

На правах рукописи

Кулик Владимир Владимирович

ДИНАМИКА ОБИЛИЯ РЫБ И БЕСПОЗВОНОЧНЫХ
В ПЕЛАГИАЛИ ОХОТСКОГО МОРЯ
В СВЯЗИ С ГЕЛИОФИЗИЧЕСКИМИ И КЛИМАТО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИМИ
ФАКТОРАМИ

03.00.10 – ихтиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Владивосток – 2009

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр» (ФГУП «ТИНРО-Центр»).

Научный руководитель: кандидат биологических наук,
Волвенко Игорь Валентинович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
Суханов Виталий Викторович
кандидат биологических наук,
Радченко Владимир Иванович

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «КамчатНИРО»)

Защита состоится 11 июня 2009 г. в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 307.012.01 при Тихоокеанском научно-исследовательском рыбохозяйственном центре (ТИНРО-Центр) по адресу: 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4. Факс (4232) 300-751.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ТИНРО-Центр».

Автореферат разослан «___» мая 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор биологических наук



О.С. Темных

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Охотское море имеет исключительное рыбохозяйственное значение не только для Дальнего Востока, но и для всей России. За последние 30 лет здесь добывалось от одной до двух третей общероссийского вылова гидробионтов (Шунтов, 1985, 1998; Шунтов и др., 2007). Основу вылова составляют немногие наиболее массовые виды рыб, такие как минтай и сельдь, но в последнее время обсуждается необходимость ведения многовидового рыболовства в связи с проблемами прилова и неучитываемого вылова рыб и беспозвоночных (Бочаров, Дударев, 2005). Систематический недоучёт биологических ресурсов иногда приводит к занижению официальной оценки сырьевой базы рыболовства на порядок (Шунтов, 1998). Доли массовых и прочих рыб в пелагиали основного промыслового района России и их изменения в пространстве и времени необходимо уточнять регулярно.

На современном этапе исследования динамики экосистем возникают трудности в теоретическом обосновании правильности прогнозирования численности отдельных популяций принятыми официально в практике методами (запас-пополнение) (Котенёв и др., 2008). В то же время долговременные флуктуации многих промысловых рыб хорошо соответствуют климатическим изменениям на декадном и даже пятилетнем уровне сглаживания их значений (Кляшторин, Любушие, 2005; Кровнин и др., 2006), но применимость глобальных и региональных абиотических индексов для ежегодного прогнозирования обилия всех групп видов рыб и сопутствующих беспозвоночных в пелагиали Охотского моря пока не была проверена.

Цели и задачи исследования. Целью работы является изучение динамики обилия рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря и оценка влияния на неё гелиофизических, климатических и океанологических факторов.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Исследование многолетней динамики обилия массовых видов рыб и сопутствующих беспозвоночных в пелагиали Охотского моря;
2. Корреляционная оценка связей динамики обилия массовых и прочих видов между собой и с климатическими индексами северной части Тихого океана;

3. Выделение биологических главных компонент - бГК (и наиболее тесно связанных с ними размерно-таксономических групп), представляющих уникальные вариации в динамике обилия рыб и беспозвоночных;

4. Корреляционная оценка связи флуктуаций бГК с изменениями количества солнечных пятен, главных атмосферных и гидрологических факторов.

Научная новизна. Впервые представлены данные о количественном соотношении рыб и сопутствующих беспозвоночных в пелагиали Охотского моря по материалам обновленной базы данных о численности, биомассе и соотношении видов (Нектон..., 2003), полученных в комплексных экспедициях ТИНРО-Центра. Эта база данных была обновлена автором до 2006 г. и дополнена данными по обилию макропланктона. Макропланктон здесь представлен в основном медузами, трофический уровень которых близок к уровню рыб планктонофагов (Горбатенко и др., 2005), а суммарное их обилие иногда достигает 2,8 млн т. в северной части Охотского моря (Ильинский, Заволокин, 2007), т.е. по отношению к рыбам медузы могут быть как конкурентами, так и хищниками.

Впервые представлены корреляционные связи изменения обилия массовых и прочих видов всей макрофауны по обновлённым данным по всему Охотскому морю, а не только по его северной части, как это было сделано ранее (Волвенко, Титяева, 1999).

Впервые показаны статистические корреляции изменения обилия массовых видов рыб и беспозвоночных в связи с изменениями климатических индексов северной части Тихого океана с учётом временного лага до 6 лет по сезонам, биостатистическим районам и слоям пелагиали Охотского моря.

Впервые определен список видов и размерных групп рыб и беспозвоночных, наиболее тесно связанных с бГК, представлены статистические корреляции между изменениями бГК и флуктуацией абиотических факторов среды, выраженных через главные компоненты изменений в атмо- и гидросфере Охотского моря.

Впервые показано, что для прогнозирования межгодовой динамики обилия большинства видов рыб и сопутствующих беспозвоночных в пелагиали биостатистических районов Охотского моря рассмотренные абиотические факторы мало-пригодны.

Практическая значимость. В работе обоснована необходимость проведения регулярных комплексных экспедиционных исследований для тотальной оценки численности и биомассы рыб и сопутствующих видов беспозвоночных в пелагиали Охотского моря, потому что, несмотря на полувековую историю изучения климатической системы Земли при помощи искусственных спутников и ЭВМ, прямой учёт обилия гидробионтов по-прежнему остаётся единственным достаточно надёжным средством уточнения запасов основных промысловых объектов в пелагиали Охотского моря и корректировки прогнозов их ОДУ.

