

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 639.2.055.4

МОДЕЛИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СМЕШАННОГО ПРОМЫСЛА

© 2015 г. Т. И. Булгакова

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, Москва, 107140
E-mail: tbulgakova@vniro.ru*

Поступила в редакцию 19.05.2015 г.

Поскольку в большинстве случаев на промысле одновременно работают суда разной мощности и с разными орудиями лова и они одновременно вылавливают несколько видов, необходимо переходить от регулирования по общему допустимому улову одновидового промысла к регулированию смешанного промысла. Понятно, что при смешанном промысле невозможно требовать одновременного выполнения установленных квот разных видов. Возможны разные стратегии рыбаков, как, например, остановить промысел, когда будет выбрана квота только одного из видов, но тогда остальные виды будут недоловлены, что экономически невыгодно. Другой простой вариант: после достижения квоты одного вида продолжить промысел, пока не будут выполнены квоты всех видов. Такая стратегия приведет к перелову нескольких видов и к выбросам части уловов. В статье описаны некоторые подходы к решению этой задачи, причем более подробно рассмотрен принятый рабочей группой ИКЕС (Международный Совет по исследованию моря) метод Fcube (fleets and fisheries forecast).

Ключевые слова: моделирование, смешанный промысел, регулирование.

Методология регулирования рыболовного промысла детально разработана для случая одной изолированной популяции. Но в большинстве случаев в одном районе одновременно работают суда нескольких государств, имеющие различные размеры и мощности и оснащенные орудиями лова разного типа. В то же время даже суда одного и того же промыслового комплекса (этот термин означает сочетание типа судна и типа орудия лова) часто одновременно вылавливают несколько разных видов. Такой промысел российские авторы называли многовидовым, но в последние годы в зарубежных работах по моделированию промысловых запасов принят термин смешанный промысел — mixed fishery. В дальнейшем, если при моделировании не учитываются трофические взаимоотношения между промысловыми видами, то сами взаимоотношения видов через орудия лова называют техническими или технологическими, а промысел — смешанным. Если же модель промыслового сообщества учитывает

и технологические, и биологические отношения видов (или только биологические), то промысел будем называть многовидовым.

В Отчете рабочей группы ИКЕС по смешанному промыслу (Report..., 2009) даются следующие определения.

Сегмент флота (далее — флот) — группа судов одного размерного класса и с одним доминирующим орудием лова в течение года (или другого интервала времени, например квартала). Одни и те же суда могут иметь разную активность в данные сезоны года, но могут быть отнесены только к одному сегменту.

Метье — группа промысловых операций, которые направлены на подобные виды (или на сообщество), использующих подобные орудия лова в течение того же периода и /или в том же районе и характеризующихся подобным распределением промысловой смертности по возрастам (fishing pattern).

Термин «флот», используемый в англоязычной литературе, эквивалентен при-

нятому в России термину «промысловый комплекс».

Модели многовидового, или смешанного, промысла разрабатывали разные авторы начиная с 1980-х гг. Например, модель двух биологически взаимодействующих однородных популяций (Pore, Harris, 1975) описана системой двух дифференциальных уравнений, причем популяции могут взаимодействовать по типу хищник—жертва или конкурировать за пищу, а тип взаимодействия зависит от знаков параметров c_i . Модель применена авторами для двух конкурирующих за пищу популяций Юго-Восточной Атлантики — сардины и анчоуса, где P и R — соответственно биомассы анчоуса и сардины:

$$\frac{dP}{dt} = P(A_1 - B_1P - C_1R) - F_A,$$

$$\frac{dR}{dt} = R(A_2 - B_2R - C_2P) - F_C R.$$

В качестве входной информации авторы использовали полученные методом одновидового виртуально-популяционного анализа (ВПА) временные ряды $P(t)$, $R(t)$ и $F(t)$ — коэффициенты промысловой смертности для каждого вида, затем при условии равновесия системы (т.е. при $dP/dt = dR/dt = 0$) оценивали с помощью регрессионного метода значения шести постоянных параметров A , B , C . Такой метод оценки параметров не совсем корректен, поскольку одновидовой метод ВПА не учитывает межвидовых отношений и потому дает смещенные оценки запасов. Затем на плоскости $\{F_A, F_C\}$ была построена область допустимого управления и показано, что на этой плоскости существуют области значений промысловой смертности, где один или другой вид могут исчезнуть.

