

УДК 599.5+639.245.1

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЧИСЛЕННОСТИ КИТОВ****А. В. Засосов**

Советский Союз подписал ряд международных соглашений, которые необходимо учитывать при определении перспектив и масштабов развития отечественного антарктического китобойного промысла. Одно из них привело к необходимости разработать методику подсчета поголовья стада промышленного зверя и методику определения наибольшей возможной квоты выбоя его. С этой целью Международная китобойная комиссия создала комитет, в состав которого были приглашены ученые стран, не принимающих участия в промысле китов в Антарктике. Первоначально в его состав вошли D. Charpen (США), K. Allen (Австралия) и S. Holt (ФАО). Позднее в работе комитета принял очень деятельное участие J. Gulland (Англия).

В результате долготных усилий, а также благодаря работам большого числа ученых разных стран сейчас можно насчитать несколько различных способов решения задачи по подсчету поголовья китов того или иного вида и способов определения наибольшей возможной квоты выбоя их. Необходимо отметить, что до недавнего времени основу мирового промысла составляли усатые киты и даже один их вид — финвалы. Вследствие этого основные реальные расчеты, проделанные комитетом, также касались преимущественно одного вида китов — финвалов. Несмотря на это, методы подсчета поголовья финвалов и подсчета квоты выбоя их не менее интересны, чем сами результаты подсчетов и несомненно могут быть использованы при определении запасов в других районах, а также и других объектов промысла.

Одним из первых способов определения численности поголовья стада финвалов является оценка запаса по результатам мечения. За промысловые сезоны 1957/58 — 1960/61 гг. был произведен подсчет возврата меток как от предвоенного, так и от послевоенного мечения и по результатам возврата оценена величина годичной убыли финвалов, показанная в табл. 1.

При определении степени годичной убыли финвалов предполагалось, что численность меченой части популяции, как и общая численность, уменьшается с течением времени согласно закономерности

$$N_t = N_0 e^{-zt},$$

где N_0 — общее число меченых китов;

N_t — число меченых китов в данный момент;

t — промежуток времени, прошедший с момента мечения;

z — коэффициент смертности, характеризующий убыль финвалов.

Годичная убыль финвалов

Сектор Антарктики	Показатели	Предвоенное мечение	Послевоенное мечение	Процентное соотношение возвратов мечения	zt	z
II	Число меток	2205	262	—	—	—
	Возврат	16	8	—	—	—
	%	0,73	3,05	0,238	1,43	0,071
III	Число меток	749	300	—	—	—
	Возврат	21	31	—	—	—
	%	2,80	10,33	0,271	1,30	0,015
Другие секторы	Число меток	289	276	—	—	—
	Возврат	3	54	—	—	—
	%	1,04	19,56	0,053	2,94	0,147
Всего	Число меток	3243	838	—	—	—
	Возврат	40	93	—	—	—
	%	1,23	11,10	0,111	2,20	0,110

Полагая шансы возврата меток от того и другого мечения одинаковыми, а следовательно, считая равной и вероятность гибели всех меченых китов, нетрудно установить, что

$$zt_{п.м} = \ln \frac{N'_t N''_0}{N'_0 N''_t},$$

т. е. отношение доли возврата от предвоенного мечения к доле послевоенного будет характеризовать убыль за промежуток времени между мечениями;

здесь: N'_t и N''_0 — численности популяции китов, меченной в предвоенные годы;

N''_t и N'_0 — численности популяции китов, меченной в послевоенные годы;

$t_{п.м}$ — промежуток времени между мечениями.

На основе полученной оценки смертности $z=0,11$ по среднегодовому числу убывающих китов была подсчитана величина среднего поголовья стада за указанный период. Не останавливаясь на содержании этих несложных подсчетов, отметим, что для 1950—1957 гг. средняя численность промыслового стада была оценена этим способом в 130—175 тыс. голов. Степень точности этой оценки зависит от целого ряда причин, в том числе и от учета изменения усилия, внимания при обнаружении меток и др.

Годичную убыль стада можно определить также и путем анализа возрастного состава убитых финвалов. Для этого комитетом было обработано несколько десятков тысяч наблюдений, в связи с чем каждый из шести секторов Антарктики по 60-й параллели был поделен на две зоны: северную и южную (рис. 1). Возрастной состав каждой зоны в каждом месяце и для каждого пола оценивался по размерному составу на основе экспериментально полученной, так называемой ключевой закономерности изменения длины животного с возрастом. Ключевая закономерность «возраст—длина» в свою очередь была установлена на основе изучения

ушных пробок путем предположения, что на них за год появляются два слоя¹.

Поскольку соотношение между длиной и возрастом у старых велико-возрастных китов, по всей вероятности, может выступать менее определенно и менее четко, чем у молодых, то при анализе возрастного состава в поисках ключевой закономерности «возраст—длина» и для оценки

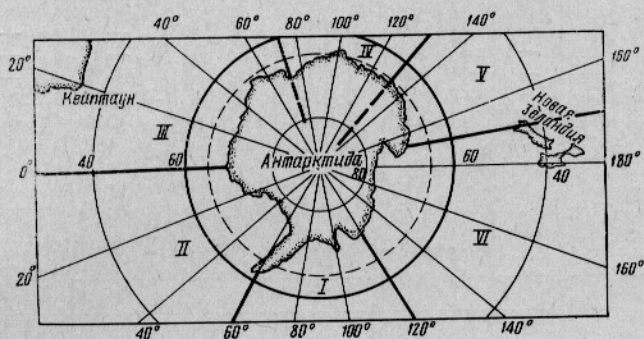


Рис. 1. Карта Антарктики.

годовой убыли ориентировались главным образом на 4-ю и 5-ю возрастные группы.

В основу определения общей смертности было положено широко распространенное предположение о том, что убыль стада в единицу времени пропорциональна его численности, а следовательно, и о том, что убыль годового класса отражается изменением числа убитых китов, приходящихся на единицу усилия.

Если обозначить число финвалов i -го возраста, убитых в каком-либо определенном месяце и в данной зоне, приходящихся на единицу усилия, U_i , а число финвалов того же возрастного класса, убитых ровно через год, в том же самом месяце, в данной зоне и на ту же единицу усилия, U_{i+1} , то разность $\ln U_i - \ln U_{i+1}$ и явится оценкой z общей смертности годового класса.

Таким образом, после машинной обработки возрастного состава с учетом времени, сезона, зоны и полового признака было получено большое число значительно варьирующих оценок общей смертности, с помощью которых были подсчитаны средние оценки.

