

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 639.212.053.7(262.81)

**ОЦЕНКА ВОЛЖСКОГО ЗАПАСА СЕВРЮГИ *ACIPENSER STELLATUS*
КАСПИЙСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ МОРАТОРИЯ НА ПРОМЫСЕЛ:
РЕТРОСПЕКТИВА И ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ В БУДУЩЕМ**

© 2017 г. И.А. Сафаралиев, Т.И. Булгакова*

Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Астрахань, 414056

* Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства

и океанографии, Москва, 107140

E-mail: saf_ildar@rambler.ru

Поступила в редакцию 13.01.2017 г.

Значительный объем нелегального вылова, сокращение площадей естественных нерестилищ и неблагоприятная гидрологическая обстановка привели к значительному снижению волжского запаса севрюги *Acipenser stellatus*. Начиная с 2005 г. закрыт коммерческий промысел севрюги, разрешено только весьма незначительное изъятие для научного мониторинга и для целей искусственного воспроизводства. Прерванные ряды данных не позволяют применять традиционные методы оценки запаса севрюги. В статье сделана попытка расчета динамики данного запаса методом DB-SRA, используемым для запасов с бедным информационным обеспечением. Входной информацией является ретроспективный ряд уловов (сумма официальных и нелегальных уловов) и четыре входных параметра, задаваемых вместе с их вероятностными распределениями. Метод позволил оценить динамику биомассы волжского запаса севрюги и ряд ориентиров управления. Проведены также прогностические расчеты возможной динамики запаса при разных сценариях эксплуатации. Показано, что при существующем уровне нелегального промысла запас исчезнет к 2027 г., но при полном прекращении нелегального вылова и при настоящих объемах выпуска молоди осетровыми заводами р. Волга в течение 50 лет запас может восстановиться до уровня в 60% от оптимального (продуцирующего максимальный устойчивый улов). Для восстановления запаса в течение 50 лет до оптимального уровня необходимо полное прекращение нелегального промысла и увеличение ежегодного выпуска молоди севрюги до 10 млн экз. в год.

Ключевые слова: севрюга *Acipenser stellatus*, Каспийское море, оценка запаса, нелегальный вылов, метод DB-SRA, прогноз, стратегии эксплуатации.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что наиболее продуктивным и важным источником осетровой продукции в СССР в XX столетии был бассейн Каспийского моря (Рубан и др., 2015а). Например, в 1970-х гг. уловы коммерческого промысла достигали 28,86 тыс. т при среднем значении 22,1 тыс. т. Большую часть осетровых (до 90%) вылавливали в р. Волга и только оставшиеся 10% в реках Урал, Кура, Терек (Stolberg et al., 2006; Ходоревская и др., 2007а). С начала 1980-х гг. чис-

ленность и уловы осетровых в Каспийском море стали неуклонно снижаться. За период 1983–2000 гг. абсолютная численность белуги упала с 14,1 до 7,5 млн экз., русского осетра — с 43,8 до 31,6 млн экз. и севрюги — с 46,6 до 10,5 млн экз. (Рубан и др., 2015а). В связи с этим коммерческий промысел белуги в Волго-Каспийском бассейне был остановлен в 2000 г., а осетра и севрюги — в 2005 г. К сожалению, мораторий на вылов осетровых не принес положительных результатов, численность осетровых продолжала падать. По последним опублико-

ванным данным, на 2014 г. абсолютная численность белуги в Каспийском море в зоне ответственности Российской Федерации насчитывает 0,275 млн экз., русского осетра — 7,87 млн экз. и севрюги — 0,99 млн экз. (Довгопол и др., 2015).

Резкое падение численности осетровых связано с нарушением условий размножения и нагула рыб, нерациональным регулированием спуска воды с Волгоградской ГЭС в весенний период, которое ведется без учета интересов рыбной отрасли. Существенную роль в подрыв запасов вносит браконьерство как на море, так и на путях нерестовых миграций производителей, которое в некоторые годы, по экспертным оценкам, могло превышать в 35 раз суммарный официальный вылов белуги, осетра и севрюги. К числу причин, определяющих современное положение осетровых, следует отнести отсутствие единой межгосударственной системы управления запасами осетровых рыб, нерегулируемый промысел прикаспийскими государствами, недостаточный контроль за популяциями осетровых в Каспийском бассейне (Рубан и др., 2015а; Довгопол и др., 2015).