Личное участие в получении научных результатов. Автор принимал участие в сборе материала в экспедициях ТИНРО-Центра на НИС «Проф. Кагановский» в 2006 и 2007 гг. в Охотском море, самостоятельно осуществлял статистическую обработку данных, написание оригинальных компьютерных программ для оценки обилия рыб и их долей, интерпретацию полученных результатов и формулирование научных выводов. Все заимствованные данные, использованные в работе, имеют ссылки на их источники.

Апробация. Результаты и основные положения диссертации были представлены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях: «Современное состояние водных биоресурсов» (Владивосток, 2008), «4-ая международная конференция PICES по Охотскому морю» (Абасири, 2008) и на ежегодных отчетных сессиях ТИНРО-центра (Владивосток, 2004-2009 гг.).

Публикации. Результаты диссертации представлены в 5 научных работах, из них 2 статьи опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, определенных ВАК, 2 – коллективные монографии, 1 – материалы общероссийской конференции.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 202 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав основного текста, выводов и списка литературы. Текст диссертации иллюстрирован 44 таблицами и 48 рисунками из них в приложениях 22 таблицы и 28 рисунков. Список использованной литературы включает 154 источника, из которых 42 – зарубежных.

Благодарности. Автор настоящей работы выражает признательность к.г.н., вед.н.с. ФГУП «ТИНРО-Центр» С.Ю. Глебовой за предоставленные данные по типам атмосферной циркуляции над Охотским морем, а также к.г.н., вед.н.с. ТОИ

ДВО РАН В.А. Лучину за предоставленные результаты разложения полей аномальной температуры воды Охотского моря на ЭОФ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

Настоящая глава подготовлена по литературным данным и состоит из двух разделов. В первом разделе рассматривается динамика и современный статус nektonных сообществ в пелагиали Охотского моря, а во втором – динамика обилия рыб в связи с долговременной флуктуацией факторов среды.

Глава 2. Материалы и методы

Исходные данные об обилии гидробионтов получены из обновленной до 2006 г. базы данных лаборатории прикладной биоценологии ФГУП «ТИНРО-Центр» по траловым съемкам Охотского моря, которая ранее была использована для создания геоинформационной системы (Волвенко, 2004), атласа распределения (Атлас..., 2003) и каталога таблиц численности, биомассы и соотношения видов nekтона (Нектон..., 2003).

Для расчёта многолетних изменений в доминировании видов рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря было отобрано 6914 тралений, из них 5394 эпипелагических и 1429 мезопелагических. Первичные данные предварительно сгруппированы по сезонам, интервалам глубин тралений (через 10 и через 50 метров) и биостатистическим районам (Шунтов и др., 1986; Нектон..., 2003). Районы, имевшие в данный сезон в данном слое одинаковые по длине ряды наблюдений и не различавшиеся достоверно по биогеографическому индексу (Суханов, Иванов, 2009), объединены в группы (рис. 1). Самыми продолжительными оказались ряды для верхней эпипелагиали (0-50 м) и всей эпипелагиали (до 200 м) в летний и осенний периоды¹. Таким образом, для анализа сформировано 7 пространственно-временных рядов наблюдений, включающих 2120 траловых станций.

Согласно последней ревизии таксонов, учтённых в использованной базе данных, во время исследования пелагиали Охотского моря в уловах идентифицирован 281 вид рыбообразных, рыб и кальмаров, относящихся к 4 классам, 29 отрядам и 71

¹В данном случае имеются в виду не календарные, а биологические сезоны: лето - с 1 июня по 15 сентября, осень - с 16 сентября по 30 ноября (Шунтов, 2001).

семейству (Иванов, Суханов, 2009). Кроме того в базу данных внесена информация об обилии 11 видов медуз, 2 видов чилимов (*Pandalidae*) и нескольких неидентифицированных до вида представителей семейства эуфаузиид (*Euphausiidae*).

