

---

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

---

УДК 639.2: 573.22.087.1.001.57

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КВОТ ДЛЯ МНОГОВИДОВЫХ  
ПРОМЫСЛОВ НА ПРИМЕРЕ КАРАГИНСКОГО ПРОМЫСЛОВОГО РАЙОНА**

© 2009 г. А.И. Абакумов<sup>1</sup>, Л.Н. Бочаров<sup>2</sup>, Т.М. Решетняк<sup>2</sup>

*1 – Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток 690041*

*2 – Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,  
Владивосток 690950*

Поступила в редакцию 29.01.2009 г.

При организации и оперативном управлении рыбным промыслом важны предварительные мероприятия. К ним относятся определение биологически обоснованных ограничений на вылов каждого промыслового объекта и распределение разрешенного объема вылова между рыбаками. В работе рассматриваются формальные процедуры распределения квот на вылов морских биоресурсов в рамках заранее указанных ограничений. Эти процедуры представлены математическими моделями, которые, по нашему мнению, должны стать частью информационно-аналитической системы, предназначение которой – быть формализацией указанных предварительных мероприятий. Приведены примеры по данным о промыслах в Карагинском промысловом районе Берингова моря. Примеры демонстрируют свойства и эффективность модельных формализаций.

**ВВЕДЕНИЕ**

При организации и управлении процессами промысла (добычи) водных биоресурсов присутствуют два предварительных этапа:

- определение биологически обоснованных ограничений (общий допустимый улов – ОДУ) на вылов каждой единицы запаса эксплуатируемых водных биоресурсов;
- распределение разрешенного объема вылова между рыбодобывающими предприятиями.

В настоящее время обе эти процедуры могут быть сделаны в значительной мере технологичными за счет формализации. Для этого в рамках рыбохозяйственной отрасли необходимо завершить создание информационно-аналитической системы. Информационная подсистема в том или ином виде существует несколько десятилетий. Она содержит сведения о состоянии объектов промысла (данные научно-исследовательских съемок), среде обитания и промысле. Аналитическая подсистема находится в разрозненном и неупорядоченном состоянии, состоит из частично устаревших математических моделей динамики численности биологических популяций со сбором урожая. Необходимо модернизировать подсистему, включив в нее современные математические модели функционирования биологических сообществ и экосистем.

В настоящей работе в качестве примера рассмотрена серия математических моделей оптимального распределения квот на вылов. Основная решаемая проблема связана с пообъектным распределением квот при том, что реально орудия промысла улавливают не только объект промысла, но и так называемый прилов – сопутствующие виды гидробионтов.

В России организация морского рыбного промысла происходит следующим образом. Сначала на основе данных научно-исследовательских съемок и иных исследований для

каждого промыслового объекта в рамках существующих промысловых районов (статистических зон и подзон) делаются оценки запасов и возможных выловов (как правило, определяется общий допустимый улов – ОДУ) на ближайший год. Далее на основе исторического принципа промысловые организации наделяются долями ОДУ по каждому объекту промысла в виде квот на вылов. Но на промысле зачастую происходят отклонения реального вылова от полученных квот. В процессе лова могут происходить недоловы из-за нехватки производственных мощностей или плохой промысловой обстановки. Порой происходит перелов. Кроме того, орудия лова являются, как правило, многовидовыми, поэтому появляются приловы, которые трудно прогнозировать и учитывать. Приловы создают легальные предпосылки для переловов и подрыва запасов промысловых объектов. О роли ОДУ в управлении промыслами постоянно ведутся острые дискуссии (Кузнецов, Кузнецова, 1995; Кочиков, 2000; Бочаров, 2004; Балыкин, Терентьев, 2006). Претензии предъявляются и методам формирования ОДУ, и методам оперативного управления промыслами. Здесь мы рассмотрим проблему управления рыбными промыслами на примере промыслов в Карагинской подзоне (прикамчатские воды Берингова моря).

### ФОРМИРОВАНИЕ ОБЩЕГО ДОПУСТИМОГО УЛОВА

Общий допустимый улов определяется на основе ретроспективных оценок биомасс (численностей) биологических видов, промысловых частей этих биомасс и прогнозов. Далее делается прогноз изменения промыслового запаса на ближайшие годы. При этом используются биологические особенности видов: возрастная структура, линейные размеры, биомассы, особенности появления потомства и вхождения особей в промысловый запас.

По возможности учитывают динамику океанологической обстановки и климатические процессы. Современные математические модели используются недостаточно, а они могли бы учесть всю имеющуюся экспериментальную и экспедиционную информацию. Массовые компьютерные расчеты по разным моделям для одних и тех же объектов промыслов позволяют в значительной мере нивелировать неточности исходных данных, структурные и параметрические неточности моделей. Подобный подход желательно применять к основным сообществам промысловых биологических объектов дальневосточных морей. Это поможет сделать прогнозирование ОДУ технологичным и более точным.

