

959
САХАЛИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Вр-хр 1

На правах рукописи

Б-14
КАНТАКОВ Геннадий Афанасьевич

**ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ВТОРОЙ
ТРОФИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ
САХАЛИНО-КУРИЛЬСКОГО РЕГИОНА**

11.00.08 – океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Работа выполнена в Сахалинском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии и Российском Государственном Гидрометеорологическом Университете.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор Л.Н. Карлин

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор А.А. Романов (ВНИРО, г. Москва);
кандидат географических наук
А.С. Аверкиев (РРГУ, г. Санкт-Петербург)

Ведущая организация: Санкт-Петербургский Государственный Университет, Научно-Исследовательский Институт Географии.

Защита диссертации состоится 18 мая 2000 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.063.19.01 в Российском Государственном Гидрометеорологическом Университете по адресу:

195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., д. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского Государственного Гидрометеорологического Университета.

Автореферат разослан 17 апреля 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета Д.063.19.01
доктор геогр. наук, проф.

А.М. Догановский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ

В биотопах Японского и Охотского морей происходят изменения, причины которых связаны с климатическими явлениями масштаба Пацифики и особенностями региональной океанологии. Фундаментальной проблемой является оценка роли режима вод в жизнедеятельности морских экосистем. Выяснение сущности и особенностей влияния океанологических факторов на трофические уровни морских экосистем содержит в себе потенциал для решения задач рыбохозяйственной науки, экологического мониторинга, климатических исследований дальневосточных морей Российской Федерации.

За последние два десятилетия океанологические, экосистемные и биогеохимические исследования Охотского и Японского морей позволили продвинуться в знании явлений, определяющих и регулирующих биопродуктивность акваторий. Современный этап исследований дальневосточных морей характеризуется необходимостью анализа накопленных гидробиологических и океанографических данных с целью поиска связей между биологическими показателями второго трофического уровня и характеристиками деятельного слоя моря. Результаты такого рода исследования востребованы и ожидаемы на практике, поскольку эксплуатация биологических ресурсов дальневосточных морей требует количественных прогнозов отдельных популяций гидробионтов, выделенных трофических уровней и моделирования морских экосистем.

Для решения такого рода задач становится актуальной систематизация данных о роли океанологического режима в изменениях второго трофического уровня морских экосистем Японского и Охотского морей на примере Сахалино-Курильского региона.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования заключалась в определении абиотических причин изменчивости планктонных сообществ Сахалино-Курильского региона на основе анализа океанологических материалов и гидробиологических данных, собранных экспедиционными, дистанционными и автономными методами, а также по литературным источникам.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) рассмотрена эволюция взглядов о связях между абиотическими параметрами морской среды и зоопланктоном, выбраны подрайоны Сахалино-Курильского региона, периоды исследований, структура океанологических и гидробиологических данных;
- 2) проведен поиск связей между океанографическими факторами и гидробиологическими параметрами по экспедиционным данным и литературным источникам;



3) определена межгодовая и сезонная изменчивость океанографических параметров деятельного слоя и биологических характеристик второго трофического уровня в Сахалино-Курильском регионе за период 1988 – 1997 гг.;

4) выполнены эксперименты по исследованию влияния течений на зоопланктонные сообщества в проливе Лаперуза и прилегающих водах;

5) исследована эффективность дистанционных методов измерений океанографических параметров для задач диагноза и прогноза биомассы зоопланктона как кормовой базы рыб-планктонофагов.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Новые результаты, полученные в ходе выполнения настоящей работы, состояли в следующем:

- определены региональные океанографические параметры деятельного слоя, значимые в межгодовых колебаниях биомассы зоопланктона и связанные с изменением его видового состава и функциональной структуры;

- проанализирована сезонная изменчивость комплекса океанографических характеристик и его влияние на гидробиологические параметры деятельного слоя в проливе Лаперуза и прилегающих водах;

- оценены колебания биомассы сестона в зависимости от уровня плотности фитопланктона в проливе Лаперуза;

- впервые раскрыт определяющий вклад течений Западно-Сахалинского и Соя на формирование количества биомассы зоопланктона в юго-западной части Охотского моря и прилегающих тихоокеанских вод;

- выяснена роль конвергенции Цусимского и Западно-Сахалинского течений, апвеллинга на формирование биомассы и видового состава зоопланктона в южной части Татарского пролива и в проливе Лаперуза;

- с учетом полученной связи между биомассой зоопланктона и температурой деятельного слоя, впервые восстановлена межгодовая динамика биомассы зоопланктона по океанологическим данным в южной части Татарского пролива за период 1924 – 1999 гг.;

- объяснены связанные изменения между температурой деятельного слоя, интенсивностью поверхностных течений, структурой вод, биомассой, видовым составом зоопланктона в северной и западной частях Японского и Охотского морей в период исследований.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Достигнутые в работе результаты обосновывают следующие исследования и практические приложения:

1) разработка прогнозов кормовой базы рыб-планктонофагов северной части Японского и западной части Охотского морей по океанологическим и гидробиологическим данным;

2) исследования откликов на воздействие океанологического режима на второй трофический уровень субарктических экосистем от сезонности до климатической изменчивости;

3) моделирование физико-биологических моделей низких трофических уровней морских субарктических экосистем;

4) планирование и проведение экосистемных исследований экспедиционными, автономными и дистанционными методами, в том числе для решения рыбохозяйственных задач на акваториях дальневосточных морей Российской Федерации;

5) мониторинга состояния субарктических морских экосистем.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Отдельные положения и трактовка результатов исследований, заложенных в основу настоящей работы, докладывались и обсуждались на ученых советах СахНИРО (Южно-Сахалинск, в период 1993 – 2000); заседаниях кафедры промышленной океанографии РГГУ (1999); Конференции молодых ученых Дальнего Востока (Владивосток, 1994); рабочем совещании PICES (Владивосток, 1994); 11-th Sea of Okhotsk Workshop (Mombetsu, Japan, 1996); Symposium by International Consortium for Sea of Okhotsk Study (Tokyo, 1996); PICES (Nanaimo, Canada, 1996); I-ой Областной конференции молодых ученых (Южно-Сахалинск, 1997); 10-ой Международной Конференции по промышленной океанографии (Санкт-Петербург, 1997); 7-th SeaSpace TeraScan Workshop (Boulder, USA, 1997); 13-th Sea of Okhotsk Workshop (Mombetsu, Japan, 1998); 2-nd PICES Workshop of the Okhotsk Sea and Adjacent Waters (Nemuro, Japan, 1998), 13-ой Конференции по промышленной океанологии (Куршская коса, г. Калининград, 1999); PICES (г. Владивосток, 1999); Low Trophic Modelling Workshop (Nemuro, Japan, 2000).

Полученные в ходе выполнения диссертации разработки использовались в прогнозировании океанографических условий и состояния зоопланктонного сообщества в Сахалино-Курильском регионе в период 1993 – 1997 гг.

