

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БОЯРИНОВ ПЕТР МАТВЕЕВИЧ

УДК 556.556.2+551.465.46(285.2)

**ПРИБРЕЖНЫЙ АПВЕЛЛИНГ И ТЕЧЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ
БАССЕЙНЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

(11.00.08 - океанология,
11.00.07 - гидрология суши, водные ресурсы)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

ЛЕНИНГРАД 1987

Работа выполнена в Отделе водных проблем Карельского филиала АН СССР

Научные руководители: доктор физико-математических наук, профессор К.Н.ФЕДОРОВ
кандидат технических наук В.Х.ЛИФШИЦ

Официальные оппоненты: доктор географических наук В.Р.ФУКС
кандидат географических наук Н.Н.ФИЛАТОВ

Ведущая организация: Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова.

Защита состоит в11 часов в Д 063.19.01 при институте (1951)

С диссертации градского гидром

Автореферат]

Ученый секретарь специализированн

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Использование природных ресурсов замкнутых бассейнов морского и озерного типов и их защита от все возрастающего антропогенного воздействия невозможны без надежных прогнозов гидрологического состояния водоемов. Для этого необходимо в первую очередь проведение экспериментальных исследований различных физических процессов и установление между ними взаимных связей. Одной из наиболее актуальных проблем познания их сложного и многообразного комплекса является изучение горизонтальных и вертикальных движений вод. Обнаруженная в последнее время в океанах синоптическая изменчивость, обусловленная особенностями динамики вод, характерна и для изучаемых процессов в морях и крупных озерах. Сведения о ней для замкнутых бассейнов из-за отсутствия или крайне малого количества современных приборов длительного действия ограничены. По этой причине отсутствуют и схемы общих циркуляций, основанные на наблюдениях при различных синоптических условиях.

Вертикальные движения, неразрывно связанные с общими горизонтальными циркуляциями океанов, морей и крупных озер, изучены еще меньше. Несмотря на сравнительно малые скорости (порядка $10^{-2} + 10^{-4}$ см/с), они приводят к чрезвычайно большой пространственной неоднородности физических, химических и биологических полей, являются важнейшим механизмом в перераспределении тепла по вертикали, участвуют в формировании и поддержании фронтов, струйных течений.

Особую актуальность приобретают исследования явлений прибрежных подъемов вод - апвеллингов, в которых на площади, занимающей всего лишь 0,1% от поверхности Мирового океана, по данным Райзера (Rutger, 1969), может продуцироваться половина всех промысловых запасов океанической рыбы. В морских и озерных бассейнах явления апвеллинга изучены крайне недостаточно. Основная часть публикаций о них посвящена констатации фактов подъема вод к поверхности без выявления причин, вызвавших апвеллинг, не рассматриваются структура и пространственно-временные масштабы явления. Сведения о даун-

№ 121-3 -
Библиотека

веллингах (опусканиях вод) в крупных озерах, и тем более в океанах, еще скуднее. До сих пор не проводились исследования влияния этих явлений на ихтиофауну морей и крупных озер.

Цель и задачи исследования. Цель работы состояла в изучении динамики вод прибрежной зоны крупного замкнутого водоема. Основными задачами при этом были:

1. выявить по экспериментальным данным закономерности движения вод в крупном озере и исследовать изменчивость течений в зависимости от внешних и внутриводоемных условий;
2. изучить пространственно-временные масштабы и структуру прибрежных подъемов и опусканий вод в неразрывной связи с горизонтальными течениями. Сравнить явления прибрежных апвеллингов в крупных озерах с их аналогами в океанах и морях;
3. выяснить причины, вызывающие явления апвеллинга и даунвеллинга в прибрежной зоне замкнутых бассейнов, и провести расчет вертикальных движений по известным внешним условиям;
4. выявить влияние явлений прибрежных апвеллингов и даунвеллингов синоптического масштаба на ихтиофауну крупных озер.