Таблица 2

Смертность финвалов (самцов)

Сезоны	Сектор						Средняя по Антарктике
	I	II	III	IV	V	VI	
1931/32—1933/34 гг.	—	-0,026	-0,636	-0,808	—	—	-0,247
1934/35—1937/38 гг.	—	-0,102	0,088	-0,189	—	—	-0,068
1945/46—1948/49 гг.	—	-0,048	-0,014	0,033	0,126	—	0,024
1950/51—1951/53 гг.	—	0,049	-0,114	0,092	-0,179	-0,196	-0,070
1953/54—1956/57 гг.	0,772	0,380	0,132	0,296	0,130	0,078	0,298
1957/58—1960/61 гг.	0,414	0,237	0,339	0,533	0,548	0,486	0,426

¹ Достоверность этого предположения подтверждалась определением возраста другими методами (по желтым телам овуляции, меткам и т. д.).

Таблица 3

Смертность финвалов (самок)

Сезоны	Сектор						Средняя по Антарктике
	I	II	III	IV	V	VI	
1931/32—1933/34 гг.	—	0,126	0,310	0,345	—	—	0,260
1934/35—1937/38 гг.	—	0,062	0,211	0,195	—	—	0,156
1945/46—1948/49 гг.	—	-0,104	0,130	0,115	0,112	—	0,063
1949/51—1952/53 гг.	—	-0,033	0,024	0,141	-0,209	-0,258	-0,031
1953/54—1956/57 гг.	0,473	0,078	0,202	0,208	0,044	0,181	0,198
1957/58—1960/61 гг.	0,075	0,227	0,362	0,460	0,462	0,422	0,335

Таблица 4

Смертность финвалов (общая)

Сезоны	Сектор						Средняя по Антарктике
	I	II	III	IV	V	VI	
1931/32—1933/34 гг.	—	0,050	-0,163	0,133	—	—	0,007
1934/35—1937/38 гг.	—	-0,020	0,150	0,003	—	—	0,044
1945/46—1948/49 гг.	—	-0,076	0,058	0,074	0,119	—	0,044
1949/50—1952/53 гг.	—	0,008	-0,045	0,116	-0,104	-0,277	-0,050
1953/54—1956/57 гг.	0,622	0,229	0,167	0,252	0,087	0,130	0,248
1957/58—1960/61 гг.	0,244	0,232	0,350	0,496	0,505	0,454	0,380

Приведенные в табл. 2—4 средние значения оценок общей смертности являются оценкой суммарного воздействия промысла (F) и естественных причин (M):

$$z = F + M.$$

Для оценки естественной смертности M был произведен анализ возрастного состава финвалов, убитых в сезонах, следующих за периодами, в которых стадо не использовалось промыслом, т. е. в 1931/32 (начало промысла) и 1945/46 гг. (возобновление промысла после резкого спада, вызванного второй мировой войной).

Полагая, что возрастной состав китов, убитых в эти сезоны, верно отображает состав не затронутого промыслом стада, можно вычислить для этого случая M как разность логарифмов чисел, характеризующих численность смежных возрастных групп. Еще проще можно определить величину M , если воспользоваться полулогарифмическими осями координат. Отложенные логарифмы численности возрастных групп расположатся близко к прямой, наклон которой и будет характеризовать величину естественной смертности M .

Проделанные расчеты показали, что естественная смертность финвалов равна $M=0,05$ *.

Еще одним способом, подтверждающим эти расчеты, явилось определение естественной смертности на основе соотношения убитых финвалов 12-летнего возраста в 1946/47 г. и числа пятилеток в сезоне 1938/39 г., т. е. на основе соотношения показателей численности одной и той же возрастной группы, взятых в разное время.

* Что подтвердили и результаты мечения.

Поскольку данные табл. 4 свидетельствуют о том, что общая средняя смертность финвалов $z=0,38$, а естественная смертность $M=0,05$, то средняя промысловая смертность их характеризуется величиной $F=0,33$. И если считать округленно, что среднегодовая добыча за 1957—1960 гг. составляла 26 тыс. голов, то, как следует из анализа возрастного состава, численность промыслового стада финвалов в это время была в 3 раза больше и составляла 71—79 тыс. голов.

Анализ возрастного состава дает возможность и по-иному подойти к подсчету величины поголовья стада с привлечением основ теории воспроизводства, которую разработал Риккер (W. Ricker).

В те годы, когда промысел только начинает осваивать стадо, изъятие составляет очень малую часть его, что справедливо и по отношению к китам. В дальнейшем оно, как правило, возрастает и действие промысла в уменьшении численности стада становится очевидным. Последнее можно наблюдать по измерению улова на единицу усилия. Уменьшение численности стада само по себе еще не является признаком, определяющим границу (предел) возможного изъятия из стада. Оно лишь свидетельствует о том, что промысел становится основным фактором, определяющим численность стада.

Стадо китов имеет определенную способность воспроизводства R и смертности M . Если то и другое свойство охарактеризовать отвлеченным числом, то разность между числами определит величину «приращения» популяции или, другими словами, определит ту величину, которую можно изъять из стада (улов) без какого-либо изменения его численности. Эту разность принято именовать устойчивой продуктивностью (продукцией) стада в данный момент (рис. 2).

Устойчивая продуктивность равна нулю у такого стада, которое не затронут промыслом, ибо численность его не растет и не уменьшается, а естественная смертность уравнивает пополнение. Поскольку численность эксплуатируемого стада уменьшается еще и от промысла, то либо следует рассматривать увеличенной за этот счет смертность, либо уменьшенной величину пополнения. Иначе говоря, процесс изъятия промыслом некоторой доли стада можно рассматривать как изъятие некоторой доли пополнения, обеспечивающего устойчивый улов.

Можно предположить, что коэффициент промысловой смертности F равен отношению улова C за сезон к средней численности промыслового стада N_c за этот период. Тогда в любом сезоне $C = FN_c$. Но стабильному (устойчивому) улову $C_s = N_c(R - M)$ должна соответствовать промысловая смертность $F = R - M$. Если в какой-либо сезон F не совпадает с F_s и превысит его, то изъятие окажется большим, чем способен поддержать запас, и последний уменьшится. Уменьшение запаса за счет возрастания усилия вызовет дальнейшее падение его численности, пропорциональное увеличению F . При очень малой численности очень мал и устойчивый улов. Максимум уравновешенного улова соответствует некоторому промежуточному состоянию численности.

