

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВПА И ВОССТАНОВЛЕННОГО ЗАПАСА РЫБ (ВЗР)

© 2006 г. А.К. Матковский

*Государственный научно-производственный центр
рыбного хозяйства, Тюмень 625023*

Поступила в редакцию 01.03.2004 г.

Окончательный вариант получен 25.01.2006 г.

По применяемым уравнениям и результатам расчетов рассмотрено сходство и различия методов ВЗР и ВПА. Отмечено значительное сходство в оценках численности промыслового запаса рыб. Подчеркивается простота метода ВЗР, в котором нет необходимости использования коэффициентов смертности рыб и в качестве входных данных применяется только наиболее доступная информация.

В методах изучения состояния запасов рыб особое место отводится различным когортным моделям (Бабаян, 2000; Васильев, 2001). Несомненный приоритет в их создании принадлежит отечественной науке, поскольку в основе всех модификаций либо используется алгоритм биостатистического метода (БСМ) А.Н. Державина (1922), либо аккумулированный данный подход, но имеющий продолжение в учете показателя естественной смертности в предложенной Ф.И. Барановым (1918) формуле. Последняя нашла широкое применение в зарубежных исследованиях (Schumacher, 1970; Pore, 1972; Pore, Shepherd, 1982) после создания Ф.Е. Фраем (Fry, 1949) метода виртуально-популяционного анализа (ВПА), который оказался аналогичным модели А.Н. Державина (Дементьева, 1976).

История развития рассматриваемых двух направлений, имеющих по сути одну основу в когортном моделировании, а также преимущества и недостатки каждого из них достаточно хорошо изложены в литературе (Засосов, 1970; Дементьева, 1976; Малкин, 1999), поэтому отметим лишь, что БСМ дает возможность получить сравнительно надежную минимальную оценку промыслового запаса рыб, а метод ВПА более полную его величину, но менее точную в связи с необходимостью использования условных коэффициентов естественной смертности. Причем, по мнению Е.М. Малкина (1999), в зависимости от задач, которые ставит перед собой исследователь, не всегда стоит отдавать предпочтение более полному, но менее точному результату.

Из вышеизложенного очевидным является необходимость дальнейшего совершенствования когортных моделей по исключению использования коэффициентов естественной смертности без ущерба оценки полноты определения промыслового запаса. Одно из возможных решений этой задачи содержится в методе восстановленного запаса рыб (ВЗР) (Матковский, 2001). В связи с этим особый интерес представляет сравнительный анализ этого метода с ВПА, где также учитывается убыль рыб от естественной смертности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходного материала для сравнительного анализа двух методов послужили различные контрольные примеры из «Методических рекомендаций...» АтлантНИРО (Гасюков и др., 1980) и ВНИРО (Сечин и др., 1990), в частности по атлантической сардине *Sardina pilchardus* и корюшке *Osmerus mordax dentex* Обской губы.

Поскольку в методическом плане с ВПА все более менее ясно, поэтому несколько подробнее остановимся на методе ВЗР. Как уже отмечалось, этот метод относится к когортным моделям, и при его использовании нет необходимости расчета коэффициентов естественной и промысловой смертности. В связи с этим обязательное для методов ВПА и БСМ допущение, что интенсивность промысла за анализируемый интервал времени является некоторой постоянной величиной, в данном случае не служит таким жестким условием, хотя для получения прогнозных оценок оно так же принимается.

Метод ВЗР основан на следующих трех основных положениях:

1. Между уловом и плотностью или численностью рыб в зоне облова, а также ростом численности популяции и временем существует схожий тип зависимости. В равной степени как численность популяции в силу лимитирования различными факторами среды не может бесконечно возрастать во времени, так и улов может достигать лишь определенной предельной величины в зависимости от плотности рыб в зоне облова и существующей интенсивности промысла. Все это позволяет выразить приращение улова ко времени как:

$$\frac{dc}{dt} = \delta(C_{\max} - c) \quad (1)$$

где c – реальный улов, экз.; t – время; δ – коэффициент пропорциональности; C_{\max} – максимальный улов, экз.

Максимальный улов является теоретическим выловом и в значительной мере отражает численность рыб промыслового размера в зоне облова. При этом чем интенсивнее промысел, тем точнее оценка последней величины. В ранее опубликованной работе этот показатель был назван как условный промысловый запас (Матюковский, 2001).

