

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

ЛАПИНА НАТАЛЬЯ МИХАЙЛОВНА

УДК 639.321.053.1:551.464(262.5)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЛАГУН СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ
(НА ПРИМЕРЕ ШАБОЛАТСКОГО ЛИМАНА).

II.00.07 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 1994 г.

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

Научный руководитель:
доктор географических наук В.В.Сапожников

Научный консультант:
кандидат биологических наук Т.М.Аронович

Официальные оппоненты:
доктор географических наук, профессор В.Н.Михайлов
кандидат географических наук Б.М.Затучная

Ведущая организация - Институт океанологии Российской Академии Наук (ИО РАН)

Защита состоится "26"
в 15 часов на заседании диссертационного совета при географическом факультете им. М.В.Ломоносова факультета географического факультета МГУ, кандидата

С диссертации
факультета МГУ, кандидата
Алексеева

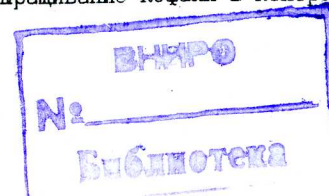
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В связи с интенсивным развитием рыболовства на южных морях, а также загрязнением их вод, проблема рационального использования природных ресурсов этих морей и их прибрежных водоемов - лагун и лиманов - приобретает особую актуальность.

В настоящее время запасы многих промысловых видов рыб и беспозвоночных в Черном море и в водоемах его бассейна крайне истощены. Одним из наиболее реальных путей повышения рыбопродуктивности этого региона является создание на Черном море рыбохозяйственных комплексов по искусственному разведению ценных морских видов рыб. Причерноморские лагуны, издавна славящиеся как идеальные водоемы для нагула такой ценной морской рыбы как кефаль, являются как раз теми водоемами, на которых создание управляемых хозяйств по искусственному разведению кефали (то есть, хозяйств марикультуры) становится вполне реальным.

Эффективность марикультуры в большой степени зависит от правильной оценки гидролого-гидрохимических условий как на этапе выбора района для культивирования, так и в период функционирования хозяйств. Поэтому при искусственном разведении гидробионтов актуальным становится изучение и контроль за биогидрохимическими процессами, происходящими как в нагульных водоемах (естественные водные экосистемы), так и в выростных емкостях, где содержатся культивируемые объекты в начальный период своей жизнедеятельности (искусственные водные экосистемы).

Для создания управляемого кефалевого хозяйства, в качестве модельного водоема, был выбран Шаболатский лиман. Он относится к лагунам Дунайско-Днестровского междуречья, расположенным в северо-западной части Черного моря, а "Шаболатский лиман" - это исторически общепринятое название этого водоема, правильное и точнее (по геолого-геоморфологическому происхождению и гидрологическому режиму) называть его Шаболатской лагуной. На берегу этого лимана построен Экспериментальный кефалевый завод (ЭКЗ) по искусственному воспроизводству молоди кефали, которая впоследствии будет выпускаться на нагул в Шаболатский лиман. Небольшая площадь лимана (25-27 км²) и регулирование водообмена в обловно-запускных каналах, соединяющих его с Черным морем и Днестровским лиманом, позволяют проводить дальнейшее выращивание кефали в контролируемых условиях.



Цели и задачи исследования. Цель работы состояла в том, чтобы на примере Шаболатского лимана рассмотреть основные закономерности формирования гидрохимического режима причерноморских лагун, являющихся нагульными водоемами для кефали, а также исследовать особенности биогидрохимических процессов, происходящих в выростных емкостях, где содержится кефаль в начальный период своего развития до пересадки ее на нагул в лагуны. Тем самым обеспечивался полный контроль за абиотическими факторами среды на всех этапах жизненного цикла кефали, и создавались предпосылки для управления всеми биогидрохимическими процессами в лагунном кефалевом хозяйстве впоследствии.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд задач, основными из которых являлись следующие:

- изучить особенности гидрохимического режима, продукционно-деструкционных процессов и факторов их обуславливающих в Шаболатском лимане и на основе этого - оценить потенциальные кормовые возможности (т.е. "приемную емкость") лимана;
- исследовать основные закономерности пространственно-временной изменчивости гидрохимических характеристик в лимане для выделения наиболее благоприятных зон для нагула молоди кефали;
- оценить скорости регенерации фосфора в лимане для выяснения вопроса о лимитировании первичной продукции в мелководном водоеме.
- рассмотреть влияние донных отложений на круговорот биогенных элементов в лимане.
- провести контроль биогидрохимических показателей среды в искусственных водных системах в течение эмбриональной и личиночной стадий развития кефали для определения оптимальных величин этих показателей.

Научная новизна работы. В результате проведенных исследований впервые комплексно рассмотрены физико-географические условия и гидрохимический режим Шаболатского лимана и выявлены закономерности пространственного распределения гидрологических и гидрохимических показателей в лимане в различные сезоны. Выделено три района (глубоководный, мелководный и Аккембетский залив), резко различающихся по этим показателям. Установлены особенности суточных изменений содержания растворенного кислорода, биогенных элементов и органического вещества в весенний и летний сезоны в лимане.

Впервые получены сведения о химическом составе донных отложений Шаболатского лимана и показана их большая роль в трансформации биогенных и органических веществ в причерноморских лагунах.

Разработана методика оценки скорости продукционно-деструкционных процессов в мелководных водоемах со смешанной популяцией макрофитов и микроводорослей. Исходя из результатов измерения первичной продукции, выполнены расчеты потенциальной рыбопродуктивности Шаболатского лимана.

Обосновано использование измерений активности щелочной фосфатазы для оценки скорости регенерации минерального фосфора, от которой в большой степени зависит интенсивность первичного продуцирования в лагунах.

Разработаны гидрохимические методы изучения функционирования искусственных водных систем для культивирования морских гидробионтов. Показано, что наиболее информативным для оценки работы замкнутых систем является строгий гидрохимический контроль за превращением аммонийных соединений в нитриты и нитраты.

Практическое значение. Проведенные исследования позволили: определить кормовые возможности Шаболатского лимана, рассчитать его "приемную емкость" (т.е. то количество молоди кефали, выпускаемой на нагул, которое может в нем прокормиться), показать, что большая часть лимана может служить идеальным местом для нагула молоди кефали. Полученные материалы были использованы рыбводами Экспериментального кефалевого завода при проведении рыбного промысла в лимане и учтены при обосновании целесообразности создания на Шаболатском лимане управляемого кефалевого хозяйства. Предложенная в работе схема расчета потенциальной рыбопродуктивности, исходя из измеренных величин первичной продукции, может быть использована при прогнозировании уловов кефали и в других лагунах Дунайско-Днестровского междуречья.