Фактический материал. В основу диссертации положены результаты обработки материалов наблюдений, полученных на Онежском озере при участии автора (разработка методов постановки, изготовление и модернизация такелажа, перезарядка и подъем приборов) на полигонах автономных буйковых станций (АБС), оснащенных норвежскими приборами системы "Aanderaa"-RCM-4, TR-1 и отечественными самописцами течений - БПВ-2. Всего за полевые сезоны 1972-1981 гг. было выполнено около 375 тыс. регистраций течений и 610 тыс. - температуры. Автором диссертации выполнены наблюдения за течениями со льда вертушкой ИДВ-2М; проведены исследования поля температуры в режиме буксировки и зондирования; сделаны расчеты и обработки все полученные материалы, включая создание, отладку системы программ и счет по ним; осуществлена интерпретация результатов счета и наблюдений.

Научная новизна. На основании длительных измерений течений на АБС впервые выявлены закономерности движения вод

Онежского озера при различных синоптических условиях. В широком временном интервале исследована изменчивость течений. В суммарном течении установлена роль его составляющих, вызванных ветром, стоком, длинными внутренними волнами, градиентами плотности. По наблюдениям в крупном озере обнаружены длинные внутренние вращающиеся волны, подобные волнам Пуанкаре. Изучены пространственно-временные масштабы явлений прибрежных апвеллингов и даунвеллингов. Проведено исследование структуры прибрежных подъемов и опусканий вод в неразрывной связи с горизонтальными течениями. Изучены вызывающие их причины. Выбран метод расчета подъемов и опусканий вод в замкнутых бассейнах. Вычисления, выполненные для Онежского озера сопоставлены с данными натурных наблюдений. Предложена модификация динамического метода, позволяющая избежать произвольности выбора "нулевой поверхности" при расчете градиентных течений в замкнутых водоемах. Впервые проведено сравнение явлений прибрежных апвеллингов в замкнутых бассейнах с их аналогами в океанах; для них выявлены общие закономерности и различия. Положено начало изучению влияния прибрежных вертикальных движений синоптического масштаба на ихтиофауну крупного озера.

На защиту выносятся:

- результаты экспериментальных исследований течений в Онежском озере при различных синоптических условиях;
- результаты изучения прибрежных вертикальных движений (апвеллингов и даунвеллингов) в замкнутых бассейнах.

Практическая ценность. Результаты изучения вертикальных и горизонтальных движений вод дают физическую основу для понимания ряда важнейших химических и биологических процессов, изменчивость которых не может рассматриваться в отрыве от динамики вод прибрежной зоны. Они являются важным звеном при построении экологических моделей водоемов и могут быть использованы как для сравнения существующих, так и при разработке новых аналитических и численных моделей для замкнутых бассейнов.

Полученные новые данные по динамике вод крупного водоема следует учитывать при разработке методов прогноза температуры и течений в прибрежных зонах, при обосновании рациональ-

ного использования вод и природоохранных мероприятий.

Результаты исследований имеют важное значение в связи с интенсификацией рыбного промысла на крупных водоемах.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на совещании Института озераведения АН СССР, Зоологического института АН СССР и Карельского филиала АН СССР (Ленинград, 1981), на Всесоюзном совещании по моделированию течений и процессам перемешивания в озерах (Пуннус-Ярви, 1981), на V и VI Всесоюзных совещаниях лимнологов "Круговорот вещества и энергии в водоемах" (Лиственичное на Байкале, 1981, 1985), на XI сессии Ученого Совета "Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера" (Петрозаводск, 1981), на Всесоюзном совещании "Природные ресурсы больших озер СССР" (Ленинград, 1982), на Международной школе-семинаре "Взаимодействие между водой и седиментами в озерах и водохранилищах и моделирование процессов" (Борок, 1982), на II Всесоюзном съезде океанологов (Севастополь, 1982), на сессии лаборатории гидрологии Института биологии внутренних вод (Борок, 1983), на конференции молодых ученых Института озераведения АН СССР (Ленинград, 1984), на V Всесоюзном гидрологическом съезде (Ленинград, 1986).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 34 работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, приложения. Работа содержит 136 страниц машинописного текста, 32 рисунка и 2 таблицы. Список литературы включает 232 наименования, в том числе 137 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования.

Глава I посвящена анализу результатов экспериментальных исследований течений и внутренних волн Онежского озера. В ней дается краткая физико-географическая характеристика и рассматриваются гидрометеорологические особенности района.

