

УДК 639.2

Д.Б. Прокопьева

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МНОВИДОВОГО РЫБОЛОВСТВА

Представлены теоретические основы регулирования многовидовых промысловых сообществ посредством математического моделирования, анализа и развития методологии экосистемного подхода с учетом многовидовых отношений и выбора промысла, задач введения в практику многовидового рыболовства, модельного анализа многовидовых рыбных промыслов.

Ключевые слова: многовидовое рыболовство.

D.B. Prokop'eva

RESEARCH OF MODELS OF MULTIFISHERY

Work is devoted studying of theoretical bases of regulation of multispecific trade communities by means of mathematical modeling, the analysis and methodology development ecosystem's the approach taking into account multispecific relations and a choice of a craft, introduction problems in practice of multifishery, the modeling analysis of multifishing.

Key words: multifishery.

В настоящее время широко обсуждается проблема об интенсификации многовидового рыболовства. Многовидовое рыболовство – это рыболовство, организация и техническое оснащение которого приводят к изъятию нескольких видов гидробионтов. Изучение поведения гидробионтов, технологии управляемого промысла, технологии глубокой обработки уловов, проектное управление рыбохозяйственным комплексом – важные составляющие многовидового рыболовства.

В резолюции Второго международного съезда рыбаков «Сохранение и рациональное использование водных биологических ресурсов: баланс интересов государства и бизнеса» (19.09.2007) отмечается, что «рациональное и долгосрочное использование запасов водных биологических ресурсов Мирового океана является одной из составляющих решения вопроса обеспечения продовольственной безопасности населения планеты, новым стратегическим вызовом для человечества; в мировом рыболовстве вылов традиционных морских биоресурсов находится на максимально допустимом уровне, запасы этих объектов сильно истощены, увеличение их добычи повлечет за собой необратимые биологические и экономические последствия; несмотря на существенное развитие в мире аквакультуры, на настоящий момент производство культивируемых гидробионтов не может полностью заменить использование природных биоресурсов; без радикальных изменений в политике управления рыбными ресурсами невозможно развивать и увеличивать уровень мировой добычи водных биоресурсов».

Предлагается создавать условия для сохранения и рационального комплексного использования водных биологических ресурсов, перехода от интенсивного изъятия традиционных морских ресурсов к рациональной устойчивой эксплуатации морских биоресурсов, основанной на экосистемном подходе к их изучению. А также использовать научные методы прогнозов рыбопромысловых запасов и придерживаться научных рекомендаций по экологически допустимым объемам вылова, переходить на технологии многовидового рыболовства и полного комплексного использования вылова водных биоресурсов.

Следовательно, исследование и разработка методов рационального использования промысловых биоресурсов, методико-математического обеспечения многовидового промысла актуальна. Необходимо ставить и решать взаимосвязанно задачи управления флотом:

1. Прогнозирование сырьевых ресурсов как в долгосрочном, так и в текущем и оперативном временном масштабе. Величины этих оценок и их точность обуславливают выбор промысловых районов, видов объектов промысла, объемы и продолжительность работы флота в конкретных районах по конкретным видам сырья.

2. Оптимальные плановые задания флоту с определением состава и количества судов, наиболее эффективные нагрузки вылова, соответствующие оптимальным значениям экономических показателей эффективности.

3. Методы выполнения оптимальных планов заданий – определение режимов работы флота, типов орудий лова, конкретных действий руководства по расстановке судов.

4. Объемы и виды снабжения, графики выпуска продукции обрабатывающим флотом, графики подхода и состав транспортных судов и т.д.

При этом комплексное системное управление морскими биоресурсами должно практически реализовываться в виде многовидовых или системы взаимоувязанных специализированных промыслов [1], [2].

Задачей введения в практику многовидового рыболовства занимаются исследователи на Камчатке. А.В. Буслев в статье «Многовидовое рыболовство на Камчатке – от браконьерства к легальному промыслу» отмечает, что такое рыболовство всегда существовало.

Автор предлагает применять условия для полного учета и обработки уловов: «вообще отказаться от практики наделения квотами судов, а вместо этого предлагаем выделять промысловое время, т.е. определенное количество судосудок, которое можно провести на промысле. При этом вся добытая рыба – это собственность рыбаков, вне зависимости от состава и количества улова. Предлагаемая мера квотирования промыслового времени основывается на четких представлениях о запасах эксплуатируемых ресурсов, сезонной динамике состава уловов, интенсивности промысла и промысловых показателей флота». По мнению автора, ограничение во времени будет стимулом сохранять весь добытый сырец и заставит рачительно подходить к его обработке. «Поскольку все, что поймал – твое, то и выгоду из пойманного будут стараться извлечь максимальную. Это, в свою очередь, приведет к полной обработке уловов и выпуску более дорогостоящей продукции». А отсутствие ограничивающего набора квот в рыболовном билете не будет способствовать сокрытию уловов, что позволит иметь достоверную информацию о количественном и качественном составе уловов. Облегчится контроль, так как контролировать промысловое время гораздо легче, чем выбор квоты. Следует заметить, что мера лимитирования числа дней на промысле уже имеет положительные примеры. Такая система, введенная на Фарерских о-вах, позволяет рыбакам брать все, что попадает в орудия лова. В результате улов стал полностью отражаться в отчетных данных. Это позволило наладить мониторинг промысла, что привело к росту запасов рыб [3].