Наглядное представление о соотношении между пополнением и за-

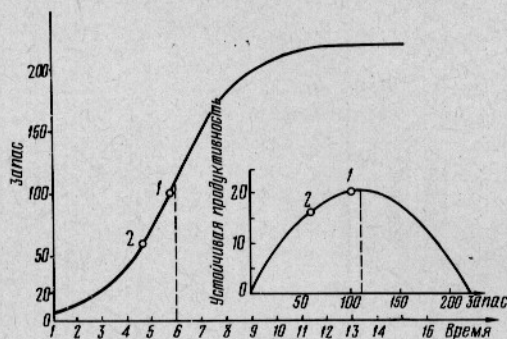


Рис. 2. Кривые, характеризующие изменение продуктивности стада.

пасом можно получить используя графическое построение и откладывая по одной оси долю убоя молодой, полностью рекрутировавшей возрастной группы, приходящуюся на единицу усилия, а по другой — долю убоя родительского стада.

Результаты такого сопоставления изображены на рис. 3, где по оси абсцисс отложена относительная величина родительского стада, а по оси ординат — относительная численность пополнения.

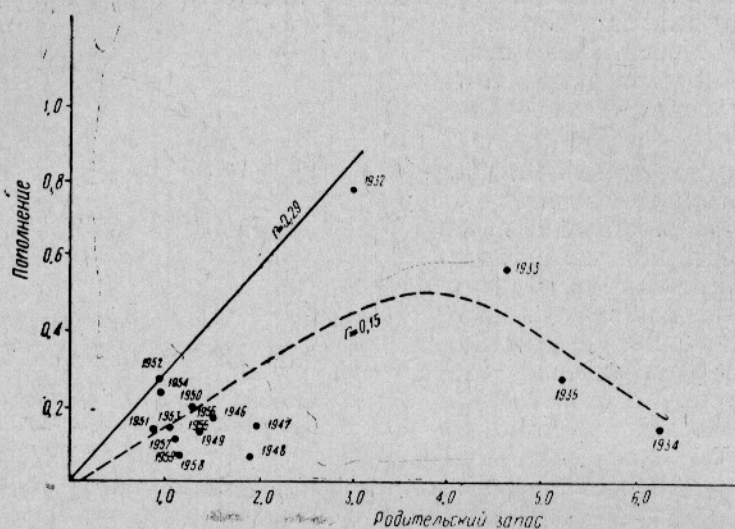


Рис. 3. Результаты сопоставления показателей численности родительского стада финвалов Антарктики и их потомства.

Через точки, нанесенные на рис. 3, можно провести выпуклую кривую (намечена пунктирной линией), которая характеризует закономерность воспроизводства. Максимум ее падает на индекс родительского стада, лежащий между значениями 3,0 и 4,0. Значение максимума почти в 2 раза больше, чем результат воспроизводства 1955 г. Следовательно, высшему состоянию запаса согласно проведенной кривой соответствует пополнение $R=0,15$ (позднее было уточнено, что $R=0,16 \div 0,17$).

Оценку максимально возможного значения R можно получить и на основе подсчета беременных самок в составе зрелой части стада. Так, из работы комитета видно, что из 27 203 осмотренных самок 18 313, или 67%, оказались беременными. Полагая, что только половина новорожденных будет самками (согласно избранному методу сравнения при определении величины пополнения принимаются во внимание только самки) и считая, что молодые киты, так же как и старые, имеют естественную смертность $M=0,05$, можно получить оценку максимально возможного значения величины пополнения

$$R = 67,3 \cdot 0,5(1 - 0,05)^2 = 0,29.$$

Таким образом, если даже принимать во внимание максимально возможное значение величины пополнения $R=0,29$, то при этом мы получим промысловую смертность $F_s = R - M = 0,24$, в то время как предыдущие расчеты показали, что мы имеем действительную промысловую смертность $F=0,33$, т. е. получили $F > F_s$ а это свидетельствует об излишне большом усилии, изымающем долю численности большую, чем величина уравновешенной продуктивности.

Следует отметить, что методы подсчета численности, опирающиеся на изучение возрастного состава, недостаточно точны и совершенны, поскольку в основу их положена далеко не совершенная зависимость «возраст—длина».

Этим недостатком в меньшей степени страдают методы подсчета, опирающиеся на изучение изменения количества убитых китов, приходящихся на единицу усилия. В качестве последнего принят день промысловой работы стандартного китобойного судна. Количество убитых финвалов, приходящихся на единицу усилия, после некоторого послевоенного подъема было более или менее стабильным, а затем начало неуклонно уменьшаться.

Нетрудно видеть, что правая половина табл. 5 показывает почти линейное нарастание общего числа убитых китов с течением времени. Это приводит к выводу о возможности применения для подсчета численности финвалов метода De lury, воспользовавшись которым можно получить оценку численности стада финвалов в 1955/56 г. в 250 тыс. голов.

Однако, рассматривая состояние численности в течение выбранного периода времени, приходится считаться с существованием реального пополнения и смертности, влияния которых полученная оценка не учитывает.

Поскольку естественная смертность M будет уменьшать начальную численность годового запаса S_i , а пополнение R увеличивать ее, можно сделать два предположения:

1) годовая естественная смертность в течение некоторого периода времени остается неизменной, и поэтому численность начального годового запаса S_i ежегодно уменьшается на одну и ту же относительную величину M ;

2) относительное ежегодное пополнение R также остается неизменным и величина его за этот период времени пропорциональна начальной годовой численности запаса S_{i-1} , т. е. имевшейся три года назад.

На этой основе запас S_6 выбранного сезона 1961/62 г. может быть подсчитан как алгебраическая сумма запаса S_0 в сезон 1955/56 г., пополнения за последующие до 1961/62 г. сезоны, убыли по причинам естественной смертности и промысла. Иначе говоря

$$S_6 = S_0 + R \sum_{i=0}^{i=5} S_i - M \sum_{i=0}^{i=5} S_i - \sum_{i=0}^{i=5} C_i$$

Таблица 5

Численность убитых финвалов

Сезон	Убито финвалов, тыс. голов	Количество убитых финвалов, приходящихся на единицу усилия ¹		Сезон	Убито финвалов, тыс. голов	Количество убитых финвалов, приходящихся на единицу усилия	
1949/50 г.	17,9	0,99	2,33	1955/56 г.	25,1	1,69	3,29
1950/51 г.	17,3	0,91	2,00	1956/57 г.	25,5	1,65	3,03
1951/52 г.	20,3	1,20	2,54	1957/58 г.	25,1	1,53	2,68
1952/53 г.	21,0	1,23	2,49	1958/59 г.	25,7	1,58	2,64
1953/54 г.	24,7	1,58	3,17	1959/60 г.	26,3	1,24	1,96
1954/55 г.	25,6	1,54	3,01	1960/61 г.	27,3	1,14	1,78
				1961/62 г.	26,4	0,88	1,38

¹ Усилие откорректировано поправкой, учитывающей появление более совершенной техники поиска и охоты, более мощных судовых силовых установок и т. д. Как показали специально предпринятые исследования, эти изменения пропорциональны росту тоннажа китобойных судов.