Сокращение численности севрюги, отсутствие съемок по всей акватории Каспийского моря и введение моратория на промысловый лов привели к прерыванию ряда наблюдений по данному виду. Собираемый материал для оценки запаса стал нерепрезентативным и не дает возможности применять математические когортные модели. Таким образом, запас севрюги можно отнести к группе запасов с ограниченной информационной обеспеченностью. В этом случае применяются различные трендовые и индикаторные методы, упрощенные продукционные модели.

В настоящее время для оценки и прогнозирования запаса севрюги применяются регрессионные (трендовые) методы и расчеты, основанные на коэффициенте промыслового возврата (КПВ) (Булгакова и др., 2016). Эти способы оценки и прогнозирования имеют свои недостатки. Например, при построении тренда учитывается

только ретроспективная динамика величин, а на результаты прогнозов могут влиять и современные условия формирования запаса. При прогнозировании запаса от данных искусственного и естественного пополнения через их КПВ можно получить приблизительную оценку, которая зависит от возрастной структуры популяции и точности данных по выпуску молоди осетровыми рыболовными заводами (ОРЗ), а также скату личинок с естественных нерестилищ. Полученные таким методом оценки запаса севрюги следует считать экспертными.

Впервые модель DB-SRA (Depletion-based stock reduction analysis) была применена к запасу севрюги (Ye, Valbo-Jørgensen, 2012) как используемая при ограниченной доступности информации о запасе. На основе временного ряда уловов севрюги по всему Каспийскому бассейну была предпринята попытка построения модели DB-SRA для оценки запаса в ретроспективе и в прогнозный период, а также ориентиров управления.

Цель представляемой работы заключается в применении метода DB-SRA к запасу волжской популяции севрюги Каспийского моря с уточнением значений входных параметров. Работа позволила определить ориентиры управления (максимальный устойчивый улов MSY , биомассу, производящую максимальный устойчивый улов B_{MSY} , и целевой коэффициент промысловой смертности F_{MSY}), динамику биомассы запаса в ретроспективный период; оценить современное влияние браконьерства, роль пополнения запаса от искусственного воспроизводства; рассмотреть сценарии развития запаса в будущем при различных условиях его эксплуатации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Данные уловов, возраст и темп созревания

Севрюга *Acipenser stellatus* распространена по всему Каспийскому морю. В весенний период особи с созревшими половыми продуктами совершают нерестовые

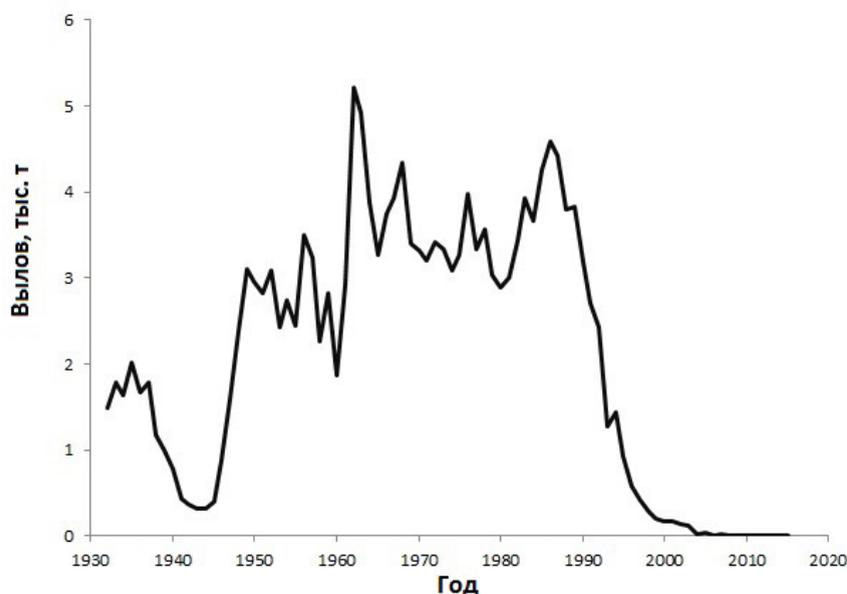


Рис. 1. Официальные величины изъятия севрюги в р. Волга в 1932–2015 гг.

миграции в реки Каспийского бассейна. Исследования, основанные на иммунохимическом анализе особенностей антигенного состава сывороточных белков на уровне индивидуальных антигенов, позволили выявить сложную популяционную структуру и существование локальных стад севрюги, привязанных к «родным» рекам. В результате были выделены три популяции — волжская, уральская и южнокаспийская (Переварюха, 1982; Переварюха и др., 1985, 1999, 2003). Таким образом, используя речные уловы в соответствующих реках, можно выделить промысловые запасы отдельных популяций севрюги для дальнейшей их оценки и моделирования.