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫСЛОМ ПУТЕМ КВОТИРОВАНИЯ

После формирования ОДУ управление промыслом осуществляется распределением узаконенными способами разрешений (квот) на вылов. Квоты необходимо распределить так, чтобы в ходе промысла максимально реализовывалось ограничение на ОДУ основного объекта промысла с учетом приловов. Как уже упоминалось, приловы неизбежно возникают из-за многовидового характера орудий лова. Доли прилавливаемых видов зависят от конструктивных характеристик орудий лова и соотношения различных гидробионтов в промысловом районе или, точнее говоря, от структуры облавливаемой части биоценоза. Поэтому наше предложение состоит в том, чтобы вычислить коэффициенты прилова в данном промысловом районе по результатам лова в последние годы и использовать их в прогностических расчетах в предположении, что они не сильно изменяются в течение нескольких лет.

Первоначальная постановка серии математических задач о рыбном промысле приведена в работе (Абакумов и др., 2004), далее были разработаны конкретные модели

оптимального распределения квот (Абакумов и др., 2007). Математическое описание начнем с основных обозначений. Рассмотрим район моря (океана), где имеется  $m$  объектов промысла и  $n$  способов промысла. Фиксирован период промысла. Индексы  $i, j = 1, \dots, m$  соответствуют объектам промысла, индекс  $k = 1, \dots, n$  – способам промысла. Используются следующие обозначения:  $a_{ijk}$  – доля объекта  $i$  в вылове способом  $k$  при квоте на базовый объект  $j$ ;  $u_{ik}$  – квота вылова на период промысла объекта  $i$  способом  $k$ ;  $v_{ijk}$  – вылов объекта  $i$  способом  $k$  при квоте на базовый объект  $j$ ;  $v_{ik}$  – суммарный вылов объекта  $i$  способом  $k$ ;  $v_i$  – суммарный вылов объекта  $i$ .

Часть приведенных выше данных является исходной, часть характеристик рассчитывается в задачах.

Предварительно по данным о промыслах вычисляются коэффициенты прилова  $\alpha_{ijk} = v_{ijk}/v_{jjk}$ . Такие формулы предполагают, что квоты реализуются выловом квотируемого объекта как базового. Тогда  $v_{ik} = \sum_{j=1}^m \alpha_{ijk} \cdot u_{jk}$  и  $v_i = \sum_{k=1}^n v_{ik}$ .

Проблема связана с определением оптимального распределения квот. Она посвящена вычислению таких объемов квот  $u_{jk}$ , что суммарные выловы при реализации этих квот будут возможно ближе к заданным ОДУ для каждого основного объекта промысла. Другими словами, необходимо вычислить минимум отклонений модельного и заданного выловов.

Обозначим через  $w_i$  ОДУ для объекта  $i$ , вектор  $w = (w_1, \dots, w_m)$  – заданный вектор общего допустимого улова.

Проблему мы будем решать в виде двух задач:

1. Задача *мягкой оптимизации* – задача с мягкими ограничениями промыслов. Требуется найти такие расчетные оценки  $u_{jk} \geq 0$  квот, что отклонения суммарных по объектам выловов от ОДУ должны быть минимальными:

$$\Phi(u) = \sum_{i=1}^m \left( \sum_{j,k=1}^{m,n} \alpha_{ijk} \cdot u_{jk} - w_i \right)^2 \rightarrow \inf.$$

2. Задача *жесткой оптимизации* – задача с жестким условием отсутствия переловов. Это означает, что для расчетных оценок  $u_{jk} \geq 0$  квот должны выполняться условия:

$$\begin{cases} \Psi(u) = \sum_{i=1}^m \left| \sum_{j,k=1}^{m,n} \alpha_{ijk} \cdot u_{jk} - w_i \right| \rightarrow \inf, \\ \sum_{j,k=1}^{m,n} \alpha_{ijk} \cdot u_{jk} \leq w_i, \quad i = 1, \dots, m. \end{cases}$$

В мягкой задаче в качестве меры близости используется евклидова метрика, а в жесткой задаче для удобства выбрана другая, эквивалентная евклидовой, метрика.

Перейдем к постановкам задач в математических терминах. Элементы  $u_{jk}$  представим в виде одноиндексного вектора  $x$  с  $s = m \cdot n$  компонентами, соответственно этому элементы  $\alpha_{ijk} \geq 0$  упорядочим в виде матрицы  $A$  с  $m$  строками и  $s$  столбцами так, что  $Ax = \sum_{j,k=1}^{m,n} \alpha_{ijk} \cdot u_{jk}$ . Обозначим  $w = b$ .

Тогда задача мягкой оптимизации принимает вид задачи квадратичной минимизации:

$$\|Ax - b\|^2 \rightarrow \inf_{x \geq 0} \quad (1)$$

где подразумевается евклидова норма.