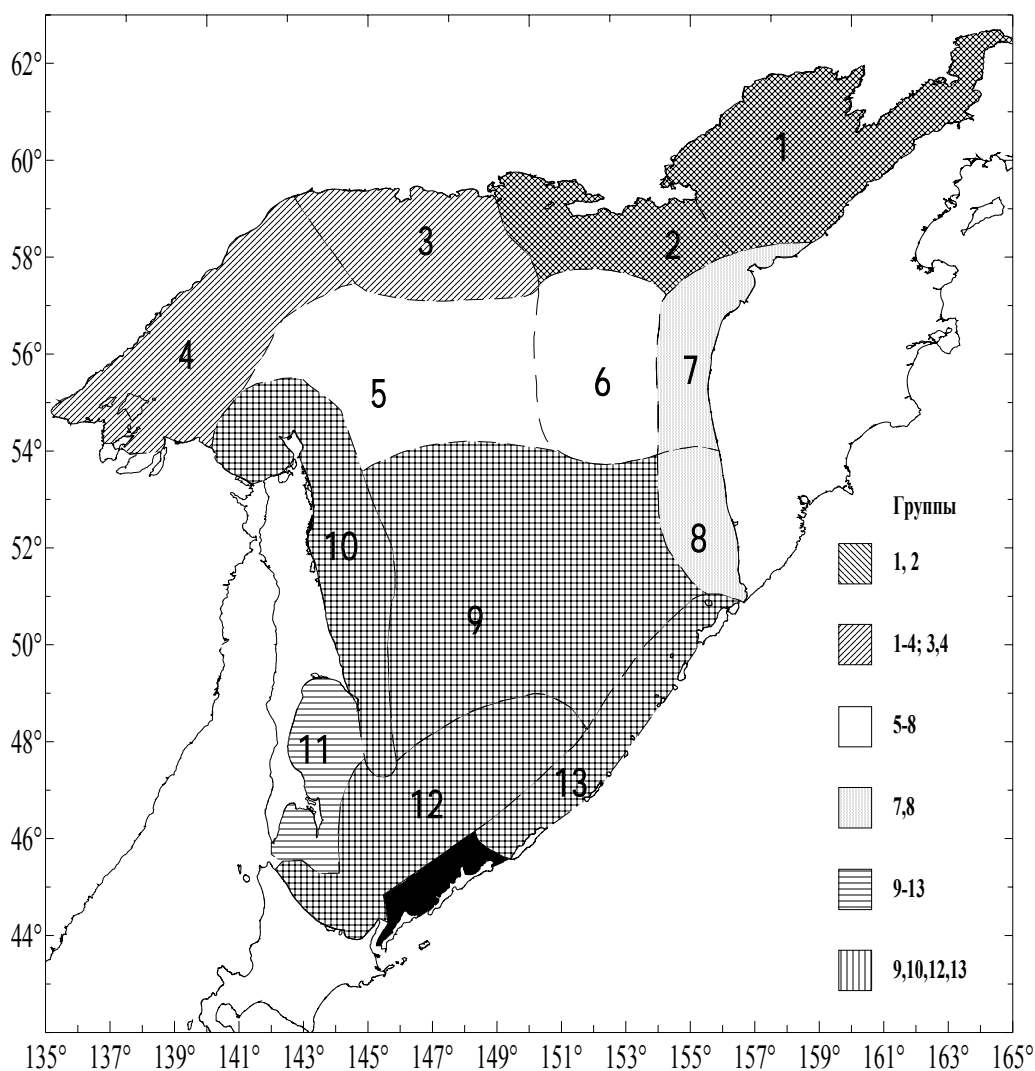


Рис. 1. Группы биостатистических районов Охотского моря

Исходными данными для статистических анализов послужили относительные биомассы видов, которые для каждого вида рассчитаны по принятой в ТИНРО-центр методике на единицу обловленной площади (в кг/км²) для каждой траловой станции по формуле:

$$B = \frac{m}{1,852 \cdot v \cdot t \cdot 0,001 \cdot a \cdot k},$$

где m - фактическая масса размерной группы вида в улове (кг); a - горизонтальное раскрытие устья трала (м); t - продолжительность траления (ч); v - скорость хода с тралом (узл.); константы: 1,852 - число км в морской миле, 0,001 - число км в м, k -

коэффициент уловистости (Волвенко, 1999). Для массовых видов обилие разных размерных групп вычислено по отдельности с разными значениями k (см. Нектон..., 2003).

Предварительный статистический анализ указал на логнормальное частотное распределение относительного обилия массовых видов. Поэтому исходные данные нормализованы преобразованием:

$$B_n = Lg(B+1),$$

где B_n – нормализованное значение биомассы, B – фактическая биомасса вида в кг/км², а 1 – служит для учёта нулевых биомасс (см. напр.: Elliott, 1977; Волвенко, 1998).

Для выявления доминантов и субдоминантов видовые списки каждого района ранжированы по убыванию средней относительной биомассы животных, определены процентные соотношения трех первых (каждого по отдельности) и всех остальных (суммарно) видов. Далее в тексте самый массовый вид именуется доминантом, виды, занимающие в иерархии доминирования второе и третье места – субдоминантами.

Динамика обилия и доминирования гидробионтов сопоставлена с многолетними рядами флуктуации абиотических факторов: количеством пятен на Солнце, климатическими индексами северной части Тихого океана¹, преобладанием типов атмосферной циркуляции над Охотским морем, временными составляющими главных компонент (ГК) разложения полей температуры воды в Охотском море по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ).

Статистический анализ проведён стандартными методами: парных корреляций (Pearson, 1896), ранговых корреляций (Spearman, 1904), канонических корреляций (Hotelling, 1936), главных компонент (Pearson, 1901), многомерного шкалирования (Young, Householder, 1941; Guttman, 1954).

Глава 3. Динамика обилия массовых видов рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря

При исследовании изменений долей первых трёх доминирующих видов по четырем стандартным периодам осреднения данных: конец 1980-х гг., первая поло-

¹ Это индекс арктической осцилляции (Arctic Oscillation Index - AO), северо-тихоокеанский индекс (The North Pacific Index - NPI), тихоокеанский индекс декадной осцилляции (The Pacific Decadal Oscillation Index - PDO), сибирский индекс или максимум (Siberian Index - SI), западно-тихоокеанский индекс (The West Pacific Index - WP).

вина 1990-х гг., вторая половина 1990-х гг. и начало 2000-х гг. (см.: Атлас..., 2003; Нектон..., 2003; Шунтов и др., 2007; и мн. др.), отмечено следующее:

В эпипелагиали в тройку доминантов за всё время исследований входили 33 вида гидробионтов. Регулярно в каждом из районов доминантами и субдоминантами становились только рыбы: весной - сельдь, серебрянка, сахалинская камбала, мойва и минтай; летом - сельдь, серебрянка, мойва, горбуша, кета и минтай; осенью - сельдь, серебрянка, мойва и минтай; зимой - минтай. Кальмары, медузы и чилимы стали появляться в списке доминирующих видов, как правило, только с 1990-х гг., когда доля самых массовых рыб стала снижаться.

В мезопелагиали за всё время исследований в разных биостатистических районах в тройку доминантов попадали 35 видов гидробионтов. Во все рассматриваемые периоды в отдельных районах из тройки доминирующих видов не выходили: весной - минтай, сельдь, серебрянка, кальмар Мадоки и мойва; летом - минтай и серебрянка; осенью и зимой - минтай.