или

$$S_6 = S_0 + R(3S_0 + S_1 + S_2 + S_3) - M(S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5) - (C_0 + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5),$$

где S_i — начальная численность запаса;

C_i — число китов, убитых за сезон. Индексы i , равные от 0 до 6, использованы для обозначения сезонов начиная с 1955/56 и до 1961/62 г.

Примечание. При составлении этого уравнения также было предположено, что в течение пятилетнего периода, конец которого совпадает с сезоном 1955/56 г., начальный годовой запас был более или менее неизменным и близким к значению S_0 .

Разделив обе части составленного уравнения на S_0 , получим

$$\frac{S_6}{S_0} = 1 + R \left(3 + \sum_{i=0}^{i=3} S_i \right) - \frac{M}{S_0} \sum_{i=0}^{i=5} S_i - \frac{1}{S_i} \sum_{i=0}^{i=5} C_i.$$

На основе теоретических соображений, полагая, что в любой из рассматриваемых сезонов численность запаса была пропорциональна числу убитых финвалов U_i , приходящихся на единицу затраченного усилия, и подставив вместо отношения запасов отношения показателей их численности, уравнение можно записать так:

$$\frac{U_6}{U_0} = 1 + R \left(3 + \sum_{i=0}^{i=3} \left(\frac{U_i}{U_0} \right) \right) - M \sum_{i=0}^{i=5} \left(\frac{U_i}{U_0} \right) - \frac{\sum_{i=0}^{i=5} C_i}{S_0},$$

откуда

$$S_0 = \frac{\sum_{i=0}^{i=5} C_i}{\left[1 - \left(\frac{U_6}{U_0} \right) \right] + R \left[3 + \sum_{i=0}^{i=3} \left(\frac{U_i}{U_0} \right) \right] - M \sum_{i=0}^{i=5} \left(\frac{U_i}{U_0} \right)}$$

Воспользовавшись данными табл. 5 и подставив соответствующие значения величин C_i и U_i , нетрудно получить

$$S_0 = \frac{155,0}{0,480 + 5,22(R - M) + 0,59 R}$$

для случая, когда усилие не откорректировано поправкой, пропорциональной росту тоннажа китобойных судов.

Если учесть указанную поправку, то

$$S_0 = \frac{155,0}{0,590 + 4,67(R - M) + 0,87 R}.$$

Подставляя различные возможные значения R и M , нетрудно получить и вероятные значения оценки величины запаса. Так, полагая $R=0,16$ и $M=0,05$, видим, что численность финвалов в сезон 1955/56 г. составляла $S_0=133$ тыс. голов. А поскольку среднее число убитых финвалов на единицу усилия с 1,69 в сезон 1955/56 г. упало до среднего значения 1,3725 в сезоны 1957/58 — 1960/61 гг., т. е. уменьшилось в 1,23 раза, то и величина популяции со 133 тыс. голов уменьшилась в среднем до 108 тыс. голов в сезоны 1937—1961 гг. Как уже упоминалось, промышленная эффективность китобойных судов по мере совершенствования их не остается неизменной. С учетом этого обстоятельства расчеты приводят к оценке средней численности стада за 1957—1961 гг. в 83 тыс. голов.

Как уже было отмечено, показателем численности, отражающим ее состояние, может служить количество изъятых из стада голов, приходящихся на единицу усилия. С целью получения такого рода оценки была рассмотрена статистика убоя китов в Антарктике, а также соответствующий убой на сутки работы на промысле одного (среднего) китобойного судна. Этот предварительный обзор указывал на то, что в 1951—1956 гг. убой на усилие как показатель численности стада китов оставался на более или менее неизменном уровне. При предположении, что и запас стада финвалов находился в соответствующем положении, комитетом был подсчитан показатель численности стада финвалов в долях среднего количества убитых финвалов, приходящихся на единицу усилия (сутки промысловой работы китобойного судна), за 1951/52—1955/56 гг. Результаты подсчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты подсчетов показателя численности финвалов

Сезон	Ежегодный убой финвалов, тыс. голов		Условный годовой показатель численности стада	Сезон	Ежегодный убой финвалов, тыс. голов		Условный годовой показатель численности стада
	по всей Антарктике	морской			по всей Антарктике	морской	
1931/32 г.	2,9	1,1	1,67	1946/47 г.	14,5	12,9	1,37
1932/33 г.	5,2	4,4	1,78	1947/48 г.	21,1	18,9	1,24
1933/34 г.	7,2	5,5	1,96	1948/49 г.	19,1	17,1	0,97
1934/35 г.	12,5	11,7	1,91	1949/50 г.	20,1	17,9	1,02
1935/36 г.	9,7	9,2	2,08	1950/51 г.	19,5	17,3	0,90
1936/37 г.	14,4	13,3	1,91	1951/52 г.	22,5	20,3	1,01
1937/38 г.	28,0	26,4	1,84	1952/53 г.	22,9	21,0	0,92
1938/39 г.	20,8	19,5	1,32	1953/54 г.	27,7	24,7	1,05
1939/40 г.	18,7	17,8	1,48	1954/55 г.	28,6	25,6	1,00
1940/41 г.	7,8	7,1	—	1955/56 г.	28,0	25,1	1,02
1941/42 г.	1,2	0	—	1956/57 г.	27,8	25,5	1,00
1942/43 г.	0,8	0	—	1957/58 г.	27,5	25,1	0,89
1943/44 г.	1,2	0,5	1,36	1958/59 г.	27,1	25,7	0,88
1944/45 г.	1,7	0,7	—	1959/60 г.	27,6	26,3	0,65
1945/46 г.	9,2	7,7	1,42	1960/61 г.	28,8	27,3	0,59
				1961/62 г.	—	26,4	0,45

Иначе говоря, чтобы отчетливее показать тенденцию изменения состояния запаса, было подсчитано среднее количество убитых китов на усилие в период между указанными сезонами, а потом на этой основе получены относительные показатели численности запаса стада в каждый сезон.

Для подсчета устойчивой продуктивности, или «прироста» стада, а следовательно, и определения максимально возможной квоты вывоя финвалов полученные показатели были суммированы и осреднены по периодам, как указано в табл. 7.

Для каждого из выделенных периодов была подсчитана устойчивая продуктивность, или «прирост» стада, как сумма уловов за сезон и половина разности между величиной запаса за предшествующий и последующие сезоны. Иначе говоря, была получена оценка общего количества голов, которое могло быть изымаемо в течение данного пятилетия без уменьшения начальной численности стада и без увеличения ее.