Задача жесткой оптимизации получает вид задачи линейного программирования:

$$\begin{cases} eAx \rightarrow \inf, \\ Ax \leq b, x \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Через  $e$  здесь и далее обозначена вектор-строка из  $m$  единиц.

Необходимое и достаточное условия минимума функционала в задаче (1) имеет вид

$$A^*Ax = A^*b \quad (3)$$

Поэтому множество решений задачи (1) определяется как  $D = \{x \in R^+ \mid A^*Ax = A^*b, x \geq 0\}$

Решая тем или иным из известных методов систему линейных уравнений (3), получаем решение задачи (1) при отсутствии ограничений знаков компонент вектора  $x$ . В нашем случае матрица  $A^*A$  вырождена, система (3) совместна и имеет континуальное множество решений. Наличие ограничения  $x \geq 0$  сильно меняет задачу: она может не иметь конечного решения, да и его вычисление усложняется. Поэтому мы решаем задачу (1) двумя методами: а) методом градиентного спуска; б) сведением к задаче линейного программирования. При расчетах эти методы будут называться *градиентным* и *линейным* соответственно. Метод градиентного спуска является классическим (Измайлов, 2005), известно также о его плохой сходимости даже в случае с квадратичным функционалом минимизации. Поэтому рассматривается вспомогательная задача линейного программирования:

$$\begin{cases} ey \rightarrow \inf \\ A^*Ax + y = A^*b \\ x \geq 0, y \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Если решение этой задачи доставляет нулевое значение функционалу оптимизации, то полученное решение является одним из решений задачи (1). Решение задачи (4) может получиться при ненулевом значении функционала оптимизации. Это происходит в случае, когда множество  $D$  пусто и минимум функционала в (1) достигается на границе  $x \geq 0$  множества допустимых решений.

В общем случае из найденных этими двумя методами решений задачи (1) выбираем лучшее, то есть то, которое доставляет меньшее значение функционалу (1).

Задача (2) жесткой оптимизации является стандартной задачей линейного программирования и ввиду сравнительно невысокой размерности решается, наряду с задачей (4), симплекс-методом (Измайлов, 2005). В нашем случае имеем задачу с десятками неравенств и сотнями переменных. Сложности симплекс-метода проявляются в задачах на пару порядков большей размерности.

## ВЫЧИСЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа результатов промыслов и расчетных решений нашей задачи разработан ряд показателей. Совокупным ОДУ далее будем называть сумму ОДУ по всем объектам для данного промыслового района:  $u = \sum u_i$ . Аналогично через  $v = \sum v_i$  обозначим совокупный вылов в промысловом районе. Применяем коэффициенты освоения (%)

совокупного ОДУ на промыслах  $k = (v/u) \times 100\%$  и аналогичные коэффициенты освоения (%) совокупного ОДУ в оптимизационной задаче. Для более детальной характеристики промысла применяем показатели:

$$\text{перелова (\%)} \quad k_+ = \left( \sum_{i=1}^m \frac{v_i}{v_i - 2u_i} - 1 \right) \times 100\%$$

$$\text{и недолова (\%)} \quad k_- = \left( 1 - \sum_{i=1}^m \frac{v_i}{v_i + 2u_i} \right) \times 100\%$$

Показатели перелова указывают долю перелова по перелавливаемым объектам, а показатели недолова – долю недолова по недолавливаемым объектам.

Для сравнения промысла и решения в оптимизационной задаче применяем также пообъектные показатели освоения (%) ОДУ на промыслах  $k_i = (v_i/u_i) \times 100\%$ , аналогичные показатели недоловов и переловов, а также все эти показатели в оптимизационной задаче.

Все расчеты проведены на данных о промыслах в Карагинском промысловом районе (подзоне) Берингова моря вблизи п-ова Камчатка в 2001-2005 гг. Карагинский промысловый район Берингова моря находится у побережья Восточной Камчатки и играет заметную рыбопромысловую роль в дальневосточных морях (рис. 1).



Рис. 1. Карагинский промысловый район (подзона).

Fig. 1. Karagin region (subzone).

Воды, омывающие п-ов Камчатка, разделены на 4 биостатистических района (Западно-Камчатская, Камчатско-Курильская, Карагинская и Петропавловск-Командорская), сырьевая база этих вод приближается к миллиону тонн. Основу ее составляют минтай, треска, лососи, сельдь, палтусы, камбалы, крабы, иглокожие и другие объекты. Ресурсы Карагинской подзоны (235 тыс. т) довольно велики и составляют 5,6% ресурсов ИЭЗ и пятую часть ресурсов западной части Берингова моря (Планирование, организация..., 2005).

Данные промыслов зафиксированы по основным объектам и способам промысла (табл. 1). В таблицах применены сокращения: СТФ – среднетоннажный флот, КТФ – крупнотоннажный флот. Во всех таблицах жирным шрифтом выделены базовые объекты, на которые выдавались квоты.

Нами проанализированы данные промыслов, их результаты сравнены с возможными вариантами оптимального распределения квот, рассчитываемыми в предлагаемых оптимизационных задачах.