Одновременно с введением регулирования промысла по времени необходимо настаивать на условии, чтобы добытая рыба обрабатывалась на береговых предприятиях. Последнее и предусматривается Законом РФ «О рыболовстве». Это важный аспект, поскольку мощности береговых предприятий позволяют хранить и перерабатывать большие объемы биоресурсов, производить глубокую и полную переработку сырца. Помимо этого, затрагиваются вопросы занятости населения, выплачиваемости налогов и другие аспекты социального характера.

Методические подходы к организации многовидового рыболовства заключаются в том, что главной и первоочередной задачей является определение запасов и величин ОДУ рыб, которые эксплуатируются промыслом. При расчете промыслового времени для многовидового рыболовства отталкиваются от основных объектов. Исходя из величины среднесуточного улова и видового состава уловов, рассчитывают общее количество промыслового времени (судосуток), которое понадобится для изъятия установленного ОДУ. Затем это время распределяется между рыбопромысловыми организациями.

Модельный анализ многовидовых рыбных промыслов предлагают А.И. Абакумов, Л.Н. Бочаров, Е. П. Каредин, которые рассматривают три математические модели: «Распределение квот», «Реализация квот», «Реализация ОДУ для заданного РВ».

Первая модель описывает процесс приобретения квот субъектами промысла и механизм максимизации эффективности использования приобретенных квот.

$$\pi_k = \sum_{i=1}^m \gamma_{ik} [-p_i(U_{ik}) - s_{ik} + q_{ik}(U_{ik})] \rightarrow \sup_{(U_{1k} \dots U_{mk})} \quad (1)$$

при условии $\sum_{k=1}^n U_{ik} \leq U_i$, где U_{ik} – годовая квота объекта i способом k ; U_i – годовой ОДУ для объекта i ; $p_i(U)$ – стоимость квоты объема U для объекта промысла i ; $s_{ik}(U)$ – затраты для объекта i в промысле способа k при вылове объема U ; $q_{ik}(U)$ – ожидаемый доход для объекта i в промысле способа k при вылове объема U ; $\gamma_{ik} \in [0, 1]$ – предпочтительность объекта i для способа k .

Индексы $i, j = 1, \dots, m$ соответствуют объектам промысла, $k = 1, \dots, n$ – способам промысла.

Данная задача решается методами оптимизации.

Вторая модель посвящена оценке реального вылова на основе ОДУ в предположении неизменности промысловых запасов. С помощью такой модели можно:

1. Анализировать изменения в промысловом сообществе, например, в течение года.
2. Рассматривать определенный район промысла.

Годовой ОДУ U_i определяется на основе научных прогнозов и задается в начале года. А на основе данных о выловах разрешенных объектов и приловах вычисляется реальный вылов, который сравнивается с ОДУ. Рассматривается один год: $t \in [0, 1]$. Пусть $\varphi_j(t)$ – функция интенсивности промысла объекта j в течение года:

$$\int_0^1 \varphi_j(t) dt = 1, \quad (2)$$

$\varphi_j(t)$ – кусочно-непрерывная на $[0, 1]$.

Тогда временное распределение квоты U_{ik} в течение года:

$$x_{jk}(t) = U_{jk} \cdot \varphi_j(t). \quad (3)$$

Годовой вылов способом k вычисляется из связи его с квотами:

$$y_{ik}(t) = F_{ik}(x_{ik}(t)). \quad (4)$$

Предлагается конкретизировать эту формулу так:

$$y_{ik}(t) = \sum \frac{1}{\beta_{ijk}} \alpha_{ijk}(t) x_{jk}(t), \quad (5)$$

где $\alpha_{ijk}(t)$ – доля объекта i в промысле способа k при квоте на объект j ; $\beta_{ijk} \in [0, 1]$ – коэффициенты достоверности данных о промысле.