После интегрирования уравнение 1 принимает следующий вид:

$$c = C_{\max} (1 - e^{-\delta t}) \quad (2)$$

Следует отметить, что коэффициент пропорциональности δ лишь при стабильной интенсивности промысла может характеризовать коэффициент общей смертности рыб. Поскольку в реальности интенсивность промысла ежегодно меняется, то данный коэффициент отражает промысловую убыль и лишь частично естественную смертность.

2. Увеличение интенсивности промысла ведет к сокращению численности рыб, погибающих от естественных причин, и наоборот, чем ниже интенсивность промысла, тем выше естественная смертность.

$$N_M = \sum_{i=1}^t (C_{\max} - c) \quad (3)$$

где N_M – численность рыб, погибающих от естественных причин, экз.

3. Промысловая численность рыб каждой генерации складывается из численности рыб, погибающих от естественных причин и от промысла.

$$N = N_M + N_F \quad (4)$$

где N – численность особей одной генерации, достигших промыслового размера, экз.; N_F – численность особей одной генерации, погибающих от промысла, экз.

$$N_F = \sum_{i=1}^t c_i \quad (5)$$

где c_i – фактический вылов генерации в год i , экз.; t – количество лет участия генерации в промысле.

Подставляя уравнения 3 и 5 в уравнение 4, получаем:

$$N = \sum_{i=1}^t C_{\max i} \quad (6)$$

В свою очередь максимальный теоретический улов каждой генерации несложно выразить через используемую во всех когортных моделях виртуальную численность. Поскольку накопленный улов или виртуальная численность находится как:

$$C_i = \sum_{i=1}^t c_i \quad (7)$$

где C_i – накопленный улов в год i , экз., а отношение улова к накопленному вылову является годовым коэффициентом убыли и его можно выразить как:

$$\frac{c_i}{C_i} = \frac{C_i - C_{i+1}}{C_i} = 1 - e^{-\alpha} \quad (8)$$

то, из уравнения 2 максимальный теоретический улов представляет собой ничто иное, как накопленный вылов:

$$C_{\max i} = \frac{c_i}{1 - e^{-\alpha}} = \sum_{i=1}^t c_i \quad (9)$$

Вот такие простые формулы получаются исходя из вышеизложенных преобразований. Поэтому осуществлять по ним расчеты не представляет большого труда.

Апробация метода по тесту ИКЕС выявила сравнительно высокую схожесть результатов по возрастным группам, которые полностью облавливаются промыслом, и завышение численности в младших возрастах. Последнее

обстоятельство связано с завышением естественной убыли в ранних возрастах, когда разница между накопленным уловом и фактическим велика, т.к. многие особи в силу селективности промысла вступают в него лишь при достижении определенной промысловой длины. То есть реально рыбы этих возрастов не погибли от естественных причин, а, наоборот, вступили в промысел, но несколько позднее. В связи с этим в рассматриваемую модель была введена следующая корректировка расчета численности:

$$N'_i = N_i - N_{i+r} \quad (10)$$

где N'_i – корректируемое значение численности поколения в возрасте i -лет, экз.; N_i – численность поколения в возрасте i -лет, экз.; r – количество лет, равное возрасту, с которого происходит устойчивое снижение улова данного конкретного поколения, лет.

Следует отметить, что данная корректировка сказывается лишь на оценках численности рыб первых возрастных групп и для большинства анализируемых оценок промыслового запаса является несущественной. В частности, для всех рассматриваемых примеров она фактически не требовалась, т.к. возраст устойчивого снижения уловов анализируемых поколений незначительно отличался от общего количества возрастных групп в промысловом запасе. Поэтому в настоящей статье расчеты по формуле 10 не проводились. Тем не менее если вступление пополнения каждой генерации в промысел значительно растянуто во времени, то такую корректировку все-таки желательно делать.