Ниже приведены расчеты по задачам мягкой и жесткой оптимизации для Карагинской подзоны по данным промыслов 2001-2005 гг. (рис. 2). Эти расчеты показывают возможности формализованной системы, в том числе и в смысле планирования промыслов. Для планирования на ближайший год, как указывалось ранее, можно использовать коэффициенты прилова последних лет.

Проявляющаяся на рисунке 2 картина промыслов достаточно любопытна. За пять лет происходит смена доминирующих видов, а промысел не поспевает за изменениями. Первые годы доминирует сельдь, но ее ОДУ уменьшается, последние два года велик ОДУ бычков. Но вылов бычков, как расчетный, так и реальный, не становится большим. Причина состоит в том, что технологические возможности промысла и потребности рынка не соответствуют резко возросшему ОДУ бычков.

На промыслах почти постоянно перелавливались треска и минтай. Решения наших задач приводят к распределению квот почти без переловов. Решения в задаче мягкой оптимизации иногда приводят к переловам, а в задаче жесткой оптимизации – никогда, из-за сформулированных в ней ограничений. В некоторые годы на промыслах происходит перелов камбал и наваги, решения оптимизационных задач «ведут себя значительно лучше».

Значения ОДУ для бычков в 2001-2003 гг. были 2 и 3 тыс. т, в 2004 г. – 10 тыс. т, в 2005 г. – 24 тыс. т. Но большие значения ОДУ для бычков в 2004 и 2005 гг. не изменили картину промысла, – суммарный вылов этого вида на всех видах промыслов за эти годы не менялся: он составил от 1,3 до 1,8 тыс. т. Это говорит о том, что такой высокий уровень ОДУ (24 тыс. т) для бычков не оправдан, т.к. бычки традиционно мало вылавливаются ввиду отсутствия спроса.

Наши расчетные оценки по бычкам для 2005 г.: 1,15 тыс. т (жесткая оптимизация), 1,37 тыс. т (мягкая оптимизация, линейный метод) и 1,42 тыс. т (мягкая оптимизация, градиентный метод) практически совпали с реальным выловом в 1,29 тыс. т.

В таблице 2 приведены сравнительные оценки качества расчетов на основе критерия качества  $q = \sqrt{\Phi / m}$ .

Таблица 1. Средние значения объемов вылова рыб Карaginской подзоны (тонн) на специализированных промыслах за 2001-2005 гг.  
Table 1. Average values of volumes of yield for fishes by Karagin subzone (tons) for specialized fishery at 2001-2005.

Объект	ОДУ (тыс. т) среднее	Вылов в рамках промыслов (т)													
		Треска				Минтай				Сельдь				Камбалы	
		СТФ		КТФ		СТФ		КТФ		СТФ		КТФ		СТФ	
		Ярус	Трал	Спорр	Трал	Трал	Спорр	Трал	Спорр	Трал	Невол	Трал	Спорр	Трал	Спорр
Треска	9,80	3550,7	1523,2	2939,7	13,4	212,0	110,7	49,7	2,0	0,0	0,0	41,2	1224,6	122,2	0,1
Палтусы	1,11	295,8	19,7	11,4	0,5	2,6	0,3	13,6	0,5	0,0	0,0	15,0	48,1	16,4	0,0
Минтай	9,50	67,5	176,7	1652,7	12,6	820,0	189,4	3220,4	11,7	0,0	0,0	3125,9	1277,8	37,2	0,0
Сельдь	47,35	0,0	0,0	0,0	0,0	26,0	0,0	811,0	714,2	280,4	0,0	31769,6	57,0	3,2	0,0
Окуни	0,06	90,0	0,0	0,0	0,6	1,7	0,1	7,9	0,0	0,0	0,0	6,8	0,1	1,8	0,0
Терпуги	1,51	0,0	0,6	21,6	9,6	26,1	0,1	114,2	1,1	0,0	0,0	67,0	175,0	57,6	0,0
Камбалы	9,52	2,9	162,8	702,7	0,8	77,1	0,4	18,3	2,8	0,0	0,0	80,4	2545,3	1821,3	0,0
Навага	4,63	0,0	134,8	214,6	1,3	77,7	0,2	3,3	2,4	0,0	0,0	21,9	1183,2	271,3	0,0
Бычки	8,20	2,9	50,2	300,4	0,0	18,3	0,2	16,6	0,0	0,0	0,0	7,5	428,8	222,2	0,0
Скаты	0,88	29,4	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,9	0,0
Макрурысы	2,00	77,5	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	6,0	0,0
Объект	ОДУ (тыс. т) среднее	Вылов в рамках промыслов (т)													
		Палтусы				Терпуги				Макрурысы				Навага	
		СТФ		КТФ		СТФ		КТФ		СТФ		КТФ		СТФ	
		Трал	Ярус	Сеть	Трал	Трал	Ярус	Трал	Спорр	Трал	Спорр	Трал	Спорр	Трал	Спорр
Треска	9,80	0,0	0,5	1,4	0,0	0,3	12,6	2,4	5,0	0,1	85,9	825,6	0,0	0,0	0,1
Палтусы	1,11	32,2	12,6	9,0	19,3	0,1	9,2	2,8	9,3	3,9	1,3	13,2	0,0	0,0	1,2
Минтай	9,50	0,0	0,5	0,9	0,3	9,0	24,4	3,1	0,0	9,4	0,0	422,3	0,0	0,0	0,9
Сельдь	47,35	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	17,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Окуни	0,06	11,2	0,5	0,4	1,1	1,0	2,1	3,2	0,3	0,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
Терпуги	1,51	0,0	0,0	0,0	1,6	51,9	399,6	7,4	0,0	0,0	0,0	123,8	0,0	0,0	0,0
Камбалы	9,52	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	73,4	5,9	0,0	0,0	122,6	995,8	0,0	0,0	12,2
Навага	4,63	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	20,5	0,0	0,0	0,5	1026,5	1801,1	49,4	98,6	0,0
Бычки	8,20	0,0	0,0	0,1	0,4	24,3	16,9	0,0	0,0	0,0	82,2	319,0	0,0	0,0	0,0
Скаты	0,88	5,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Макрурысы	2,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	12,0	133,9	409,3	48,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

