

УДК 639.2:681.14

## ВЛИЯНИЕ ПРОМЫСЛА НА СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗМЕРНОГО СОСТАВА ГЕНЕРАЦИИ

В. Н. Лукашов

Для оценки режима эксплуатации стада рыб исходным материалом обычно служат пробы, которым, как известно, свойствен элемент случайности. В результате вероятность ошибочной оценки тем меньше, чем больше независимых методов ее получения. Поэтому важно иметь как можно больше способов, позволяющих судить о достоверности оценок эксплуатации стада рыб.

Предлагаемые ниже методы могут оказаться полезными, поскольку необходимые при этом данные доступны по многим видам рыб. Эти способы основаны на изменениях статистических параметров размерного состава генерации, происходящих по мере освоения ее промыслом. Им можно дать строгий математический анализ. Однако нагляднее рассмотреть частный (цифровой) пример с типичными свойствами.

Рассмотрим генерацию, у которой:

- 1) до вступления в эксплуатацию распределение особей по длине совпадает с нормальным;
- 2) дисперсия этого распределения неизменна во времени при условии, что генерация не эксплуатируется промыслом;
- 3) каждая особь увеличивается в длину на 5 см в год;
- 4) естественная смертность равна нулю.

Типичность первого свойства не подлежит сомнению, поскольку оно отмечено многими исследователями. С увеличением возраста генерации число случайных факторов, влияющих на темп роста особей, по-видимому, увеличивается, поэтому естественно ожидать увеличения дисперсии. Тогда второе свойство нельзя считать типичным. Для упрощения расчетов генерация наделена вторым, третьим и четвертым свойствами.

В момент, совпадающий с началом эксплуатации генерации, пусть размерный состав последней соответствует данным колонки 2 в табл. 1. Они не совсем точно, но допустимо для наших расчетов совпадают с нормальным распределением<sup>1</sup>.

Предположим также, что генерацию облавливают отцеживающими орудиями лова. В результате отбор рыб из генерации происходит по кривой 1 на рис. 1, представляющей идеальный или, как говорят, «острый» отбор и означающей, что все особи длиной 25 см и более одинаково интенсивно подвержены вылову. Крайнюю слева точку кривой 1 назовем началом отбора. Хотя такая кривая в деталях отличается от

<sup>1</sup> Представленное в этой колонке распределение имеет небольшой положительный эксцесс.

Таблица 1\*

№ пп.	Длина, см	Размерный состав генерации												№ пп.	
		перед ловом	вылов 50%						вылов 90%						
			годы промысла						годы промысла						
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5		6
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10	4													1
2	15	16	4						4						2
3	20	16	16	4					16	2					3
4	25	4	16	16	4				16	1,6	4				4
5	30		2	8	8	2			0,4	1,6	1,6	0,4			5
6	35			1	4	4	1			0,04	0,016	0,16	0,04		6
7	40				0,5	2	2	0,5			0,004	0,0016	0,016	0,004	7
8	45					0,25	1	1				0,0004	0,0016	0,0016	8
9	50						0,125	0,5					0,00004	0,00016	9
10	55							0,06						0,00000	10
11	$N$	40	38	29	16,5	8,125	4,125	2,0625	26,4	21,64	5,76	0,58	0,06	0,006	11
12	$l_n$	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	12
13	$\bar{l}$	17,5	22,1	26,0	30,3	35,3	40,3	45,3	21,8	24,5	26,7	31,7	36,7	41,7	13
14	$\sigma$	4	3,7	3,6	3,9	3,9	3,9	3,9	3,3	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	14
15	$S$	0	-3,9	7,9	4,7	4,7	4,7	4,7	-16,3	-3,1	7,6	7,6	7,6	7,6	15
16	$\bar{l}_t$		25,0	25,6	27,0	30,3	35,3	40,3	25,0	25,1	25,4	26,7	31,7	36,7	16

\*  $N$  — численность генерации,  $\bar{l}_n$  — средняя длина рыб при безотборной эксплуатации генерации,  $\bar{l}$  — действительная средняя длина рыб,  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение,  $S$  — асимметрия.