В итоге, при анализе биоценотических перестроек по пятилетним периодам отмечено, что увеличение доли не массовых видов в нектоне Охотского моря было в большей степени вызвано резким снижением доли минтая на севере и сардины на юге, чем ростом обилия прочих видов, хотя увеличение их обилия тоже наблюдается.

В результате анализа взаимосвязи многолетних изменений в динамике обилия массовых видов в эпипелагиали обнаружено, что почти все статистически достоверные связи между изменениями относительного обилия тройки доминирующих и прочих видов положительны и высоко достоверны по всем сезонам, кроме одной отрицательной корреляции изменения относительного обилия доминантов и прочих видов летом (рис. 2). Также и в мезопелагиали почти все зависимости между изменениями относительного обилия тройки доминирующих и прочих видов положительны и высоко достоверны по всем сезонам, кроме одной отрицательной корреляции изменения относительного обилия доминантов и прочих видов осенью (рис. 3). Следовательно, как правило, изменения (возрастание и снижение) обилия массовых и прочих видов происходят одновременно.

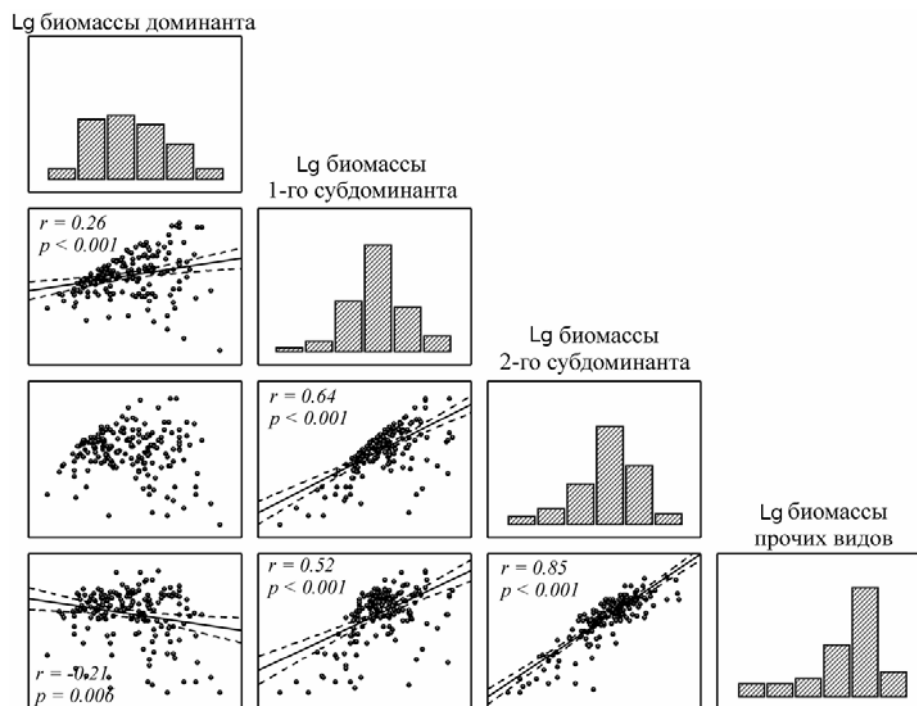


Рис. 2. Частотные распределения и корреляции логарифмов обилия доминантов, субдоминантов и суммы всех прочих видов эпипелагиали Охотского моря летом. Здесь и на следующем рисунке цифры – коэффициенты корреляции Пирсона (r) и статистическая значимость связи (p)

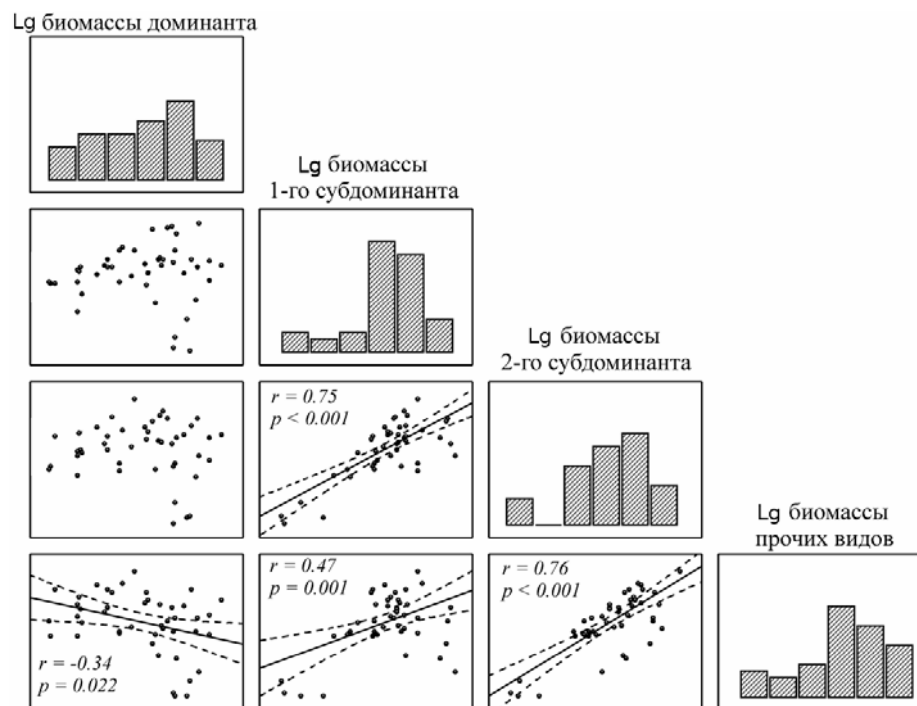


Рис. 3. Частотные распределения и корреляции логарифмов обилия доминантов, субдоминантов и суммы всех прочих видов мезопелагиали Охотского моря осенью

Этот факт может являться косвенным подтверждением отсутствия пищевой конкуренции между различными представителями макрофауны в пелагиали Охот-

ского моря, свидетельством того, что реализованная экологическая ёмкость среды здесь оказывается ниже потенциальной. Исключения, обнаруженные летом в эпипелагиали и осенью в мезопелагиали, вероятно, вызывают нектеры, мигрирующие из соседних акваторий.