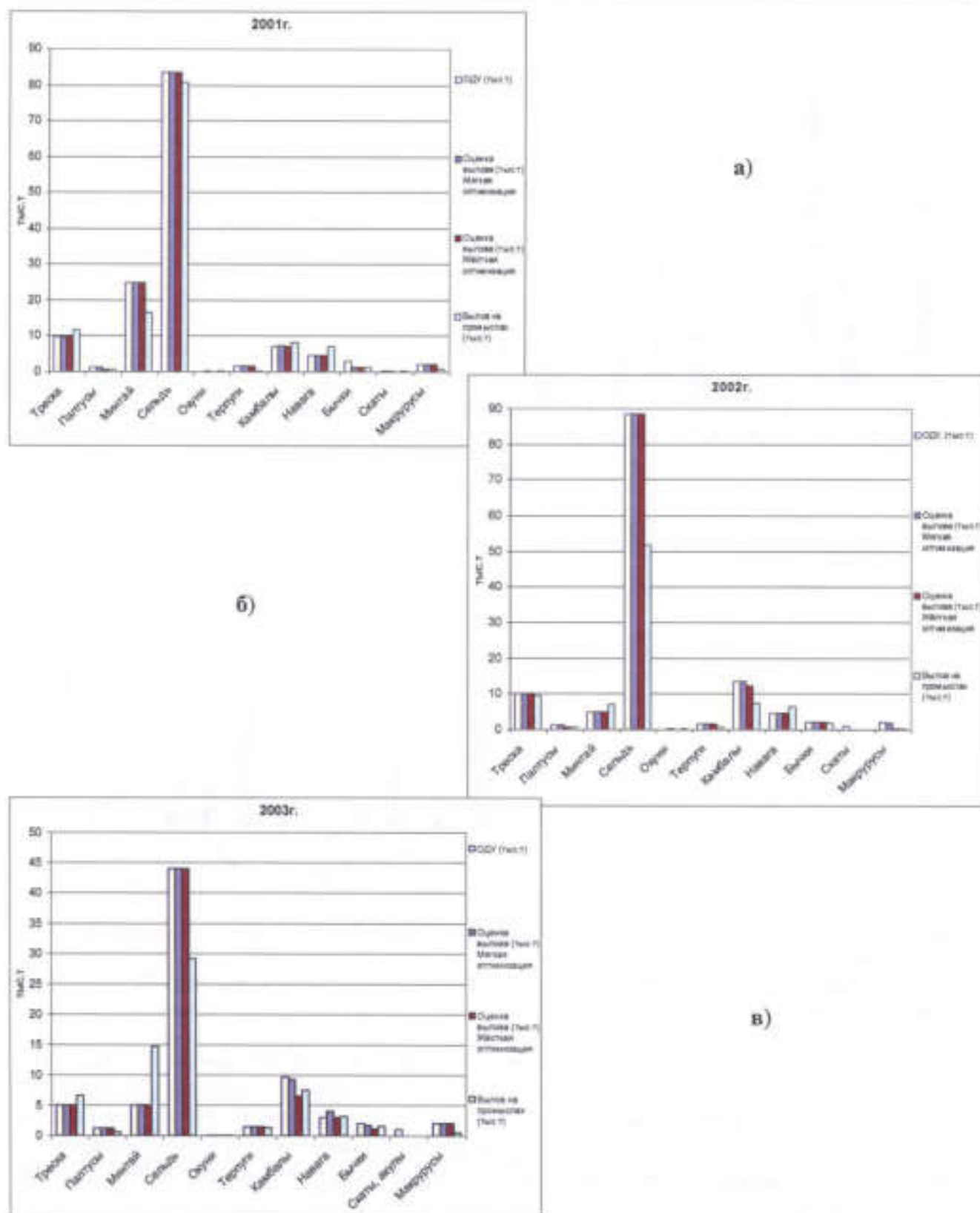


Рис. 2. Рассчитанные выловы в задачах квадратичной и линейной оптимизации в сравнении с ОДУ и выловами на промыслах в 2001-2005 гг. (а – д).