Содержащиеся в диссертации результаты исследований биогидрохимического режима в искусственных системах (выростных емкостях, замкнутых системах) использованы при составлении Инструкции по разведению кефали-лобана (Москва, 1986) сотрудниками ВНИРО и ЮгНИРО (Раздел: "Контроль за гидрохимическими параметрами среды").

Разработанная методика оценки продукционно-деструкционных процессов в лимане может быть использована для изучения этих процессов в мелководных водоемах со смешанной популяцией макро- и

микроводорослей в других регионах. В частности, эта методика была применена сотрудниками Краснодарского НИИ рыбного хозяйства (КрасНИИРХ) для исследования Кизилташских лиманов (лагун) с целью создания на них управляемого кефалевого хозяйства.

Полученные данные и выводы могут быть полезны при гидролого-гидрохимических исследованиях лагун других бесприливных морей.

Фактические материалы. В работе проведен анализ материалов экспедиционных исследований ВНИРО на Шаболатском лимане за период 1981-1987 гг., в которых автор принимал непосредственное участие. В 1981-1982 гг. экспедиционные исследования на Шаболатском лимане проводились сотрудниками двух лабораторий ВНИРО: лабораторией промышленной океанографии по КЦП "Комплекс", согласно которой исследовались "химические основы биопродуктивности соленоватых вод в устьевых участках" и лабораторией морской аквакультуры, в соответствии с КЦП "Юг", целью которой являлись работы по повышению продуктивности Азово-Черноморского бассейна путем искусственного разведения и выращивания беспозвоночных и рыб. При непосредственном участии автора было выполнено 12 гидролого-гидрохимических съемок Шаболатского лимана в различные сезоны и обработано более двух тысяч проб воды и донных осадков.

В работе использованы материалы отчетов, выполненных по тематическим планам ВНИРО, соисполнителем которых являлся автор диссертации. Также использованы данные гидрометеорологических наблюдений Белгород-Днестровской морской станции и первичные материалы и отчеты по гидробиологическим исследованиям Одесского отд. ЮНИРО и ОГУ, что отмечено надлежащими ссылками в соответствующих разделах диссертации.

Апробация работы. Основное содержание работы докладывалось на IV Всесоюзном совещании по научно-техническим проблемам марикультуры (Владивосток, 1983); на VII Всесоюзной конференции по промышленной океанологии (Астрахань, 1987); на Всесоюзных конференциях молодых ученых (Ленинград, 1984; Владивосток, 1988); на III Всесоюзной конференции по морской биологии (Севастополь, 1988); на III Всесоюзной школе-семинаре по гидрохимии (Дмитров, 1990); на коллоквиумах лаборатории морской аквакультуры и отдела морской экологии ВНИРО и на научном семинаре кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ (Москва, 1987-1993 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Структура, объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка цитированной литературы, включающего 130 работ, в том числе 52 работы зарубежных авторов; содержит 101 страницу машинописного текста, 24 рисунка, 27 таблиц и приложение (27 рисунков).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении дано обоснование актуальности проблемы и практической значимости работы, поставлены цели и задачи исследования.

В первой главе дается обзор исследований прибрежных экосистем и их разновидности - лагун; приводится типизация прибрежных экосистем северо-западного Причерноморья, предложенная М.Ш.Розенгуртом (1974) и обобщены литературные сведения об аналогичных водоемах Азово-Черноморского бассейна. Согласно этой классификации Шаболатский лиман и Тузловская группа лиманов (Шаганы, Алибей, Бурнас) (рис.1) относятся к водоемам лагунного происхождения периодически закрытого типа, гидрологический режим которых определяется: периодической связью (осенью и весной) с Черным морем, почти отсутствующим притоком пресных (речных) вод и местными метеорологическими условиями. Особенности гидрологического и гидрохимического режима причерноморских лагун в работе рассматриваются на примере Шаболатского лимана как типичного (по физико-географическим условиям и факторам, обуславливающим этот режим) среди этих водоемов.

Далее в главе дается анализ гидролого-гидрохимической изученности Шаболатского лимана, а также фактических материалов и методов исследований, послуживших основой для написания диссертационной работы. Показано, что несмотря на значительно возросшее внимание к исследованиям Шаболатского лимана в связи с развитием на нем кефалеводства, предшествующие (за последние 100 лет) гидролого-гидрохимические исследования лимана были весьма эпизодическими. В 50-60-х годах сотрудниками Одесского отделения ИнБКМ и Одесского госуниверситета были проведены достаточно подробные исследования гидрологического и гидрохимического режима лимана, но погрешность полученных результатов по химическому анализу вод лимана была велика вследствие несовершенства применяемой аппаратуры и методик. В настоящей работе обосновывается необходимость еще более деталь-