Приводятся сведения об изученности течений в озере. Показано, что представления о течениях до недавнего времени носили в основном качественный характер и опирались главным образом на разовые измерения с борта судна вертушкой ВММ и на расчеты, выполненные А.Н.Охлопковой (1972) динамическим методом для периодов весеннего и осеннего явлений термического бара.

Описывается методика исследования течений, применяемая в Карельском филиале АН СССР, указывается на необходимость длительных наблюдений на АБС. Регистрации течений в автономном режиме велись с помощью буквопечатающих вертушек -БПВ-2, БПВ-2р, а начиная с 1976 г. использовались еще самописцы течений и температуры - РСМ-4. Дискретность наблюдений на БПВ-2 выбиралась равной 60 или 30 мин., а РСМ-4 - 10 мин. В связи с большой акваторией водоема и малым количеством имеющихся приборов, изучение течений проводилось по принципу последовательного исследования крупных заливов и отдельных районов озера с концентрацией на них всей имеющейся аппаратуры. Это позволило сосредоточивать 4-5 АБС на относительно малых по площади полигонах. Первоначально самописцы течений устанавливались на стандартных поверхностных буйах типа ГМ-46 и ГМ-48, а начиная с 1976 г., для уменьшения влияния ветра и волнения на показания приборов, они крепились к притопленным буйам. Всего за время наблюдений с помощью автономных самописцев течений получено около 375 тыс. отдельных измерений течений, из них 190 тыс. - на РСМ-4.

Постоянные течения в приустьевых зонах рек и сейшевые течения в проливах изучались в зимнее время со льда импульсной дистанционной вертушкой ИДВ-2М, разработанной в Отделе водных проблем Карельского филиала АН СССР.

Полученный материал был подвергнут статистической обработке, которая включала расчет первых четырех моментов, корреляционных и спектральных функций с целью установления эмпирического распределения плотности вероятностей и выявления характерных циклическостей. При этом показано, что средние за весь период наблюдений скорости течений в открытом озере на горизонте 5-7 м составляют 10-20 см/с, на 25 м - 4-6 см/с, в придонных слоях - 2-4 см/с, но при определенных синоптиче-

ских ситуациях они могут быть значительно больше. Наибольшая инструментально зарегистрированная скорость течения на горизонте 6 м составила 130 см/с. Течения подвержены сильной временной изменчивости — среднее квадратическое отклонение обычно составляет 60–70% от среднего значения модуля скорости. Установлено, что эмпирические распределения модуля и составляющих скорости течения в большинстве случаев отличаются от нормального. Кривые плотности распределения вероятностей эмпирических рядов имеют положительную асимметрию и чаще всего более островершинный характер по сравнению с нормальным законом распределения.

На основании анализа результатов инструментальных измерений течений выяснена роль ветровых, плотностных, создаваемых неравномерным распределением плотности воды из-за неодинакового нагрева весной и охлаждения осенью мелководных и глубоководных районов, стоковых и длинноволновых составляющих в суммарном течении. Показано, что главная причина возникновения мощных циркуляционных течений в озере — поле ветра над его акваторией.

Обработка полученных материалов наблюдений велась в предположении, что одинаковая ветровая обстановка приводит к развитию в озере подобных циркуляционных течений в различные годы. Это позволило построить схемы течений для горизонтов 5–7 и 25 м при четырех различных синоптических условиях, когда ветер направлен по оси озера или перпендикулярно ей. С их помощью установлено, что постоянные течения в водоеме отсутствуют, однако в целом за весь период открытой водной поверхности отмечается преобладающее циклоническое вращение вод, характерное для Северного полушария. Это приводит к подъему вод в центральной части бассейна и опусканию — вблизи берегов, что подтверждается характерным распределением температуры в летний период. Сделано также предварительное заключение о местоположении локальных зон и направленности вертикальных движений при различных ветрах.

