

АНАЛИЗ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОЙ ДОБЫЧИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Р. Г. Бородин

Для организации рационального промысла морских млекопитающих необходимы научно обоснованные оценки состояния их запасов и промысла.

Чтобы оценить запасы и возможную добычу морских млекопитающих, можно применять известные методы теории рыболовства [7] с учетом специфики экологии и промысла этих животных.

Работа, заключающаяся в выборе из всех используемых методов наиболее подходящих, модифицировании их применительно к объекту исследования, предложении более совершенных методов и применении их для оценки возможной добычи основных видов морских млекопитающих, была начата с анализа методов оценки состояния запасов и промысла морских котиков северной части Тихого океана. Ранее для оценки величины возможной добычи Чепманом были разработаны математические модели популяции котиков о-вов Прибылова. Булгаковой [6] предложены две модификации, которые несколько отличаются от моделей Чепмана. Все перечисленные модели были использованы при расчете оптимального уравновешенного выбоя морских котиков о-ва Тюлений.

Для всех трех случаев различия в оптимальных размерах популяции котиков о-ва Тюлений, выраженных в численности ежегодно рождающихся щенков, не превышают 3%, но различия значений рекомендуемых величин уравновешенного выбоя достигают 10%.

Для оценки состояния запасов и возможной добычи котиков Командорских островов и о-ва Тюлений были предложены несколько другие методы [2, 3], с помощью которых было установлено, что для некоторых поколений фактическая добыча была выше возможной.

Параллельно были начаты исследования состояния запасов и промысла другого большого отряда морских млекопитающих — китообразных.

В настоящее время добыча одних видов (синие и гладкие киты, горбачи и др.) из-за угрозы полного исчезновения прекращена, других (финвалы) — также практически окончена (разрешена только в небольшом количестве и в определенных районах), запасы третьих (сейвалы, кашалоты) эксплуатируют на среднем уровне, а четвертых (малые полосатики) — только начинают. При таком сложном положении цели и возможности исследования состояния запасов и промысла были различны. Следовательно, и методы оценки возможной добычи применяли в зависимости от этих целей и наличия исходной информации.

Исследование состояния запасов и промысла китов были начаты с анализа основных методов, используемых для оценки их возможной добычи [1, 4]. Затем были выбраны, усовершенствованы и применены методы математического анализа и получены оценки состояния запаса-

сов и возможной добычи антарктических финвалов [5], сейвалов [8], кашалотов южного полушария [9] и кашалотов северной части Тихого океана [10]. Оценки, полученные разными методами, хорошо сопоставимы.

Для применения перечисленных выше методов необходимы данные о возрастном составе, который оценивали с помощью размерно-возрастной зависимости. При этом определяли минимально необходимое число наблюдений и возможную погрешность по схеме, рассмотренной в работе [5].

Имея данные по ежегодной добыче C , промысловому усилию f и возрастному распределению, можно с помощью методов математического моделирования оценить величину промыслового запаса N_1 и некоторые другие величины на начало исследуемого периода, а затем и возможную добычу для любого уровня запаса.

При наличии удовлетворительной информации за длительный период промысла (например, финвалов и др.) можно найти оценки запасов N_1, N_2, \dots, N_m в течение последовательного ряда лет ($i = 1 \div m$).

Ежегодное относительное «чистое» пополнение ($r - \varphi_m$), равное разности относительного пополнения r и естественной убыли φ_m , для следующих лет $i = m + 1, \dots, m + 2, \dots, n$) можно найти с помощью рекуррентной процедуры:

$$N_i(r - \varphi_m)_i = N_{i+1} - N_i + C_i. \quad (1)$$

Для ряда исследованных запасов зависимость между значениями $(r - \varphi_m)_i$ и N_i близка к линейной и может быть представлена в виде $(r - \varphi_m) = \alpha - \beta N_i$. Затем путем экстраполяции можно оценить «чистое» пополнение для любого уровня запасов.

Динамика численности китов на последующие годы с учетом возраста пополнения t_c оценивается по рекуррентной формуле:

$$N_{i+1} = N_i + N_{i-t_c}(\alpha - \beta N_{i-t_c}) - C_i. \quad (2)$$

Таким образом, рассматриваемый подход дает возможность оценить величину запасов, его пополнение, устойчивую добычу $C_{is} = (r - \varphi_m)_i N_i$ и другие параметры за длительный ряд лет. С учетом полученных оценок можно регулировать промысел так, чтобы ежегодно изымая возможно большее количество особей, не сокращать запасы.