В наших работах (Bulgakova, Kizner, 1986; Булгакова, Кизнер, 1987) предложена двухвидовая динамическая продукционная модель, параметризованная на данных международного промысла в районе Намибии за период 1974—1983 гг. В этом районе промысел

велся судами разных стран и разных типов, оснащенных разными орудиями лова. Основные виды промыслового сообщества в этом районе — ставрида и хек. По мнению биологов (Krzeptowski, 1982; Konchina, 1986), эти виды взаимодействуют по схеме хищник—жертва, а для некоторых их возрастных групп не исключена и конкуренция за пищу.

Задача смешанного промысла решалась в данном случае путем выбора для каждого из двух видов наиболее представительного флота в качестве стандартного, после чего проводилась стандартизация промыслового усилия. В качестве первого стандартного флота были выбраны советские суда типа БМРТ (большой морозильный рыболовный траулер), оснащенные пелагическими тралами, в качестве второго — суда того же типа, но оснащенные донными тралами. Первый флот специализировался по лову ставриды, но прилавливал хека, а второй, наоборот, специализировался по лову хека, прилавливая ставриду. Стандартизацию промыслового усилия проводили по методу Галланда (Gulland, 1956). Это позволило получить уравнения, описывающие «теоретическую» динамику двухвидового сообщества в ретроспективе, а затем рассмотреть различные варианты регулирования промысла. Уравнения двухвидовой динамической модели, построенной относительно индексов запасов (уловы на единицу промыслового усилия для каждого вида, u_i), имеют следующий вид:

$$\frac{\dot{u}_i}{u_i} = a_i - b_i u_i - c_i u_j - q_i f_i, \quad i, j = 1, 2.$$

Здесь f_i — величины стандартизированного промыслового усилия для промысла первого ($i = 1$, ставрида) и второго ($i = 2$, хек) видов соответственно. В качестве входной информации для модели используются два временных ряда улова на единицу усилия $u_i(t)$ для стандартного судна и два ряда стандартизированного промыслового усилия $f_i(t)$. Кроме того, для каждого вида строится еще один ряд, отражающий динамику индекса запаса и представляющий собой относительное изменение этого индекса для $i = 1, 2$:

$$\frac{\Delta u_i}{u} = \frac{u_i(t) - u_i(t-1)}{u_i}.$$

Неизвестные постоянные параметры модели a_i , b_i , c_i , q_i оцениваются методом множественной регрессии, а в качестве исходной информации используются вышеуказанные временные ряды. Биологический смысл коэффициентов модели: b_i — смертность из-за внутривидовой конкуренции; c_i — коэффициенты межвидовых отношений; a_i — составляющая скорости размножения вида i , не зависящая от численности другого вида; q_i — коэффициенты улавливаемости.

Таким образом, эта модель относится к классу динамических моделей взаимодействующих видов. Для получения более надежной оценки параметров модели входные ряды улова на усилие сглаживали полиномами.

Коэффициенты улавливаемости были оценены заранее при сопоставлении ряда стандартизированных значений $u_i(t)$ и временного ряда оценок биомассы запасов из одновидовых расчетов. После параметризации модель имеет вид:

$$\frac{du_1}{dt} = u_1(1,70 - 0,05u_1 - 0,9u_2 - 0,09f_1), \quad (1)$$

$$\frac{du_2}{dt} = u_2(0,5 - 0,35u_2 + 0,2u_1 - 2,5f_2).$$

Оказалось, что параметры взаимодействия видов имеют знаки, показывающие, что хищничество в данном сообществе существенно значимее, чем конкуренция: коэффициент c_1 получен положительным (0,9), а c_2 — отрицательным (−0,2), параметр b_1 близок к нулю, следовательно, внутривидовая конкуренция ставриды практически отсутствует, а параметр, характеризующий каннибализм хека, весьма значим ($b_2 = 0,34$).