Установлено, что вариации скоростей течений в масштабах времени от 20 мин. до 45 суток представляют собой полициклический процесс, обусловленный синоптической изменчивостью атмосферных воздействий, а также длинными баротропными

и бароклиническими волнами типа сейш. Общий вид функций спектральной плотности имеет одинаковую форму для всех районов Онежского озера. Он характеризуется резким уменьшением энергии флуктуаций течений с уменьшением периода их колебаний. Общее монотонное уменьшение дисперсии с увеличением частоты колебаний нарушается наличием экстремумов в энергонесущих зонах, соответствующих периодам 6–8, 3–4, 2 и 1 суток, 12–14, 7–10, 3,5–4,5, 2,0–2,5 часов и целой серии с еще более короткими периодами. Наличие или преобладание вклада какой-либо энергонесущей зоны в общую дисперсию колебаний находится в зависимости от внешних воздействий и стратификации вод.

С помощью инструментальных наблюдений за температурой воды, скоростью и направлением течений в прибрежной зоне были обнаружены вращающиеся по часовой стрелке, с периодом 12,5 час. внутренние волны, аналогичные волнам Пуанкаре, существующие в течение нескольких десятков суток. Амплитуда колебаний термоклина при этом в ряде случаев превышала 10 м.

Глава 2 посвящена результатам теоретического и экспериментального исследований прибрежных апвеллингов в океанах, морях и крупных озерах, а также изложению методов изучения вертикальных движений.

В ней содержится описание этапов изучения этого явления и дается представление о всем сложном комплексе физических, химических, биологических и климатических процессов, являющихся следствием подъема холодных глубинных вод к поверхности.

Из большого числа типов вертикальных движений выделены различные виды апвеллингов, существующие в океанах, морях и озерах. Дана сводка весьма немногочисленных оценок вертикальных скоростей прибрежных подъемов в различных регионах.

Изложены различные подходы к изучению прибрежных подъемов и опусканий вод в океанах и применимость их к исследованиям в замкнутых бассейнах. Показаны источники ошибок оценок. Особое внимание уделено методам, позволяющим получить количественные характеристики явлений.

Глава 3 посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям структуры и пространственно-временных масштабов

явлений прибрежных подъемов и опусканий вод в неразрывной связи с горизонтальными течениями, выяснению причин, вызывающих вертикальные движения в прибрежной зоне в замкнутых бассейнах.

С помощью наблюдений за полем температуры методами инфракрасной радиометрии с самолета, буксировки в поверхностных слоях воды датчика термосопротивления и зондирования по вертикали установлено существование апвеллингов в крупном озере. Показано, что протяженность областей прибрежных подъемов соответствует горизонтальным размерам озер, достигая 260 км на оз. Эри и 150 км на Онежском и Ладожском. Ширина зон на Онеге - 15-20 км, на оз. Эри и Ладожском - 40-50 км.

Вдоль западного и восточного берегов Онежского озера почти непрерывно существует либо апвеллинг, либо даунвеллинг, о чем свидетельствовало наличие постоянной разницы температуры между противоположными берегами, которая в отдельные периоды достигала $8-10^{\circ}$. В летнее время, при подъеме вод, температура воды в верхних слоях часто понижалась с $17-19^{\circ}$ до 6° за 10-15 часов, после чего холодная вода оставалась на поверхности в течение 2-3 суток. Обратная картина наблюдалась при опускании вод, когда температура на нижних горизонтах резко повышалась.

Скорости вертикальных движений в периоды развития и затухания явлений оценивались на основании скорости смещения изотерм в вертикальной плоскости в местах установки АБС. Отмечено, что наибольшие их величины наблюдаются в средних слоях воды на горизонтах 10-20 м, где они достигали $4,7 \cdot 10^{-2}$ см/с при апвеллинге и $9,3 \cdot 10^{-2}$ см/с при даунвеллинге, и у дна водоема.

На основе экспериментальных данных установлено, что прибрежные вертикальные движения обуславливаются полем ветра над водоемом. В результате наблюдений и применения многофакторного регрессионного анализа показано, что изменчивость температуры и явления подъемов и опусканий вод в прибрежной зоне вызываются главным образом вдольбереговым напряжением ветра.

Выполненные наблюдения за течением позволили рассчитать вертикальные скорости из уравнения неразрывности и произвести оценку точности этого метода. Вычисления сделаны для всего периода подъема или опускания, а не только при развитии и затухании явлений, как в первом случае.