Fig. 2. Calculated yields in problems (tasks) of square and linear optimization in comparison with the MSY and yields in fishery in 2001-2005 (a – d).

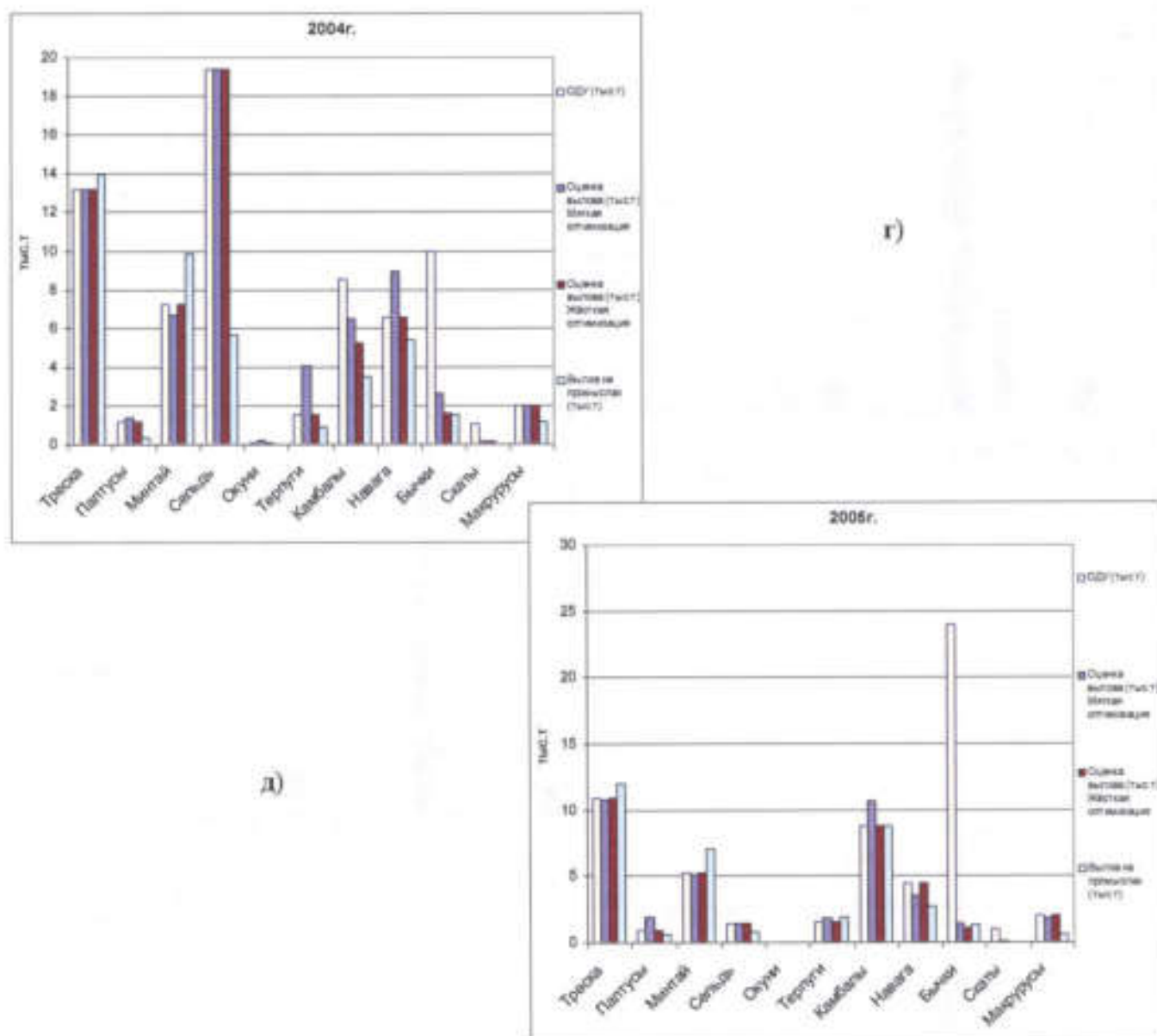


Рис. 2. Рассчитанные выловы в задачах квадратичной и линейной оптимизации в сравнении с ОДУ и выловами на промыслах в 2001-2005 гг. (а – д).

Fig. 2. Calculated yields in problems{tasks} of square and linear optimization in comparison with the MSY and yields in fishery in 2001-2005 (a – d).