В качестве примера приводится графическое изображение изменений состояния системы двух видов на плоскости ($u_1(t)$, $u_2(t)$) — так называемая **фазовая диаграмма** (рисунок). Плоскость, на которой расположены фазовые траектории, называется *фазовой плоскостью* динамической системы. Равно-

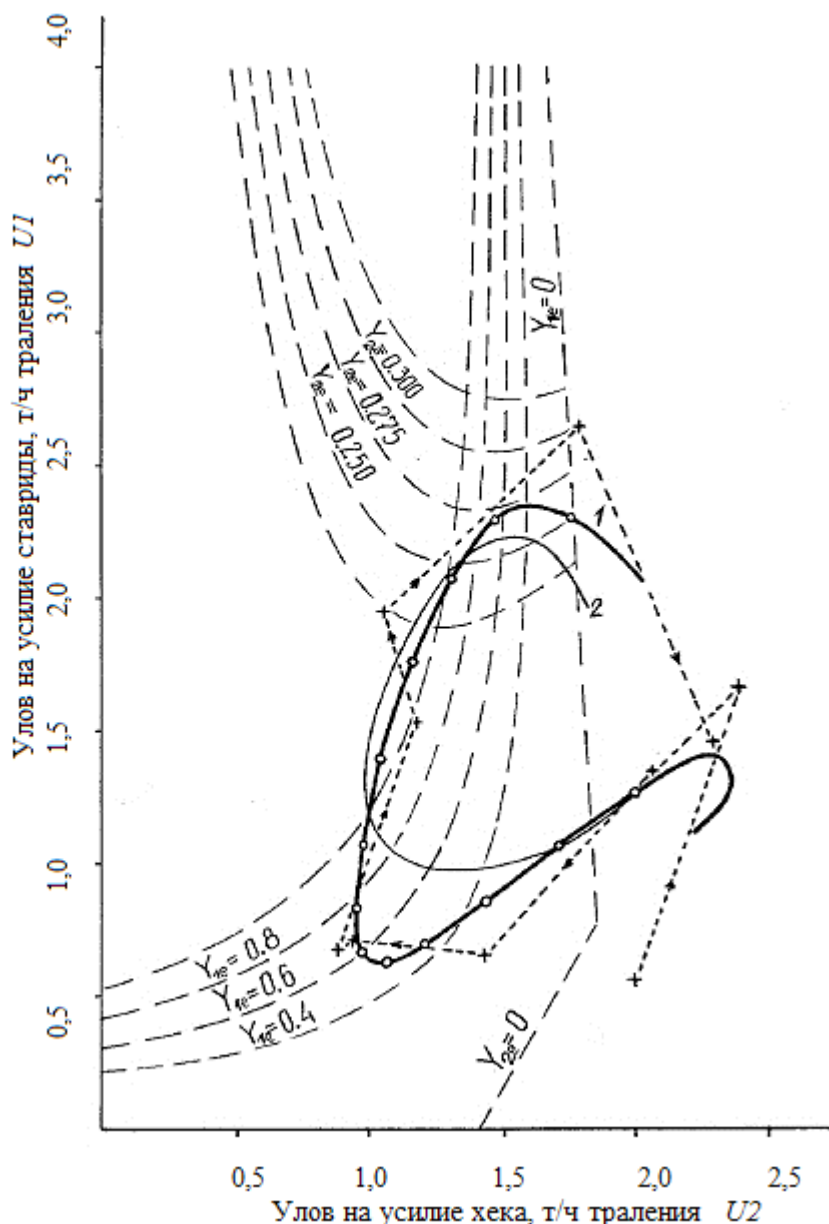
весные состояния каждого запаса ставриды и хека показаны пунктирными линиями, они построены при условии, что правые части уравнений системы (1) равны нулю.

После оценки параметров модель была использована для описания динамики популяций с учетом их взаимодействий для прогнозного периода, а следующим шагом стало исследование различных стратегий управления двухвидовым промыслом. В частности, анализ показал, что при выборе стратегии постоянных годовых уловов данная динамическая система является неустойчивой. Если же промысел ведется с постоянным промысловым усилием (но с таким, которое не выходит за границу области допустимого управления), то всякое равновесное состояние системы будет устойчивым.

Вопросы распределения промыслового усилия между разными флотами в прогнозные годы в этой работе не рассматривались, все выводы касались только величины стандартизированного усилия для каждого вида. Такой подход правомерен при выработке стратегии регулирования на длительный срок, а при прогнозировании на короткий срок при смешанном промысле рекомендаций по стандартизированному промысловому усилию недостаточно, нужно распределить рекомендуемое усилие по флотам или даже по метье, учитывая технологические взаимодействия видов в промысле.