В результате расчетов установлено, что восходящие и нисходящие потоки имеют максимальные скорости на нижней границе экмановского слоя, где они достигали в среднем за весь период $8,5 \cdot 10^{-2}$ см/с при апвеллинге и $9,3 \cdot 10^{-2}$ см/с - при даунвеллинге. Сравнением с двухслойной моделью Йошиды (Yoshida, 1955) показано, что при характерных параметрах она дает вблизи берега на нижней границе верхнего слоя величины вертикальной скорости, близкие к оцененным из наблюдений.

Найдена эмпирическая зависимость между средними скоростями вдольберегового ветра и подъема вод. Дан анализ причины расхождений в величинах эмпирических коэффициентов, рассчитанных по двум примененным методам оценки.

В результате наблюдений показано, что в периоды апвеллингов устанавливаются разнонаправленные переносы вод вдоль берега: в верхнем слое по ветру, в нижнем - в обратном направлении. Одновременно существует и поперечная к берегу циркуляция вод. Средние компоненты поперечных течений на поверхности были направлены в открытое озеро и менялись от 2 до 8 см/с, а в придонных слоях - к берегу со скоростями от 0,5 до 4 см/с. При этом нижняя граница поверхностного экмановского слоя находилась в апвеллингах на горизонтах от 6 до 12,5 м. В период явления опускания вод устанавливаются обратные апвеллингу горизонтальная и вертикальная циркуляции вод, но с много большими вдольбереговыми скоростями.

Проведенное сравнение переносов вод, нормальных к берегу, вычисленных с использованием теории Экмана (Ekman, 1905), для случая существования плотностного фронта (Hurlbutt, Thompson, 1973), а также наблюдаемых при подъемах и опусканиях вод, свидетельствует, что при апвеллингах реальный перенос меньше рассчитанного, при даунвеллингах - больше. Это по-видимому, является результатом отмеченных в главе I общих нисходящих движений у берегов озера.

После возникновения вдольберегового напряжения ветра отмечается запаздывание явления подъема вод. При анализе установлено, что время приспособления горизонтальных и вертикальных движений к ветру в различных случаях апвеллингов сильно варьирует. Температура воды обычно начинает понижаться через 6 часов после перехода ветра на благоприятное для апвеллинга вдольбереговое направление. Течения же в прибрежной зоне устанавливаются медленнее - за 15-20 часов. Прекращение действия ветра или смена его направления приводят к пространственному выравниванию поля температуры и изменению направленности вертикальных движений через 20-30 часов. Эти вариации времени приспособления объясняются неучетом поперечной к берегу компоненты скорости ветра, которая тоже может приводить к апвеллингу. В работе описывается случай подъема вод, вызванный сильным ветром с берега. Показано, что интенсивность его существенно меньше, чем при благоприятном вдольбереговом ветре такой же силы.

С началом апвеллинга термоклин смещается вверх и в ряде случаев выходит на поверхность с формированием резко выраженного термического фронта со средними градиентами температуры, достигающими $5^{\circ}/\text{км}$. Фронт в этом случае был удален от берега на 5-7 км. На нем из-за эффекта бароклинности развилось геострофическое течение, которое было рассчитано модифицированным динамическим методом. Для этого нулевая динамическая поверхность помещалась на горизонт, расположенный ниже дна водоема, что в сочетании с допущением равенства нулю расхода вод через поперечное сечение замкнутого бассейна позволило перейти от относительных значений скоростей к абсолютным.

Одновременное существование явлений прибрежных подъемов и опусканий вод с длинными гравитационными внутренними волнами, подобными волнам Пуанкаре, приводит к их взаимодействию. Возникает сдвиговая неустойчивость Кельвина-Гельмгольца и волновихревая турбулентность, о чем свидетельствуют инверсии плотности и температуры воды между горизонтами наблюдений.

В результате экспериментальных исследований было показано, что вертикальные движения в прибрежной зоне развиваются в соответствии с общей экмановской теорией ветровых течений.