ПУБЛИКАЦИИ

По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, списка использованной литературы. Общий объем работы состоит из 170 стр., включая 55 рисунков, 24 таблицы. Список литературы состоит из 229 источников, из них 149 русскоязычных.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) Научная ценность исследований о влиянии океанологического режима на второй трофический уровень морских экосистем субарктических акваторий.

2) Принцип отбора океанологических факторов в Охотском и Японском морях, влияющих на зоопланктон Сахалино-Курильского региона; связи между элементами океанологического режима и показателями зоопланктонного сообщества в зависимости от периода года и района исследований.

3) Решение проблемы проведения натуральных экспериментов при оценке влияния океанологического режима вод на зоопланктон.

4) Закономерности влияния океанологических факторов на второй трофический уровень морских экосистем Сахалино-Курильского региона.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении раскрыты цель и задачи исследования. Обоснованы актуальность выполненной работы, экосистемность подхода при решении поставленных задач, стратегия поиска связей между параметрами океанологического режима вод и показателями второго трофического уровня морских экосистем. Объяснены ограничения методов и данных, привлеченных к анализу. Раскрыты вопросы новизны работы, преемственности примененного подхода к анализу океанографических и гидробиологических материалов. Разграничен регион исследований в связи с задачами исследования. Показана структура работы.

Обоснована фундаментальная роль изучения биоокеанографических процессов при экосистемных исследованиях дальневосточных морей. Раскрыта роль океанографических условий деятельного слоя моря при формировании морских экосистем региона. Показаны причины высокопроизводительного характера биологической продуктивности субарктических дальневосточных акваторий. На основе литературных источников раскрыто современное представление об океанографических основах биопродуктивности водных масс Сахалино-Курильского региона.

Определена цель диссертации как поиск причин изменений планктонных сообществ в результате влияния абиотических факторов океанографического режима. Произведен выбор временных и пространственных масштабов исследований, подходов при анализе и интерпретации биоокеанографических процессов, указана степень применимости используемых методов для решения поставленных задач. Обосновано выделение 4-х таксономических групп зоопланктона, обладающих по биомассе и функциональной структуре зоопланктеров в зависимости от типа питания. Отмечены основные проблемы в региональной океанографии района исследований, включая гидробиологические аспекты. Показаны структура работы и последовательность подачи материала.

ГЛАВА 1

Постановка проблемы, материалы и методики

В Главе 1 дано описание эволюции взглядов на роль океанологических параметров при формировании условий жизнедеятельности зоопланктонных

сообществ Сахалино-Курильского региона. Проведенный литературный поиск показал, что в результате исследований, начиная с пионерских работ 30-х гг. до современных мультидисциплинарных экспедиций и физико-биологических моделей, признана особая роль изучения изменений базовых трофических уровней с учетом влияющих абиотических процессов и, прежде всего, океанологического режима акваторий. В связи с тем, что вопрос влияния абиотического режима вод на зоопланктон неразрывно связан с исследованиями климатической изменчивости океана, отдельно раскрыта проблема отклика зоопланктона на климатические изменения океанологических характеристик Сахалино-Курильского региона как части Северной Пацифики.

Далее в Главе 1 дается сводка собранных материалов и обоснование проведенных экспериментов по изучению роли океанографических факторов в формировании характеристик зоопланктонных сообществ Сахалино-Курильского региона. Комплекс рассматриваемых в работе материалов определен как биоокеанографические данные, в которые входили измерения STD, концентраций неорганических форм силикатов, фосфатов, растворенного кислорода, хлорофилла-“а”, показателя рН, биомасса, в том числе сестона, видовой состав и функциональная структура зоопланктона. Видовой состав зоопланктона в анализе представлен 4-мя таксономическими группами: *Copepoda*, *Euphausiacea*, *Amphipoda*, *Chaetognatha*. Функционально зоопланктон разделялся на мирный и хищный.

Измерения физических параметров водных масс *in situ* проводились зондирующими, автономными и дистанционными средствами. Геострофические скорости по стандартным разрезам рассчитывались динамическим методом. Динамические высоты вычислялись по аномалии геопотенциала с учетом поправки на разность глубин между отсчетной поверхностью и дном (Тимофеев, Панов, 1962). Аномалии температур на стандартных разрезах Сахалино-Курильского региона определены по Климову (1989) и системе управления базой данных (СУБД) “Карат” (СахНИРО). Отсчетной поверхностью для карт распределения динамических высот выбрана 200 дцб при оценке межгодовой изменчивости течений, 100 дцб в проливе Лаперуза и прилежащих водах. Расчеты термодинамических характеристик водных масс проводили по алгоритмам МГУ (Архипкин, 1993) в соответствии с рекомендациями МОК ЮНЕСКО (Рекомендации по обработке океанографических станций, 1995). При классификации водных масс применен TS-анализ в виде представления вертикальной структуры деятельного слоя в отдельных классах температуры и солёности. Спектральный анализ течений, включая расчет ротарных спектров, выполнялся по Gonella (1972) и Герману, Твецинскому (1977). Ретроспективный анализ гидробиологических данных и температуры деятельного слоя, прогноз характеристик зоопланктонного сообщества выполняли в соответствии с методом сверхдолгосрочного прогнозирования (Густоев, 1993). Пробы на био-

генные элементы и хлорофилл-“а” обрабатывали стандартными методами. Зоопланктон облавливали сетями Джеди, NORPAK 13XX, NORPAK NGG54. Применялись два метода определения биомассы зоопланктона: взвешивание сырой биомассы сестона и расчет по таблицам стандартных весов.

Принятое в настоящей диссертации пространственное разделение СКр на подрайоны базировалось на принципах каталогизации глубоководных исследований вокруг о. Сахалин (Пищальник, Климов, 1991), особенностях пространственного распределения зоопланктонных сообществ (Маркина, Чернявский, 1984; Кун, 1975; Bragina, 1999) и с учетом биогеографического деления Сахалино-Курильского региона (Шунтов, 1994).

ГЛАВА 2

Результаты исследований: диагностическая часть

В Главе 2 результаты исследований показаны в следующей последовательности: предварительный анализ; выбор районов и временного масштаба сезонных изменений для исследований, диагноз условий по историческим данным; анализ сезонных изменений физических, химических и гидробиологических свойств водных масс за период 1995 – 1998 гг. в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих водах. Анализ влияния океанологических параметров на зоопланктон в межгодовой изменчивости. Завершает главу 2 исследование влияния океанологических параметров на зоопланктон по опубликованным данным и на основании исторических материалов.