Величина «прироста» в любом сезоне обусловлена пополнением предыдущего сезона и является функцией численности запаса предшествую-

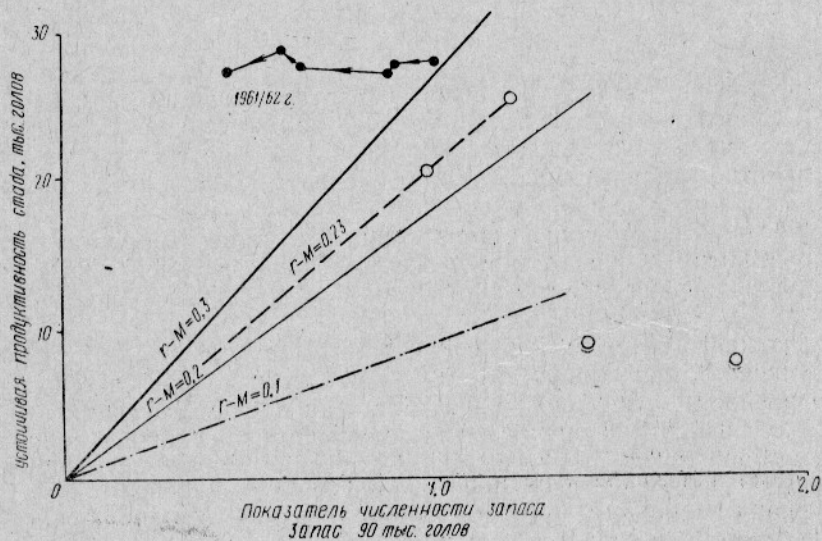
Сезоны	Средний улов за сезон, тыс. голов	Средний показатель запаса (на основании табл. 7)		„Прирост“ стада, или устойчивая продуктивность, тыс. голов		
		текущего периода	предыдущего пятилетия			
1932/33—1937/38 гг.	12,8	1,94	1,80	2,5	5,9	7,8
1945/46—1949/50 гг.	16,8	1,20	1,40	1,2	6,4	8,9
1950/51—1954/55 гг.	24,2	0,98	1,20	26,2	25,5	25,2
1955/56—1959/60 гг.	27,6	0,89	0,98	13,4	18,2	20,7

Примечания. 1. Если запас финвалов 1950/51—1956/57 гг. по данным мечения, составил в тыс. голов 180; 135; 90.

2. Если интенсивность промысла в тот же период была 0,14; 0,21; 0,28.

шого пятилетия. Проведенные расчеты оправдывают теоретические соображения и показывают, что эта функция имеет именно тот вид, который следовало ожидать (см. рис. 2). Так, в 30-х годах (в начальный период охоты на финвалов), когда использование стада финвалов промыслом было незначительным и запас был близок к девственному состоянию, устойчивая продуктивность была довольно мала, т. е. наблюдалось очень небольшое превышение пополнения над естественной смертностью. В первый послевоенный период положение мало изменилось, хотя запас, по-видимому, был несколько меньше предвоенного. Во второй пятилетний послевоенный период численность запаса еще уменьшилась за счет возрастания числа убитых китов. Это обстоятельство указывает, что устойчивая продуктивность также возросла, т. е. подтверждает значительно большее превышение пополнения над смертностью. Как показывают вычисления в третий послевоенный период, когда число убитых китов по-прежнему оставалось большим, устойчивая продуктивность стада стала уменьшаться.

Результаты подсчетов величины вероятного «прироста» поголовья стада по всем трем гипотезам изображены на рис. 4, где по оси абсцисс отложена относительная численность запаса текущего периода в долях запаса 1950/51—1956/57 гг.



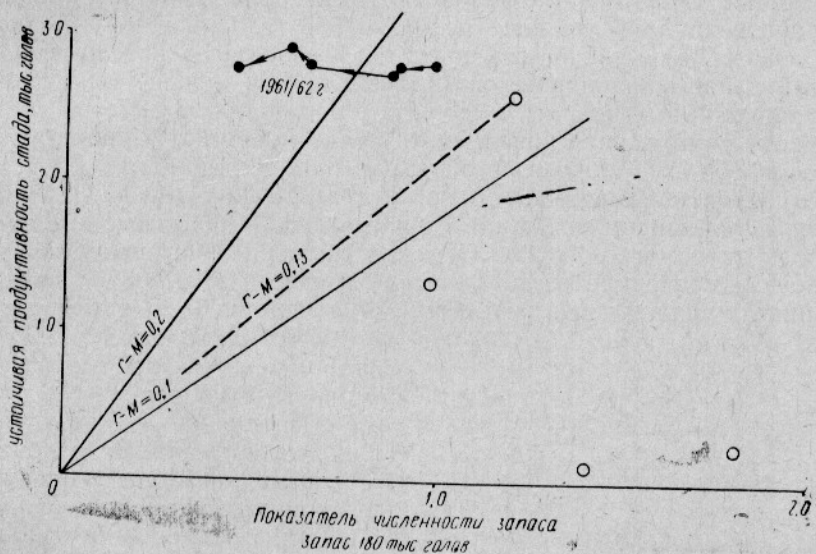
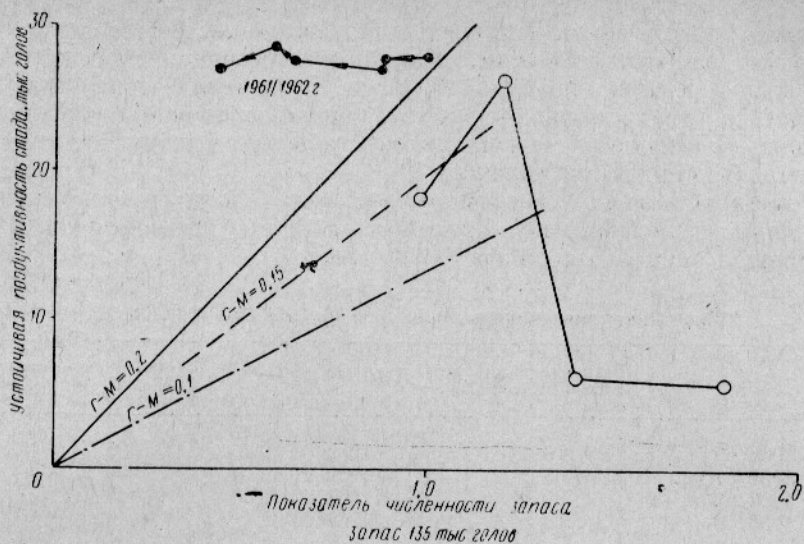


Рис. 4. Результаты подсчетов величины вероятного прироста численности стада финвалов Антарктики, полученные в соответствии с тремя принятыми предложениями о величине промысловой смертности.