Кроме того, в ранее опубликованные алгоритмы (Матковский, 2001) были введены некоторые изменения, на которых также кратко остановимся. Прежде всего они связаны с нахождением дифференцированных для каждой генерации коэффициентов убыли. Для этого вначале по матрице уловов рассчитываются коэффициенты отношения ближайших возрастных классов (аналогично алгоритму 5 (Матковский, 2001)), которые используются для восстановления уловов не полностью обловленных поколений. Далее для каждого поколения определяются свои коэффициенты убыли, и в дальнейшем все расчеты идут от них по ранее рассмотренной схеме, но, соответственно, без нахождения коэффициентов отношения условных промысловых запасов, т.к. прогнозирование изменения эксплуатации не полностью обловленных поколений было выполнено на первом этапе вычислений. Такой подход сводит к минимуму ошибку усреднений. Исходя из формулы 9, коэффициенты убыли можно не рассчитывать, но их нахождение, в равной степени как и коэффициентов отношения уловов ближайших возрастных групп одной генерации, позволяет выявлять возможные артефакты в исходной информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Обском бассейне корюшка является одним из удобных объектов для когортного моделирования, поскольку этот вид рыбы является важным объектом

промысла, локализован в основном в Обской губе и по нему имеются многолетние сведения по уловам и размерно-возрастной структуре промысловой части популяции. Неслучайно именно данные по корюшке были в свое время использованы в качестве контрольного примера расчета по ВПА в «Методических рекомендациях по использованию кадастровой информации для разработки прогноза уловов рыбы во внутренних водоемах» (Сечин и др., 1990). Учитывая вышензложенное, также воспользуемся этим материалом для сравнительного анализа по двум методам. При этом для исключения использования прогностических оценок выполним расчеты лишь по полностью обловленным поколениям корюшки 1974-1977 гг. рождения.

Результаты расчетов двумя методами представлены на рисунках 1-4.

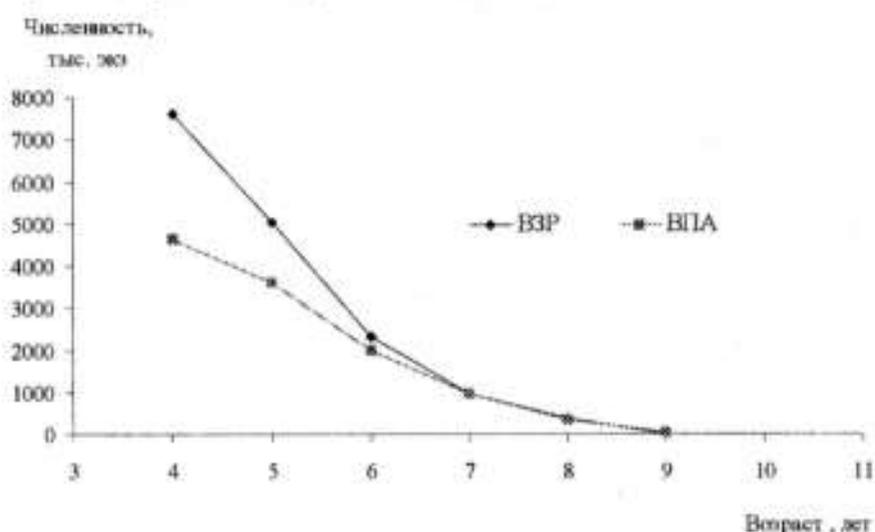


Рис. 1. Численность корюшки поколения 1974 г., рассчитанная методами ВПА и ВЗР.
Fig. 1. Number of smelt generation 1974 designed by methods of VPA and VZR.