реальной 2, свойственной отцеживающим орудиям лова, однако в общем случае она верно отражает основные свойства последней.

Под влиянием такого отбора и при выбранном темпе роста на первом году облова генерации в улов попадает лишь крайняя справа размерная группа (строка 4 в табл. 1). Остальные группы останутся не затронутыми ловом. В колонках 3 и 9 показаны остатки генерации после первого года лова при соответственно разном вылове. На втором году эксплуатации в улове окажутся рыбы двух размерных групп и т. д. В нашем примере все размерные группы генерации попадают в улов лишь на четвертом году эксплуатации. Кроме того, при получении приведенных в табл. 1 данных об изменении численности генерации предположено, что от каждой размерной группы, состоящей из рыб длиной  $l \geq 25$  см, ежегодно отлавливают одну и ту же часть. В табл. 1 приве-

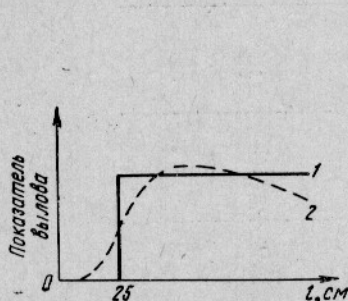


Рис. 1. Кривые отбора.

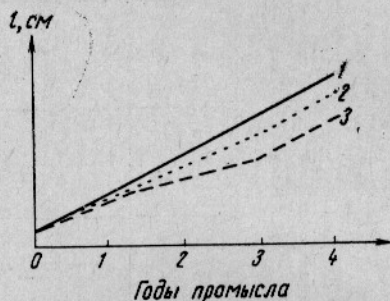


Рис. 2. Кривые роста:

1 — заданная, 2 — при вылове (0,5), 3 — при вылове (0,9).

дены два примера, когда эта часть равна 0,5 и 0,9. В этой же таблице (строки 11—16) приведены основные характеристики генерации и улова в конце каждого года промысла. Данные в строке 12 получены при условии безотборного лова. В нашем примере это равносильно перенесению начала «острого» отбора из точки 25 см в точку 10 см.

По данным в строках 12 и 13 построены графики изменения средней длины (рис. 2), или кривые роста. Необходимо отметить следующее: средняя длина рыб эксплуатируемой генерации изменяется в строгом соответствии с третьим свойством, если лов безотборный, при «остром» отборе кривая роста проходит ниже заданной кривой;

разница между ординатами заданной кривой роста и кривой, построенной при условии «острого» отбора, возрастает с увеличением возраста генерации до тех пор, пока все размерные группы генерации не станут вылавливать одинаково интенсивно;

чем больше вылов, тем больше разница между ординатами сравниваемых кривых роста.

Отсюда следует, что уменьшение средней длины рыб у генераций одинакового возраста может произойти не только, например, из-за недостатка корма, но также в результате избирательной способности промысла. Промысел особенно легко

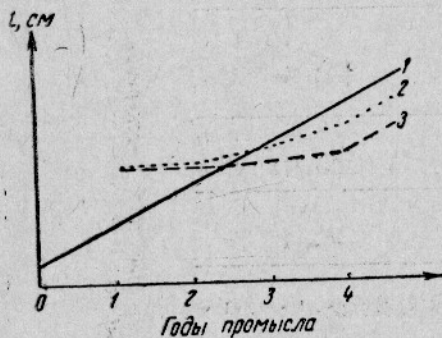


Рис. 3. Кривые роста:

1 — заданная, 2 — при вылове (0,5), 3 — при вылове (0,9).



поддается регулированию, поэтому разумнее с него начинать поиск причины изменения темпа роста рыб эксплуатируемых генераций.

Важно учесть, что, пользуясь лишь одними пробами из генерации, нельзя установить истинную картину кривой роста. Если пробы взять из улова, то, как это следует из рис. 3 (кривые построены по данным строк 12 и 16 табл. 1), получится кривая роста с завышенной средней длиной в начале эксплуатации генерации и с заниженной — в последующие годы. Важно отметить, что влияние отбора должно отразиться также на результатах обратного расчисления по чешуе или отолитам.