2.1 Оценка влияния океанологических параметров на зоопланктон: предварительный анализ

В качестве предварительной оценки изменений среды и показателей зоопланктонного сообщества, предшествовавшей началу специальных исследований в рамках представленной работы, анализировались материалы по заливу Анива (Охотское море), Татарскому проливу и заливу Исикари (Японское море). Для залива Исикари, согласно полученным статистическим оценкам, обнаружена тесная положительная связь ($r = 0.7-0.8$) между изменениями концентраций нитратов, хлорофилла-“а” и биомассой мезозоопланктона. Кроме того, указанные параметры зависели от температуры ($R = -0.5 \div -0.7$) и кислорода ($R = 0.6-0.8$). При сравнении расчетных данных по заливам Исикари (Японское море) и Анива (Охотское море) отмечены близкие значения коэффициентов корреляции ($r = -0.8$), наблюдавшиеся между температурой слоя и биомассой мезо-, и макрозоопланктона вне зависимости от типа водной массы. Корреляционный анализ слойных температур, биомасс фракционного зоопланктона и экологических группировок планктеров в Татарском проливе показал, что увеличение температуры верхнего слоя 0-100 м приводило к уменьшению биомассы крупного зоопланктона (Саматов, Кантаков, 1995).

Предварительный анализ влияния океанологических параметров на зоопланктон выявил наличие между ними связей. Важным результатом стали близкие значения корреляции температуры и биомассы зоопланктона вне зависимости от типа водной массы в заливах Исикари (Японское море), Анива (Охотском море) и в Татарском проливе (Японское море). В ходе дальнейшего исследования выполнялись две задачи: оценить влияние океанологических параметров на зоопланктон в межгодовой динамике по коллекции материалов, собранной в СахНИРО за период 1988 – 1996 гг., и рассмотреть сезонную изменчивость океанологических параметров и зоопланктеров. Для решения задач по исследованию сезонной изменчивости океанологического режима вод и его влияния на зоопланктон оптимально соответствовала акватория пролива Лаперуза (Соя) и прилегающих вод.

2.2 Сезонное влияние океанологических факторов на зоопланктон за период 1995 – 1998 гг. в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих водах

Цель исследований сезонной изменчивости зоопланктонного сообщества в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих вод состояла в поиске корреляции биомассы сестона и океанологических данных. Перед анализом собранного материала данные группировались по подрайонам, различным по океанологической основе формирования биопродуктивности. Исследования в августе 1995 г. в проливе Лаперуза (Соя) показали роль апвеллинга в формировании пространственного распределения биомассы зоопланктона. Дальнейшие исследования с марта 1996 по декабрь 1998 гг. продемонстрировали повышенные концентрации сетного зоопланктона в весенний период в зоне конвергенции между Цусимским и Западно-Сахалинскими потоками в Татарском проливе. Анализом STD и гидрохимических данных показано, что акватория пролива Лаперуза и прилегающих вод Татарского пролива разделяется по океанографическим явлениям на несколько подрайонов: зона конвергенции Цусимского и Западно-Сахалинского течений; апвеллинг и смешение вод у полуострова Крильон и Камня Опасности; антициклонический ринг в южной части залива Анива и смешение япономорских и охотоморских вод в восточной части пролива Лаперуза. По полученным данным, максимум биомасс сестона следовал за весенним цветением диатомовых. Наибольшая биомасса отмечена в районе смешения охотоморских и япономорских вод (см. рис. 1). Здесь сезонные изменения биомассы сестона отличались на два порядка от 30 до 1580 мкг/м³ (без коэффициента уловистости сетей). В то же время биомасса зоопланктона в зоне конвергенции Цусимского и Западно-Сахалинского течений подвергалась сезонным колебаниям в наименьшей степени. Следовательно, два разных океанологических явления определяли условия жизнедеятельности зоопланктона на акватории пролива и прилегающих водах: сообщество зоопланктона течений с устойчивой стратификацией в летний период (Цусимское, Западно-Сахалинское и Соя) и сообщество дипольной структуры, состоящей из апвеллинга и антициклонического ринга в южной части залива Анива. В этом случае, вероятно, выраженная связь между абиотой и зоопланктоном в южной части Татарского пролива (Цусимское и Западно-Сахалинское течения) проявилась в изменениях плотнос-

ти воды. В Охотском море факторами, связывающими колебания биомассы сестона и окружающую морскую среду, становятся растворенный кислород и содержание силикатов. Для зоны апвеллинга и смешения связей между абиотическими параметрами и биомассой сестона не обнаружено.

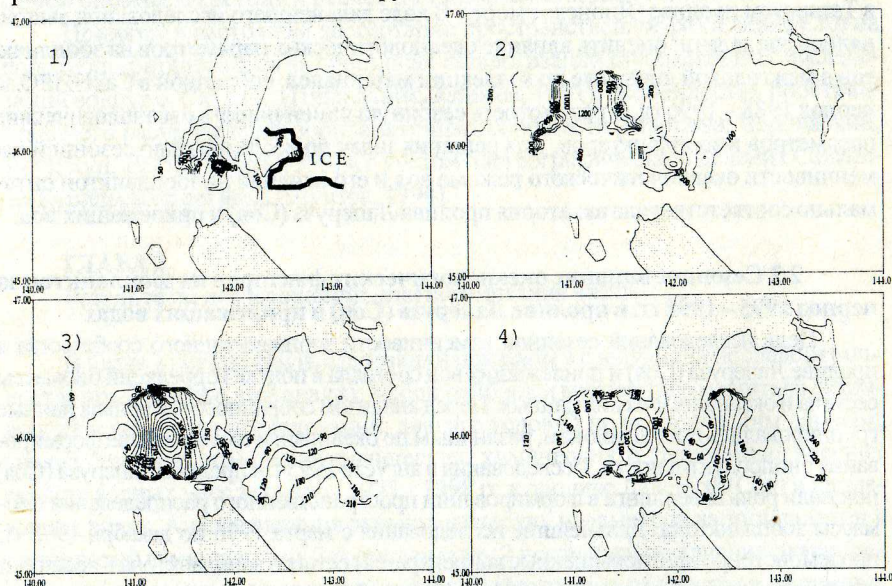


Рис.1 Пространственное распределение плотности (мг/м³) сетного зоопланктона в 1996 г. в проливе Лаперуза (Соя) (сеть Норрак NXX-13, данные СахНИРО; ICE-лед; 1-март, 2-июнь, 3-август, 4-декабрь)

Анализ соотношений структур экологических группировок зоопланктона на разрезах показал, что сообщества течений с устойчивой стратификацией вод в летний период имели преобладание в биомассе умеренно-холодноводных видов, в то время как в южной части залива Анива и апвеллинга с пониженной стратификацией вод наблюдалось преобладание холодноводных видов. Показатели хлорофилла-“а” и биомассы сестона использованы для оценки асинхронной корреляционных связей. Для района Татарского пролива значимые связи не найдены, в то же время на разрезах непосредственно в проливе Лаперуза (Соя) искомые связи между концентрацией хлорофилла-“а” и биомассой сестона обнаружены.