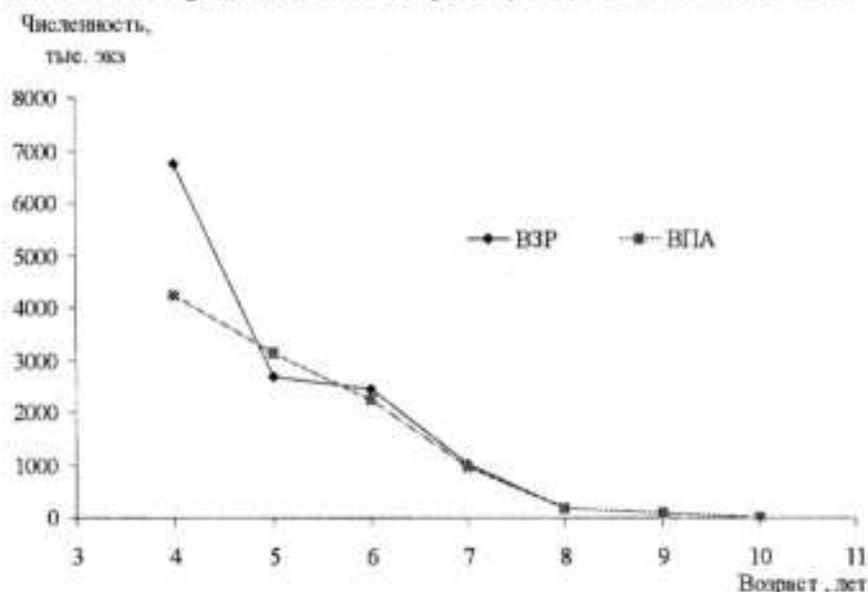


Рис. 2. Численность корюшки поколения 1975 г., рассчитанная методами ВПА и ВЗР.
Fig. 2. Number of smelt generation 1975 designed by methods of VPA and VZR.

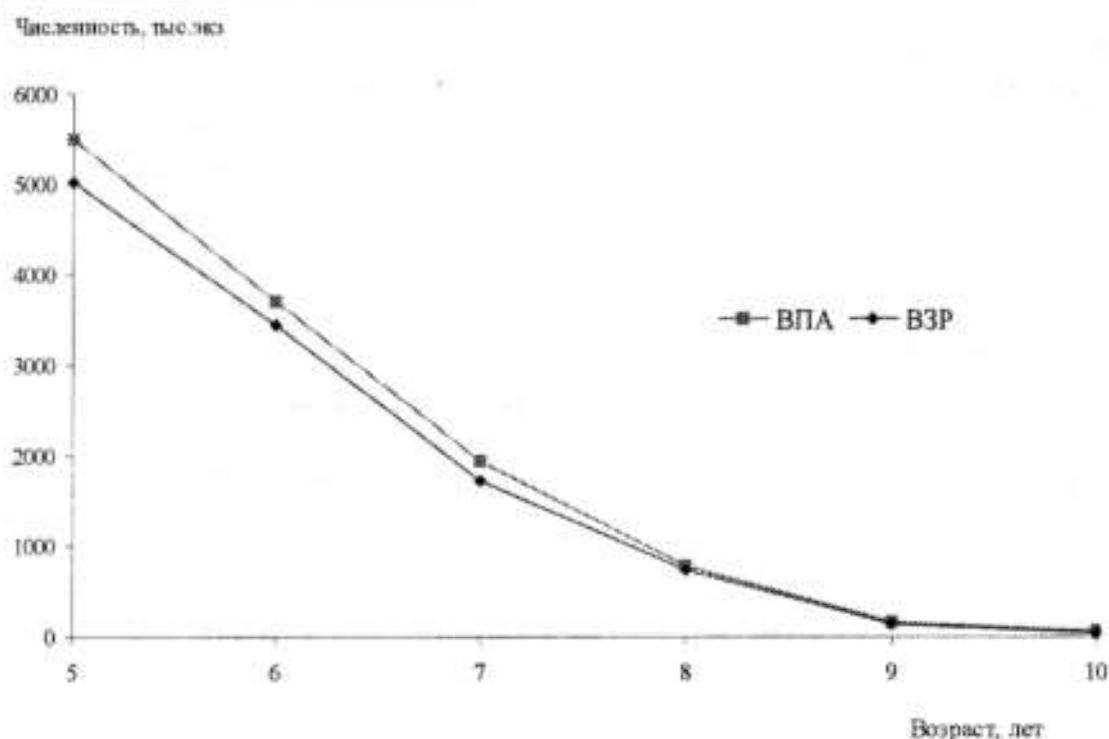


Рис. 3. Численность корюшки поколения 1976 г., рассчитанная методами ВПА и ВЗР.
 Fig. 3. Number of smelt generation 1976 designed by methods of VPA and VZR.