Подобного искажения кривой роста можно избежать, если известно, какая часть от размерной группы изъята промыслом. Например, известно, что на первом году эксплуатации генерации промыслом изъята половина последней размерной группы с длиной особей в конце этого года, равной 30 см. Включив изъятую промыслом половину этой размерной группы в состав генерации, получим

$$\frac{22,1 \cdot 38 + 30 \cdot 2}{40} = 22,5 \text{ см},$$

что соответствует заданному росту (пересечение строки 12 с колонкой 1 в табл. 1).

Для восстановления истинной картины кривой роста, а также для оценки режима эксплуатации генерации большую пользу могут оказать математические модели, связывающие кривую отбора с размерной структурой генерации. В случае «острого» отбора эта модель выглядит следующим образом:

$$\bar{l}_t = \frac{\sum_{j=1}^n P_0(j) l_0 + \sum_{i=1}^t \Delta_j l_i S^{i-1}}{\sum_{j=1}^n P_0 S^{i-1}} \quad (1)$$

при  $n-1 < t < \infty$ ,

где  $i$  — порядковый номер года эксплуатации генерации, принимающий значения 1, 2, 3, ...,  $t$ ;

$n$  — количество размерных групп в генерации перед началом эксплуатации<sup>1</sup>;

$j$  — порядковый номер размерной группы генерации, принимающий значения 1, 2, 3, ...,  $n$ ;

$\bar{l}_t$  — средняя длина рыб в генерации после  $t$  лет эксплуатации;

$l_0$  — длина рыб в размерной группе  $j$  перед эксплуатацией генерации;

$\Delta_j l_i$  — приращение длины рыб размерной группы  $j$  в  $i$ -м году эксплуатации;

$P_0$  — часть генерации, состоящая из рыб размерной группы  $j$ , перед началом эксплуатации;

$S$  — годичная выживаемость размерной группы при условии «острого» отбора и отсутствии естественной смертности.

Эту модель можно привести к виду:

$$a_1 + a_2 S + a_3 S^2 + a_4 S^3 + \dots + a_n S^{n-1} = 0, \quad (2)$$

где

$$a_j = (j l_0 - \bar{l}_t + \sum_{i=1}^j \Delta_i l_i) P_0.$$

<sup>1</sup> Началом эксплуатации генерации считается тот год, в котором вступает в эксплуатацию крайняя справа размерная группа.

Как видно, для практического использования такой модели необходима подробная информация об изменениях в размерной структуре генерации и о кривой отбора. Если такая информация есть, а отбор «острый», то приведенная математическая модель позволяет определить абсолютную величину выживаемости  $S$  и, следовательно, вылова без данных об абсолютной численности размерных групп генерации. В определенных условиях модель (1) пригодна для случая, в котором естественная смертность не равна нулю, например если совместное воздействие промысла и естественной смертности соответствует кривой «острого» отбора, тогда  $S$  следует рассматривать как результирующую совместного действия этих двух факторов.

При отсутствии исчерпывающей информации, необходимой для оценки абсолютного значения выживаемости, модель (1) можно

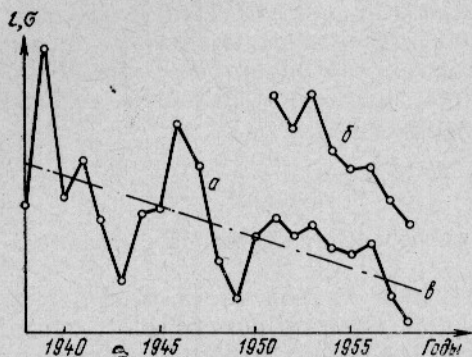


Рис. 4. Динамика средней длины (а) и дисперсии (б) у трехгодовиков воibly Северного Каспия.