Положение точек на всех трех рисунках позволяет достаточно уверенно судить о характере изменения величины стабильной продуктивности стада. Кривая стабильной продуктивности (хотя ни одна из них на рисунке и не изображена), конечно, выходит из начала координат и быстро поднимается к своему максимуму (порядка 25 000). Правая часть кривой падает довольно резко, отсекая на оси абсцисс отрезок, соответствующий величине неиспользуемого запаса, равный приблизительно величине удвоенного среднего запаса сезонов 1950/51—1956/57 гг. На графиках также проведены наклонные линии, соответствующие различным значениям превышения величины пополнения над естественной смертностью. Восходящая левая ветвь кривой стабильной продуктивно-

сти должна лежать ниже и правее этих наклонных линий. Кроме того, на этих же графиках нанесены точки, соответствующие количеству китов, убитых в сезоны 1956/57—1961/62 гг. Положение точек отчетливо указывает на то, что количество китов, убитых в течение последних лет, превышает ту величину максимальной стабильной продуктивности, которую может поддерживать запас.

Все эти соображения указывают на то, что наиболее вероятная оценка численности промыслового стада финвалов за 1957—1961 гг. должна быть принята равной (средняя) 77 000 голов.

Таблица 8

Ежегодная численность финвалов за 1955/56—1962/63 гг.

Сезон	Численность стада финвалов, тыс. голов	Сезон	Численность стада финвалов, тыс. голов
1955/56 г.	110,4	1959/60 г.	65,7
1956/57 г.	101,7	1960/61 г.	59,7
1957/58 г.	89,9	1961/62 г.	45,3
1958/59 г.	88,6	1962/63 г.	40,0

По данным табл. 5 видно, что число убитых финвалов, приходящихся на среднюю единицу усилия, в 1957—1961 гг. упало до 1,35 против 2,265 головы, т. е. уменьшилось почти в 1,7 раза. Следовательно, и промысловый запас финвалов сезона 1961/62 г. был меньше, чем средний запас периода 1957—1961 гг., в 1,7 раза и составлял $77 : 1,7 = 46$ тыс. голов. И если считать, что пополнение стада превышало естественную смертность ($R - M = 0,12$), то стабильная продуктивность его в этом сезоне составляла всего 5500 голов. Эта величина стабильной продуктивности и должна бы была представлять собой максимально возможную квоту на сезон 1961/62 г. Отмечая снижение численности стада финвалов за последние годы, комитет предсказал, что если величина китобойного усилия не изменится и останется на уровне сезона 1962/63 г., то в сезон 1963/64 г. промысел сможет взять не более 14 000 голов.

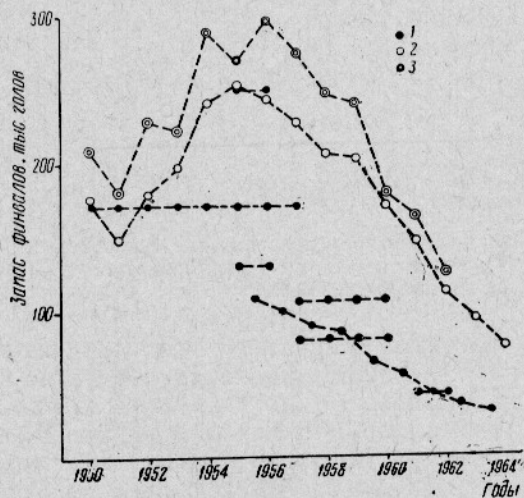


Рис. 5. Результаты подсчетов величины поголовья стада антарктических финвалов различными способами:

1 — Комитета, 2 — Т. Дои, 3 — ВНИРО.

Сообщения о результатах подсчета комитета, рассматриваемые международной китобойной комиссией, вызвали особо пристальное внимание японских ученых. Так, Т. Дои попросил комитет оценить ежегодную численность поголовья стада финвалов за 5—7 лет.

Выполняя указанную просьбу, комитет привел следующие данные, помещенные в табл. 8, одновременно подчеркнув, что в сезоны 1957/58—1962/63 гг. популяция финвалов уменьшилась вдвое. Величина убоя за этот же промежуток времени упала с 25 000 голов до 15 000.

Для наглядности результаты

вышеуказанных расчетов изображены на рис. 5.

Предложенные комитетом методы определения численности промыслового стада китов и полученные результаты подсчета вызвали большой интерес. При этом особенно примечательным явилось выступление японского исследователя Т. Дои, опубликовавшего несколько работ, посвященных этой проблеме.

При изучении динамики численности китов, отмечал Дои, мы преследуем три цели: во-первых, хотим произвести оценку состояния численности стада в данный момент, во-вторых, предугадать, какие количественные изменения в составе добытых китов произойдут в предстоящем сезоне, в-третьих, определить, какие меры надо предпринять, чтобы промысел оставался рациональным и оптимальным.

Для решения этих проблем прежде всего необходимо уметь оценить величину популяции и естественной смертности ее. Поставив под сомнение достоверность результатов оценки величины естественной смертности, полученной комитетом трех, Дои произвел сравнение состояния стада в предвоенный и послевоенный периоды, основываясь на соотношении

$$\frac{S_2}{S_1} = e^{-(a+3)M + (2T_1 x_1 + T_2 x_2)q},$$

которое нетрудно привести к виду:

$$\ln \frac{S_2}{S_1} = -(a+3)M + (2T_1 x_1 + T_2 x_2)q,$$

где S_1 — средний показатель числа убитых финвалов на усилие за трехлетний период, предшествующий второй мировой войне;

S_2 — средний показатель числа убитых финвалов, приходящихся на усилие за трехлетний период, последующий за второй мировой войной;

e — основание натуральных логарифмов;

a — продолжительность военного периода, в течение которого китобойный промысел в Антарктике был приостановлен (равен 6 годам);

M — коэффициент естественной смертности;

T_1 — тоннаж среднего китобойного судна за трехлетний предвоенный период;

T_2 — тоннаж среднего китобойного судна за трехлетний послевоенный период;

x_1 — среднее число китобойных промысловых дней работы за три года, предшествующие второй мировой войне;

x_2 — среднее число китобойных промысловых дней работы за три года, последующие за второй мировой войной;

q — коэффициент уловистости, характеризующий величину той части рассматриваемого запаса, которая приходится на единицу действовавшего среднего усилия за рассматриваемый период времени.