В 1987 г. в г. Нант, Франция состоялось Международное совещание по технологическим взаимодействиям в смешанном промысле. На нем технологические отношения были определены как влияние на какой-либо (или на каждый) вид из данной смеси видов различных изменений ведения промысла других видов этой смеси (Assessment..., 1987). На совещании были сформулированы следующие положения.

1. Технические взаимодействия в большинстве случаев более важны, чем биологические, тем более что для изучения биологических взаимоотношений требуется много дополнительной информации по питанию, сбор которой весьма трудоемок и дорог.



Фазовая диаграмма системы ставрида—хек: (— —) — изолинии равновесных уловов ($Y_{1e}, Y_{2e} = c = \text{const}$), (+) — исходные данные, 1 — сглаженные исходные данные, 2 — результаты тестирования модели после оценки параметров.

2. Основные ограничения при изучении технических взаимодействий — доступ к необходимой промысловой информации и недостаток мастерства исследователей. При этом требуется переводить информацию, получаемую из путевых журналов и съемок, в необходимые для компьютеров форматы. Сбор данных по выбросам очень важен.

3. Существует большое число методов оценки запасов. Обычно (в том числе для

Северного моря) необходимая информация по одновидовым оценкам запасов готовится соответствующими Рабочими группами.

Отчет о работе этого совещания (Assessment..., 1987) снабжен обширным списком работ в этой области. Но в предисловии к нему утверждается, что в основном все это — рассуждения по поводу проблемы для самых разных частных случаев, в том числе и для разных объектов промысла,

а в практическом плане эти работы не содержат концептуальной основы, которую можно было бы применять для широкого диапазона промыслов, а не для отдельных локальных случаев.

Как же следует распределять промысловое усилие между флотами, если все они ловят один главный вид? А если только один сегмент флота вылавливает несколько видов, как рассчитать промысловую смертность каждого вида, ведь этот параметр зависит не только от приложенного усилия, но и от коэффициентов улавливаемости и от величины запаса? Еще сложнее проблема распределения промыслового усилия для многовидового и многофлотового промысла. Важной частью технических взаимодействий является прилов, который может зависеть от характеристик видов, от орудий лова и от параметров работающих промысловых судов. Но это не единственный фактор взаимодействий. Флоты могут взаимодействовать, даже если они работают в разных районах или в разные сезоны и используют одинаковые или разные орудия лова. Например, возникают конфликты между прибрежным и работающим далеко от берега промыслами; работа флота, который ловит молодь, влияет на работу флота, промысляющего рыб нерестового запаса и т.п.

Муравски с соавторами (Murawski et al., 1991) разработали модель смешанного промысла придонных рыб залива Мэн, которая включает промысел 14 видов рыб шестью промысловыми флотами. Отдельные флоты в модели различаются не только типом орудий лова (тралы и жаберные сети), но и размером ячеи тралов, районом работы судов и предпочитаемыми промысловыми видами, т.е. такие промысловые системы можно называть метье. Для некоторых целей при анализе результатов шесть типов флотов объединены в более крупные категории — крупноячеистый и мелкоячеистый (каждая такая категория содержит по три флота). Авторы предложили подход к определению биологических ориентиров (БО) управления, который является многовидовым расширением одновидового

алгоритма построения функций запаса на пополнение и улова на пополнение. Технологические взаимоотношения такой промысловой системы исследуются в условиях равновесия, анализируется влияние различного распределения усилия между флотами на долгосрочный средний общий вылов (или выражение общего вылова в денежных единицах), в анализ включены функции селективности уловов и выбросов.

Несколько позже разработана модель для расчета многовидового общего допустимого улова (ОДУ) при смешанном промысле, названная МТАС (multispecies total allowable catch) (Vinther et al., 2004). Эта модель позволяет рассчитывать ОДУ для каждого промыслового вида с учетом смешанного характера промысла так, чтобы как можно точнее выполнить принятый критерий регулирования, который, в частности, может быть представлен и одновидовыми целевыми БО. При прогнозировании уловов с целью расчета ОДУ предполагается, что распределения промысловой смертности и массы особи по возрастам равны их значениям status quo. Необходимым условием при прогнозировании является неизменность видового состава промысла по годам.