Для установления видовой принадлежности доминантов и прочих видов, связанных обратной пропорциональностью летом и осенью в эпи- и мезопелагиали, соответственно, проведён анализ корреляций изменения относительного обилия видов рыб и беспозвоночных методом многомерного шкалирования.

Отмечено, что летом в эпипелагиали флуктуации обилия самого массового вида - минтая и других видов очень редко совпадают по фазе. А в мезопелагиали по всем районам осенью чаще всего обилие минтая и серебрянки изменяются в противофазе. Вместе с тем, состав близких и удалённых в проекциях многомерного шкалирования групп видов менялся по месяцам и районам. Среди всех рассмотренных месяцев лета и осени заметно выделился август по количеству видов в эпипелагиали и по структуре корреляций групп видов, которая может быть отражена только в трёх и более мерном пространстве. По-видимому, все это – результат сезонных миграций рыб.

При анализе многолетних изменений обилия массовых видов отмечено следующее:

- В 1986 г. летом суммарная биомасса во всех районах была максимальна. Доминантами в этот год были сельдь (до 98%) в северных районах (1-4), минтай (50%) в центральных и западнокамчатских районах (5-8) и серебрянка (69%) в южных районах (9-14).

- Через 11 лет в 1997 г. в ходе изменений биомасс летом появились вторые по амплитуде минимумы в северных районах (1-4) и вторые максимумы в других районах (5-14).

- Пики и провалы в динамике суммарного обилия в районах 5-8 и 9-14 совпадали летом в 1986, 1988 и 1996, 1997 гг., т.е. через 10-11 лет.

- Осенью в северных районах (1-4) минимумы обилия отмечены через 12 лет (1990, 2002 гг.). Уровень доминирования среднеразмерного минтая поднимался до второго субдоминанта в 1987, 1998 (через 11 лет) и 2006 гг.

- Осенью в южных районах (9,10,12,13) максимумы суммарной биомассы наблюдались через 13-14 лет (1985-1998, 1999 гг.).

Таким образом, обнаружена цикличность близкая к 11-летней, но, к сожалению, полноценный анализ имеющихся временных рядов провести не удалось. Длина и прерывность рядов такова, что даже определить тип стохастической модели методами автокорреляции и скользящего среднего не удаётся. Поэтому при прогнозировании первого же значения (на следующий год) доверительный интервал среднего оказывается почти равным всей наблюдавшейся вариации (Кулик, 2008).

В результате анализа совпадений временных рядов обилия видов и климатических индексов северной части Тихого океана было найдено большое число значимых корреляций как со сдвигом в несколько лет, так и без него.

В летний период времени в 9-м районе 45 корреляционных пар (7,6%) из 594 возможных были значимы на 95% уровне. Из них найдено только 4 «сильных» ($r > |0,8|$) коэффициента корреляции. В 10, 11 и 12 районах не найдено ни одной сильно связанной статистически значимой корреляционной пары, а количество значимых пар колебалось от 5 до 8%. В мезопелагиали 10 района¹ также из 432 корреляций значимы всего 6%, а сильных коэффициентов не обнаружено. В районах 13 и 14 было найдено всего по одной сильно связанной статистически паре. В этих районах количество слабосвязанных, но значимых корреляций было также мало, как и в предыдущих: в 13 районе – 6,8% от 648, а в 14 районе – 8,1% от 702.

В осенний период в каждом хорошо исследованном районе эпипелагиали было обнаружено по несколько корреляционных связей изменения обилия видов после изменения климатических индексов. В районе 9 с задержкой в 2 года флуктуировали синхронно, совпадая по фазе, изменения сибирского максимума и обилия симы ($R = 0,9$). Количество остальных значимых, но не сильных корреляций составляло 5,3% (43 из 810) от всех пар. Многие виды рыб в соседних районах образовали сильные статистически значимые корреляционные пары с разными климатическими индексами. Например, временные ряды обилия серебрянки и молоди терпугов в 12 районе совпадали с индексом сибирского максимума через 1-2 года, соответственно, а в соседнем 13 районе эти связи не были статистически значимы-

¹ К сожалению, в других районах исследования мезопелагиали длились менее 10 лет.

ми. Среди значимых корреляций большинство не поддаются логическому объяснению. Относительно общего числа всех корреляций (1026) доля слабых, но значимых корреляций по-прежнему низка (7,6%). В районе 13 найдена всего одна сильная корреляционная пара – кета и индекс арктической осцилляции, но в соседних районах эта же связь оказывается не значимой. Слабых корреляций было найдено 62 из 918, что в сравнении с другими районами и сезонами эпипелагиали так же мало (6,7%).

В мезопелагиали осенью во всех рассмотренных районах количество значимых корреляций было низко: во 2-м – 4,2% от 378, в 3-м – 7,9% от 378 и в 5-м – 8,0% от 486.