Так как многочлен $(2 T_1 x_1 + T_2 x_2)$ может быть достаточно легко подсчитан на основе статистических сведений о китобойном промысле, как и отношение S_1/S_2 , то на основе этого выражения нетрудно определить величины неизвестных параметров M и q . Используя значения $\ln S_1/S_2$, подсчитанные комитетом трех для 7 годовых классов, как самок, так и самок, Дои составил 14 уравнений. Решив составленные уравнения методом наименьших квадратов, он пришел к выводу, что значение коэффициента естественной смертности финвалов лежит между 0,05 и 0,07, а среднее значение коэффициента $q = 0,907 \cdot 10^{-6}$. Далее на основе

полученного значения коэффициента q и интенсивности промысла f была подсчитана годовая интенсивность убоя финвалов v по известной формуле

$$v = 1 - e^{-qf},$$

а также величина промыслового стада N по формуле

$$N = \frac{C}{v},$$

здесь f — годовая интенсивность промысла, подсчитанная по количеству времени, затраченного китобойными судами на промысел;

C — количество убитых китов за год.

Результаты расчетов даны в табл. 9 и изображены на рис. 5.

Таблица 9

Оценка величины популяции финвалов по коэффициенту $q = 0,0907 \cdot 10^{-6}$

Год	Интенсивность промысла f (10^6)	Интенсивность убоя v	Добыто финвалов C	Число китов, тыс. голов N	Год	Интенсивность промысла f (10^6)	Интенсивность убоя v	Добыто финвалов C	Число китов, тыс. голов N
1932	0,137	0,012	1 136	95	1950	1,180	0,101	17 876	177
1933	0,448	0,040	4 434	111	1951	1,362	0,117	17 296	148
1934	0,378	0,033	5 471	166	1952	1,309	0,112	20 312	181
1935	0,650	0,057	11 694	205	1953	1,230	0,106	20 964	198
1936	0,754	0,066	9 176	139	1954	1,196	0,102	24 675	242
1937	0,793	0,069	13 291	193	1955	1,179	0,101	25 608	254
1938	1,131	0,098	26 412	270	1956	1,200	0,103	25 102	244
1939	1,198	0,103	19 477	189	1957	1,311	0,112	25 502	228
1946	0,365	0,032	7 701	241	1958	1,426	0,121	25 067	207
1947	0,712	0,063	12 870	204	1959	1,471	0,125	25 687	206
1948	0,958	0,083	18 864	227	1960	1,827	0,153	26 271	172
1949	1,154	0,100	17 081	171	1961	2,244	0,185	27 299	148

Как видно из табл. 9, численность стада антарктических финвалов, подсчитанная японским исследователем Т. Дои, значительно выше, чем полученная комитетом.

Ввиду необходимости разобраться во всех вышеупомянутых исследованиях перед лабораторией вычислительной техники ВНИРО была поставлена задача детально изучить способы определения запаса усатых китов Антарктики и результаты этих подсчетов.

В связи с этим, допуская некоторую условность и опираясь на официальные источники информации, сотрудники лаборатории произвели подсчет финвалов еще одним способом, используя метод, разработанный М. Шефером. Для этого из International whaling statistics (1960, 1963) были взяты сведения о количестве выбитых финвалов, китобойном усилии и среднем тоннаже китобойных судов за 1948—1962 гг. (табл. 10).

Как уже упоминалось, в основе подсчетов численности запаса методом Шефера лежит предположение, что каждому значению величины стада соответствует определенное приращение его численности. Это соотношение приводит к соотношению вида:

$$\frac{1}{q} \sum_1^n \frac{\Delta \bar{U}_i}{\bar{U}_i} = \sum_1^n a_0 (m - U_i) - \sum_1^n \frac{C_i}{\bar{U}_i},$$

Показатели выбоя финвалов за 1948—1962 гг.

Сезон	Убито флотилиями финвалов C_i	Затрачено китобойных судов-суток F_i	Средний тоннаж китобойного судна D_i	Сезон	Убито флотилиями финвалов C_i	Затрачено китобойных судов-суток F_i	Средний тоннаж китобойного судна D_i
1948/49 г.	17 201	18 902	399	1955/56 г.	25 289	14 983	513
1949/50 г.	18 061	18 128	424	1956/57 г.	25 700	15 429	545
1950/51 г.	17 474	18 554	454	1957/58 г.	25 222	16 344	570
1951/52 г.	20 520	16 902	473	1958/59 г.	25 837	16 275	599
1952/53 г.	21 197	17 101	494	1959/60 г.	26 415	21 356	633
1953/54 г.	24 986	15 630	498	1960/61 г.	27 374	23 998	642
1954/55 г.	25 878	16 619	511	1961/62 г.	26 438	29 952	657

где C_i — количество убитых китов за единицу времени;

\overline{U}_i и ΔU_i — промысловое усилие и приращение его за единицу времени;

a_0 и m — постоянные;

q — коэффициент «уловистости» (catchability);

n — число единиц рассматриваемого периода времени.

При подсчете китобойного усилия F_0 была принята поправка, учитывающая изменение водоизмещения китобойных судов, равная $\frac{D}{1000}$.

Подсчет количества убитых китов, приходящихся на единицу усилия, был произведен по формуле

$$U_i = \frac{C_i \cdot 1000}{F_i D_i},$$

а величина приращения усилия определена как

$$\Delta U_i = \frac{U_{i+1} - U_{i-1}}{2}.$$

Подсчеты, произведенные для периодов, обозначенных сезонами 1948/49—1954/55 и 1955/56—1961/62 гг., привели к следующим значениям параметров (табл. 11).

Таблица 11

Значения параметров

Приближение	a	m	q
Первое	50 193	2,46408	—85,833
Второе	338 973	2,63666	—85,743
Третье	341 968	2,63658	—85,743

Результаты третьей интерации были приняты за истинные значения параметров. Далее с помощью выражения $1 - e^{-qF_i}$ была вычислена интенсивность выбоя финвалов, а затем оценена величина поголовья стада N_i . Результаты приведенных подсчетов помещены в табл. 12 и изображены на рис. 5.

Интенсивность выбоа финвалов и величина поголовья стада

Сезон	Убито флотилиями финвалов	kF_i	Интенсивность выбоа стада V	Запас финвалов N_i , тыс. голов	Сезон	Убито флотилиями финвалов	kF_i	Интенсивность выбоа стада V	Запас финвалов N_i , тыс. голов
1948/49 г.	17 201	0,0880	0,084	204,7	1955/56 г.	25 289	0,0891	0,085	297,5
1949/50 г.	18 061	0,0896	0,086	210,0	1956/57 г.	25 700	0,0981	0,093	276,3
1950/51 г.	17 474	0,0982	0,095	183,9	1957/58 г.	25 222	0,1086	0,102	247,2
1951/52 г.	20 520	0,0932	0,089	230,5	1958/59 г.	25 837	0,1137	0,107	241,4
1952/53 г.	21 197	0,0985	0,095	223,1	1959/60 г.	26 415	0,1576	0,146	180,9
1953/54 г.	24 986	0,0908	0,086	290,5	1960/61 г.	27 374	0,1797	0,164	166,9
1954/55 г.	25 879	0,0990	0,095	272,4	1961/62 г.	26 438	0,2295	0,205	128,9

При сравнении данных табл. 9 и 12 нетрудно установить, что подсчеты по методу Шефера практически привели к тем же результатам, которые получили японские исследователи.