Однако ее аппарат не может быть непосредственно применен к изучению таких течений в реальных условиях замкнутого водоема с переменной глубиной. Необходимые выражения содержит более поздняя модель (Федоров, 1955), обобщающая теорию Экмана на случай моря удлиненной формы с произвольным рельефом дна, с учетом сил трения, Кориолиса и градиентов давления. С ее помощью проведено изучение горизонтальных и вертикальных движений, вызванных ветром, направленным вдоль оси Онежского озера. В результате расчетов, выполненных для 15 поперечных сечений найдены продольные, поперечные и вертикальные составляющие скорости течения с шагом 2,5 км на 16 горизонтах, расположенных от поверхности до 100 м, а также наклоны уровня.

Полученные результаты показали хорошее соответствие рассчитанных и натурных данных: подъем вод происходит у левого, относительно направления ветра, берега, а опускание - у противоположного. Наиболее интенсивные восходящие и нисходящие движения отмечаются вблизи берегов и дна. В толще вод на глубине трения они обычно имеют величину $(3-5) \cdot 10^{-2}$ см/с, что соответствует наблюдаемым величинам. Вместе с тем отмечено, что модель дает меньшую наблюдаемой ширину зоны апвеллинга и даунвеллинга. Это, по-видимому, связано с неучетом в исходной системе уравнений горизонтального турбулентного обмена.

Исследованиями установлено, что физические проявления апвеллинга в океанах и замкнутых бассейнах сходны. Показано, что продолжительность устойчивых вдольбереговых ветров определяет период существования восходящих движений. В регионах восточных пограничных течений Мирового океана крупномасштабные атмосферные циркуляционные системы благоприятны для развития климатических и сезонных подъемов вод. В морях и крупных озерах такие условия отсутствуют. Поэтому продолжительность явлений апвеллинга в них не превышает длительности синоптического периода. Тем не менее в обоих случаях подъем холодных вод к поверхности происходит с одинаковой интенсивностью (порядка 10^{-2} см/с) и приводит к формированию фронтов, струйных течений и противотечений, ячеистых

циркуляций. Однако, биологические процессы, сопровождающие явления апвеллингов в океанах и крупных озерах, как было установлено нашими исследованиями, принципиально различаются. В океанах зоны наибольшей продуктивности, как правило, совпадают с регионами апвеллингов, в которых обилие рыб и других организмов обусловлено сезонным или более продолжительным выносом питательных веществ в эвфотическую зону. В озерах длительность явлений подъемов вод меньше жизненного цикла большинства гидробионтов и не способствует увеличению биомассы в таких районах. Тем не менее связь между вертикальными движениями в водоемах с уловами рыб существует. Исследованиями на Онежском озере показано, что она проявляется косвенно, через влияния на икhtiофауну экстремально низких или высоких температур воды и концентрацию или рассредоточивание кормовых объектов течениями.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основании исследования течений Онежского озера выявлена резко выраженная их синоптическая изменчивость, характерная для морей и крупных озер. Установлено, что главной причиной возникновения мощных циркуляционных течений является поле ветра над водоемом. По инструментальным данным построены схемы циркуляций при различных синоптических условиях. Показано, что постоянных крупномасштабных течений в озере не существует.

2. Установлено, что вариации течений в масштабах времени от 20 мин. до 45 суток представляют собой полициклический процесс, обусловленный синоптической изменчивостью атмосферных воздействий, а также длинными поверхностными и внутренними волнами типа сейш. Выяснена роль течений, вызванных ветром, стоком, длинными внутренними волнами и градиентами плотности в замкнутом бассейне.

3. В результате наблюдений в крупном озере обнаружены длинные вращающиеся внутренние волны, подобные волнам Пуанкаре и исследованы их характеристики.

4. На основе экспериментальных данных установлено, что в замкнутых бассейнах постоянно существуют явления прибреж-

ных подъемов и опусканий вод, вызванные полем ветра. При этом вертикальные движения в прибрежной зоне находятся в качественном соответствии с экмановской теорией ветровых течений у приглубокого берега. Дана эмпирическая зависимость между скоростями подъемов вод по слоям и вдольбереговой компонентой ветра.

5. Рассмотрены пространственно-временные масштабы явлений прибрежных апвеллингов для различных морей и крупных озер. Установлено, что зоны подъемов находятся в зависимости от горизонтальных размеров замкнутых бассейнов и существуют в течение синоптического периода.