Следующим этапом исследования корреляционных зависимостей выбран канонический анализ найденных сильных корреляционных пар. Одна группа включала изменения всех индексов, другая – флуктуации обилия всех видов, образовавших хотя бы один раз сильную корреляционную пару с климатическими индексами. Таким образом, установлена только одна сильная значимая связь: (*Canonical R* = 0,83, *Chi*(70)=104,22, $p < 0,005$) между изменениями обилия молоди кеты и ме-дуз через 5 лет после изменений зимних значений индекса WP. Нужно обладать неординарной фантазией, чтобы придумать биологический смысл для этой «дальней связи».

Более слабая, чем предыдущая каноническая корреляция (*Canonical R* = 0,55, *Chi*(48) = 84,18, $p < 0,001$) обнаружена между изменениями индексов PDO, SI и флуктуацией обилия минтая и сельди в мезопелагиали осенью. Первая интерполяция в проекции этой 4-х мерной связи на оси двух индексов и обилие минтая выглядит хорошо подогнанной, но вторая не выдерживает никакой критики как из-за разброса точек, так и из-за отрицательного обилия сельди. Значит, эти корреляции мы также не можем считать достаточно надёжными.

Таким образом, несмотря на крупномасштабность применённых в сравнении климатических индексов, зафиксирован «корреляционный отклик» изменения обилия гидробионтов. Многие из этих корреляций не могут быть объяснены с биологической точки зрения, т.к. временной лаг оказывался дольше времени созревания или даже жизни гидробионтов. Наиболее сильные корреляции, которые могли бы

быть объяснены «дальними связями», оказались различными для одних и тех же видов в соседних районах. Общее количество значимых корреляций не превышало 9% по районам. В результате канонического анализа всех найденных сильных корреляционных пар установлена только одна сильная статистически значимая связь, но она не может быть интерпретирована с биологической точки зрения. Значит, крупномасштабные климатические индексы не могут быть надёжными предикторами для краткосрочного прогнозирования изменений обилия всех исследованных видов рыб и беспозвоночных пелагиали Охотского моря.

Глава 4. Корреляции изменений биологических главных компонент обилия рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря в связи с гелиофизическими и климато-океанологическими факторами

В этой главе рассмотрена многолетняя динамика оценок факторов, экстрагированных из динамики обилия всех групп видов животных, встречавшихся на пелагических траловых станциях, по сезонам (лето и осень) и группам биостатистических районов (см. рис. 1). В работе представлены таблицы значимых корреляционных коэффициентов Спирмэна (ρ), найденных между флуктуациями обилия рыб и беспозвоночных и изменениями абиотических факторов – количества пятен на Солнце, преобладания типов атмосферной циркуляции над Охотским морем и ЭОФ полей температуры воды в Охотском море. Ранговый коэффициент корреляции (ρ) выбран в качестве меры сходства, потому что достоверно определить нормальность выделенных рядов факторных оценок БГК не представлялось возможным из-за малого количества точек на временной шкале (от 6 до 14 лет¹).

В настоящей работе к уже опубликованным ранее результатам (Кулик, 2007) добавлены результаты сравнительного анализа флуктуаций БГК в связи с изменениями гидрологических компонент ЭОФ.

4.1. Межгодовые изменения в динамике биологических главных компонент в летний период

При сравнении изменений в биологических и абиотических индексах учтены временные лаги до 5 лет. Это допущение необходимо, потому что рассмотреть динамику отдельных возрастных групп гидробионтов из выделенных «биологических

¹ Ряды короче 5 лет не рассматривались.

индексов» не представляется возможным, приходится учитывать влияние условий среды на выживание рыб во время самых уязвимых (ранних) стадий онтогенеза, опосредованно: через вклад поколений в общую биомассу через несколько лет, когда выжившая молодь вырастает и набирает вес. Большинство рассматриваемых видов приближаются к среднему весу взрослых особей в течение пяти лет и раньше.

Все значимые коэффициенты корреляции, обнаруженные между изменениями БГК и факторами среды – количеством солнечных пятен, преобладанием типов атмосферной циркуляции и гидрологическими ГК, за летний период приведены в табл. 1, а за осенний в табл. 2.

На северо-востоке (районы 1, 2) достаточно трёх ГК для описания большей части (57%) вариации изменений обилия всех групп видов. Максимально схожей динамикой обилия с динамикой БГК обладает единственный вид, попадавший и в тройку доминантов, и лучше всего облавливаемый в верхней эпипелагиали летом – кета. В результате выявленные ГК из динамики обилия всех видов (посредством вращения осей до максимальных отличий) оказались похожими по частоте, фазе и амплитуде. Следовательно, даже «виртуальные биологические индексы» также, как это было показано в главе 3 на примере корреляционного анализа изменений обилия массовых и прочих видов, склонны к одинаковым изменениям.

С изменениями первой и третьей гидрологических компонент не обнаружено ни одного достоверного совпадения. Результат оказался вполне ожидаемым, потому что сами гидрологические компоненты в этих районах имеют слабую связь с температурой воды. Без временного сдвига влияние второй гидрологической компоненты сказывается на соответствующих изменениях третьей БГК с которой наиболее тесно связано изменение обилия бычка-бабочки и сахалинской камбалы¹. Через 3 года изменения в обилии круглопёра Солдатова, звёздчатой камбалы и молоди мойвы начинают повторять прошедшие изменения второй компоненты разложения полей температуры.

¹ Следует отметить, что придонные виды попадались в пелагиали потому, что некоторые из них периодически поднимаются в толщу воды, т.е. являются временными, но существенными компонентами пелагических ихтиоценов.