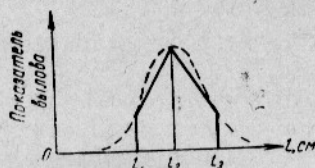


Рис. 5. Кривые отбора.

использовать для определения направления изменения выживаемости. Если в общем эта модель приемлема для некоторого конкретного рыболовства, то, как это следует из формулы (1), при прочих равных условиях  $\bar{L}_t$  уменьшается по мере увеличения  $S$  и, наоборот, средняя длина рыб сравниваемых генераций в возрасте  $t$  увеличивается при уменьшающемся  $S$ .

На рис. 4 показано изменение средней длины трехгодовиков воibly Северного Каспия (по данным А. И. Сергеевой). К сожалению, в период, соответствующий этим данным, повышается вылов и ухудшаются естественные условия. Поэтому явно выраженную тенденцию уменьшения средней длины (штрих-пунктирная линия  $v$ ) можно рассматривать как результат совместного действия промысла и естественной смертности. В данном случае только более полная информация об отбирающем действии промысла и о размерной структуре генераций может указать на истинное значение этих двух факторов в снижении темпа роста воibly.

Практические случаи отбирающего действия не ограничиваются «острым» отбором отцеживающих орудий лова. Например, объеивающим орудиям лова свойствен отбор, представленный на рис. 5 пунктирной линией. Для простоты представим кривую отбора так, как показано на рис. 5, — сплошной линией, и рассмотрим два случая воздействия отбора (табл. 2) на генерацию, обладающую прежними, принятыми нами свойствами. В каждом случае общая (за шесть лет эксплуатации) выживаемость равна 0,081, но первый представляет более «острый» отбор, чем второй. Результаты вычислений приведены на рис. 6. Как и следовало ожидать, такой отбор также искажает кривую роста, однако характер последнего здесь несколько иной: по мере эксплуатации генерации отклонение достигает максимума, затем не остается постоянным, как это наблюдается при «остром» отборе отцеживающими орудиями

Показатели	$l_1 = 25 \text{ см}$		$l_2 = 30 \text{ см}$		$l_3 = 35 \text{ см}$	
	вылов	выживаемость	вылов	выживаемость	вылов	выживаемость
Первый случай . . . . .	0,10	0,90	0,90	0,10	0,10	0,90
Второй случай . . . . .	0,48	0,52	0,70	0,30	0,48	0,52

лова, а стремится к нулю. Тем не менее эта часть кривой уже не представляет интереса, так как к этому времени от генерации остается менее 10% первоначальной численности.

Таким образом, в любом практически возможном случае отбора промысел искажает кривую роста эксплуатируемой генерации в сторону снижения темпа роста. Форма этого искажения зависит от кривой отбора. На рис. 7 представлены последствия каждого из четырех рассмот-

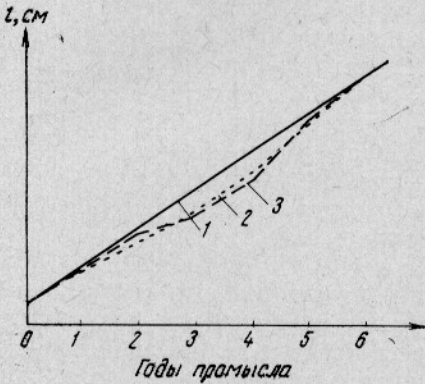
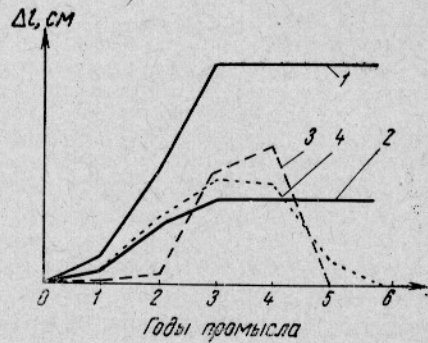


Рис. 6. Кривые роста:

1 — заданная, 2 — при отборе (0,10; 0,90; 0,10), 3 — при отборе (0,48; 0,70; 0,48).