Модель МТАС была подробно исследована Краак (Kraak, 2004). Она выяснила, что основной недостаток этой программы состоит в том, что в ней используется предположение о постоянном видовом составе уловов, а в реальности состав уловов одного и того же флота может существенно меняться от года к году. Второй недостаток состоит в том, что решение модели может не соответствовать предосторожному подходу. Кроме того, нельзя использовать эту программу для выработки рекомендаций по флотам, если данные неполны и если существует несообщенный вылов, тем более что флот, который имеет несообщенный вылов, в результате может получить экономические преимущества перед флотом, который отчитывается верными цифрами вылова.

Начиная с 2006 г. ежегодно собирается рабочая группа ИКЕС, рассматриваю-

щая методологию разработки рекомендаций для прогнозирования величины промыслового усилия и его распределения по флотам и метье (Report..., 2006, 2009, 2013). Из нескольких предложенных в 2006 г. подходов к решению этой проблемы был выбран метод, названный Fcube (fleets and fisheries forecast) (Ulrich et al., 2006; Reeves, Ulrich, 2007). В этом методе внимание фокусируется скорее на структуре промысла (на флотах и метье), чем на запасах. Эта схема более гибкая и реалистичная для выработки рекомендаций, во-первых, благодаря тому, что она учитывает влияние промысла не только на главные целевые виды. Рассматривая более широкое влияние промысла, Fcube как бы создает мост между рекомендациями по традиционным одновидовым моделям и экосистемным подходом к управлению. Метод Fcube запрограммирован в среде R в виде отдельного скрипта (блока программ), использующего FLR-объекты (Kell et al., 2007) в качестве входных и выходных данных. Он продолжает совершенствоваться и используется для рекомендаций по прогнозам ОДУ и для распределения промыслового усилия по флотам и метье для смешанного промысла придонных видов рыб (треска, пикша, сайда, мерланг и камбаловые) и норвежского омара в Северном море. Рабочая группа по смешанному промыслу начала работы по модельному анализу смешанного промысла в Кельтском море и возле западного побережья Иберийского полуострова.

Описание метода Fcube

На вход в модели Fcube поступает информация двух категорий.

1. Промысловая статистика:

- выгрузки $LND(Fl, m, St, Y)$ и выбросы по каждому виду или запасу St , по флотам Fl и метье m для нескольких лет Y в ретроспективе;

- общие выгрузки каждого вида по годам — $LND_{tot}(St, Y)$;

- с 2012 г. Рабочей группе по оценке запасов Северного моря стали доступны данные по возрастному распределению уло-

вов по метье и районам, что позволяет специалистам Рабочей группы ИКЕС по смешанному промыслу включать в прогнозы данные по возрастам;

- промысловое усилие по флотам и метье $E(Fl, m, Y)$ и суммарное усилие по флотам $E(Fl, Y)$, промысловое усилие выражается в количестве суток в море.

2. Результаты одновидовых расчетов для каждого запаса:

- оценки биомассы и численности запаса;

- оценки БО для каждого запаса, чтобы оценить его статус;

- оценки коэффициента промысловой смертности, усредненные по наиболее представленным возрастным группам в уловах — $Fbar(St, Y)$.

Подготовка входной информации связана с большими сложностями. Первая состоит в выборе категорий флотов. В каждой стране используются свои категории флота, связанные с размером судна и с применяемыми орудиями лова. Требуется согласование данных по уловам и усилиям, только после этого можно включать в модель такие флот и метье. Если для некоторых флотов или метье есть данные по уловам, но нет данных по усилию, эти уловы объединяются в особую категорию, названную ОН (others), чтобы не потерять соответствующую часть промысловой смертности. Входные данные получаются из разных источников, но при моделировании их форматы должны совпадать. Результаты расчетов по одновидовой методике оценки запаса и по методике смешанного промысла тоже должны иметь одинаковый формат.

В модель Fcube включена возможность исследовать разные сценарии регулирования:

- 1) **max**: предполагается, что промысел останавливается, когда для всех видов полностью выбраны квоты, установленные при одновидовой эксплуатации для согласованного плана регулирования;

- 2) **min**: предполагается, что промысел останавливается, как только выбрана

квота первого вида согласно одновидовой эксплуатации для согласованного плана регулирования;

3) **название вида или запаса:** предполагается, что все флоты устанавливают усилие на уровне, соответствующем квоте самого ценного или самого уязвимого запаса, невзирая на остальные запасы;

4) **sq_E (status qwo):** промысловое усилие устанавливается на уровне последнего года, для которого имеются данные по выгрузкам и выбросам;

5) **Eff_Mgt (Effort Management):** согласно этому сценарию, промысел разных метье регулируется по промысловому усилию.