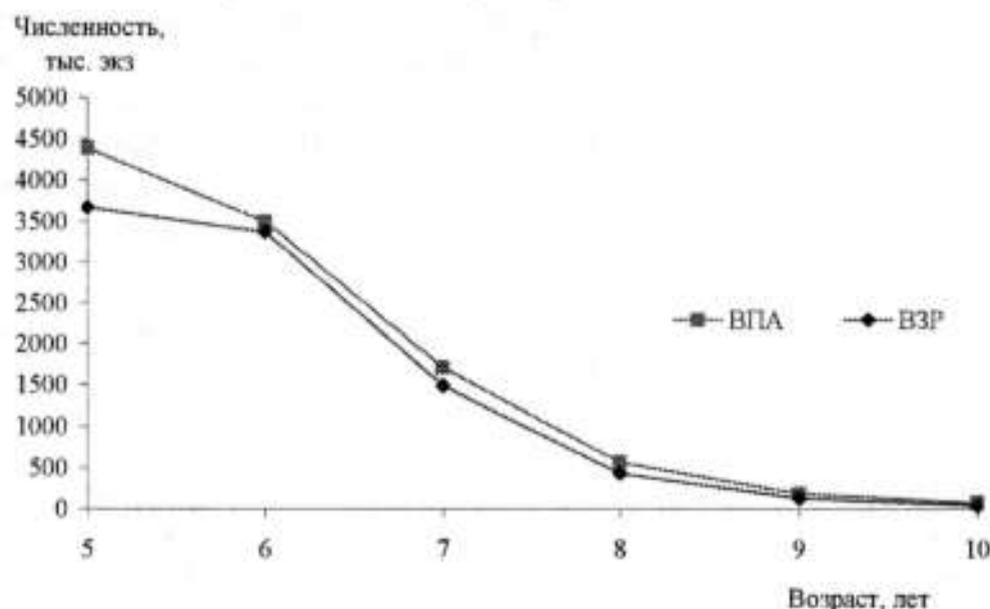


Рис. 4. Численность корюшки поколения 1977 г., рассчитанная методами ВПА и ВЗР.
 Fig. 4. Number of smelt generation 1977 designed by methods of VPA and VZR.

Наибольшее сходство между результатами по ВПА и ВЗР отмечено по поколениям 1975-1977 гг. (рис. 2-4). Выявленное расхождение в младших возрастных группах поколения 1974 г. (рис. 1) связано с тем, что, как указано в «Методических рекомендациях...» ВНИРО (Сечин и др., 1990), стартовое значение F_t было искусственно снижено с 0,75 до 0,5, т.к. в противном случае

метод ВПА не позволил бы провести расчет численности всего поколения. Учитывая это обстоятельство, рассмотрим процент отклонения результатов расчетов по методу ВЗР к аналогичным по методу ВПА для поколений 1975-1977 гг. (табл. 1). Величины отклонений рассчитывались по формуле:

$$\alpha = \frac{N_{ВПА} - N_{ВЗР}}{N_{ВПА}} \cdot 100 \quad (11)$$

где $N_{ВПА}$ – численность рыб, определенная методом ВПА; $N_{ВЗР}$ – численность рыб, определенная методом ВЗР.

Таблица 1. Процент отклонения расчетов численности корюшки между методами ВПА и ВЗР.

Table 1. Percent of a deviation of accounts of smelt number between methods of VPA and VZR.

Возраст	Поколение			Средняя
	1975 г.	1976 г.	1977 г.	
4	-59,5	-	-	-59,5
5	14,7	8,8	16,4	13,3
6	-10,1	7,3	3,6	0,3
7	-5,9	11,7	12,9	6,2
8	-1,0	6,4	23,4	9,6
9	-15,4	17,7	30,6	11,0
10	40,0	40,2	40,3	40,2

Полученные проценты отклонений свидетельствуют о сходстве расчетов двумя методами по основной промысловой части популяции корюшки Обской губы, состоящей из рыб 5-9-летнего возраста. Более высокий процент отклонения в последней возрастной группе связан с тем, что в ВПА задано фиксированное стартовое значение смертности. Но так как доля старшевозрастных рыб в уловах мала, то ясно, что отмеченное расхождение является несущественным при определении промыслового запаса.

Теперь проанализируем результаты сравнения двух методов на примере атлантической сардины, которое приводится в «Методических рекомендациях...» АтлантНИРО (Гасюков и др., 1980), где рассматриваются три версии ВПА в интерпретации Шумахера. Не вдаваясь в суть каждого способа, поскольку это изложено в методическом руководстве, отметим лишь, что первый и второй способы используются для полностью обловленного поколения, при этом первый способ является приближенным, а третий способ применяется для случая, когда поколение не полностью обловлено.