Рис. 7. Отклонение ( $\Delta l$ ) средних длин от заданной кривой роста:

1 и 2 — при вылове (0,5 и 0,9 соответственно), 3 — при вылове (0,1; 0,9; 0,1), 4 — при вылове (0,48; 0,70; 0,48).

ренных случаев отбора. Как видно, при «остром» отборе влияние промысла на среднюю длину рыб в генерации тем больше, чем выше его интенсивность. В двух других случаях искажение формы усиливается по мере уменьшения дисперсии или увеличения остроты кривой отбора, а участок искажения уменьшается.

Другим статистическим параметром размерного распределения рыб в генерации, который следует использовать для оценки вылова, может служить дисперсия этого распределения. Нетрудно показать, что при прочих равных условиях «острый» отбор отцеживающих орудий лова изменяет дисперсию в противоположном вылову направлении. Например, с увеличением вылова дисперсия уменьшается. В других рассмотренных здесь случаях отбора дисперсия вначале уменьшается, а затем достигает заданного значения. Таким образом, под влиянием вылова дисперсия распределения изменяется синхронно со средней длиной. Такая синхронность естественна, так как оба параметра связаны с выловом в общем одинаковыми закономерностями. Следовательно, изучение дисперсии распределения не расширит информации о вылове. Тем не менее контроль дисперсии способствует выявлению истинной причины снижения темпа роста. Наличие, например, синхронности изменения



средней длины и дисперсии надо считать более веским аргументом в пользу вылова, чем отсутствие ее. Кстати говоря, показанная на рис. 4 тенденция уменьшения средней длины трехгодовиков воблы Северного Каспия сопровождается уменьшением дисперсии их размерного ряда.

В поиске истинной причины снижения темпа роста (промысел или естественная смертность) третий параметр распределения — асимметрия — ценнее, чем дисперсия. Изменение дисперсии одинаково может

быть вызвано одной из этих причин или обеими. На рис. 8 показаны распределения размерных групп после четвертого года эксплуатации для каждого из рассмотренных выше вариантов отбора. Как видно, в любом случае распределение имеет положительную асимметрию и тем больше, чем выше вылов и острее отбор. Такая направленная и систематическая деформация размерного ряда маловероятна в естественных условиях. Она возможна лишь в том случае, если последние ухудшаются только для быстрорастущих размерных групп.

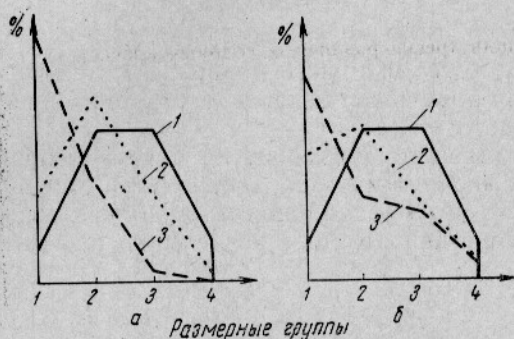


Рис. 8. Деформация размерного состава генерации после четвертого года эксплуатации под влиянием промысла:

а и б — отцеживающие и обьячеивающие орудия лова соответственно; 1 — заданное распределение, 2 — при вылове (0,5; 0,48; 0,7; 0,48), 3 — при вылове (0,9; 0,1; 0,9; 0,1).

Таким образом, контроль размерного состава генераций позволяет получить важную информацию о режиме эксплуатации запаса, точность которой зависит, разумеется, от качества данных о размерном составе генераций и о кривой отбора, свойственной соответствующей организации промысла. Но даже при отсутствии данных о кривой отбора этот контроль позволяет указать направление, в котором изменяется вылов. Это обусловлено тем, что при любом практически возможном отборе промысел односторонне воздействует на размерный состав генерации. При повышающемся вылове признаки этого воздействия следующие:

- снижение темпа роста средней длины рыб в генерации,
- уменьшение дисперсии размерного состава генерации,
- возрастание асимметрии.