Если запасы истощены промыслом, встает проблема их восстановления. Покажем, как при постоянных условиях существования китов в течение периода возможного восстановления их запасов и с учетом численности поголовья за последние годы можно оценить время, за которое данный запас достигает первоначального уровня или уровня максимальной устойчивой добычи при принятом режиме промысла. Причем для того чтобы запас возрастал, необходимо чтобы действительная ежегодная добыча всегда была меньше устойчивой добычи, т.е. $C_i < C_{is}$.

Время возможного восстановления запасов китов — n (лет) — с данного уровня N_t до уровня максимальной устойчивой добычи $N_{t+n} = N_{MSB}$ можно определить следующим образом. В соответствии с рекуррентной формулой (1) для ряда лет имеем:

$$N_{t+1} = N_t + N_{t-t_c}(r - \varphi_m)_{t-t_c} - C_t$$

$$N_{t+2} = N_t + N_{t-t_c}(r - \varphi_m)_{t-t_c} - C_t + N_{t-t_c+1}(r - \varphi_m)_{t-t_c+1}$$

$$\vdots - C_{t+1}$$

$$N = N_t + N_{t-t_c}(r - \varphi_m)_{t-t_c} + \dots$$

$$\dots + N_{t-t_c+i}(r - \varphi_m)_{t-t_c+i} - (C_t + C_{t+1} + \dots + C_{t+i}).$$

Продолжая эту процедуру до тех пор пока не вычислим $N_{t+n} = N_{\text{мсд}}$, получим

$$N_{t+n} = N_t + \sum_{i=t-t_c}^{n-1} N_i (r - \varphi_m)_{i-1} - \sum_{i=t}^{n-1} C_i. \quad (3)$$

Тогда индекс n в выражении (3) и будет характеризовать время возможного восстановления запасов при $C_i < C_{is}$.

Время возможного восстановления n будет тем меньше, чем меньше ежегодный действительный выбой по сравнению с устойчивой добычей. Вычисление времени возможного восстановления запасов можно несколько упростить, если принять $t_c = 0$. Имеем:

$$N_2 = N_1 \cdot K_1 - C_1,$$

$$N_3 = (N_1 K_1 - C_1) K_2 - C_2 = N_1 K_1 K_2 - C_1 K_2 - C_2,$$

⋮

$$N = N_i \cdot K_1 \cdot K_2 \dots K_{i-1} - (C_1 K_2 \dots K_{i-1} + \dots C_{i-2} \cdot K_{i-1} + C_{i-1}),$$

⋮

$$N_n = N_1 \prod_{i=1}^{n-1} K_i, \quad (4)$$

где $K_i = 1 + (r - \varphi_m)_i$.

Если $K = \text{const}$ и $C = \text{const}$, то уравнение (4) можно переписать в виде

$$N_n = N_1 K^{n-1} - C(K^{n-2} + K^{n-3} + \dots + K + 1) \dots, \quad (5)$$

так как в нашем случае всегда $K = 1 + (r - \varphi_m) \geq 1$, то степенной ряд в скобках расходится. Вынесем за скобки K^{n-2} и получим

$$\left(1 + \frac{1}{K} + \frac{1}{K^2} + \dots\right) = \frac{1}{1 - \frac{1}{K}} = \frac{K}{K-1} \dots \quad (6)$$

Подставив выражение для суммы ряда (6) в уравнение (5), найдем

$$N_n = \left(\frac{N_1(K-1) - C}{K-1}\right) K^{n-1},$$

откуда получим

$$n = 1 + \frac{\ln[N_n (r - \varphi_m)] - \ln[N_1 (r - \varphi_m) - C]}{\ln[1 + (r - \varphi_m)]} \dots \quad (7)$$

По уравнению (7) можно оценить время возможного восстановления запасов китов, если известна их численность в настоящее время N_n на уровне максимальной устойчивой добычи $N_{\text{мсд}}$ и при условии, что ежегодно выбивается одно и то же количество китов C .

Возможность применения некоторых методов математического моделирования показана при оценке состояния и перспектив возможного восстановления запасов антарктических финвалов.

До недавнего времени антарктические финвалы являлись основным объектом промысла усатых китов. Статистика по биологии и промыслу этого вида китов удовлетворительна за длительный период времени, что позволяет с помощью методов математического моделирования

исследовать современное состояние промысловых запасов китов и перспективы их восстановления. Исходные данные взяты из сборников Международной китобойной комиссии.

С помощью «когортного» анализа (11) были получены оценки величины запасов финвалов за последовательный ряд лет. Затем были вычислены значения относительного «чистого» пополнения для этого же ряда лет. Анализ зависимости между относительным «чистым» пополнением и величиной запаса показывает, что с уменьшением запасов относительный «чистый» прирост ($r - \varphi_M$) имеет тенденцию к увеличению как у самок, так и у самцов антарктических финвалов.