2.3 Влияние межгодовых изменений океанологических параметров на зоопланктон в Сахалино-Курильском регионе за период 1988 – 1996 гг.

Татарский пролив (Японское море)

Наиболее значимыми факторами, определяющим значение биомассы зоопланктона, оказались показатель величины холодного промежуточного слоя

(ХПС) и перенос северной составляющей на разрезе м. Корсаков – м. Сюркум. Биомасса копепод зависела от температуры слоя 0-50 м, эвфаузиевых от класса температур 0-2° С, концентрация хетогнат обратно пропорциональна температуре слоя 0-50 м, не обнаружено значимых связей между океанологическими параметрами и биомассой амфипод. Величина температуры слоя 0-50 м и перенос течений на север определяли развитие мирного зоопланктона. Особенно для разреза стало наличие положительной связи между биомассой сетного планктона и температурой слоя 0-50 м в весенний период. Представленная динамика биомассы сетного зоопланктона и его функциональной структуры на разрезе м. Корсаков – м. Сюркум характеризовалась минимальными значениями биомасс в период 1989 – 1991 гг. Преобладание хищников связано с положительными аномалиями температуры, транзитом в южном направлении, уменьшением класса солености 32-33 промилле и повышенной долей температурного класса более 2° С. На разрезе отмечены сезонные колебания уровня хищного зоопланктона над мирным, превышающие 50 % общей биомассы.

Сдвигка в параметрах зоопланктонного сообщества на разрезе м. Слепиковского – м. Золотой (южная часть Татарского пролива) совпала с периодом потепления в конце 80-х годов. В отличие от северной части Татарского пролива биомасса сетного планктона в весенне-летний период 1988 – 1994 гг. определялась южным потоком, представляющего собой Приморское и Западно-Сахалинское течения. Следовало отметить, что на разрезе м. Слепиковского – м. Золотой значение биомасс зоопланктона находилось в обратной пропорции с температурными аномалиями слоя 0-50 м. Выявлена особенность воздействия океанологических параметров на зоопланктон, заключающаяся в том, что влияние переноса Цусимского течения (северная компонента на разрезе) не проявилось ни для одной из преобладающих по биомассе систематических групп зоопланктона в весенне-летний период. Биомасса сетного зоопланктона в южной части Татарского пролива зависела от класса солёности менее 32 PSU. Биомасса копепод коррелировала с температурой слоя 50-100 м, эвфаузиевых с классами температур 0-2 и более 2° С, плотность хетогнат зависела от интенсивности южного транзита вод; связь океанологических параметров с амфиподами не обнаружена.

Юго-западная часть Охотского моря

На разрезе м. Анива – м. Анастасии (залив Анива) биомасса зоопланктона в периоды потепления имела тенденцию к снижению, зависела от класса солености 32-33 PSU (весенне-летний период), аномалии температуры в слое 50-100 м и объёма транзита в северном направлении или затока вод в залив (осенью). Весной копеподы коррелировали с аномалией температуры в слое 50-100 м, в то время как осенью факторов, определяющих биомассу копепод, не выявлено. Весной концентрация эвфаузиевых связана с интенсивностью сброса вод из залива Анива, в то время как к осени обнаружена зависимость от 9-и абиотических параметров, важнейшим из которых явилась аномалия температуры в слое 50-100 м. Аналогичная

картина отмечена для хетогнат: весной количество щетинкочелюстных связано с классом солености 33-34 PSU, осенью количество значимых факторов увеличивалось за счет затока вод в залив Анива и класса солености менее 32 PSU. Аномалия в слое 50-100 м имела высокие коэффициенты корреляции с процентным содержанием амфипод вне зависимости от сезона. Ни хищный, ни мирный зоопланктон не зависели от динамики вод на разрезе м. Анива – м. Анастасии. Связь функциональных групп зоопланктона по питанию с абиотическими факторами среды выражалась через температурные аномалии в слоях 0-50 и 50-100 м, TS-классы.

Минимум биомассы сетного зоопланктона на разрезе м. Анива – м. Докучаева зарегистрирован в осенние периоды 1991 и 1994 гг. Отмечена перестройка функциональной структуры зоопланктона, выраженная в преобладании хищников, в мае 1990 и октябре 1994 гг. Раздельный по сезонам анализ влияния абиотических факторов морской среды на показатели зоопланктонного сообщества разреза м. Анива – м. Докучаева показал, что в весенне-летний период биомасса лимитировалась южным транзитом, в данном случае связанного с результирующим переносом Восточно-Сахалинского течения в верхнем слое. Менее значимые связи между биомассой зоопланктона и абиотическими факторами для весеннего периода обнаружены для класса солености ниже 32 PSU и аномалиями температур в слое 50-100 м. Аномалия температуры слоя 50-100 м определяла значение биомассы сетного зоопланктона в осенний период, вторым важнейшим фактором для осеннего периода стал северный транзит (течения Соя + Западно-Сахалинское + западная часть антициклонического вихря в южной котловине Охотского моря).

Весной биомасса копепод лимитировалась холодным промежуточным слоем (ХПС), осенью – балансом транзита течений в верхнем слое. Важнейшими океанологическими параметрами для эфваузиевых в весенний период являлись градиция солености 33-34 PSU, осенью – класс температуры более 2° С. Этот же класс температуры в весенний период ограничивал количество хетогнат. Осенью биомасса щетинкочелюстных зависела от теплосодержания слоя 50-100 м. Амфиподы весной и осенью коррелировали с балансом транзита течений. Важным результатом стало обнаружение зависимости между количеством хищного зоопланктона и классом солености менее 32 PSU весной, а так же 32-33 PSU осенью.

Разрез м. Свободный – море пересекает свал глубин в юго-западной котловине Охотского моря. Здесь, вне сваловой области, на глубинах 2000 м и более, регистрируются одни из наиболее высоких концентраций зоопланктона в Сахалино-Курильском регионе. При выборе разреза в юго-западной котловине Охотского моря предполагалось, что антициклонические ринги имеют отличные от зон конвергенции течений абиотические условия, возможно, определяющие жизнедеятельность зоопланктонного сообщества. В период 1988 – 1996 гг. максимумы биомасс сетного зоопланктона соответствовали холодным периодам, например, мая 1988 и октября 1993 гг., в то же время минимальные биомассы наблюдались в период потепления 1989 – 1991 гг. В отличие от других оценивае-

мых районов СКр, на разрезе м. Свободный – море не отмечено преобладания хищного зоопланктона над мирным; максимальная доля хищников отмечалась в мае 1991 и июне 1993 гг., не превышая 38 % от общей биомассы зоопланктона.