Таблица 2

Значимые коэффициенты корреляции Спирмена оценок факторов групп видов Охотского моря осенью с типами атмосферной гидросферной циркуляции и солнечной активностью

Типы циркуляции и солнечная активность	Верхняя эппелагаль													Вся эппелагаль																									
	Районы 9,10,12,13													Районы 1-4													Районы 7-8												
	Факторы (бГК)													Факторы (бГК)													Факторы (бГК)												
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6																
I-0	-	-	-0,6	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,7																
I-1	0,7	-	-0,7	-	-0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
I-2	-	-	-0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
I-4	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
II-0	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
II-1	-	-	-	-0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
II-2	-	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
II-4	-	-	-	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
III-0	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	0,7																
III-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
III-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7																
III-4	-	-	0,6	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	0,7																
IV-5	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-0,7	-	-	-	-	-	-	-0,9	-	-	-	-	-																
V-2	-	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,7	-	-	-	-																
V-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,8																
V-5	-	-	-	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,8																
VI-0	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
VI-1	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
VI-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-																
VI-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-																
VII-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,8																
VII-1	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
VII-2	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
VII-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,7																
VII-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																
VII-5	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																

Чаще других с изменениями факторов среды связаны БГК 3, 5 и 6. С этими БГК теснее всего связана динамика обилия желтопёрой и сахалинской камбал, молоди кижуча и чавычи, средне- и крупноразмерных северных кальмаров гонатопсисов.

В южных районах (9-14) заметно отделялись от большинства всего 3 БГК, но с ними связано всего 20% общей вариации обилия видов. С выделенными БГК сильнее других связано обилие видов, не попадавших в тройку доминантов – тех, для которых верхняя эпипелагиаль не является основным биотопом. Так, с первой БГК сильнее всего коррелируют относительные плотности хищных рыб – короткопёрой колючей акулы, тихоокеанского чёрного палтуса, широколобого шлемоносца и северной креветки, со второй мезопелагических рыб – светлопёрого стенобраха, охотского липолага, диафа-тета и кальмара гонатопсиса японского, а с третьей – японского волосозуба. На фоне больших амплитуд колебаний оценок других БГК третий биологический фактор, начиная с 1988 г., остаётся стабильным. При рассмотрении относительной динамики факторных оценок можно отметить появление амплитудных пиков, несовпадающих по годам с 11-летней периодичностью общего обилия nekтона и макропланктона в верхней эпипелагиали (1986, 1997 гг.). Вместе с тем, выделяются общие для большинства факторов всплески оценок с интервалом в 4 года (1991, 1995 и 1999 гг.).

Чаще других с факторами среды связаны изменения оценок третьей БГК. С динамикой оценок этой ГК теснее всего связана динамика обилия японского волосозуба, круглопёров и тихоокеанской наваги.

4.2. Межгодовые изменения в динамике биологических главных компонент в осенний период

В динамике абсолютных оценок выбранных факторов не наблюдается каких-либо общих тенденций. При анализе нормализованных факторных оценок обращает на себя внимание тот факт, что осенью в 1998 и 1999 гг., когда в южных районах суммарная биомасса была максимальной за период с 1987 года, доли оценок были максимальными и у большинства факторов по всем районам.

Во всех районах самый стабильный – первый фактор. К нему по динамике обилия ближе всего шаровидный круглопёр и креветки в северных районах, сельдь и тима сахалинская в западнокамчатских районах, сельдь и бычок бабочка в юж-

ных районах. У всех видов по всем районам, входивших в тройку доминантов хотя бы раз, только у среднеразмерной кеты (1 вид из 28 массовых) обнаружена значимая ($p = 0,1$) связь с выделенными БГК.

В северной части эпипелагиали Охотского моря (районы 1-4) динамика БГК значимо совпадала с изменениями количества пятен на Солнце у четвертой БГК через 5 лет и третьей БГК через без лага и через 1 год – отрицательно и через 4 и 5 лет – положительно (см. табл. 2). Изменения оценок первой БГК были похожи на ход атмосферной циркуляции, как с временным сдвигом (4 и 5 лет), так и без него. На изменения второй БГК рассмотренные условия среды достоверно не влияли. Остальные БГК с условиями среды значимо не коррелировали при сдвиге в 2 и 3 года, а через 5 лет количество значимых корреляций было наибольшим. С БГК3 теснее всего связана динамика обилия многоиглого керчака, дальневосточной лисички и морских слизней.

В эпипелагиали западно-камчатских районов (7 и 8) изменения БГК среди исследованных статистических связей между гидрологическими компонентами и «биологическими факторами» наибольшее число значимых корреляций у первой без временного сдвига осенью в верхней эпипелагиали (4 сильных из 17 возможных). Количество остальных корреляций не превышало 2 в ряду.

В заключении четвертой главы результаты многомерного факторного анализа (ГК), сведены к следующему.

- По всем факторам групп видов в пределах одной оси почти нет видов, имеющих противоположные знаки коэффициентов корреляций¹. Это говорит о том, что в многомерном пространстве достоверно альтернативных групп видов не найдено. Тем не менее, ярко выраженная альтернативность отдельных видов в Охотском море, например, противофазная пара: минтай-сельдь давно известна и в том числе доказана статистически (Волвенко, 2004) с использованием тех же данных, что положены в основу настоящей работы, но другим методом и с привязкой не к биостатистическим районам, а к одноградусным трапециям.

- Количество выделенных БГК достаточно для описания большей части разнообразия изменений всех групп видов, но динамика оценок этих факторов

¹ Сами оси между собой не должны быть значимо скоррелированы, исходя из методики выделения факторов.

очень слабо связана с динамикой обилия доминантов. Скорее всего, доминирующие виды обладают уникальной динамикой обилия, не похожей на общую. Ранее уже высказывалось предположение о том, что заметные перестройки в ихтиоценозах затрагивают только доминирующие виды (Шунтов, Темных, 2008 а, б).