Для всех запасов Северного моря, кроме норвежского омара, установлены многолетние планы регулирования, которые зависят от состояния запаса и установленных биологических ориентиров. Дополнительные сложности возникают в связи с норвежским омаром. В Северном море около 10 отдельных единиц запаса омара, и не для всех оценены численность запаса и коэффициент улавливаемости. Для тех единиц запаса, для которых такие оценки есть, определяется отношение величины улова к оценке ОДУ, рекомендованного F_{cube} для прогноза — R . Для единиц запаса, для которых абсолютная численность не определена, выгрузки для прогнозного года условно принимаются равными последним сообщенным выгрузкам, умноженным на R . Предварительно данные по улову и усилию для каждого метье распределяют по единицам запаса.

Цель метода F_{cube} — прогнозирование рекомендуемых уровней промыслового усилия и ОДУ для каждого запаса (и выгрузки, и уловы) и их распределения по флотам и по метье на год или два вперед.

Основные соотношения метода F_{cube}

Частичная промысловая смертность вида St в год Y , возникшая в результате работы флота Fl и метье m , рассчитывается по формуле:

$$F(Fl, m, St, Y) = F_{bar}(St, Y) \frac{LND(Fl, m, St, Y)}{LND tot(St, Y)}. \quad (2)$$

Таким образом, полученная из одновидовых расчетов запаса St величина усредненного коэффициента промысловой смертности $F_{bar}(St, Y)$ распределяется по категориям флот—метье пропорционально доле выгрузок этих категорий в общей выгрузке данного вида. Величины выгрузок по разным категориям промысла получают из данных промысловой статистики.

Затем рассчитывается коэффициент улавливаемости вида или запаса St для каждой промысловой категории флот—метье через величину промысловой смертности из формулы (2) и промыслового усилия, затраченного этой промысловой категорией в год Y :

$$q(Fl, m, St, Y) = F(Fl, m, St, Y) / E(Fl, m, Y). \quad (3)$$

Относительное распределение промыслового усилия каждого флота F по метье для года Y рассчитывается как:

$$Effshare(Fl, m, Y) = E(Fl, m, Y) / E(Fl, Y). \quad (4)$$

Коэффициенты уловистости из выражения (3) и доли промыслового усилия из формулы (4) для каждой категории флот — метье усредняются за три последние года и затем используются для прогнозирования коэффициента уловистости для каждого флота усреднением по метье этого флота согласно выражению (5):

$$q(Fl, St, Y + 1) = \sum_m q(Fl, m, St, Y + 1) \times \\ \times Effshare(Fl, m, Y + 1). \quad (5)$$

При одновидовом регулировании ОДУ запаса St обычно рассчитывается через текущую биомассу запаса и коэффициент промысловой смертности F_{res} , установленный согласно выбранному правилу регулирования. Затем F_{res} преобразуется в величину рекомендованного усилия.

При работе нескольких флотов каждому флоту соответствует частичный коэффициент промысловой смертности запаса:

$$F(Fl, St, Y+1) = Frec(St, Y+1) \times \\ \times QuotaShare(Fl, St). \quad (6)$$

Соответствующая величина промыслового усилия рассчитывается по частичному коэффициенту промысловой смертности (6) и коэффициенту улавливаемости, найденному по уравнению (5):

$$E(Fl, St, Y+1) = F(Fl, St, Y+1) / \\ / q(Fl, St, Y+1). \quad (7)$$

Но неясно, как найти долю промысловой смертности для каждого флота $QuotaShare(Fl, St)$. Как считают авторы (Ulrich et al., 2006), эти коэффициенты можно определить по наблюдаемым выгрузкам, а также по национальным правилам размещения квоты по флотам. Самый простой способ — приравнять их к средним наблюдаемым долям выгрузок данного запаса флотом Fl от общих выгрузок данного запаса.

Сложность заключается в том, что рекомендуемые в выражении (6) значения усилия флота Fl не могут быть одинаковыми для разных запасов, вылавливаемых этим флотом. Но каждый флот может развить в прогнозный год только одно усилие. Таким образом, нет единственного решения для распределения усилия по флотам, поэтому следует искать некоторое компромиссное решение в зависимости от выбранного сценария из перечисленного выше списка.