Критерий качества  $q$  означает взвешенную на число объектов промысла оценку отклонения вектора расчетного вылова от ОДУ. Чем меньше значение  $q$ , тем лучше результат. В нашем случае решения в задаче мягкой оптимизации, как правило, лучше, чем в задаче жесткой оптимизации. Это естественно, т.к. мягкая задача имеет более слабые ограничения, чем жесткая. В задаче мягкой оптимизации градиентный метод, как правило, выигрывает по качеству  $q$  перед линейным.

Из-за резкого роста ОДУ бычков качество приближения  $q$  в 2004-2005 гг. хуже, чем в предыдущие годы. Для сравнения в таблице 2 приведен расчет по промыслам 2005 г. без учета бычков.

**Таблица 2.** Оценки качества приближения по показателю  $q = \sqrt{\Phi / m}$ .**Table 2.** Estimations  $q = \sqrt{\Phi / m}$  approximation quality.

Подзоны	Методы	Годы						
		2001	2002	2003	2004	2005		2001-2005
						С учетом бычков	Без учета бычков	
Карагинская	Мягкая оптимизация градиентный метод	0,54	0,31	0,46	2,52	6,85	0,78	1,77
	Мягкая оптимизация линейный метод	0,59	0,31	0,95	2,57	6,87	0,83	1,74
	Жесткая оптимизация	0,61	0,71	1,03	2,74	6,90	0,31	1,76

Аналогичная картина с характеристиками освоения, переловов и недоловов на промыслах и в решениях задач оптимизации (табл. 3). По данным промысла за эти годы – неполное освоение ОДУ. В оптимизационной задаче оно близко к 100%, переловы и недоловы небольшие, т.е. по нашим расчетам могло бы быть практически полное освоение ОДУ по всем видам. В 2004 и 2005 гг. как в реальном промысле, так и по нашим расчетам ввиду влияния бычков наблюдается высокий процент недолова.

**Таблица 3.** Освоение (%) промысловых биоресурсов, переловы и недоловы (%) в Карагинской подзоне (факт и расчетные варианты).**Table 3.** Development (%) of biological resources for fishery, big and small yield in comparison with the MSY (%) in Karagin subzone (the factual and computational variants).

Год	Результаты промыслов			Результаты оптимизационных задач								
				Мягкая оптимизация градиентный метод			Мягкая оптимизация линейный метод			Жесткая оптимизация		
	Освоение	Перелов	Недолов	Освоение	Перелов	Недолов	Освоение	Перелов	Недолов	Освоение	Перелов	Недолов
2001	92,7	24,9	13,4	99,0	1,3	2,3	98,9	1,4	2,1	97,9	0,0	2,1
2002	66,1	39,1	39,9	99,4	0,2	0,8	99,4	1,4	0,9	96,6	0,0	3,4
2003	87,7	88,8	33,7	99,3	9,2	2,8	94,1	2,3	7,1	93,2	0,0	6,8
2004	59,8	16,0	63,2	92,4	11,6	48,2	92,0	12,8	22,8	82,1	0,0	17,9
2005	С учетом бычков											
	56,5	19,2	69,7	64,3	17,6	63,9	64,1	26,3	52,3	60,4	0,0	40,2
	Без учета бычков											
	90,3	19,2	37,4	103,1	17,6	16,6	102,8	26,3	9,6	97,3	0,0	2,8

Из таблицы 3 видно, что расчетные выловы в задачах мягкой и жесткой оптимизации гораздо ближе к значениям ОДУ, чем реальные выловы. При этом задача мягкой оптимизации дает лучшие приближения, чем задача жесткой оптимизации, но в ее решениях допустимы переловы. Запрет переловов в задаче жесткой оптимизации приводит к ухудшению освоения разрешенных объемов вылова.

Общий вывод состоит в том, что формальная оптимизация улучшает характеристики освоения ресурсов. Процент освоения увеличивается, а переловы и недоловы уменьшаются, по отдельным годам существенно. Причем в задаче жесткой оптимизации переловы отсутствуют, как и должно быть по условиям этой задачи. Отсутствие переловов в целом ухудшает, по сравнению с задачей мягкой оптимизации, остальные показатели решения, но оно все равно лучше, чем характеристики реальных промыслов.

Подобная нашей схема расчетов квот реализована в КамчатНИРО (Балыкин, Терентьев, 2004, 2006). Для сравнения мы провели свой расчет для промыслов в Карагинской подзоне в 2005 г. по исходным данным КамчатНИРО. Качество приближения у КамчатНИРО оказалось лучше (табл. 4).

**Таблица 4.** Оценки качества приближения по показателю  $q = \sqrt{\Phi/m}$  по Карагинской подзоне за 2005 г.  
**Table 4.** Estimations  $q = \sqrt{\Phi/m}$  approximation quality in Karagin subzone in 2005.

