северо-западной части озера. Образование вращающейся моды будет сопровождаться распространением энергии по акватории против часовой стрелки вдоль берега. При этом волновая энергия будет экспоненциально затухать по мере удаления гребня волны из северной части озера и с удалением от берега (Csanady, 1982). Волны такого типа имеют ту же скорость, что и длинные волны в невращающемся бассейне (стоячие волны). Различие в частотах между вращающейся и невращающейся модами зависит от соотношения (ширина/длина) бассейна (Kao, 1966). Продолжающаяся непрерывная стратификация позволяет существовать бесконечному числу вертикальных мод.

Современный анализ данных о температуре, течениях и уровне позволил получить подробную картину реакции водоема на внешнее воздействие (ветер) в виде последовательных физических процессов. В периоды сильных штормовых ветров в центре озера (о. Маячный) наблюдались значительные подъемы уровня (сгонно-нагонные явления), которые привели к депрессии термоклина (его заглужению), отчетливо выраженной в увеличении температуры воды на ближайших буйковых станциях. Ана-

логичные взаимосвязанные изменения скорости ветра, уровня, температуры и течений наблюдались неоднократно и в других частях озера. Так, зарегистрированные подъемы уровня у западного берега сопровождались заглублением термоклина.

Подробные инструментальные измерения температуры и течений выполненные в Большой Лижемской губе в августе-сентябре 1987-1988 гг. позволили выявить ряд особенностей, которые можно рассматривать как типичные для северных заливов Онежского озера.

Интерпретация данных с позиции теории внутренних волн (сейш) обнаружила следующее.

Генерация внутренней одноузловой сейши (I мода) на продольной оси является типичной реакцией водных масс Онежского озера на воздействие ветра, подобно тому как и на других озерах. В результате возникают колебания термоклина, имеющие максимальную амплитуду на концах продольной оси. Высота внутренней сейши, зарегистрированной в Большой Лижемской губе превышала 30 м. Скорость заглубления (подъема) термоклина равнялась около 5 метров в сутки. На форму колебаний изотерм оказывают влияние морфометрические особенности заливов.

Анализ прогрессивно-векторных диаграмм в центральной части Большой Лижемской губы показал, что вертикальная структура течений имеет, в основном, характер, обусловленный структурой внутренней сейши I моды. Последней, согласно теории, свойственно наличие 2-х взаимопротивоположных по направлению потоков, расположенных по разные стороны от внутренней границы раздела различных по плотности слоев, что подтверждено данными наблюдений. Динамика течений, связанных с основной внутренней сейшей, характеризуется периодическими изменениями

ко скорости и направления ветра течений. Колебания термоклина, связанные с модовой структурой внутренних сейш, сопровождаются периодическими заглублениями (подъемами) соответствующей границы раздела разнонаправленных потоков. Показаны характерные изменения температуры и течений в плоскости поперечного сечения Большой Лижемской губы (в центре залива). Откуда следовало, что полный цикл колебаний температуры и течений происходил с периодом около 12 суток (280 час).

В результате использования спектрального анализа, основанного на методе максимальной энтропии, выделены пики колебаний температуры и течений, идентифицированные как периоды первых 10 мод внутренних сейш Онежского озера (от 25 до 280 час). Анализ короткопериодных колебаний в губе показал также существование внутренних колебаний, связанных с собственными колебаниями водных масс губы, как бароклиной, так и баротропной природы.

Проведены исследования взаимодействия сейш со стоковыми течениями в приустьевой зоне.

Измерения течений в Соломенском проливе, соединяющем Петрозаводскую губу с оз. Логозеро, выявили влияние поверхностных сейш на формирование водообмена в приустьевом районе р. Шуи в период ледостава. Скорость течений в проливе колебалась от 0 до 37 см/с. За период наблюдений (7 дней), несмотря на поступление речных вод, было обнаружено 18 случаев смены направления течения на противоположное (из Петрозаводской губы в оз. Логозеро). Максимальная величина противотечения достигала 8 см/с. Течение носило реверсивный характер. Продолжительность противотечений колебалась от 15 мин до 1 часа.

Спектральный анализ данных показал на соответствие между

периодами колебаний скорости течения и периодами собственных колебаний водных масс оз. Логозеро, Петрозаводской губы и бассейна Онежского озера. Сравнение результатов спектрального анализа с архивными данными наблюдений за сейшми (Малинина и др., 1972) подтвердило баротропную природу изменчивости течений в Соломенском проливе.