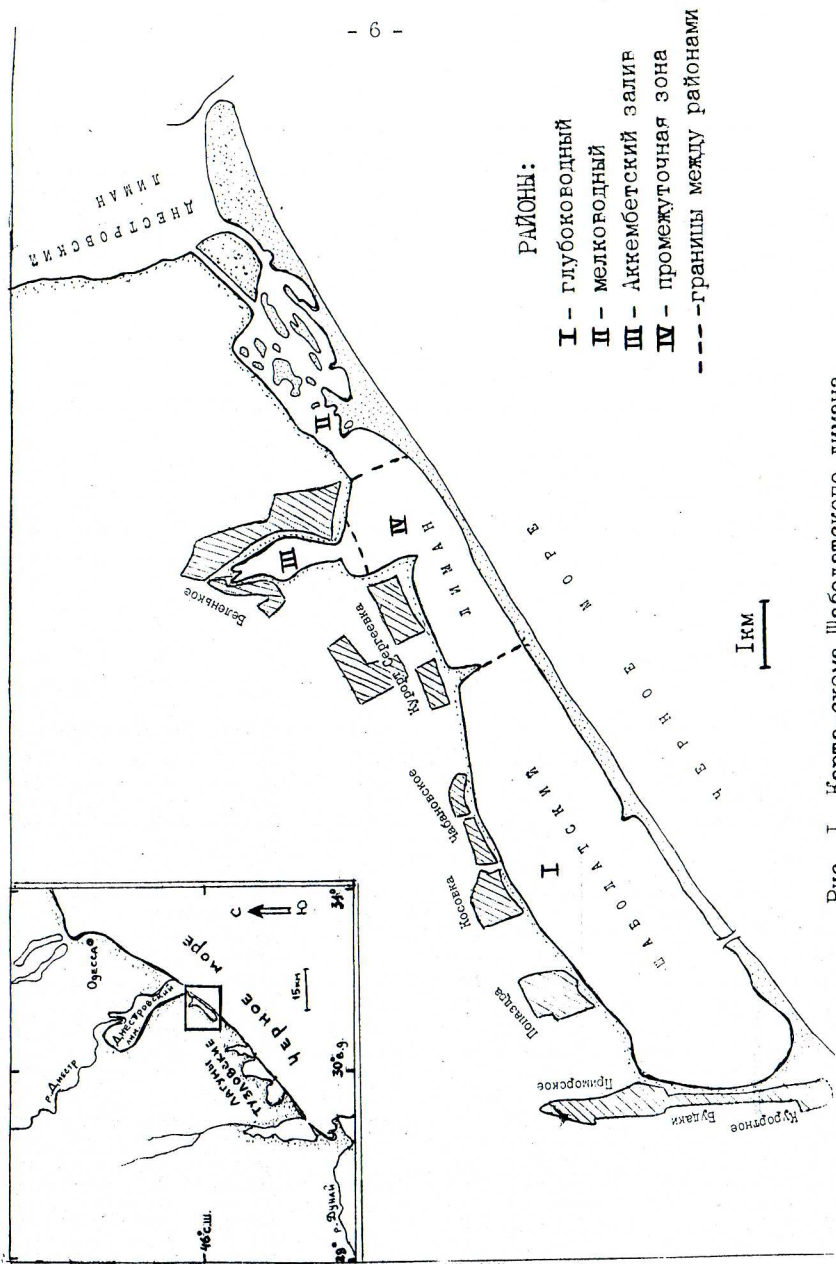


Рис. 1 Карта-схема Шаболатского лимана.

ных и точных гидрохимических исследований на фоне возрастающей антропогенной нагрузки на экосистему лимана.

В основу работы положены результаты исследований, проведенных при участии автора в Шаболатском лимане в течение 1981-1987 гг. в различные сезоны года, с увеличенным объемом исследований в весенне-летний период. Всего за время работ проведено 12 гидролого-гидрохимических съёмок лимана по установленной сетке станций отобрано и исследовано более двух тысяч проб воды и более двухсот проб грунта. Помимо полевых исследований проводился строгий контроль за гидрохимическими показателями среды в выростных емкостях, где содержалась кефаль разного возраста, за время которого отобрано и обработано более тысячи проб воды. Химический анализ проб включал определение биогенных элементов (фосфатного фосфора, аммонийного, нитритного и нитратного азота, кремния), валового и органического фосфора и азота, органического углерода и содержания ионов основного солевого состава воды (натрия, калия, магния, кальция, хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов).

Скорость минерализации фосфора в Шаболатском лимане определялась по измерениям активности щелочной фосфатазы - фермента, ответственного за расщепление фосфоорганических соединений (Агатова, 1980).

При определении концентраций биогенных элементов за основу были взяты стандартные методы (Методы гидрохимических исследований океана, 1978), согласно которым: аммонийный азот определялся методом Сэджи-Солорзано, нитриты - методом Бендшнайдера и Робинсона, нитраты - методом Мориса и Райли, фосфаты - методом Морфи и Райли, кремний - методом Королева, валовое содержание азота и фосфора методом Королева-Вальдерама, в пробах донных отложений и воды органический углерод определялся двумя методами. В первых из них - методом серно-хромового окисления, предложенного Стриклендом и Парсоном в модификации А.И.Агатовой (Агатова, 1983) и методом высокотемпературного сжигания на CHN-анализаторе с предварительным освобождением пробы грунта от карбонатов добавлением соляной кислоты. В пробах воды определение органического углерода проводилось также методом серно-хромового окисления и методом фотоокисления на приборе фирмы "Sybron" (США). Необходимо отметить, что наши измерения органического углерода указанными методами как в пробах воды, так и в пробах грунта давали различные результатов в пределах

30%, что вполне удовлетворяет точности определения с одной стороны, и подтверждает правомерность использования указанных методов, с другой.

Определение основных ионов солевого состава воды проводилось методами объемного анализа (Унифицированные методы анализа вод..., 1978), определение ионов натрия и калия - на пламенном фотометре.

Для оценки интенсивности продукционно-деструкционных процессов был применен скляночный метод в его кислородной модификации (Винберг, 1960). Склянки экспонировались в условиях *in situ* с экспозицией 3-4 часа.

Во время проведения съемок температура воды, величина pH, содержание растворенного в воде кислорода и соленость измерялись на каждой станции с помощью зондирующей аппаратуры: термосолезонда австралийской фирмы "Avtolab" и портативного прибора U-7 японской фирмы "Horiga".

Результаты исследований были обработаны статистически на персональном компьютере Datamini с применением специальных пакетов программ.

Во второй главе анализируются факторы, обуславливающие гидрохимический режим Шаболатского лимана. Дается физико-географическая характеристика исследуемого района, включающая его геологические, геоморфологические и климатические особенности, рассматриваются основные черты гидрологического и гидробиологического режима лимана.

Шаболатский лиман вытянут с юго-запада на северо-восток параллельно берегу Черного моря. От моря лиман отделен пересыпью, представляющей собой песчаную косу длиной 17 км и шириной от 90 до 170 м. Важной особенностью Шаболатского лимана является периодическая связь его (весной и осенью) с Черным морем посредством канала и соединение своей северо-восточной частью двумя узкими (шириной 20-25 м) и длинными (порядка 4 км) каналами с Днестровским лиманом (рис.1). Все три канала созданы искусственно для улучшения водообмена и усиления миграций кефали на нагул в лиман.

Климатические условия исследуемого района отличаются значительным количеством тепла и большим числом ясных дней в году. Средняя многолетняя температура воздуха в районе +10,4°C. Среднегодовая величина испарения в 2 раза превышает среднегодовое количество осадков.

Степень смешения и интенсивность проникновения в Шаболатский лиман вод Черного моря и Днестровского лимана, обусловлена стогно-нагонными явлениями, которые определяются ветровым режимом. При сильных ветрах интенсивно также вертикальное перемешивание, благодаря которому на мелководье вода перемешивается до дна. Осенью и зимой над акваториями причерноморских лагун в основном преобладают ветры северных румбов, а с наступлением весны и летом увеличивается повторяемость юго-восточных и южных ветров.

В Шаболатском лимане наблюдается сложная картина неустановившихся течений. Преобладающим видом движения вод в лимане являются ветровые течения. Им сопутствуют компенсационные течения, возникающие при стогно-нагонных явлениях.