- Летом количество ГК увеличивается в направлении южных районов, а осенью, наоборот, – северных. Другими словами, система групповых взаимосвязей сложнее летом в южных районах, а осенью в северных.

Результаты корреляционного анализа подытожены следующим образом:

- количество значимых коэффициентов корреляций всех факторов групп видов (бГК) с факторами среды максимально летом через 3 года, а минимально – осенью через 3 года. Вероятно, эта задержка необходима для набора значимого веса большинством реагирующих на изменения факторов видов;

- количество корреляций между изменениями факторов среды (солнечная активность, атмосферные и гидрологические компоненты) и флуктуацией бГК с учётом временных сдвигов до 6 лет чрезвычайно мало: летом всего отмечено 6,5% из 1320 всех возможных случаев, а осенью 5,7% из 1122. Следовательно, в отличие от долгосрочного, для краткосрочного (ежегодного) прогнозирования состояния большинства размерно-таксономических групп рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря, рассмотренные абиотические факторы малопригодны.

ВЫВОДЫ

1. Многолетние флуктуации биоресурсов пелагиали Охотского моря зависят от небольшого числа видов рыб. За время исследований в различных районах моря первую тройку наиболее массовых видов составляли чуть более 30 видов. Чаще всего среди них оказывались рыбы – минтай, сельдь, серебрянка и тихоокеанские лососи. Беспозвоночные попадают в разряд доминантов и субдоминантов только с начала 1990-х гг. – после существенного снижения обилия минтая на севере и сардины на юге. Суммарная доля всех прочих (более 250 не входящих в разряд доминантов и субдоминантов) видов в среднем составляет всего 17% биомассы макрофауны пелагиали.

2. В пелагиали Охотского моря многолетние флуктуации обилия доминантов, субдоминантов и прочих видов, как правило, происходят одновременно и совпадают по фазе. Это свидетельствует о том, что в регуляции численности рыб и

беспозвоночных преобладает влияние не биотических (пищевых, конкурентных), а биотопических абиотических факторов. По-видимому, они лимитируют численность гидробионтов на наиболее уязвимых ранних стадиях развития гидробионтов, не рассмотренных в настоящей работе.

3. В динамике биомассы рыб и беспозвоночных с размерами тела не менее 1 см (макрофауна) выявлены колебания с периодичностью близкой к 11-летней, а также с 3-5-летней. Для корректного анализа первых пока недостаточно исходных данных. Вторые совпадают со сроками, необходимыми большинству видов для подрастания молоди и достижения среднего веса взрослых особей.

4. По обилию одних видов невозможно судить об обилии остальных, поскольку флуктуации численности отдельных видов оказывались противофазными, синфазными и независимыми в разных районах и месяцах. При этом достоверно альтернативных групп видов не обнаружено, а доминирующие виды, обладают уникальной динамикой обилия, непохожей на общую.

5. Для краткосрочного ежегодного прогнозирования обилия рыб и других представителей макрофауны в пелагиали Охотского моря малопригодны рассмотренные в работе абиотические факторы: солнечная активность, климатические индексы, преобладание типов атмосферной циркуляции над Охотским морем и ЭОФ полей температуры воды. Статистический анализ рядов с временным сдвигом от 0 до 5 лет выявил чрезвычайно малое число достоверных связей этих факторов с обилием гидробионтов. При этом некоторые значимые корреляции оказались различными по знаку даже в соседних районах, другие – не имеют биологического смысла и не поддаются логическому объяснению.

6. Таким образом, на данном этапе развития экосистемных исследований единственным надёжным способом прогнозирования динамики обилия биоресурсов пелагиали Охотского моря пока остаются тотальные учёты их численности и биомассы при проведении регулярных комплексных учётных съёмок.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Коллективные монографии

1. Атлас количественного распределения nekтона в Охотском море / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. М.: Изд. «ФГУП Национ. рыбн. ресурсы».

2003. 1040 с. (Авторы: В.П. Шунтов, Л.Н. Бочаров (отв. редакторы), И.В. Волвенко, О.А. Иванов, И.И. Глебов, О.С. Темных, А.Н. Старовойтов, А.Ю. Мерзляков, В.В. Свиридов, **В.В. Кулик**)

2. Нектон Охотского моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов. / Под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. - Владивосток: ТИНРО-центр, 2003. – 643 с. (Авторы: В.П. Шунтов, Л.Н. Бочаров (отв. редакторы), И.В. Волвенко, О.А. Иванов, И.И. Глебов, О.С. Темных, А.Н. Старовойтов, А.Ю. Мерзляков, В.В. Свиридов, **В.В. Кулик**).

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах

3. **Кулик В.В.** Многолетняя динамика относительного обилия нектона и макропланктона в верхних слоях пелагиали Охотского моря. // Изв. ТИНРО. – 2007. Т. 150. – С. 56-85.
4. Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., **Кулик В.В.**, Никитина М.А., Голычева И.В. Модификация метода интервальной математики применительно к прогнозу экстремальной ледовитости в Охотском море // Вестн. ДВО РАН. 2002, №4. – С. 111-118.

Работы, опубликованные материалах региональных, общероссийских, международных научных конференций и симпозиумов

5. **Кулик В.В.** Стохастические и детерминированные процессы в динамике доминирования видов в нектонных сообществах пелагиали дальневосточных морей с 1980-х гг. Современное состояние водных биоресурсов: материалы научной конференции, посвященной 70-летию С.М. Коновалова. — Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. – С. 143-147.