Тогда годовой реальный вылов объекта i вычисляется по формуле

$$V_i = \sum_{k=1}^n \int_0^1 y_{ik}(t) dt. \quad (6)$$

После подстановок получают:

$$V_{ik} = \sum_{j=1}^m a_{ijk} U_{jk}, \quad (7)$$

$$V_i = \sum_{j,k=1}^{m,n} a_{ijk} U_{jk}, \quad (8)$$

$$\text{при } a_{ijk} = \int_0^1 \frac{\alpha_{ijk}(t)}{\beta_{ijk}(t)} \varphi_j(t) dt. \quad (9)$$

Авторы отмечают, что для применения формул оценки реального вылова необходимо знать коэффициенты a_{ijk} , которые должны быть рассчитаны на основе средне-многолетних показателей $\alpha_{ijk}(t)$, $\beta_{ijk}(t)$, $\varphi_j(t)$. Параметры β_{ijk} соответствия реальных выловов авторы предлагают для первого шага расчетов положить $\beta_{ijk}(t) \equiv 1$. А ключевыми параметрами являются $\alpha_{ijk}(t)$, оценки которых составляют основную проблему.

Третья модель решает проблему реализации ОДУ, т.е. необходимо определить такие годовые ОДУ, чтобы в результате промысла получился заданный реальный вылов.

Предлагается решать эту задачу с использованием недалекого по времени аналога промысла. Пусть для некоторого вектора ОДУ \tilde{U} были рассчитаны квоты $(\tilde{U}_{ik})_{i,k=1}^{m,n}$ и РВ \tilde{V} в относительно недалекий год. Вектор $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_m) \geq 0$ такой, что искомый ОДУ U_i можно представить в виде $U_i = \gamma_i \tilde{U}_i$.

Тогда для любого $k = 1, 2, \dots, n$ выполняется $U_{ik} = \gamma_i \tilde{U}_{ik}$.

Обозначим

$$b_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ijk} \tilde{U}_{jk}. \quad (10)$$

Следовательно, задача вычисления ОДУ сводится к вычислению вектора γ из соотношения $B\gamma = V$, где $B = (b_{ij})_{i,j=1}^m$. Если матрица B невырожденная, то точное решение находится из соотношения

$$\begin{aligned} \gamma &= B^{-1}V, \\ \gamma &\geq 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Если матрица вырожденная или $\gamma \leq 0$, то решение надо искать из условия

$$\|B\gamma - V\| \rightarrow \inf_{\gamma \geq 0}. \quad (12)$$

В этом случае вычисления γ получают приближенную оценку ОДУ [4].

Разработкой теоретических основ регулирования многовидовых промысловых сообществ с учетом межвидовых отношений посредством математического моделирования, анализа и развития методологии экосистемного подхода с учетом многовидовых отношений и выбора промысла занимались многие исследователи: А.Н. Державин, Г.В. Никольский, Г.Н. Монастырский, Н.Н. Андреев, А.В. Засосов, У. Рикер, М. Шефер, Д. Бивертон, С. Холт, Д. Галланд, В.Н. Мельников, И.В. Никоноров, Дж. Шепард, Дж. Поуп, Р.Г. Бородин, В.К. Бабаян, Д.А. Васильев, П.С. Гасюков, Ю.Н. Ефимов, В.Л. Третьяк и др.

Использование математических моделей (ММ) для анализа многовидового сообщества связывают с работами В. Вольтерра (Volterra, 1931; Volterra and d'Ancona, 1935), в которых модели динамики популяций в виде систем дифференциальных уравнений построены с учетом разных типов взаимодействий видов в сообществе. Непосредственным развитием такого подхода для анализа динамики промыслового сообщества послужили многовидовые продукционные модели промысловых сообществ, разработанные Т.И. Булгаковой.

1. Модель логистического роста популяции.
2. Модель экономической прибыли.
3. Координаты точки равновесия экосистемы.
4. Уравновешенный годовой вылов каждого вида за год (для двух видов).
5. Варианты регулирования промысла (жертвы – ценный промысел, хищники – ценный промысел).

Отличительные черты этой группы простых моделей сложных экосистем: относительная простота их исследования, возможность оценки параметров по промысловым данным и возможность анализа.

Предполагается, что эксплуатируется экосистема, реально существующая в природе в течение долгого времени, потому выбрана простейшая модель *хищник-жертва*, имеющая устойчивую точку равновесия, а именно:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1(a_1 - bx_1 - cx_2) - F_1x_1; \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2(a_2x_1 - M) - F_2x_2; \end{cases} \quad (13)$$

где x_1 – численность вида-жертвы; x_2 – численность вида-хищника; a_1 и b – параметры роста популяции жертв в условиях лимитирующей среды; коэффициент смертности

от хищников cx_2 представлен «вольтеровским» членом; коэффициент воспроизводства хищников a_2x_1 пропорционален численности вида жертв; M – постоянный коэффициент естественной смертности хищников; F_1 и F_2 – коэффициенты промысловой смертности. Согласно этой модели второй вид при отсутствии жертв вымирает.