Гидрологический режим Шаболатского лимана формируется под влиянием его водообмена с Черным морем и Днестровским лиманом и метеорологическими условиями в регионе. Ориентировочная оценка среднегодовых компонентов водного баланса Шаболатского лимана показала (Розенгурт, 1974), что в его приходной части атмосферные осадки составляют 45%, приток через каналы морских вод - 30% и вод Днестровского лимана - 10%, а в расходной части на испарение приходится 85%. Общее падение уровня воды в лимане, в период закрытия морского канала (с июня по сентябрь), вследствие испарения достигает 20-50 см. В связи с разностью уровней в лимане и море через пересыпь происходит фильтрация воды из моря, но по приблизительным расчетам (Тимченко, 1990) доля такого притока не превышает 0,1% приходной части годового водного баланса.

Шаболатский лиман относится к мелководным водоемам. В зависимости от положения уровня воды площадь водного зеркала колеблется от 23 до 27 км², а объем водной массы - от 27 до 31 млн.м³. Максимальные глубины (до 2.5 м) отмечаются в юго-западной части лимана, а минимальные (не более 0.4-0.6 м) в мелководной северо-восточной части, представляющей собой топкие плавни, частично заросшие тростником. Благодаря плавням водообмен между Шаболатским и Днестровским лиманами замедлен, поэтому влияние водных масс Днестровского лимана на режим Шаболатского лимана - локально, и ощущается на небольшом (не более 10%) участке акватории.

Температурный режим Шаболатского лимана определяется метеорологическими факторами. С конца весны до начала осени ярко выражен суточный ход температуры воды в лимане с размахом колебаний до

12⁰С на мелководье и до 5-6⁰С в глубоководной части лимана. Летняя стратификация с выраженным температурным скачком и понижением температуры ко дну на 3-4⁰С наблюдается в безветренную погоду в глубоководной части (при глубинах более 2 м) лимана. Но с наступлением осенней конвекции значения температуры воды выравниваются по глубине. Максимальные температуры воды наблюдаются в июле-августе и в среднем составляют 23-24⁰С, минимальные - в январе-феврале и не превышают в среднем 0,5-1,0⁰С. Образование льда в лимане происходит нерегулярно, ледяной покров, как правило, бывает кратковременным и неустойчивым.

Связь Шаболатского лимана с Днестровским лиманом и с Черным морем обуславливает большое видовое разнообразие фитопланктона и фитобентоса (более 170 видов морских, солоноватоводных и пресноводных водорослей). Пресноводные водоросли встречаются только в северо-восточной его части, в зоне влияния Днестровского лимана. В течение вегетационного периода происходит смена доминирующих видов фитопланктона в лимане. Ранней весной начинается цветение диатомовых водорослей, в начале июня - основную биомассу составляют перидиниевые и евгленовые водоросли. Со второй половины августа наблюдается максимальная биомасса фитопланктона и основу ее составляют опять таки диатомовые водоросли, но по видовому составу отличные от весенних. Вся прибрежная часть Аккембетского залива, северо-восточные плавни, а также узкая полоса прибрежной части лимана со стороны песчаной косы покрыта зарослями макрофитов (в частности, тростника обыкновенного).

Биомасса зоопланктона минимальна в середине лета, а максимальна весной и осенью. Из-за антропогенного воздействия биомасса зоопланктона и зообентоса уменьшилась в 2 - 4 раза за последние 30 лет. За эти годы существенное изменение претерпела и ихтиофауна: при увеличении (в 3 раза) числа видов, рыбопродуктивность лимана остается низкой и не превышает 15.3 кг/га.

В третьей главе рассматриваются особенности гидрохимического режима Шаболатского лимана. На основе данных, полученных в гидролого-гидрохимических съемках, дается анализ сезонных изменений гидрохимических показателей и их пространственное распределение в лимане (табл. I).

Сезонные изменения солености воды, в первую очередь, связа-

Таблица I

Сравнительная характеристика, средних за период 1981-1987 гг., гидрохимических показателей в Шаболатском лимане в различные сезоны

Показатель	зима			весна			лето			осень		
	I**	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
T ⁰	2.0	2.7	3.0	8.1	9.5	10.4	22.6	23.3	23.4	16.8	14.8	15.9
S, ‰	13.6	9.4	8.6	12.7	10.6	10.4	15.6	10.5	11.2	17.2	14.6	12.2
O ₂ , мл/л	9.1	8.3	8.2	8.9	7.9	8.9	6.6	6.1	6.5	6.1	4.9	5.1
O ₂ , %нас.	102	93	90	116	105	109	121	107	116	118	84	87
pH	8.2	8.1	8.1	8.4	8.3	8.3	8.5	8.4	8.4	8.4	8.2	7.9
PO ₄ -P*	1.1	1.3	1.3	0.1	0.2	0.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
P _{орг.}	1.0	1.2	1.3	1.5	1.4	1.5	1.8	1.4	1.7	1.8	1.5	1.7
NH ₄ -N	5.4	3.2	3.4	0.4	0.4	0.9	3.0	2.1	13.3	1.1	3.0	17.5
NO ₂ -N	0.5	0.4	1.4	0.0	0.8	0.9	0.7	0.5	2.0	0.1	0.5	2.2
NO ₃ -N	5.4	12.2	20.1	0.9	10.3	15.3	2.6	0.3	5.3	0.5	1.1	13.8
N _{мин.}	11.3	15.8	24.9	1.3	11.5	17.1	6.3	2.9	20.6	1.7	4.6	33.5
N _{орг.}	152	184	238	-	-	-	118	90	145	107	83	80
N/P	10	12	19	13	56	171	7	4	34	3	12	68
SiO ₃	-	-	-	56	31	46	223	61	117	-	-	-
C _{орг.} мг/л	6.6	8.0	9.6	9.3	6.9	8.6	15.5	13.2	14.2	17.4	20.4	19.0

* - концентрации фосфора (P), азота (N), кремния (SiO₃) - в мкг-ат/л.

** - районы: I - глубоководный;

II - мелководный;

III - Аккембетский залив.

ны с климатическими факторами - атмосферными осадками и испарением. Вследствие испарения, в период перекрытия морского канала, соленость воды в лимане увеличивается от весны к началу осени в среднем с 13 до 17%, достигая летом в своей глубоководной юго-западной части максимальных величин (18-19%), что на 2-3% выше, чем в прилегающей части Черного моря. В период открытия морского канала (в конце сентября - начале октября) величины солености воды в лимане уменьшаются до 15-16% и становятся такими же как и в прилегающей части моря. К началу зимы из-за осенних дождей она снижается до 14-15%, а весной в период таяния снега и весенних паводков соленость падает до своего минимума (12-13%). По причинам преимущественно антропогенного характера (в частности, вследствие строительства обводно-пропускных каналов), соленость воды в Шаболатском лимане снизилась по сравнению с шестидесятью годами в полтора-два раза. По ионному составу, воды основной части лимана, согласно классификации О.А.Алекина (Алекин, 1970), относятся к хлоридному классу группы натрия III типа (индекс Cl), т.е. к типу морских вод и остаются таковыми в течение всего года. По соотношению основных ионов и хлорному коэффициенту, вода лимана сходна с водой прилегающей северо-западной части Черного моря.