Подзоны	Методы	С учетом бычков	Без учета бычков
Результаты КамчатНИРО	Расчетные оценки КамчатНИРО	5,60	0,66
Результаты ТИНРО-Центра	Расчетные оценки по данным КамчатНИРО. Мягкая оптимизация линейный метод.	6,95	1,94

Причина этого выяснилась при детальном анализе схемы рассуждений сотрудников КамчатНИРО (Терентьев, 2006). В процессе этих рассуждений для улучшения решений изменяются характеристики ведения промысла и, в частности, коэффициенты  $\alpha_{jk}$  прилова. Это исходные данные задачи, характеризующие орудия промысла и их взаимодействие с промысловыми объектами. При этом решение, конечно же, изменяется. Это означает, что в КамчатНИРО решили другую задачу с другими начальными данными, чем было объявлено вначале. Таблица 4 содержит характеристики решений разных задач, сравнивать эти решения невозможно. Рассуждения сотрудников КамчатНИРО не формализованы, основаны на собственных экспертных суждениях и оценках. Наряду с положительными сторонами такого подхода, видны и отрицательные моменты: результат зависит от автора, расчеты не повторяемы.

Наш подход формализован. Прогнозная задача решается компьютерной программой. Подобные расчеты обладают важными свойствами повторяемости, что означает возможность их проверки и уточнения. Они тиражируемы для других промысловых районов и времен промыслов. Формальный подход слабо зависит от объема обрабатываемой информации: достаточно большой объем данных практически не затрудняет расчеты и не делает их менее надежными.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование неформализованных процедур распределения квот на рыбных промыслах может дать более хорошие решения в конкретных случаях, но такие процедуры не позволяют сравнивать результаты для разных промысловых районов и, по сути, являются неповторяемыми.

Рассмотренный здесь пример применения формальных математических моделей к распределению квот показывает, что использование модельного подхода приводит к созданию соответствующей технологии. Эта технология распределения квот повторяема, не зависит от исполнителя и многих привходящих обстоятельств. Подобные модельные подходы позволяют улучшить управление рыбными промыслами. Внедрение предлагаемых в этой работе формальных методов в практику анализа данных о промыслах могло бы стимулировать специалистов к большей формализации применяемых методов там, где это возможно.

Подобные модели должны войти в аналитическую подсистему предлагаемой нами информационно-аналитической системы рыболовства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов А.И., Бочаров Л.Н., Каредин Е.П. Модельный анализ многовидовых рыбных промыслов // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 138. С. 220-224.

Абакумов А.И., Бочаров Л.Н., Каредин Е.П., Решетняк Т.М. Модельный анализ и ожидаемые результаты оптимизации многовидовых промыслов прикамчатских вод // Вопросы рыболовства. 2007. Т. 8. №1(29). С. 93-109.

Балыкин П.А., Терентьев Д.А. Организация многовидового промысла рыб на примере Карагинской подзоны // Вопросы рыболовства. 2004. Т. 5. №3(19). С. 489-499.

Балыкин П.А., Терентьев Д.А. Состав уловов и возможная схема многовидового прогноза ОДУ в Карагинской подзоне // Методические аспекты исследований рыб морей Дальнего Востока. Тр. ВНИРО. 2006. Т. 146. С. 305-310.

Бочаров Л.Н. Перспективный подход к обеспечению населения продуктами рыболовства // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 138. С. 3-18.

Измаилов А.Ф. Численные методы в оптимизации. М.: Физматлит, 2005.

Кочиков В.Н. Приловы и выбросы в мировом рыболовстве // Рыбное хозяйство. 2000. №5. С. 24-27.

Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н. Система регулирования изъятия при многовидовом промысле // Рыбное хозяйство. 1995. №1. С. 31-32.

Планирование, организация и обеспечение исследований рыбных ресурсов дальневосточных морей России и северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2005.

Терентьев Д.А. Структура уловов морских рыбных промыслов и многовидовое рыболовство в прикамчатских водах: дисс. на соиск. уч. степ. канд. биолог. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2006. 188 с.

OPTIMUM DISTRIBUTION OF QUOTAS FOR MULTISPECIFIC FISHERY  
ON EXAMPLE OF KARAGIN REGION

© 2009 y. A.I. Abakumov<sup>1</sup>, L.N. Bocharov<sup>2</sup>, T.M. Reshetnjak<sup>2</sup>

1 – Institute of Automation and Control Processes,  
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok

2 – Pacific Research Fisheries Center, Vladivostok

The preliminary actions are important for the organization and operational management of fishing. The definition of biologically relevant restrictions on yield of each object and the distribution of the allowed yield for fishermen appertain to these preliminary actions. The formal procedures of distribution of quotas on yield of biological resources within the tentative limits of specified restrictions are considered in this work. These procedures are presented in mathematical models that are to be the integral part of informational and analytical system. This system is aimed at the formalization of the specified tentative actions. The examples from yield data in Karagin region of the Bering Sea are adduced. These examples demonstrate the properties and the efficiency of modelling.