Результаты расчетов обоими методами представлены в таблице 2. Проведенное сравнение свидетельствует о сходстве результатов расчетов по обоим методам. Наибольшая схожесть результатов получена при использовании второго способа расчета ВПА, который дает наиболее точные оценки численности. Как и в примере с корюшкой, максимальное относительное различие установлено лишь в последней самой малочисленной возрастной группе.

Таблица 2. Результаты расчетов численности сардины методами ВПА и ВЗР, млн.шт.
Table 2. Number of sardine designed by methods of VPA and VZR, millions pieces.

Год промысла	Возраст, лет	ВПА		ВЗР	Возраст, лет	ВПА, способ 3	ВЗР
		способ 1	способ 2				
1974	2	155349,0	14311,9	14876,3			
1975	3	9297,8	8728,4	7414,5	1	7202,3	8773,3
1976	4	2741,6	3729,9	2563,6	2	6497,5	5797,7
1977	5	1124,4	1124,4	457,1	3	4230,4	3097,7
1978					4	1387,5	654,8

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отмеченное сходство в результатах расчетов по ВПА и ВЗР объясняется прежде всего использованием в обоих методах величин накопленных уловов. Кроме того, в ВПА и ВЗР учитывается убыль рыб не только от промысла, но и от всех остальных причин. Причем выявленное незначительное расхождение в результатах как раз связано с разным способом определения естественной смертности. Несмотря на то, что в ВЗР естественная смертность специально не рассчитывается, тем не менее, попытаемся разобраться на сколько в теоретическом плане принятая концепция в ВЗР согласуется с аналогичной в ВПА.

Как известно, в ВПА численность рыб определяется, исходя из следующего уравнения Ф.И. Баранова (1918):

$$N_i = \frac{c * Z_i}{(1 - e^{-x}) * F_i} \quad (12)$$

где Z_i – коэффициент естественной смертности в год i ; F_i – коэффициент промысловой смертности в год i .

Если это уравнение выразить через накопленный улов, обозначив последний как P_i (условный промысловый запас), то оно примет следующий вид:

$$N_i = P_i \frac{(F_i + M_i)}{F_i} = P_i + P_i \frac{M_i}{F_i} \quad (13)$$

где M_i – коэффициент естественной смертности в год i .

Таким образом, основная часть численности рыб как в методе ВПА, так и в методе ВЗР рассчитывается исходя из величины накопленного улова. Различие между методами имеется лишь в подходе к оценке убыли поколения от естественной смертности.

В ВПА возможная убыль рыб от естественных причин определяется как:

$$P_i \frac{M_i}{F_i} = \frac{P_{M_i}}{F_i} = N_{M_i} \quad (14)$$

где P_{M_i} – часть условного промзапаса поколения, погибающего от естественных причин в год i , экз.; N_{M_i} – численность поколения, которая может погибнуть при заданном коэффициенте промысловой смертности от естественных причин в год i , экз.

Здесь следует подчеркнуть, что $N_{\text{зд}}$ – это не фактическая, а потенциально возможная гибель рыб от естественных причин. Поэтому если предположить, что в обоих методах принято одинаковое решение в определении убыли рыб от причин, не связанных с промыслом, то можно получить следующее соотношение:

$$P_i \frac{M_i}{F_i} = \sum_{i=1}^i P_i - P_i \quad (15)$$

Данное уравнение справедливо и исходя из теоретических рассуждений, что общая убыль поколения от естественных причин в случае прекращения промысла будет равна сумме рассчитываемых условных промысловых запасов, если такой промысел будет вестись. Правильность равенства доказывается тем, что если обе его части разделить на P_i и, учитывая, что сумма коэффициентов естественной и промысловой смертностей равна коэффициенту общей смертности, то можно вновь прийти к известному уравнению Ф.И. Баранова (1918), которое отображено в формуле 12. При этом соответственно справедливым является и уравнение 6, конечно, с учетом формулы 10.