Сезонная изменчивость газового режима, биогенных элементов и органического вещества в лимане обусловлена, в основном, происходящими в нем биологическими процессами. В зимний период, в связи с общим затуханием биологической активности и преобладанием деструкционных процессов, в лимане наблюдалось минимальное содержание растворенного кислорода (в % насыщения) и величин рН и максимальные - минеральных форм азота и фосфора (табл. I). Также в этот период отмечены минимальные значения органического углерода и органического фосфора. Весной, с ростом температуры начинается интенсивное развитие фитопланктона (цветение диатомовых водорослей), которое приводит к увеличению содержания растворенного кислорода (до 120 %нас.), величины рН и содержания органического углерода в 1.5 раза и уменьшению содержания биогенных элементов в 10 раз (табл. I). По нашим данным, в годовом цикле именно весной наблюдались минимальные концентрации биогенных элементов, близкие к лимитирующим первичную продукцию. В начале лета происходит увеличение концентраций минеральных форм азота, фосфора и особенно кремния в результате разложения отмершей весенней популяции водо-

рослей. В середине-конце лета в лимане отмечается второй пик цветения фитопланктона и, как следствие этого, уменьшение концентраций биогенных элементов и увеличение содержания органического вещества, по сравнению с началом лета, в 2-3 раза.

Более 90% азота и 70% фосфора в лимане во время вегетационного периода находится в виде органических соединений, что, вероятнее всего, связано с неполной минерализацией органического вещества, и как следствием этого - накопления аммонийного азота и низкомолекулярных органических соединений азота и фосфора.

В целом, в вегетационный период экосистема Шаболатского лимана обеднена минеральными формами биогенных элементов, а наблюдаемая высокая первичная продукция фитопланктона в эти периоды, по видимому, поддерживается, благодаря высоким скоростям процессов регенерации биогенных элементов и поступления их из донных отложений.

При рассмотрении пространственного распределения гидрохимических показателей в лимане выявлено, что основной причиной отмеченной пространственной неоднородности в распределении всех показателей в Шаболатском лимане, является его периодическая связь с Черным морем и Днестровским лиманом, а также особое (грунтовое) питание Аккембетского залива. В связи с этим, несмотря на небольшие размеры Шаболатского лимана (объем - 27-31 млн.³, площадь - 23-27 км²) его можно разделить условно на три сильно различающихся по гидрохимическим показателям района (рис. I):

I. Глубоководный район (в него входят юго-западная и центральная часть лимана), занимающий около 2/3 его общей площади и имеющий периодическую связь с Черным морем.

II. Мелководный район, занимающий северо-восточную часть лимана и подверженный влиянию вод Днестровского лимана.

III. Аккембетский залив.

Также выделена промежуточная зона, расположенная между тремя основными районами и характеризующаяся наибольшей горизонтальной изменчивостью всех гидрохимических показателей.

Гидрохимическая характеристика каждого из этих районов лимана приведена в табл. I. Гидрохимические показатели каждого выделенного района лимана, границы между ними и промежуточной зоной изменяются от сезона к сезону. Однако характерные для каждого сезона гидрохимические особенности выделенных районов лимана сохраняются в меж-

годовом аспекте.

Для глубоководного района характерны максимальные величины солености (достигающие к концу лета 20.0‰), он хорошо обеспечен биогенными элементами и по всем показателям является наиболее пригодным районом для нагула кефали. Исключение составляют прибрежные мелководные участки, заросшие макрофитами, где в ясную безветренную погоду в летний период создается опасность возникновения заморных явлений вследствие скопления на дне большого количества органического вещества.

Для мелководного района характерны наименьшие величины солености, не превышающие даже летом 11.0‰. Наибольшее влияние Днестровского лимана на этот район ощущается весной, в период половодья на р.Днестр. Соленость в это время снижается здесь до 3-4‰, а содержание минерального азота (особенно нитратов) увеличивается в этот период по сравнению с глубоководным районом в 8-10 раз. В летний период, благодаря резкому замедлению течений в заросших макрофитами каналах, влияние Днестровского лимана на этот район минимально.

Для Аккембетского залива характерна пониженная соленость воды, которая не превышает 13‰, вследствие интенсивной разгрузки подземных вод на этом участке, а также сброса артезианских вод, которыми снабжаются выростные бассейны ЭКЗ. Именно этими причинами объясняются характерные для данного участка наибольшие концентрации минеральных и органических форм азота, которые иногда на порядок превышают аналогичные характеристики в других частях лимана. Все это свидетельствует о наибольшей трофности Аккембетского залива, а в сочетании с затрудненным, вследствие дамбы, водообменом с остальной частью лимана приводит к тому, что данный район наименее благоприятен для выращивания рыбы.

Промежуточная наиболее динамичная зона лимана служит местом смешения вод различного происхождения. Размеры ее колеблются в довольно широких пределах, в ней наблюдается максимальная пространственная изменчивость солености (от 8.0 до 14.0‰) и других химических характеристик.

В трансформации биогенных и органических веществ в мелководных водоемах, в том числе и в Шаболатском лимане, большую роль играют донные отложения. Основными видами донных отложений в лимане являются илы, они занимают более 70% площади его дна, песчаные

отложения приурочены лишь к прибрежным мелководьям. На примере Днепровско-Бугского лимана ранее было показано (Журавлева, 1988), что иловые отложения служат основными "поставщиками" минеральных и органических веществ из донных отложений в воду, а песчаные отложения намного беднее этими веществами и сорбционная их способность слабее.

Шаболатский лиман относится к водоемам с замедленным водообменом, поэтому, как показали наши исследования, в донных отложениях лимана происходит накопление соединений азота и фосфора. Азот в донных отложениях лимана присутствует преимущественно в форме аммонийных и органических соединений, причем от зимы к лету содержание в донных осадках аммонийного азота увеличивается в 2-2.5 раза, а содержание органического углерода увеличивается в 1.5-2 раза вследствие осаждения и накопления к концу лета части новообразованного органического вещества на дне. В поровых растворах всех типов донных отложений лимана содержание биогенных элементов и органического вещества гораздо выше, чем в воде. Так, концентрация аммонийного азота, составляющего в поровых растворах более 90% от минерального азота, на один-два порядка выше, а минерального фосфора в 15-20 раз выше, чем в воде лимана.