В весенне-летний период биомасса зоопланктона связана с аномалией температуры в слое 50-100 м, классом температуры более 2° С, классом солености 33-34 PSU, а так же объемом результирующего переноса на разрезе. Копеподы характеризовались связью с температурой слоя 0-50 м, эфваузиевые с аномалией температуры в слое 50-100 м, хетогнаты и амфиподы (как и остальной хищный зоопланктон) лимитировались классом температуры – 2 – 0° С. В осенний период зависимость биомассы от состояния течений исчезает, биомасса зоопланктона определяется температурой слоя 50-100 м и классом температуры более 2° С. Слоистая температура (50-100 м) определяла количество в видовом составе копепод, эфваузиевых и хетогнат. Амфиподы коррелировали с температурой верхнего слоя (0-50 м). По функциональным группам хищный зоопланктон лимитирован классом температур – 2 – 0° С.

Разрез з. Пильтун – море пересекает Восточно-Сахалинское течение, движение которого направлено вдоль северо-сахалинского шельфа в южном направлении от м. Елизаветы до Тонино-Анивского полуострова консолидированным потоком над шельфом. При выборе разреза планировалось учесть механизм взаимодействия Восточно-Сахалинского потока с присваловым противотечением, направленным в северном направлении.

Теплый период 1989 – 1991 гг. характеризовался пониженными биомассами сетного зоопланктона на разрезе з. Пильтун – море. Содержание хищного планктона в максимуме не превышало значение 40 % за весь период наблюдения. Перенос в северном направлении статистически определял значения биомассы зоопланктона осенью, в то время как транзит Восточно-Сахалинского течения оказывал лимитирующее влияние на биомассу. Кроме того, количество копепод ограничивалось ХПС, эфваузиевых классом температуры более 2° С, который, в свою очередь коррелировал с содержанием хетогнат. Концентрация амфипод зависела от северного переноса, так же, как и соотношение хищного зоопланктона.

2.4 Исследование влияния температуры и течений на динамику биомассы зоопланктона в южной части Татарского пролива

Цифровой архив СахНИРО по океанографии (СУБД КАРАТ) содержит измерения температуры воды на стандартных разрезах, включая два близкорасположенных – Антоновский (бывшее название разреза по-японски Rakuma) и м. Слепиковского – море в южной части Татарского пролива. Измерения температуры на разрезах ведутся с 1924 и 1953 гг., соответственно. Ловы зоопланктона на разрезе Антоновский выполнялись Сах ГИПРО с 1952 по 1974 гг. ежеквартально (Федотова, 1982). Временной ряд значений биомассы зоопланктона опубликован и представляет собой эквидистантные по времени значения биомассы за указанный период наблюдений. Для решения поставленной в работе задачи проведен анализ связи биомассы зоопланкто-

на с температурой поверхности, слоев 0-50, 50-100 м и расходами Цусимского и Западно-Сахалинского течений. При анализе материала за имеющийся период наблюдений с 1953 по 1974 гг. по разрезу Антоновский с учетом времени года ряд значений биомассы сопоставлен со значениями слойных температур, сгруппированных также по сезонам. В результате обнаружена отрицательная корреляция между весенними температурами слоев 0-50, 50-100, 100-200, 0-200 м и осенней биомассой зоопланктона в южной части Татарского пролива. Влияние течений на зоопланктонное сообщество южной части Татарского пролива выражалось в формировании менее плотного слоя 0-50 м в весенний период и его последующей изоляции в результате стратификации от минеральных солей нижележащих слоев. Весенняя вспышка фитопланктона в годы активного состояния Цусимского течения, вероятно, характеризовалась относительно быстрым протеканием и созданием меньшего обилия пищи для зоопланктов-фитофагов. Кроме того, усиление Цусимского течения весной формировало устойчивую стратификацию вод в теплый период года, продолжавшуюся до начала зимнего периода, соответственно ограничивая вторую сезонную вспышку фитопланктона осенью. На это указывает сезонная инвариантность по знакам температурных аномалий в южной части Татарского пролива по данным разреза м. Слепиковского – море за 1988 – 1997 гг. Обильные по биомассе зоопланктона годы в начале-середине 50-х характеризовались пониженными слойными температурами, выраженной релаксацией Цусимского течения в весенние периоды за исследуемый период с 1953 по 1974 гг. Следовательно, в результате проведенного анализа по материалам разрезов Антоновский, м. Слепиковского – море и Т1 можно утверждать о несомненном влиянии Цусимского и Западно-Сахалинского течений на формирование величины биомассы сетного зоопланктона путем вероятного управления вспышками фитопланктона через создание ускоренной – по сравнению с обычными темпами – стратификации вод в южной части Татарского пролива, приводящей к меньшей биомассе зоопланктов и запускающей отличные от холодных и обильных по зоопланктону периодов трофодинамические отношения в экосистеме южной части Татарского пролива.

С учетом выясненной корректности сопоставления рядов температуры в слоях глубже 50 м проведена стыковка рядов по разрезам Антоновскому (Rakuta line) и м. Слепиковского – море за период 1924 – 1967 и 1967 – 1999 гг., соответственно. Цель расчетов состояла в ретроспективе биомассы зоопланктона у юго-западного Сахалина за полный ряд наблюдений с 1924 по 1999 гг.

Выполненные расчеты температур по двум разрезам в южной части Татарского пролива (Японское море) показали, что максимальные биомассы зоопланктона наблюдались в холодные годы. Напротив, в теплые периоды биомасса зоопланктона снижалась. Кроме того, указанное выше катастрофическое падение биомассы зоопланктона на рубеже 1950 – 60 гг. отмечалось и в другие периоды, например в 30-х и начале 40-х гг., а также на рубеже 1980 – 90 гг. Разными сценариями характеризовалось последующее восстановление биомасс зоопланктона (см. рис. 2).