Таким образом, оба метода исходят из общих теоретических рассуждений, но имеют различия в подходе определения естественной смертности. Поскольку в ВПА последний показатель задается, то это является не лучшим вариантом расчета численности рыб, т.к. в отдельных случаях от размера естественной смертности существенно зависит и конечный результат. Достаточно наглядно это прослеживается по уравнению 13. Так, например, при $M=F$ численность рыб может быть равна удвоенному накопленному улову, а при $M>F$ соответственно может быть и гораздо выше этой величины. То есть применение ВПА требует использование надежно обоснованных величин естественной смертности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый для применения в сырьевых исследованиях метод ВЗР дает сопоставимые результаты с методом ВПА, но в отличие от последнего при расчетах не требуется вводить коэффициенты смертности рыб. Коэффициенты смертности являются внутренними показателями модели. Метод основан на изменении вылова отдельных генераций рыб и дает наиболее объективные оценки, начиная с возраста, когда поколение полностью вступило в промысел. Как и для всех других методов когортного анализа, на предварительном этапе важна работа по удалению различных «шумов» в исходных данных, а также в случае существенных изменений в интенсивности рыболовства необходимо нормирование улова по оказываемому промысловому усилию.

Предельная простота метода ВЗР, использование только наиболее доступной информации, быстрота расчетов могут поставить его в разряд экспресс-методов. Однако, учитывая специфику промысла в различных водоемах, существующие особенности биологии видов, не следует забывать, что, как и для

большинства других методов прогнозирования уловов, творческий элемент в работе каждого исследователя должен обязательно присутствовать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). М.: ВНИРО, 2000. 191 с.

Баранов Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Изв. отд. рыбовод. и научно-промысл. исслед. 1918. Т. 1. С. 84-128.

Васильев Д.А. Когортные модели и анализ промысловых биоресурсов при дефиците информационного обеспечения. М.: ВНИРО, 2001. 110 с.

Гасюков П.С., Доровских Р.С., Приц С.Э. Методические рекомендации по применению математических методов для оценки запасов и возможного вылова промысловых объектов. Калининград: АтлантНИРО, 1980. 104 с.

Дементьева Т.Ф. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. М.: Пищевая промышленность, 1976. 239 с.

Державин А.Н. Севрюга. Биологический очерк // Изв. Бакинской ихтиол. лаб. 1922. Т. 1. 112 с.

Засосов А.В. Теоретические основы рыболовства. М.: Пищевая промышленность, 1970. 292 с.

Малкин Е.М. Репродуктивная и численная изменчивость промысловых популяций рыб. М.: ВНИРО, 1999. 146 с.

Матковский А.К. Алгоритмы метода «восстановленного запаса рыб» для изучения изменения промыслового запаса и прогнозирования общедопустимых уловов (ОДУ) на примере обского чира (*Coregonus nasus*). В сб.: Биология, биотехника разведения и промышленного выращивания сиговых рыб. Мат. VI Всеросс. научно-производственного совещания. Тюмень: СибрыбНИИпроект, 2001. С. 95-98.

Сечин Ю.Т., Буханевич И.Б., Матушанский М.В. и др. Методические рекомендации по использованию кадастровой информации для разработки прогноза уловов рыбы во внутренних водоемах (часть 1, основные алгоритмы и примеры расчетов). М.: ВНИРО, 1990. 56 с.

Fry F.E.J. Statistics of a lake trout fishery // Biometrics. 1949. V. 5. Pp. 27-67.

Pope I.G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis // ICNAF Res. Bull. 1972. V. 9. Pp. 65-74.

Pope I.G., Shepherd I.G. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data // J. Cons. Intern. Explor. Mer. 1982. V. 40. Pp. 146-184.

Schumacher A. Bestimmung der fischereilichen Sterblichkeit beim Kabeljaubestand vor Westgrönland // Ber. Dtsch. Komm. Meeresforsch. 1970. B. 21(1-4). S. 248-259.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS VPA AND
RECONSTRUCTED FISH STOCK (VZR)**

© 2006 y. A.K. Matkovsky

State Research- Production Centre of Fisheries, Tyumen

On the used equations and results of accounts the similarity and distinctions of methods VZR (reconstructed fish stock) and VPA is considered. The significant similarity in estimations of fish number is marked. The simplicity of method VZR is emphasized, in which there is no necessity to use mortality coefficients and input data based only the most accessible information.