Основными механизмами поступления биогенных элементов в водную толщу из донных отложений в лимане являются: концентрационная диффузия, ветровое перемешивание, жизнедеятельность макрофитов и бентосных организмов. Благодаря этим процессам происходит включение соединений азота и фосфора донных отложений в процессы круговорота биогенных веществ в лимане и поддерживается высокий уровень трофии в нем.

В четвертой главе дается анализ результатов исследований продукционно-деструкционных процессов в Шаболатском лимане и в искусственных экосистемах (выростных емкостях - бассейнах, лотках, используемых для разведения кефали).

Для успешного искусственного разведения морских рыб, необходимо знание и изучение биогидрохимических процессов, происходящих в искусственных системах (выростных емкостях) и создание оптимального гидрохимического режима в них. Результаты исследований по контролю за гидрохимическими показателями среды в искусственных системах (в частности, замкнутых) показали, что эффективность работы биофильтров в замкнутых системах необходимо оценивать по

скорости окисления аммонийного азота до нитритов и нитратов нитрифицирующими бактериями, поселяющимися на фильтре. При этом, для стабилизации всех параметров среды в замкнутой системе требуется 10-14 суток, после чего она становится пригодной для выращивания в ней личинок кефали.

По результатам наблюдений за гидрохимическим режимом в выростных емкостях, были определены оптимальные значения гидрохимических характеристик среды при выращивании личинок кефали в замкнутых и полужамкнутых системах.

Для оценки биологической продуктивности Шаболатского лимана были исследованы скорости продукционно-деструкционных процессов, происходящих в лимане. Результаты наших предварительных измерений в лимане показали, что динамические процессы (течения, перемешивание, волнение) искажают результаты наблюдений за первичной продукцией, поэтому была предложена своя схема наблюдений за суточными изменениями продукционно-деструкционных процессов в лимане. В ходе измерений первичной продукции в прибрежной зоне Шаболатского лимана выяснилось, что основную роль в ее создании играют макрофиты, поэтому, чтобы отдельно измерить продукцию фитопланктона и макрофитов использовались экспериментальные установки - садок и лоток (рис.2). Садок представлял собой отгороженный полиэтиленовой пленкой столб воды в лимане, диаметром около 3 м и глубиной 0.5 м, большая часть дна которого была покрыта погруженными макрофитами. Лоток, размерами 2x2x0.5 м, представлял собой специальную емкость из полистирола, с его помощью также выделяется столб воды в лимане высотой от поверхности до дна, но не имеющий контакта со дном, так что единственными автотрофами в нем были микроводоросли (фитопланктон).

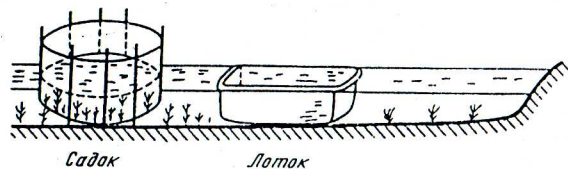


Рис.2. Схема эксперимента в Шаболатском лимане.

Измерения суточного хода всех гидрохимических показателей и

продукционно-деструкционных процессов в садке и лотке проводились в прибрежной части лимана в течение 4 суток в летний период. И в садке и в лотке был четко выражен суточный ход содержания кислорода и температуры с максимумами в 18.00 и минимумами в 6.00 (рис.3), однако диапазоны содержания кислорода в лотке в 3 раза меньше, чем в садке при одинаковых диапазонах изменения температуры. В целом суточный ход кислорода в садке аналогичен суточному ходу в прибрежной мелководной части лимана, а измерения первичной продукции показали, что основной вклад в увеличение концентрации кислорода на мелководье вносят макрофиты. Более того, был отмечен ингибирующий эффект макрофитов на продукцию фитопланктона.

Основными продуцентами кислорода в лотке были содержащиеся в воде микроводоросли (фитопланктон). Интересно отметить, что расхождение между первичной продукцией, измеренной в склянках *in situ* и изменением концентрации кислорода непосредственно в лотке, небольшое и находится в пределах 10-15%. Сопоставление результатов четырехсуточных измерений первичной продукции и деструкции в лотке и садке позволило по разности величин оценить продукцию макрофитов и микрофитобентоса.

На основе анализа полученных данных по первичной продукции сделан вывод о том, что результаты измерений продукционно-деструкционных процессов в лотке можно отнести ко всей глубоководной части лимана, где основными продуцентами органического вещества служат микроводоросли. Результаты эксперимента в садке можно отнести ко всей прибрежной мелководной части лимана, где в суммарную первичную продукцию существенный вклад вносят макрофиты.

Исследования продукционно-деструкционных процессов в искусственных системах, в частности, в выростных емкостях (бассейнах) с разным количеством водорослей и рыб, показало, что посадка рыб в бассейн приводит к возрастанию интенсивности продукционно-деструкционных процессов вследствие процессов прямой регенерации биогенных элементов, т.е. выделяемые рыбами соединения фосфора и азота быстро ассимилируются находящимися в том же бассейне водорослями.

Изучение суточного хода биогенных элементов и их органических форм в Шаболатском лимане показало, что в летний период концентрации биогенных элементов близки к лимитирующим первичную продукцию. Более 50% фосфора и азота находится в виде органических соединений