При работе с программой $Fcube$ исследователь может проигрывать разные сценарии относительно усилий флотов для прогнозного года, сравнивая последствия их применения; причем для разных флотов допускается использовать разные сценарии регулирования. Например, если для флота принята стратегия, по которой промысел останавливается, как только будет исчерпана квота одного из видов, то применяется стратегия min , тогда

$$E(Fl, Y+1) = \min_{St} (E(Fl, St1, Y+1), \\ E(Fl, St2, Y+1), \dots), \quad (8)$$

Если же принята стратегия, по которой флот ведет промысел, пока не будут выбраны квоты для всех запасов, то в формуле (8) следует поставить опцию max . В другом случае при стратегии, обозначенной как «название запаса» (это имя вида или запаса, который либо самый ценный, либо самый уязвимый), следует задать величину промыслового усилия на уровне, который соответствует рекомендованной промысловой смертности для этого самого важного запаса.

После того как рассчитано распределение промыслового усилия по флотам, проводится расчет усилия по метье для каждого флота по формуле, аналогичной (5):

$$E(Fl, m, Y+1) = E(Fl, Y+1) \times \\ \times Effshare(Fl, m, Y+1), \\ E(Fl, m, St, Y+1) = q(Fl, m, St, Y+1) \times \\ \times E(Fl, m, Y+1).$$

Затем частичные коэффициенты промысловой смертности для каждого запаса в прогнозный год суммируются по флотам и метье, при этом получается величина $F(St, Y+1)$ и для прогноза вылова и величины запаса используется стандартная одновидовая прогностическая процедура. Далее полученные величины ОДУ и биомассы запаса сравниваются с оценками, которые ранее были получены по одновидовой процедуре на соответствующих рабочих группах.

Рассмотрим простейший пример, когда один вид вылавливается двумя флотами. Считаем, что входная информация в виде результатов одновидовых расчетов имеется для последних трех лет и по ней оценены средние значения биомассы нерестового запаса $B(Y)$, а также усредненная промысловая смертность $Fbar(Y)$, $Frec$ для прогнозного года и величина ОДУ. Правило регулирования выбрано в виде простейшей схемы. Имеется промысловая статистика в виде выгрузок $LND(Fl, Y)$ и промыслового усилия $E(Fl, Y)$ по флотам и годам.

Расчет коэффициентов смертности и улавливаемости для года Y по флотам составит:

$$F(Fl, Y) = \frac{Fbar(Y)(LND(Fl))}{(LND(Fl1, Y) + LND(Fl2, Y))},$$

$$q(Fl, Y) = \frac{F(Fl, Y)}{E(Fl, Y)}.$$

Прогноз на год $Y + 1$: коэффициенты $q(Fl, Y + 1)$ для каждого из двух флотов принимаются равными их средним значениям за три последних года; промысловая смертность распределяется по флотам пропорционально среднему за три года распределению уловов, а именно:

$$F(Fl, Y + 1) = \\ = Frec \left(\frac{LND(Fl)}{LNF(Fl1, Y) + LND(Fl2, Y)} \right)_{\text{среднее}}.$$

Тогда получаем единственное решение для распределения усилия в год по флотам:

$$F(Fl, Y + 1) = \frac{F(Fl, Y + 1)}{q(Fl, Y + 1)}.$$

Если же несколько видов облавливаются одним флотом, получаем для этого флота столько же решений, тогда встает задача компромисса и выбора целей.

В настоящее время в методе Fcube не учитываются межвидовые биологические отношения. Если же эти отношения существуют между видами сообщества, например отношение хищник—жертва, то возникают дополнительные трудности при выборе правила регулирования, поскольку такие отношения существенно сужают область допустимого управления, построенную в координатах коэффициентов промысловой смертности разных видов (Bulgakova, 1999; Булгакова, 2009).

Возможное решение этой проблемы можно представить как двухступенчатую процедуру. Сначала следует оценить границы области допустимого управления с помощью многовидового моделирования, что

непросто, если количество видов более двух. Затем с помощью модели Fcube надо искать оптимальное решение внутри полученной допустимой области управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булгакова Т.И. Регулирование многовидового рыболовства на основе математического моделирования. М.: Изд-во ВНИРО, 2009. 252 с.