Для построения модели промыслового запаса волжской популяции севрюги Каспийского моря в данной работе использованы официальные величины промыслового изъятия в р. Волга с 1932 по 2005 гг. (Ходоревская и др., 2007а), а с 2006 по 2015 гг. — суммарное изъятие для научно-исследовательских работ в море в зоне ответственности Российской Федерации и для целей искусственного воспроизводства в р. Волга (рис. 1). Используются также оценки нелегального вылова в ретроспективный период начиная с 1989 г.

Оценка темпа созревания севрюги проведена по данным, полученным из полностью обловленных поколений 1981–1991 гг. Расчеты показали, что медиана возраста созревания производителей этого вида находится на уровне 10 лет.

Модель DB-SRA

Появление модели DB-SRA имеет свою предысторию, в ее основе лежат появившиеся ранее подходы к оценке возможного вылова в условиях ограниченной информации. Сначала была предложена модель SRA (Stock reduction analysis) (Kimura et al., 1982, 1984), в которой данные исторических уловов и оценка относительного снижения запаса в результате промысла использовались для построения возможной динамики запаса. Позднее Уолтерс с соавторами (Walters et al., 2006) усовершенствовали эту модель, добавив в нее стохастический подход. Затем Маккол (MacCall, 2009) разработал модель DCAC (Depletion-corrected average catch) для того, чтобы оценить потенциальный улов запаса на основе двух приближенных оценок параметров $B_{MSY} = 0,5B_0$ и $F_{MSY} = M$ (Alverson, Pereyra, 1969; Gulland, 1971). Наконец, все три подхода были объединены в модель DB-SRA (Dick, MacCall, 2011), которая

использует метод Монте-Карло и требует задания априорных вероятностных распределений входных параметров для построения текущего состояния запаса и ориентиров управления.

Модель DB-SRA, используемая для оценки запасов с бедным информационным обеспечением, позволяет оценить биологические ориентиры (MSY , B_{MSY}), а также значения биомассы запаса по годам и первоначальную биомассу необлавливаемого запаса K . Для модели DB-SRA должны быть предварительно заданы значения четырех входных параметров модели (в качестве стартовых значений параметров): M — мгновенная естественная смертность, F_{MSY}/M — отношение промысловой смертности, соответствующей вылову MSY к естественной смертности; B_{MSY}/K — отношение значения биомассы, продуцирующей MSY , к биомассе необлавливаемого запаса; B_T/K — отношение биомассы запаса в год-ориентир T к биомассе необлавливаемого запаса (это отношение называется истощением запаса). В качестве года T рекомендуется выбрать год, для которого более-менее известна оценка запаса, это не обязательно последний год ретроспективного интервала. Также требуется задать диапазон возможных значений биомассы необлавливаемого запаса K . Поскольку заданные значения входных параметров не являются точными оценками, их заменяют априорными вероятностными распределениями. В процессе работы модели оценки этих параметров уточняются.

В методе DB-SRA реализована конечно-разностная продукционная модель с задержкой:

$$B_t = B_{t-1} + P(B_{t-a}) - C_{\Sigma t-1}, \quad (1)$$

где $C_{\Sigma t}$ — суммарный вылов в год t , а B_t — биомасса запаса в тот же год; $P(B_{t-a})$ — скрытая годовая продукция, которая является функцией биомассы запаса a лет назад (здесь a — медиана возраста созревания особей в популяции). В нашем случае суммарный вылов равен сумме официального вылова C_t (рис. 1) и нелегального вылова IC_t , который оценен ниже.

Функциональная зависимость продукции от нерестовой биомассы запаса $P(B)$ в общем случае может иметь разную форму, но авторы (Dick, MacCall, 2011) использовали гибридную модель, представляющую собой сочетание модели Шефера при $B < B_{join}$ и модели РТФ при $B \geq B_{join}$, где B_{join} — точка пересечения уравнений двух моделей (2) и (3). РТФ — обозначение модификации Флетчера (Fletcher, 1978) модели Пелла—Томлинсона (Pella, Tomlinson, 1969) — имеет вид:

$$P(t) = gm \left(\frac{B_{t-a}}{K} \right) - gm \left(\frac{B_{t-a}}{K} \right)^n. \quad (2)$$

Показатель степени $n > 0$ определяет асимметричность функции $P(B)$,

$g = n^{n/(n-1)}/(n-1)$ — функция от n , причем $g > 0$ при $n > 1$ и $g < 0$ при $0 < n < 1$, m — максимум продукции (равный MSY); K — значение необлавливаемой биомассы, $B_{MSY}/K = n^{1/(1-n)}$ для $n \neq 1$ и $B_{MSY}/K = e^{-1} \approx 0,37$ при $n = 1$.