6. На основе наблюдений проведено исследование пространственной и временной структуры прибрежных апвеллингов и даунвеллингов. Показано, что наибольшие вертикальные скорости развиваются в средних слоях воды на нижних границах дрейфовых течений и у дна.

7. Установлено формирование в замкнутых бассейнах резкого термического фронта на периферии апвеллинговой зоны, определены его характеристики. Предложена модификация динамического метода, позволяющая избежать произвольности выбора "нулевой поверхности" для расчета градиентных течений на фронтах в прибрежной зоне морей и крупных озер.

8. Показано, что физические проявления событий апвеллинга в океанах и замкнутых бассейнах сходны. В обоих случаях он, за редким исключением, вызывается благоприятным вдольбереговым напряжением ветра.

9. Применение стационарной модели, учитывающей рельеф дна, силы трения, Кориолиса и градиенты давления, позволило получить основные качественные и количественные характеристики прибрежных вертикальных движений, вызванных ветром.

10. Исследованиями установлено, что биологические процессы, сопровождающие явления подъемов вод в океанах и замкнутых бассейнах, принципиально различаются. В крупных озерах зависимость уловов рыб от вертикальных движений проявляется косвенно, через влияние на икhtiофауну экстремально низких или высоких температур воды и концентрацию или рассредоточивание кормовых объектов течениями.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Лифшиц В.Х., Титов В.С., Бояринов П.М. Натурные исследования и расчет течений Онежского озера. - В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1979, с. 4-46.

2. Бояринов П.М. Случай апвеллинга в южной части Онежского озера. - Метеорология и гидрология, 1981, № 1, с. 72-75.

3. Лифшиц В.Х., Титов В.С., Бояринов П.М. Натурные исследования, спектральный анализ и математическое моделирование течений Петрозаводской губы. - В кн.: Петрозав. губа Онежск. оз. (гидрол., гидрохим.). Петрозаводск, 1981, с. 5-23.

4. Федоров К.Н., Бояринов П.М., Лифшиц В.Х. Сравнение прибрежных апвеллингов Мирового океана и крупных озер. - II Всесоюзный съезд океанологов (тез. докл.). Севастополь, 1982, вып. I, с. 106-108.

5. Бояринов П.М. Исследование апвеллингов и даунвеллингов Онежского озера. - В кн.: Гидрология Байкала и других водоемов. Новосибирск, Наука, 1984, с. 53-59.

6. Бояринов П.М., Лифшиц В.Х. Изменчивость течений и волны Кельвина на Онежском озере. - В кн.: Гидрология Байкала и других водоемов. Новосибирск, 1984, с. 45-50.

7. Бояринов П.М., Лифшиц В.Х., Титов В.С. Течения Петрозаводской губы и водообмен с Онежским озером. - В кн.: Петрозав. Онего и его лимнол. особенности. Петрозаводск, 1984, с. 23-35.

8. Бояринов П.М. Фронт термического бара. - В кн.: Петрозав. Онего и его лимнол. особенности. Петрозаводск, 1984, с. 13-23.

9. Лифшиц В.Х., Бояринов П.М., Петров М.П., Титов В.С. Натурные исследования и моделирование горизонтального и вертикального переноса в крупном озере. - В кн.: Взаимод. между водой и седим. в оз. и водохр., Л., Наука, 1984, с. 173-190.

10. Бояринов П.М., Лифшиц В.Х., Федоров К.Н. Ветровой апвеллинг в крупном озере. - ж. "Изв. АН СССР, Физика атм. и ок.", 1984, т. 20, № 12, с. 1189-1198.

11. Бояринов П.М., Швец П.Д. Мезомасштабные вертикальные движения в Онежском и Ладожском озерах. - В кн.: Проблемы исследования крупных озер. Л., Наука, 1985, с. 130-133.

12. Бояринов П.М. Исследование течений Кондопожской губы. - В кн.: Лимнол. Кондопожск. губы Онежск. оз. Петрозаводск, 1986, с. 16-27.

13. Бояринов П.М., Лифшиц В.Х., Петров М.П., Титов В.С. Динамика вод Онежского озера. - В кн.: Тез. докл. У Всесоюзн. гидрол. съезда. Секция озер и водохранилищ. Л., Гидрометеоиздат, 1986, с. 51-52.

19.11.87
Лифшиц