Взаимодействие течений, связанных с сейшми, со стоковыми течениями в приустьевых озера приводит к сложному механизму водообмена. На примере соколебательной системы Петрозаводской губы - оз. Логозеро показано, что противотечения, вызванные сейшми, являются регулятором речного стока. Периодическое "запирание" речных вод в оз. Логозеро на пути их распространения к месту водозабора Петрозаводска повышает эффективность процесса седиментации взвешенных частиц, выносимых из устья р. Шуи.

В IV главе представлены результаты применения 2-х слойной модели для расчета поверхностных и внутренних сейш Онежского озера.

Для расчета поверхностных сейш был использован метод решения дифференциальных уравнений (Lanczos, 1950), успешно применявшийся ранее для ряда озер Швейцарии (Salvade, Zamboni, 1988).

Для расчетов использована батиметрическая сетка глубин с шагом 1000 м, которая покрывает всю поверхность озера, включая его заливы и губы. Влияние силы Кориолиса не учитывалось, так как внешний радиус Россби (135 км) превышает максимальную ширину озера (80 км).

Полученные результаты имеют хорошее соответствие с результатами наблюдений. Модель подтвердила предположение о том,

что период около 12 час является собственным колебанием совместного бассейна, состоящего из Заонежского и Повенецкого заливов и имеет протяженность около 120 км (Малинина и Солнцева, 1972).

Согласно расчетам первым 10 модам поверхностных сейш соответствуют следующие периоды: 12.1; 6.7; 4.9; 4.2; 3.6; 2.9; 2.6; 2.5; 2.4 и 2.2 час.

Анализ данных инструментальных наблюдений показал, что величина периодов сейш меняется по причине изменения средней глубины озера в сезонном и межгодовом масштабах.

Для моделирования внутренних свободных колебаний в Онежском озере была использована 2-х слойная модель (Salvade, Zamboni, 1987; Hutter et al., 1982; Schwab, 1980).

Принятая форма стратификации соответствует 2-м неперемешиваемым слоям воды с различной плотностью. Модель предполагает, что вся область озера разделена вертикальной стенкой, с внутренней стороны которой имеются эпилимнион и гиполимнион. Эта область используется для расчетов. Внешняя часть озера с глубинами, менее толщины верхнего слоя h_1 , в модели не используется. Граница внутренней области озера на батиметрической карте соответствует изобате h_1 , - глубине залегания термоклина (внутренняя граница 2-х слоев) и является "берегом термоклина". Таким образом, используемая в модели область озера меньше фактической. Эффекты вращения Земли не учитывались ($f = 0$). В расчетах было использовано несколько вариантов плотностной стратификации, которые свойственны для Онежского озера для различных эпизодов летне-осеннего периода, а также различная величина толщины верхнего слоя. Расчитанные по модели периоды основной внутренней сейши характеризуются значи-

тельными вариациями в диапазоне от 193 до 386 час. Рассчитанные периоды показали на их удовлетворительное сходство с данными инструментальных наблюдений. Из наблюдений следует, что основная мода внутренней сейши соответствует диапазону 235-300 час. Этот диапазон объясняется особенностями динамики данного явления в Онежском озере: реальная внутренняя сейша основной моды (по формуле Дефанта период основной сейши при $h_1 = 20$ м, $\epsilon_{1,2} = 1.0 \times 10^{-3}$ и $L = 130$ км равен 282 час) имеет значительную величину по сравнению с продолжительностью периода стратификации (4 месяца). В течение всего периода стратификации ее форма постоянно меняется и, следовательно, меняется модовая структура внутренних сейш. Для четкого выделения структуры свободных колебаний требуется продолжительный период наблюдений, исключая штормы, который был бы близким к величине $T = 10T_1$, где T_1 - период основной сейши. Но это практически невозможно. Кроме того, свободные колебания на термоклине, вызванные эпизодическими воздействиями внешних сил, постоянно трансформируются в результате следующих друг за другом очередных внешних возмущений.

Показано также, что при моделировании внутренних сейш следует учитывать влияние силы Кориолиса, так как внутренний радиус Россби равен 2-4 км.

Основные результаты работы

1. Данные многолетних инструментальных измерений температуры и течений в Онежском озере свидетельствуют о том, что характер изменчивости гидрофизических параметров в значительной степени обусловлен наличием поверхностных и внутренних долгопериодных колебаний. Среди них выделяются:

- Аперiodические вынужденные колебания свободной поверхности (уровня) и внутренней поверхности (термоклина) с периодами, превышающими 300 час, вызываемые штормовыми ветрами.

- Периодические внутренние колебания, связанные с бароклинными сейшами. Установлено, что первые 10 мод их имеют периоды от 23 до 300 часов.

- Инерционные колебания с периодом около 13.6 час. Они проявляются в виде флуктуаций температуры и скорости течений, а также во вращении вектора скорости течения по часовой стрелке с указанным периодом.