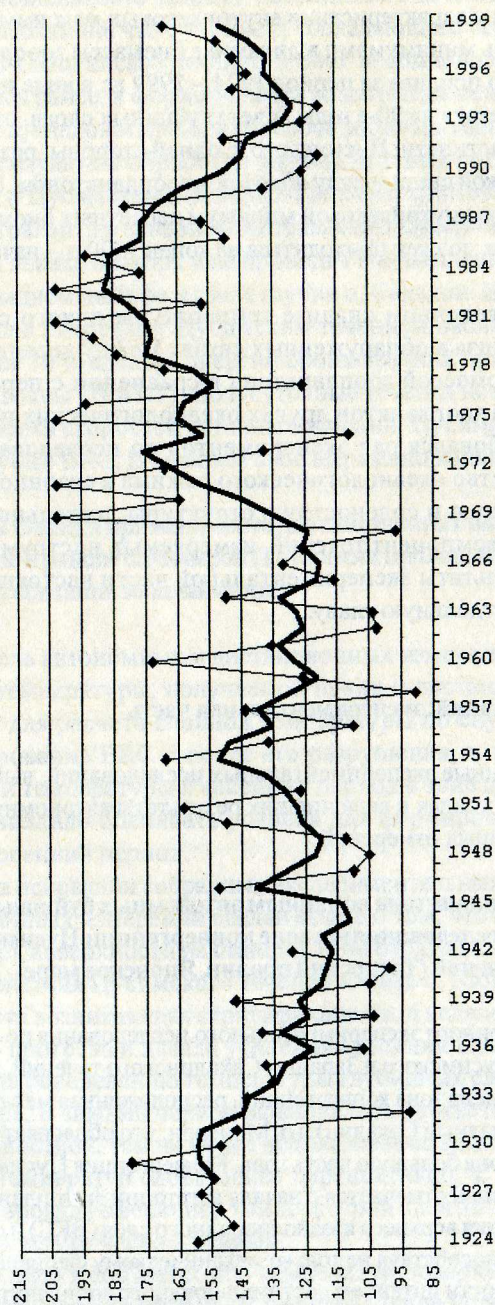


Рис. 2. Ретроспектива биомассы сетного зоопланктона за период 1924 – 1999 гг. на разрезе Антоновский (Rakuta line), ось ординат – биомасса мг/м³, скользящее осреднение 5 лет (источник: СахНИРО)

Следовало отметить, что экстремумы температуры морской поверхности, хотя и имели в 90-е годы характеристики внутривековых максимумов, тем не менее не подтвердились минимумами в динамике биомассы зоопланктона в южной части Татарского пролива за период 1924 – 1999 гг. в виде наименьшей биомассы, приходящегося на 90-е годы. Учет глубинных слоев, отражающих влияние течений, в частности, Цусимского, с одной стороны, резко улучшал качество статистической связи между абиотой и зоопланктоном, с другой – позволил утверждать, что внутривековой минимум расчетных биомасс зоопланктона, вероятнее всего, должен приходиться на конец 1930-х – начало 40-х гг. текущего столетия.

Присутствие в приведенном анализе температуры одного слоя 50-100 м сужало рамки анализа в обнаруженных связях между весенней температурой и осенней биомассой зоопланктона в сравнении с перспективой учета при влиянии на зоопланктон других океанологических параметров. В этой связи потребовался ряд экспериментов по исследованию на зоопланктонное сообщество океанологического режима в сезонной динамике, включая термическую и соленостную структуры деятельного слоя обитания зоопланктона, компонент течений, измеряемых инструментально и дистанционно. Результаты экспериментальной части настоящего исследования вынесены в отдельную главу.

Глава 3

Результаты исследований: экспериментальная часть

В главе 3 собраны данные экспериментальных исследований, выполненных в рамках поставленных задач и включивших результаты автономных, дистанционных и экспедиционных измерений.

3.1 Аккумуляция зоопланктона по данным автономных буйковых станций и экспедиционным исследованиям в зоне конвергенции Цусимского и Западно-Сахалинского течений (Татарский пролив, Японское море)

На основании проведенного экспериментального исследования по инструментальным измерениям Цусимского и Западно-Сахалинского течений, анализу исторических данных выявлена зона конвергенции, расположенная между полуостровом Крильон (юго-западный Сахалин) и о. Монерон, что объясняет скопление здесь фито-, зоопланктона большую часть года. Конвергенция Цусимского и Западно-Сахалинского течений отмечается с начала вегетации фитопланктона и продолжается до исчезновения верхнего квазигомогенного слоя (ВКС) и осенней вспышки фитопланктона, способствуя не только механическому скоплению зоопланктона, но и обеспеченности питанием растительного зоопланктона.

Интенсивность Западно-Сахалинского течения в августе 1996 г. составила 1 Sv. Показано, что с учетом преобладающего переноса в пролив Лаперуза, Западно-Сахалинское течение играет несомненно более важную роль, чем считалось ранее, в формировании водообмена между Японским и Охотским морями и, следовательно, в переносе зоопланктона.

В результате обработки данных буйковых станций получен ряд новых данных о Цусимском и Западно-Сахалинском течениях. Например, прекращение транзита в северном направлении Цусимским течением происходит во II-ой декаде октября и не приводит к немедленной потере тепла в ВКС на юго-западном шельфе и свале глубин о. Сахалин. Наибольшая скорость отдачи тепла в атмосферу Цусимским течением наблюдалась в ноябре – декабре. Более 70 % спектра энергии обоих течений принадлежит суточным приливам (волны O1 и K1). Полусуточные течения незначительны в сравнении с величинами скоростей суточных течений. Цусимское течение баротропно в слое глубже ВКС. В верхнем слое выражено влияние бароклинности.

3.2 Оценка применимости дистанционных наблюдений температуры на полигоне в районе о. Монерон (Татарский пролив, Японское море) для диагноза условий обитания зоопланктона

Цель автономных и дистанционных измерений заключалась (1) в сравнении температуры, получаемой *in situ* и дистанционно; (2) выяснении периодов для расчета слойной температуры по спутниковым измерениям до формирования ВКС и после его разрушения, т. к. определение расчетной слойной температуры в весенний период в зоне действия Цусимского течения позволило оценивать условия для формирования биомассы зоопланктона в осенний период.

На основании собранных экспериментальных данных автономных и дистанционных измерений сделан вывод о том, что в период март-апрель температура поверхности на станции T106 отражала температуру слоя 0-100 м в зоне действия Цусимского течения южнее о. Монерон. К началу календарного лета возникающая стратификация вод вследствие сезонного инсоляционного прогрева и начала усиления адвекции Цусимским течением препятствовала определению температуры глубинных слоев по поверхностной температуре. В зимний период наблюдалось соответствие слойных температур поверхностной, тем не менее использование зимних температур для определения температур слоев менее перспективно, т. к. биомасса зоопланктона коррелировала с весенней температурой слоя 50-100 у юго-западного Сахалина по историческим данным.

Следуя соответствию температур поверхности и верхней части деятельного слоя во время низкой вертикальной устойчивости вод Цусимского

течения в районе о. Монерон, можно отметить, что период март-апрель являлся эффективным для дистанционных измерений с целью диагноза среды обитания и прогнозирования зоопланктона. Неравномерность дистанционных наблюдений по времени заставляет признать лимитированность спутниковых измерений облачностью для задач реального времени. Так, доступное время для измерения среднесуточных температур на полигонах в районе о. Монерон в 1997 г. составило 86 суток в год. Т. о., спутниковые измерения ограничено пригодны для прогнозных задач кормовой базы рыб в южной части Татарского пролива. Существующие благоприятные периоды для измерений приходятся на весеннюю неустойчивую стратификацию вод в южной части Татарского пролива и позволяют измерять в районе о. Монерон температуру слоя 0-100 м, коррелирующую с осенней биомассой зоопланктона у юго-западного Сахалина.