Проблема оптимального управления сообществом в целом приводит к необходимости выбора вида критериальной функции, например, в виде взвешенной суммы уловов двух видов. Более общий вид критериальной функции получается при выборе ее в виде зависимости годовой экономической прибыли промысла двух видов в равновесном режиме от значений F_1 и F_2 . В простейшем случае, если два специализированных промысла ведутся независимо, экономическая прибыль выражается формулой

$$P(F_1, F_2) = A_1 F_1 (M + F_2) / a_2 + A_2 F_2 (D - a_2 F_1 - b F_2) / c a_2 - B_1 F_1 - B_2 F_2, \quad (14)$$

где $D = a_1 a_2 - bM > 0$.

Параметры A_1 и A_2 – стоимость единицы вылова I и II популяции,

B'_1 и B'_2 – затраты на единицу промыслового усилия E_1 и E_2 соответственно; тогда при $F_i = q_i E_i$ ($i = 1, 2$) при постоянных q_i параметры $B_i = B'_i / q_i$ – постоянные величины. Показано (Булгакова, 1977; 1999), что функция прибыли не имеет максимума в допустимой области, и в зависимости от соотношений параметров модели ее наибольшее значение достигается на одной из границ области. В частном случае при $A_1 = A_2$ и $B_1 = B_2 = 0$ функция экономической прибыли представляет собой сумму уловов двух видов [5].

По мнению автора, при разработке рекомендаций по регулированию промысла необходимо учитывать взаимоотношения видов, иначе можно нарушить структуру ЭС. Особенно осторожно следует вести промысел запасов, относящихся к нижним трофическим уровням. Чрезмерная эксплуатация популяции верхнего трофического уровня может уничтожить эту популяцию, а крупномасштабный промысел запаса нижнего уровня может разрушить всю трофическую пирамиду.

Выводы

1. Модель «Распределение квот» описывает процесс распределения квот на промысел. Она дана в общей постановке. В модели «Реализация квот» приведены формулы вычисления реального вылова для каждого объекта промысла. Модель «Реализация ОДУ для заданного реального вылова» представляет собой обратную задачу по отношению ко второй, т.е. получить в качестве реального запланированный вылов. Данные модели реализовывают анализ и планирование промысла морских биоресурсов. Но коэффициенты, используемые в моделях, должны рассчитываться на многолетних данных. Оценки этих коэффициентов общие. Поэтому данные модели можно использовать для получения обобщенных результатов, важных для государства. А при планировании работы одной фирмы, одного подразделения эти оценки могут давать неадекватные результаты, потому что для каждого предприятия данные характеристики и коэффициенты индивидуальны. Возможно, некоторые из них не используются в моделях.

2. Проблема оптимального управления сообществом в целом приводит к необходимости выбора вида критериальной функции, например, в виде взвешенной суммы уловов двух видов. Общий вид критериальной функции получается при выборе ее в ви-

де зависимости годовой экономической прибыли промысла двух видов в равновесном режиме от значений F_1 и F_2 – коэффициентов промысловой смертности. Данная функция имеет наибольшее и наименьшее значения на границе области. Недостаток данной функции в том, что ее можно использовать только для двух популяций.

Список литературы

1. Осипов Е.В. Модель расчета распределения квот между судами рыболовного предприятия [Текст] / Е.В. Осипов, Е.Г. Лаврушкина, Г.С. Павлов // Проблемы современного естествознания. Рациональное использование водных биоресурсов: науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, КамчатГТУ, 2006. – С. 92-94.
2. Мизюркин М.А. Разновидовой промысел [Текст] / М.А. Мизюркин, А.В. Мизюркина, В.А. Татарников, А. Пак. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. – 139 с.
3. Буслов А.В. Многовидовое рыболовство на Камчатке – от браконьерства к легальному промыслу [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://www.kamniro.ru/> ФГУП «КамчатНИРО». Дата обращения 12.12.2010 г.
4. Абакумов А.И. Модельный анализ многовидовых рыбных промыслов [Текст] / А.И. Абакумов, Л.Н. Бочаров, Е.П. Каредин // Изв. ТИНРО. – 2004. – Т. 138. – С. 220-224.
5. Булгакова Т.И. Регулирование многовидового рыболовства на основе математического моделирования [Текст] / Т.И. Булгакова. – М.: ВНИРО, 2009. – 252 с.

Сведения об авторе: Прокопьева Дина Борисовна, старший преподаватель, e-mail: prokopievad@yandex.ru.