Булгакова Т.И., Кизнер Э.И. Методические рекомендации по математическому моделированию двухвидового промысла. М.: Изд-во ВНИРО, 1987. 39 с.

Assessment of technical interactions in mixed fisheries // Report of workshop held at IFREMER in Nants (France) under the auspices of Commission of the European Communities EEC (DG XIV). Nant, 1987. 75 p.

Bulgakova T. Optimal control in predation-prey model based on a two-species exploited ecosystem // Ecosystem approaches for fisheries management. Alaska sea grant college program. 1999. AK-SG-99-01. P. 149-162.

Bulgakova T.I., Kizner Z.I. Analysis of Cape horse mackerel and Cape hake fishery in ICSEAF Div.1.3+1.4 based on a mathematical model of two interacting species // Colln. Sci. Papers ICSEAF. 1986. V.13. Ch. I. P. 119-130.

Gulland J.A. On the fishing effort in English demersal trawl fisheries // Invest. Minst. Agric. Fish Food. UK. Ser. 2. 1956. V. 20. P. 1-41.

Kell L.T., Mosqueira I., Grosjean P. et al. FLR: an open-source framework for the evaluation and development of management strategies // ICES J. Marine Sci. 2007. V. 64. P. 640-646.

Konchina Yu.V. Distribution and feeding of South African horse mackerel and hake in the Namibian shelf waters // Colln. Sci. Papers ICSEAF. 1986. V. 13. Ch. II. P. 7-18.

Kraak S.B. M. An evaluation of MTAC — a program for the calculation of catch forecasts taking the mixed nature of the fisheries into account // WD for ICES Working Group

on Methods. Lisbon, Portugal: ICES, 2004. 32 p.

Krzepkowski M. Trophic relationship between horsemackerel (*Trachurus trachurus capensis* Castelnau) and cape hake (*Merluccius capensis* Castelnau) of Namibia // Colln. Sci. Papers ICSEAF. 1982. V. 9. Ch. II. P. 111–119.

Murawski S.A., Lange A.M., Idoine J.S. An analysis of technological interactions among Gulf of Maine mixed-species fisheries // ICES Mar. Sci. Symposia. 1991. V. 193. P. 237–252

Pope J.G., Harris O.C. The South-African pilchard and anchovy stock complex-an example of the effect of biological interactions between species on management strategy // ICNAF Res. Ser. 3685. 1975. Doc. 75/IX/133. 8 p.

Reeves S., Ulrich C. Bridging the gap: fleets, fisheries and the ecosystem approach. Copenhagen, 2007. ICES Doc. CM 2007/R: 02. 10 p.

Report of the Workshop on simple mixed fisheries management models. Copenhagen, 2006. ICES Doc. CM 2006/ACFM:14. 47 p.

Report of the ad hoc group on mixed fisheries in the North Sea. Copenhagen, 2009. ICES Doc. CM 2009/ACOM:52. 48 p.

Report of the Working group on mixed fisheries advice for the North Sea. Copenhagen, 2013. ICES Doc. CM 2013/ACOM:22. 111 p.

Vinther M., Reeves S.A., Patterson K.R. From single-species advice to mixed species management: taking the next step // ICES J. Marine Sci. 2004. V. 61. P. 1398–1409.

Ulrich C., Andersen B.S., Hovgård H. et al. Fleet-based short-term advice in mixed-fisheries – the F3 approach // ICES Symp. Fish. Management Strategies. Galway, 2006. (<http://www.ices06sfms.com/presentations/index.shtml>)

MODELS FOR MIXED FISHERY MANAGEMENT

© 2015 y. T.I. Bulgakova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

A lot of different vessels with different gears are usually working simultaneously in the same region, and their catches include many different species. Therefore it is necessary to turn from single species management to mixed fishery management. It is clear that it is impossible to execute more than one quota of different species simultaneously. Fishers can use different strategies, for example, they can stop fishing as soon as the quota of the first species is taken, but other species quotas will not be executed, which is not effective economically. Another strategy is to continue fishing and to overfish the rest of stocks (to discard or illegally land overquota fish). Some approaches to solve this problem are considered in the paper, including method Fcube (Fleets and Fisheries Forecast), used by ICES working group.

Keywords: simulation, mixed fishery, management.