Учитывая достоинства и недостатки такого рода измерений, для диагностики условий обитания зоопланктона в южной части Татарского пролива использованы данные зондирования температуры и солености по всплывающим CTD PALACE. Кроме того, измерения по данным PALACE позволило рассчитать время пространственных миграций зоопланктона по прямым измерениям перемещений буев.

3.3 Количественная оценка времени миграций и температуры слоя 0-100 м в южной части Татарского пролива для диагностики условий обитания массового вида веслоногого рачка *Calanus plumhrus* по данным всплывающего CTD PALACE#194 в период август-декабрь 1999 г.

Анализ экспериментальных данных всплывающего CTD PALACE #194 подтвердил вывод о том, что в период неустойчивой стратификации вод, связанной с сезонным выхолаживанием, температура поверхности, определяемая дистанционно, может использоваться для измерения температуры слоя в южной части Татарского пролива (Японское море) с целью диагноза среды обитания зоопланктона и прогноза его биомассы. Оценка траекторий PALACE #194 позволила определить время миграции зоопланктона в период август-декабрь 1999 г., составившей 0.004 м/с для северной компоненты и 0.01 м/с для восточной компоненты в слое 0-800 м. Для массового вида копепода *Calanus plumhrus*, наблюдаемого в южной части Татарского пролива, динамические условия течений позволяли произвести полный цикл в своем развитии на акватории от широты пролива Лаперуза до м. Ламанон, т. е. в глубоководной части пролива.

Измерения PALACE показали близкое соответствие длительности годового цикла и времени миграции копепода *Calanus plumhrus* в рамках пространственного масштаба юго-восточной части Татарского пролива. Воз-

можно, что миграция в полузамкнутой системе Татарского пролива копепода *Calanus plumhrus* определяется относительно небольшими скоростями переноса в юго-восточной глубоководной части пролива и, отчасти, объясняет смену массовых копепода на *Calanus glacialis* в северной мелководной части Татарского пролива, имеющей отличные от южной части пролива океанологические условия.

Температура слоя 0-50 и 50-100 м, измеренной PALACE #194 за период август-декабрь 1999 г. соответствовала экспедиционным данным и подтвердила возможность дистанционного определения температуры слоя 0-100 м вне зависимости от времени года для незамерзающих акваторий.

3.4 Оценка алохтонной биомассы зоопланктона в юго-западной котловине Охотского моря по измерению расхода течений в проливе Лаперуза (Соя)

Поскольку расчеты по стандартным разрезам в проливе Лаперуза (Соя) выполнялись геострофическим методом, требовались инструментальные измерения течений и концентраций зоопланктона для определения биомассы зоопланктонов, поставляемой из Японского моря в Охотское (алохтонный зоопланктон). Задача состояла в организации долгосрочных наблюдений и определении количественных характеристик динамики биомассы зоопланктона в проливе Лаперуза (Соя). С февраля по июль 1999 г. на притоленной автономной буйковой станции (ПАБС) Astarta, установленной в средней части пролива, выполнены экспериментальные наблюдения течений (см. рис.3). Концентрации зоопланктона между мысами Соя и Крильон определены по гидробиологическим данным, собранных в ходе 7 экспедиций за период 1996 – 1999 гг.

Среднее значение концентрации биомассы за период март 1996 – ноябрь 1999 г. в точке постановки Astarta составило 65 мкг/м³ (Брагина И.Ю., персональное сообщение). Годовая биомасса зоопланктона, поставляемая через пролив Лаперуза(Соя) из Японского в Охотское море составила 1.37+E11 кг. Расчетное значение биомассы алохтонного зоопланктона составило 6.45 % от валовой годовой продукции сетного зоопланктона для всего Охотского моря в слое 0-200 м. При сравнительной оценке близлежащих акваторий, например, юго-западной котловины Охотского моря, доля алохтонного зоопланктона (в данном случае из Японского моря) повышается, как минимум, на порядок. Сравнение с другими оценками по биомассе сетного зоопланктона для Японского моря показывает, что его биомасса недоучитывается в опубликованных оценках. Проведенным экспериментом показано, что для юго-западной котловины Охотского моря вклад транзита вод из Японского моря в Охотское через пролив Лаперуза (Соя) в формирование биомассы зоопланктона района является определяющим.

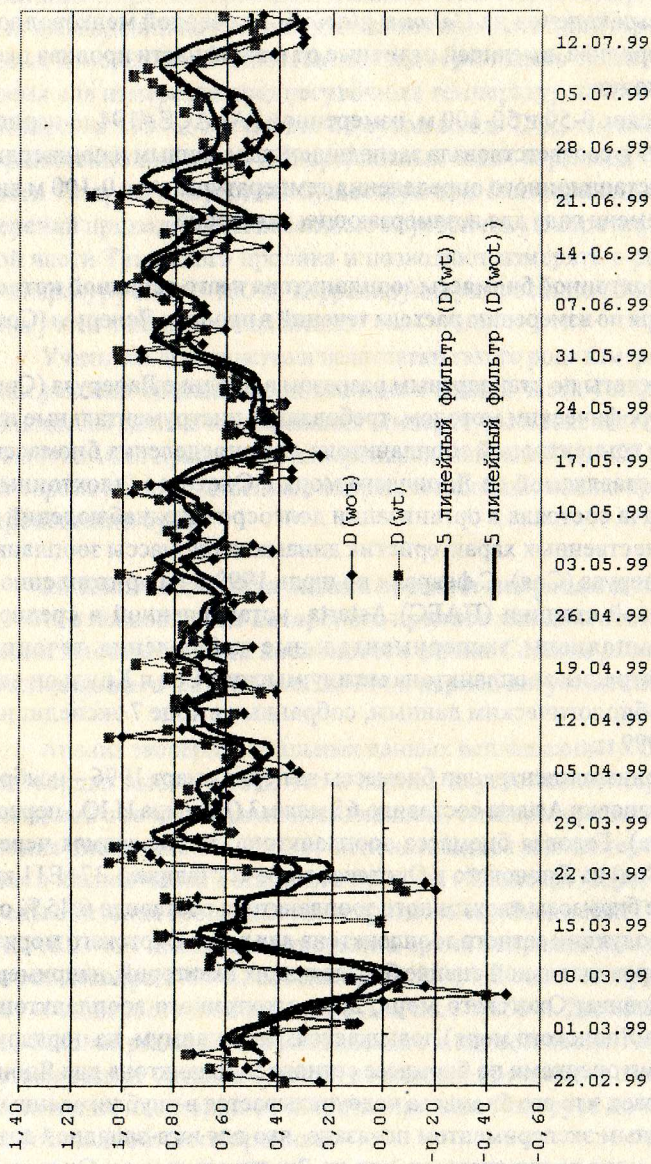


Рис. 3 Динамика расхода (S_v) восточной компоненты в проливе Лаперуза за период 22.02.99 – 16.07.99 г. по данным ПАБС АСТАРТА (Обозначения: $D(wt)$ – расход без учета приливов, как среднесуточное значение; $D(wt)$ – расход с учетом приливных волн Q1, O1, K1, N2, M2, S2, P1. Ось ординат – расход (S_v) восточной компоненты E. $D(wt)$, $D(wt)$ даны с учетом горизонтального и вертикального распределения скорости в проливе. Источник: данные СахНИРО)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в настоящей работе:

- В период исследований 1988 – 1997 гг. крупные изменения в зоопланктонных сообществах западной части Охотского и северной части Японского морей совпали с колебаниями океанографического режима деятельного слоя исследуемых акваторий. Синхронные катастрофические падения биомасс и перестройки видовых структур зоопланктонных сообществ на акватории Сахалино-Курильского региона отмечены повсеместно в период внутривекового температурного максимума температуры воды в 1990 – 1991 гг.