- Поверхностные колебания уровня, связанные с бароклинными сейшами. Периоды первых 10 мод лежат в диапазоне от 2-х до 12 часов.

- Баротропные и бароклинные сейши, обусловленные собственными колебаниями водных масс отдельных заливов и губ Онежского озера. Имеют широкий диапазон периодов от нескольких минут до десятков часов.

2. По данным измерений установлено, что долгопериодные (аперiodические) колебания уровня имеют узловую линию, расположенную вблизи аналогичной линии одноузловой внутренней сейши, проходящей поперек продольной оси озера через заливы Большое Онего и Малое Онего. Относительно узловой линии колебания уровня в северной части озера происходят в противофазе с колебаниями уровня в южной.

3. Высота внутренней сейши в разных частях озера различна. Она зависит от порядка моды и может превышать 30 м в северных заливах.

4. От расположения на акватории озера узловых линий и

пучностей внутренних стоячих волн зависит изменчивость температуры и течений и, следовательно, характер циркуляции в период стратификации. Генерация сейш различных мод в значительной мере определяет поле течений в различных частях озера. При этом главную роль играют низшие моды, которые способствуют более интенсивному водообмену между основной акваторией озера и его заливами.

5. Поверхностная сейша с наибольшим периодом, равным около 12 час, является собственным колебанием 2-х соединяющихся бассейнов - Заонежского и Повенецкого заливов.

6. В отличие от внутренних сейш, поверхностные оказывают влияние на формирование полей течений и температуры в течение всего года.

Измерения в период ледостава показали, что водообмен в соколебательной системе оз. Логозеро - Петрозаводская губа зависит не только от стокового течения, направленного из оз. Логозеро, но также и от гравитационных колебаний обоих бассейнов и всего озера. Результатом этого являются противотечения, направленные из южного бассейна в северный.

7. Выполненное математическое моделирование поверхностных сейш дало результаты, хорошо согласующиеся с данными наблюдений. Результаты расчета периодов внутренних (бароклиных) сейш являются менее удовлетворительными, из-за их большой продолжительности и изменчивости атмосферных воздействий.

8. Полученные данные указывают, что в Онежском озере поверхностные и внутренние сейши занимают центральное место среди других физических процессов в механизме взаимодействия между атмосферой и озером.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Эффект собственных колебаний водных масс Петрозаводской губы Онежского озера // Актуальные проблемы современной лимнологии (материалы I Всесоюзной конференции молодых ученых). - Ленинград, 1988. - С. 50-51.

2. Взаимодействие сейш и стокового течения в Онежском озере // Деп. в ВИНТИ, № 2060-В89. - Петрозаводск, 1988. 19 с.

3. Длинные внутренние волны и водообмен в Большой Лижемской губе Онежского озера (эксперимент "Фьорд-1") // Исследование водных ресурсов Карелии. - Петрозаводск: ОИМ, 1989. - С. 12-20 (соавтор М.П. Петров).

4. Эффект собственных колебаний водных масс Петрозаводской губы Онежского озера // Динамика и термика рек, водохранилищ и окраинных морей (материалы III Всесоюзной конференции). - М., 1989. Том II. С. 38-40.

5. Инструментальные исследования течений // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. - Ленинград, Наука, 1990. С. 53-71 (соавтор П.М. Бояринов).

6. Динамика вод в устье реки Шуи и ее влияние на формирование водных масс в Петрозаводской губе // Исследование водных ресурсов Карелии. - Петрозаводск: ОИМ, 1989. С. 25-30. (соавтор Н.И. Пальшин).

7. Огон. // Изобретение, - а.с. № 1551882 А1, 1990.

8. Узел Руднева С.Ф. соединения конца троса с элементом такелажа // Изобретение, - а.с. № 1612159 А1, 1990.

9. Динамика внутренних волн в Онежском озере (эксперимент "Фьорд-1", 1987) // Деп. в ВИНТИ, № 1878-В90. Петрозаводск, 1990. 68 с. (соавтор М.П. Петров).

Ю. Динамика внутренних волн в Онежском озере (эксперимент "Фьорд-2", 1988) // Деп. в ВИНТИ, № 2362-В 90. - Петрозаводск, 1990. - 31 с.

II. Динамика внутренних волн в Онежском озере (эксперимент "Онего-89") // Деп. в ВИНТИ, № 3872-В91. - Петрозаводск, 1991. - 80 с.

Сдано в производство 22.01.92. Формат 60x84 ^I/16.
Печать офсетная. Уч.-изд.л. 1,0. Заказ № 4.
Тираж 100 экз. Бесплатно. КНЦ АН СССР

Карельский научный центр АН СССР
г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11