Динамика численности китов оценивалась с помощью уравнения (2). Анализ результатов показывает, что численность антарктических финвалов резко уменьшилась и составила в 70-е годы примерно 20% от их численности в начале 30-х годов. Лишь в последние годы при введении строгих мер по регулированию наметилась стабилизация и даже некоторый рост промысловых запасов антарктических финвалов. В настоящее время численность поголовья антарктических финвалов, определенная несколькими методами, оценивается в 80—90 тыс. голов [1]. Устойчивая добыча $C_s = 3,2$ тыс. шт. Величина пополнения в настоящее время по сравнению с 1950 г. уменьшилась почти в три раза.

Так как за основу регулирования в промысле китов принята концепция максимальной устойчивой добычи, то необходимо ввести такой режим промысла финвалов, который даст возможность их запасам восстановиться до уровня максимальной устойчивости добычи. Величина запаса антарктических финвалов на уровне максимальной устойчивой добычи равна $N_{MSD} = 220-230$ тыс. шт. [1]. В соответствии с формулой (11) оценивалось время возможного восстановления запасов при различных режимах промысла с настоящего уровня $N_n = 86$ тыс. шт. до уровня $N_{MSD} = 220$ тыс. шт. (таблица).

n, годы	Добыча C, шт.								
	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
φ_M ($M - \varphi_M$) = 0,04	24	26	28	30	33	36	39	43	47
($M - \varphi_M$) = 0,05	20	21	22	23	25	27	29	31	33

Как видно из таблицы, для восстановления запасов антарктических финвалов до уровня максимальной стабильной добычи понадобится не менее 20 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин Р. Г. Состояние запасов и промысла китов в Антарктике (методы исследования). Рациональное использование ресурсов Мирового океана, сер. 1, вып. 2, М., ЦНИИТЭИРХ, 1974, с. 4—64.
2. Бородин Р. Г., Владимиров В. А. Некоторые аспекты современного состояния популяции котиков о-ва Тюлений. Материалы совещания по рациональной организации котикового хозяйства в стране. М., ЦНИИТЭИРХ, сер. 1, вып. 7, 1975, с. 6—7.
3. Бородин Р. Г., Владимиров В. А. К оценке современного состояния командорской популяции котиков. Материалы совещаний по рациональной организации котикового хозяйства в стране. М., ЦНИИТЭИРХ, сер. 1, вып. 7, 1975, с. 7—8.
4. Бородин Р. Г. Исследование математических методов оценки состояния запасов и промысла китов. Морские млекопитающие. Ч. 1. Материалы VI Всесоюз. совещания. Киев, «Наукова думка», 1975, с. 53—54.
5. Бородин Р. Г. Исследование перспектив промысла и возможного восстановления запасов антарктических финвалов. Тезисы докладов молодых ученых ЦНИИТЭИРХ. М., 1975, 19 с.

6. Булгакова Т. И. Применение математических моделей для расчета оптимального уравновешенного вылова морских котиков о-ва Тюлений. Сб. трудов по промышленному рыболовству. Том 2, ЦНИИТЭИРХ, М., 1973, с. 30—52.

7. Засосов А. В. Теоретические основы рыболовства. «Пищевая пром-сть», М., 1970, 293 с.

8. Borodin, R. G. A further study of the stock condition of Antarctic sei whales. 1975 IWC/27, SC/36.

9. Borodin, R. G. Estimation of initial stock and catchability coefficient of male sperm whales in the Southern Hemisphere. 1976 SP/IWC/SC/22. 1—3.

10. Borodin, R. G. Sperm whale stock size assessment in the North Pacific. 1975 IWC/27, SC/31, 401—403.

11. Pope, Y. G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis. 1971. ICNAF Res. Doc. 71/146. 1—6.

Analysis and usage of methods of assessing possible catches of marine mammals

Borodin R. G.

SUMMARY

A brief analysis of mathematical methods of assessing the main parameters characterizing the state of stocks and catches of marine mammals is given.

A recurrent procedure of finding a relative "pure" recruitment is suggested.

A formula of evaluating a time length needed for recovery of depleted stocks (e.g. fin whales, sei whales) to the MSY level at various rates of whaling is derived.

By using mathematical models the commercial stocks and possible catches of the main species of marine mammals (Antarctic fin whales, sei whales and sperm whales) are assessed. The variations in the Antarctic fin whale stock and whaling operations are demonstrated. The assessment of the Initial Management Stock (390 000—410 000 specimens) and present stock (80 000—90 000), the maximum sustained yield (8000—10 000) and equilibrium yield (9000—8000 specimens) are made. The time needed for a possible recovery of the stock of Antarctic fin whale to come to the MSY level is estimated to be at least 20 years in the absence of whaling operations.