- Потепление деятельного слоя относительно среднемноголетних норм вызывало падение уровня биомасс зоопланктонных сообществ и приводило к преобладанию хищников в зоопланктоне шельфовых сообществ. Периоды похолодания характеризовались большим обилием зоопланктона по биомассе и уменьшением доли хищных видов. Обнаруженные связи между изменениями океанологических характеристик морской среды и биомассой, видовой и функциональной структурами зоопланктона составляют основу количественного прогнозирования кормовой базы рыб-планктонофагов для северной части Японского и западной части Охотского морей.

- Радикальные изменения видовой структуры и колебания биомассы определялись уровнем изменений интенсивности течений в 0.5 Sv в деятельном слое Татарского пролива и юго-западной части Охотского моря. Полученные данные о влиянии интенсивности потоков следует рассматривать как условие для проверки адекватности физико-биологических экосистемных моделей при адаптации в исследуемом регионе. Наибольшие колебания биомассы и видовой структуры зоопланктона отмечены в полузакнутых акваториях, включая крупные заливы северной части Японского и западной части Охотского морей. Сообщества постоянных течений, антициклонических рингов в глубоководных районах северной части Японского и западной части Охотского морей характеризовались относительно стабильной видовой структурой зоопланктона, наименее подвергаясь воздействию изменений океанографического режима.

- Изменчивость Цусимского и Западно-Сахалинского течений отражалась на формировании условий, определяющих интенсивность и продолжительность сезонных вспышек фитопланктона. Обеспеченность фитопланктоном второго трофического уровня, колебания расходов широтной и меридиональной компонент течений определены как важнейшие факторы, влияющие на биологические показатели зоопланктона Японского и Охотского морей в деятельном слое.

- На основании полученной связи между биомассой зоопланктона и температурой слоя 50-100 м впервые выполнен ретроспективный расчет концентрации сетного зоопланктона в южной части Татарского пролива за период 1924

— 1999 г. Выявлен преобладающий в спектре межгодовых колебаний биомассы сетного зоопланктона южной части Татарского пролива период квази-2 года.

- Обновлены региональные схемы циркуляций течений региона и океанологические признаки состояния потоков. Перенос вод в Охотское море из Японского определялся в теплый период года, течениями Западно-Сахалинским и Соя. При увеличении активности Восточно-Сахалинского течения в деятельном слое западной части Охотского моря холодный промежуточный слой уменьшается. Ведущая роль в переносе зоопланктона в Татарском проливе принадлежит течениям в центральной, глубоководной части пролива.

- Оценен вклад затока япономорских вод как определяющего и формирующего биомассу зоопланктона в юго-западной котловине Охотского моря. Существующие гидробиологические методы определения количества биомассы зоопланктона сетными ловами, скорее всего, требуют улучшения для более точного определения массы зоопланктеров.

- На примере выполненных экспериментов в проливе Лаперуза и прилегающих водах показана эффективность и перспективность использования судовых, автономных и дистанционных методов для оценки среды обитания II трофического уровня, мониторинга изменений океанологических и гидробиологических свойств водных масс в практике биоокеанографических, экосистемных и ресурсных исследований.

Список опубликованных работ:

1. Kantakov Gennady. Vertical temperature distribution feature in the intermediate cool water layer of the Sea of Okhotsk // In Abstracts of the PICES Workshop. Vladivostok, 1995. P. 21–22.
2. Саматов А.Д., Кантаков Г.А. Зависимость биомассы и состава зоопланктона Татарского пролива от температуры воды // Биоресурсы морских и пресноводных экосистем: Тез. докладов.—Владивосток, 1995. С. 107–109.
3. Kantakov Gennady, Samatov Andrew. Upwelling in La Perouse Strait // In Abstracts of the 11-th Inter. Symposium on Okhotsk Sea and sea ice. Mombetsu. Hokkaido. Japan, 1996. P. 203.
4. Samatov Andrew, Kantakov Gennady. Hydrobiological characteristics of upwelling in La Perouse Strait // In Abstracts of the 11-th Inter. Symposium on Okhotsk Sea and sea ice. Mombetsu. Hokkaido. Japan, 1996. P. 204.
5. Yagi H., Tanaka I., Kantakov G., Samatov A., Nakata A., Watanabe T. Oceanographic observations of the Cold Water Belt in summer in the Soya Straits // In ICOSS Proceedings. Tokyo. Japan, 1996. P. 58–62.
6. Kantakov Gennady, Samatov Andrew. Upwelling in La Perouse Strait: Oceanographical and Hydrobiological properties // In ICOSS Proceedings. Tokyo. Japan, 1996. P. 63–75.

7. Nakata A., Tanaka I., Yagi H., Kantakov G., Samatov A. Origin of the cold water belt appearing offshore side of the Soya warm current near La Perouse (Soya) Strait // In PICES Abstracts. Nanaimo. B.C. Canada, 1996. P. 42.

8. Кантаков Г.А. Свойства водных масс и распределение промысловых гидробионтов в районе Северных Курильских островов // Тез. докладов X международной конференции по промысловой океанологии.—С.-Петербург: РГТУ, 1997. С. 59.

9. Kantakov G., Puzankov K., Gustoev D., Bulaeva V., Karpova I., Averkiev A. Two Methods of SST Forecast in the Sea of Okhotsk and Sea of Japan // In 7-th Annual Intern. TeraScan User's conference Proceedings. San-Diego, 1997. P. 15–17.

10. Kantakov Gennady and Shevchenko George. Tsushima and West Sakhalin currents in situ observations near La Perouse (Soya) Strait // In Abstracts of Second PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas. Nemuro. Japan, 1998. P. 13.

11. Kantakov Gennady and Shevchenko George. Tsushima and West Sakhalin currents in situ observations near La Perouse (Soya) Strait // In PICES Proceedings, 1998. P. 156–168.

12. Кантаков Г.А. Результаты биоокеанографических исследований в проливе Лаперуза (Соя) в 1995 – 1998 гг. // Вестник Сахалинского музея.—Южно-Сахалинск, 1999. С. 305–311.