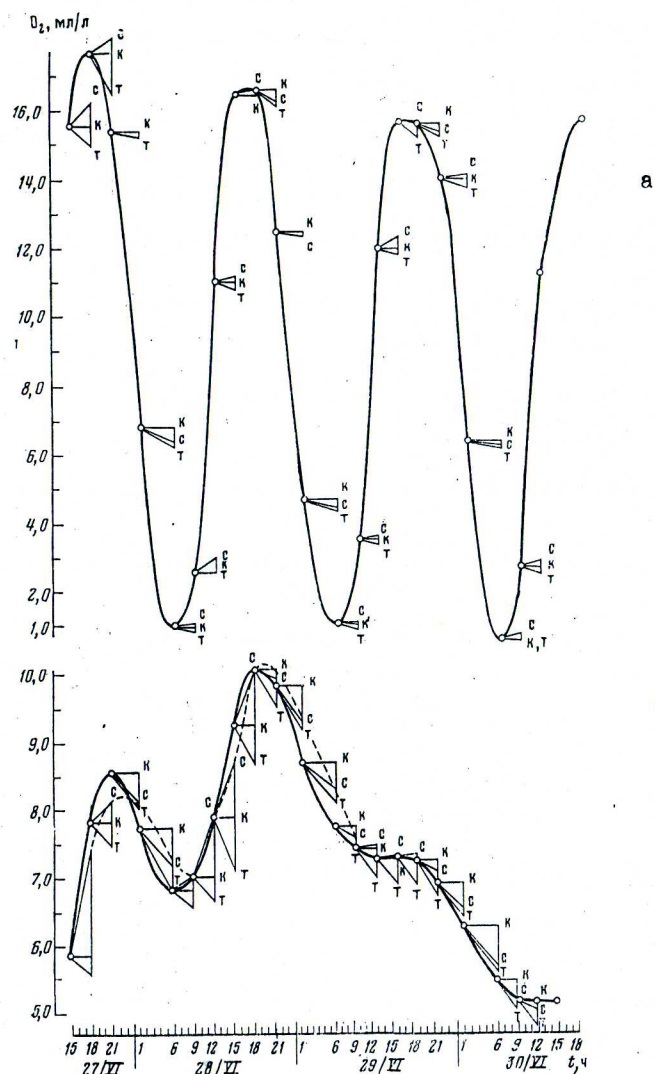


Рис.3. Суточный ход кислорода (O_2 , мл/л) и интенсивности
 продукционно-деструкционных процессов
 а - в садке, б - в лотке 27-30 июня 1981 г.
 (к - контрольная склянка, с - светлая, т - темная)

и только меньшая часть представлена фосфатами и минеральными соединениями азота.

Поскольку органические формы азота и фосфора доминируют в Шаболатском лимане, то от скорости разложения (минерализации) их, в конечном итоге, зависят величины первичной продукции лимана. Один из разделов этой главы и посвящен оценке скорости минерализации органических форм фосфора в Шаболатском лимане.

Оценка скорости минерализации фосфоорганических соединений проводилась по измерениям активности щелочной фосфатазы - фермента, катализирующего реакцию гидролитического отщепления фосфата от фосфорорганических соединений. Величины активностей щелочной фосфатазы взвеси в Шаболатском лимане подвержены сезонным и суточным изменениям, а количественно они зависят от концентраций растворенного кислорода, минерального и органического фосфора в воде. С увеличением содержания минерального фосфора, общая активность фосфатазы снижается. Активность фосфатазы возрастает как только концентрация минерального фосфора становится лимитирующей для первичного продуцирования. При исследовании суточных изменений фосфатазной активности взвеси в Шаболатском лимане в летний период, максимум общей активности фосфатазы совпадал с максимумом процесса фотосинтеза и минимумом содержания минерального фосфора. Таким образом, измеряя активность фосфатазы в лимане можно судить о способности данной экосистемы обеспечивать себя фосфором для автотрофного продуцирования.

Максимальные значения фосфатазной активности взвеси в Шаболатском лимане были отмечены весной, когда концентрации фосфатов были самыми низкими (0.05-0.10 мкг-ат/л), и составляли 0.28-0.36 мкмР/л.ч., а минимальные значения зафиксированы зимой и равнялись 0.025-0.031 мкмР/л.ч (при концентрациях фосфатов свыше 1.0 мкг-атР/л).

Исходя из величины общей активности фосфатазы и концентраций органического фосфора, было оценено время минерализации соединений фосфора в лимане. Быстрее всего регенерация фосфора происходит весной - за 4-5 час., летом продолжительность регенерации фосфора в среднем составляет 10-30 час., а зимой - более 60 час.

В пятой главе, на основе измеренной скляночным методом в различные сезоны года первичной продукции, дается расчет потенциальной рыбопродуктивности Шаболатского лимана.

Валовая первичная продукция фитопланктона за год составила в лимане 350 гС/м^2 или 9500 тС в год, исходя из того, что площадь лимана - 27 км^2 .

Расчет рыбопродуктивности лимана проводился по предложенной Ритером (Ryther, 1969) для прибрежной зоны Мирового океана формуле:

$$R = BE^n, \quad \text{где}$$

B - годовая величина валовой первичной продукции,

n - число трофических уровней (в данном случае равное трем),

E - экологическая эффективность (эффективность переноса энергии), которая была принята равной 15%.

Тогда продукция рыб (R) в пересчете на сырой вес рыбы составила 320 т . Таким образом, в пересчете на 1 га для исследуемого Шаболатского лимана потенциальная продукция рыб составила 120 кг/га в год.

Отмечено, что в реальных условиях есть много ответвлений пищевых цепей, поэтому фактически рыбопродукция может быть несколько меньше приведенной величины.

Учитывая то, что в рыбных уловах Шаболатского лимана кефаль составляет около 25%, дается расчет его "приемной емкости" для кефали. Показано, что Шаболатский лиман способен прокормить за один вегетационный период около 2 млн. особей кефали или 750 особей на один гектар. (Уловы кефали в Шаболатском лимане в настоящее время не превышают 30-40 т).

Заключение. Основные итоги и выводы, полученные в работе, сводятся к следующему:

1. Основными факторами, обуславливающими особенности гидрохимического режима причерноморских лагун являются гидрологический режим, местные метеорологические условия и жизнедеятельность гидробионтов. На гидрологический режим лагун, как показали наблюдения на Шаболатском лимане, типичном для черноморских лагун, сильное влияние оказывают водообмен с морем и сгонно-нагонные явления. Причем установлено, что гидродинамические процессы (сгонно-нагонные колебания уровня, течения, внутренний и внешний водообмен) нарушают "классический" ход пространственно-временной изменчивости гидрохимических показателей в лагунах. Наиболее характерным примером такого воздействия может служить изменение содержания биогенных элементов (сравнимое по размаху с сезонными колебаниями)

с развитием ветровой циркуляции в Шаболатском лимане.

2. Для гидрохимического режима черноморских лагун характерны следующие особенности. Сезонные изменения солёности и ионного состава воды связаны, главным образом, с метеорологическими процессами и гидрологическим режимом, а сезонные изменения концентраций биогенных элементов и органического вещества - преимущественно, с биологическими процессами. Минимальная солёность воды (12-13%) в Шаболатском лимане наблюдается весной в период таяния снега и весенних паводков, а максимальная (16-17%) - в конце лета-начале осени вследствие испарения. В зимний период из-за полной минерализации органического вещества, образовавшегося летом, отмечены максимальные концентрации биогенных элементов (минерального фосфора до 1.5 мкг-атР/л , минерального азота до 15 мкг-атN/л) и минимальное содержание органического вещества (органического углерода - $6-8 \text{ мгС/л}$). Весной и летом, с активизацией процессов фотосинтеза, содержание биогенных элементов в воде падает до минимума (минеральный фосфор - $0.4-0.6 \text{ мкг-атР/л}$, минеральный азот - $4-6 \text{ мкг-атN/л}$), а концентрации органического углерода увеличиваются по сравнению с зимой в 2-2.5 раза ($15-17 \text{ мгС/л}$). Измеренные высокие величины продукции фитопланктона в этот период достигаются, с одной стороны, благодаря рециклингу биогенных элементов, а с другой - вследствие притока их из донных отложений.