Несмотря на принципиальные и непринципиальные различия перечисленных способов подсчета, результаты свидетельствуют об одном и том же — резком (в 3—4 раза) уменьшении поголовья промыслового стада финвалов Антарктики. Вследствие этого небывалую остроту приобрела задача прогнозирования и определения конкретных мер, способствующих восстановлению их численности. Японские исследователи Т. Дой, С. Осуми и Т. Немото, стремящиеся решить эту задачу, особое внимание уделили определению квоты выбоа, полагая, что возможную квоту C_0 выбоа финвалов сравнительно легко оценить на основе соотношений

$$C_0 = v N \quad N = \frac{e^{-M}}{1-s} R,$$

где v — интенсивность выбоа;

s — выживание;

M — естественная смертность;

N — поголовье взрослых (зрелых) особей;

R — показатель численности потомства, производимого стадом самок S .

Следовательно, для оценки наибольшей возможной квоты выбоа необходимо было изучить закономерность воспроизводства. Расчеты, осуществленные на основе имеющейся информации и теоретических разработок Риккера и Бивертонна, позволили получить кривые, показанные на рис. 6а и б, с помощью которых были подсчитаны все показатели наибольшей возможной стабильной продуктивности стада финвалов Антарктики (табл. 13).

С помощью графиков на рис. 6, а нетрудно подсчитать величину оптимальной продуктивности стада финвалов для любого состояния его численности. Так, если численность зрелых (взрослых) самок к началу сезона 1964 г. составляла 24 тыс. голов, а за сезон их было выбито около 5 тыс. голов, то для сезона 1964/65 гг. возможный стабильный «вылов» стада, состоящего из 19 тыс. зрелых самок, должен быть равен не более 8000 голов. Положение стада финвалов Антарктики в настоящее время таково, что численность его, несомненно, меньше соответствующей максимальной стабильной продуктивности, как несомненна и необходимость

жесткого регулирования китобойного промысла. Кратчайший путь возврата к возможному оптимальному состоянию промысла японские исследователи видят во временном прекращении его, хотя и понимают, что возможность этого осложняется обстоятельствами экономического и

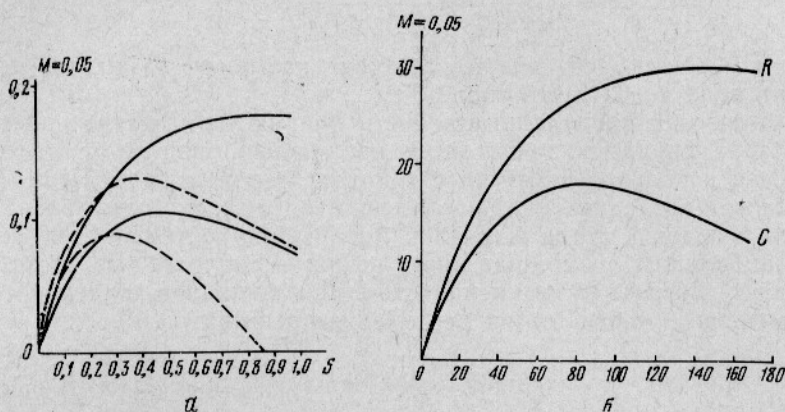


Рис. 6. Кривые наибольшей возможной продуктивности стада антарктических финвалов, построенные японским исследователем Т. Дои.

Таблица 13

Условия максимальной уравновешенной продуктивности стада

Показатели	$M=0,05$ (в относительных единицах)	$M=0,05$ (в тыс. голов)	Показатели	$M=0,05$ (в относительных единицах)	$M=0,05$ (в тыс. голов)
S_0	0,490	83,3	V_0	0,095	0,095
C_0	0,107	18,2	N_0	0,130	192,0
			R_0	0,161	27,4

политического характера. Приближенный подсчет продолжительности τ такого периода можно произвести по формулам

$$\tau = \frac{S_0 - S}{\Delta S},$$

$$[1 + \bar{P}]^\tau = \frac{S_0}{S},$$

для которых приращение ΔS и величина \bar{P} должны быть подсчитаны как

$$\Delta S = \frac{1}{2} R e^{-M} - S (1 - e^{-M}),$$

$$P = \frac{\Delta S}{S}.$$

Так, если запас зрелых самок S 1964 г. оценить в 20 тыс. голов, то продолжительность периода, в течение которого промысел должен быть прекращен, равна

$$\tau = \frac{S_0 - S}{\Delta S} = \frac{83,3 - 20,0}{7,57} = 8,4 \text{ года.}$$

Из другого уравнения следует, что промысел должен быть приостановлен не менее чем на

$$\tau = \frac{\ln \frac{S_0}{S}}{\ln(1+\bar{P})} = \frac{\ln 4,17}{\ln 1,153} = 9,5 \text{ лет.}$$

Таким образом, результаты расчетов указывают на то, что для достижения цели необходимо около 9 лет.

Поскольку все проделанные расчеты опираются на изучение возрастного состава финвалов, точность их, несомненно, зависит от степени совершенства использованного размерно-возрастного ключа. Несмотря на это, японские исследователи определенно считают, что оптимальная численность поголовья стада финвалов Антарктики составляет 200 тыс. голов, а наибольшая возможная квота выбоя — около 20 тыс. голов. Иначе говоря, оптимальная интенсивность выбоя финвалов, а следовательно, и промысловая смертность их не должны превышать 10%.

ЛИТЕРАТУРА

- Doi T. Estimation of coefficient of natural mortality of the fin whale population in the Antarctic. Bull. Tokai Regional Fish. Labor., v. 38, 1964.
Doi T., Ohsumi S., Nemoto T. On diagnosis of the fin whale population in the Antarctic and optimum level of catching. Bull. Tokai Regional Fish. Labor., v. 41, 1965.
Final Reports of Committee of Three Scientists. IWC 15/9, 1963.
International Commission of Whaling. Fourteenth, Fifteenth and Sixteenth Reports of Commission, 1964, 1965, 1966.
Report of Committee of Four, 1964.