3. В результате суточных наблюдений за содержанием биогенных элементов в Шаболатском лимане установлено, что наибольшим колебаниям подвержены концентрации минерального фосфора и аммонийного азота, причем максимальным значениям концентраций растворенного кислорода в суточном цикле соответствовали минимальные концентрации минерального фосфора и аммонийного азота и наоборот, что вполне закономерно. Это объясняется тем, что к числу ведущих факторов, которые обуславливают суточные изменения в содержании биогенных элементов, относятся их ассимиляция фитопланктоном в процессе фотосинтеза и возвращение в воду при минерализации органического вещества.

4. В трансформации биогенных и органических веществ в мелководных лагунах (в том числе и в Шаболатском лимане) ведущая роль принадлежит донным отложениям. Обогащение водной толщи лимана фосфором и азотом, благодаря донным отложениям, совершается, глав-

ным образом, летом. Основными механизмами поступления биогенных элементов в воду из донных отложений служат концентрационная диффузия, ветровое перемешивание, жизнедеятельность макрофитов и бентосных организмов. В связи с тем, что Шаболатский лиман относится к водоемам с замедленным водообменом, его донные отложения являются накопителями соединений азота и фосфора.

5. Оценка скоростей минерализации фосфора в лимане с помощью измерения активности щелочной фосфатазы показала, что абсолютные значения концентраций фосфатов в водоеме не могут служить показателем того, насколько этот элемент является лимитирующим для первичного продуцирования, так как наблюдаемые низкие концентрации фосфатов могут компенсироваться высокой оборачиваемостью фосфора в продукционно-деструкционном цикле и наоборот.

6. Периодическая (весной и осенью) связь Шаболатского лимана посредством водо- и солеобмена через каналы с Черным морем и Днестровским лиманом, а также специфическое грунтовое питание с высоким содержанием биогенных элементов Аккембетского залива, являются основными причинами пространственной неоднородности в распределении гидрохимических показателей в лимане. По результатам наших исследований в Шаболатском лимане четко выделяются три района, резко различающихся по гидрохимическим показателям:

I. Глубоководный район, занимающий юго-западную и центральную часть лимана, для которого характерны максимальные величины солености воды и хорошая обеспеченность биогенными элементами для первичного продуцирования, вследствие чего этот район наиболее пригоден для нагула кефали.

II. Мелководный район, расположенный в северо-восточной части лимана, подверженный влиянию вод Днестровского лимана, отличающийся минимальными величинами солености воды в течение всего года, и высокими концентрациями биогенных элементов в зимне-весенний период и низкими концентрациями их летом.

III. Аккембетский залив, имеющий интенсивное грунтовое питание и приток воды с выростных бассейнов Экспериментального кефалевого завода, и, за счет этого, характеризующийся пониженными величинами солености и максимальными концентрациями минеральных и органических форм азота (которые иногда на порядок превышают аналогичные характеристики в других районах лимана).

7. В прибрежных мелководных участках лимана, заросших макрофитами, первичная продукция складывается в равных долях за счет фитопланктона и макрофитов. В глубоководной части лимана основная роль в образовании органического вещества принадлежит фитопланктону. Результаты исследований послужили основой для разработки методики оценки скорости продукционно-деструкционных процессов в мелководных водоемах со смешанной популяцией макро- и микроводорослей.

8. Предложена схема расчета "приемной емкости" для лагуновых хозяйств по величинам измеренной первичной продукции. Годовая валовая первичная продукция фитопланктона в Шаболатском лимане, измеренная скляночным методом в кислородной модификации, составила 350 гС/м^2 , причем около 70% ее (250 гС/м^2) образуется летом. По нашим расчетам, Шаболатский лиман может "прокормить" около 2 млн. штук молоди кефали (750 шт./га).

9. При выращивании молоди кефали на рыбоводных заводах необходим строгий гидрохимический контроль за основными показателями среды с целью соблюдения оптимальных диапазонов солености, температуры, растворенного кислорода, pH и биогенных элементов. При этом наиболее информативным показателем функционирования замкнутых систем, в которых культивируются морские гидробионты, является количественная оценка превращения высокотоксичных аммонийных соединений в нитриты и нитраты.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

I. Изучение продукционно-деструкционных процессов в Будацком (Шаболатском) лимане. // Водные ресурсы.-1983, №4, с.143-152 (В соавторстве с Сапожниковым В.В., Налетовой И.А., Михайловским Ю.А.).

2. Гидрохимические показатели эффективности работы биофильтров в замкнутых системах. // Тезисы докл. IV Всесоюз. совещания по научно-техн. проблемам мариккультуры.- Владивосток, 1983.- с.103-104. (В соавторстве с Аронович Т.М., Сапожниковым В.В.).

3. К оценке приемной емкости Шаболатского лимана. // Культивирование морских организмов. Сб. научн. трудов.- М.: ВНИРО, 1985.- с.52-59.

4. Инструкция по разведению кефали.- М.: ОНТИ ВНИРО. 1986.- 54 с. (В соавторстве с Аронович Т.М., Куликовой Н.И., Масловой

О.Н. и др.).

5. Биогенные элементы, органическое вещество и скорости продукционно-деструкционных процессов в прибрежных водоемах северо-западной части Черного моря. // Тезисы докл. VII Всесоюз. конф. по промысл. океанологии. - Астрахань, 1987. - с. 122-123. (В соавторстве с Агатовой А.И., Сапожниковым В.В.).

6. Особенности гидрохимического режима Шаболатского лимана. // Тезисы докл. конф. молодых ученых. - Владивосток, 1988. - с. 94-95.

7. Влияние фосфатазной активности взвеси на скорость минерализации фосфора в лимано-лагунах северо-западной части Черного моря. // Тезисы докл. III Всесоюз. конф. по морской биологии. Севастополь, 1988. - с. 24-25. (В соавторстве с Агатовой А.И.).

8. Активность щелочной фосфатазы во взвеси как показатель интенсивности продукционно-деструкционных процессов прибрежных морских экосистем. // Известия АН СССР. сер. биологическая, 1991, №3, с. 421-429. (В соавторстве с Агатовой А.И., Сапожниковым В.В.).

У.А.С.

Подписано к печати 18.04.1994 г. Формат 60x84 1/16. Объем - 1,5 п.л.

Заказ 85. Тираж 100 экз.

ВНИРО, 107140 Москва, ул. Верхняя Красносельская 17^а.