Продукционная функция РТФ приводит к нереально высоким значениям отношения продукции к биомассе (P/B) при низких значениях биомассы, т.е. в случае сильно скошенной продукционной кривой (особенно при $B_{MSY}/K < e^{-1} \approx 0,37$). Поэтому при низких значениях биомассы рекомендуется использовать модель Шефера, которая записывается в виде:

$$P(B_{t-a}) = B_{t-a} \left(\frac{P(B_{join})}{B_{join}} + c(B_{t-a} - B_{join}) \right). \quad (3)$$

Коэффициент c в уравнении (3) определяется по формуле:

$$c = \{(1-n)gmB_{join}^{n-2}K\}.$$

Краткое описание алгоритма ретроспективной модели. Подробно алгоритм модели описан ранее (Dick, MacCall, 2011; Булгакова и др., 2016), здесь перечислим его основные моменты. Проводится серия реализаций модели, для каждой реализации по заданным вероятностным распределениям каждого из четырех входных параметров

(M , F_{MSY}/M , B_{MSY}/K , B_T/K) случайно выбирается по одному значению. Используя эти значения, рассчитываются параметры продукционной функции и ориентиры управления.

Для каждой реализации проводится расчет биомассы от $B_0 = K$ до B_T по уравнению (1). Итеративно выбирается такое значение K , при котором «истощение» биомассы в год T будет равно его заданному (входному) значению B_T/K . Траектории, в которых хотя бы для одного года получается отрицательное значение биомассы, отбрасываются. По оставшимся реализациям рассчитываются апостериорные распределения вероятности для биологических ориентиров по биомассе и промысловой смертности, а также необходимая статистика. После получения уточненных оценок четырех параметров модель (1) позволит рассчитать динамику запаса в ретроспективе, а затем сделать прогноз запаса на заданное количество лет вперед.

Расчеты по модели DB-SRA выполняли в программной среде R Core Team (2016), скрипт процедуры расчетов реализован в пакете fishmethods (Nelson, 2015). Вычисления проводили в количестве 20000 итераций, при которых достигается удовлетворительная робастность выходных величин модели.

Входные данные модели. Оценки входных параметров модели несут в себе неопределенность, так как получены эмпирически. Использование вероятностного распределения позволяет включить неопределенность как качественную характеристику данных параметров. Тип распределения выбирался согласно рекомендациям авторов модели DS-SRA (Dick, MacCall, 2011).

Значения M для севрюги волжской популяции Каспийского моря, полученные по литературным данным и оцененные эмпирическими методами, колеблются в довольно больших пределах: от 0,06 до 0,20 (табл. 1). Эмпирические методы оценки M имеют свои ограничения и не всегда могут быть достаточно обоснованными. «В этой связи очень часто ученые просто принимают некоторое значение естественной смертности, оцененное любым способом, и затем постоянно используют его в моделях» (Шибаяев, 2014. С. 209).

В первых прогонах модели стартовое значение коэффициента M выбирали в пределах 0,10–0,12, но при этом апостериорное значение этого параметра получалось значительно ниже, а количество оставлен-

Таблица 1. Оценки постоянного по возрастам коэффициента мгновенной естественной смертности волжской популяции севрюги Каспийского моря, полученные разными методами

Данные	Соотношение	Величина M	Источник
Литературные	—	0,100	Вовк, Пашкин, 1971
		0,090	Сливка и др., 1982
Эмпирические	$M = 1,5k$	0,108–0,106	Jensen, 1996
	$M = 4,2/t_{\max}$	0,102–0,135	Hewitt, Hoenig, 2005
	$M = 1,6/t_m$	0,160	Jensen, 1996
	$M = 1,521/t_n^{0,72} - 0,155$	0,120	Рихтер, Ефанов, 1977
	$M = 3k/(\exp(0,25kt_{\max}) - 1)$	0,060–0,200	Alverson, Carney, 1975
	$M = \exp(1,46 - 1,01\ln(t_{\max}))$	0,100–0,130	Hoenig, 1983

Примечание. k — коэффициент роста Бергаланффи, t_{\max} — максимальная продолжительность жизни, t_m — возраст массового полового созревания (50%), t_n — возраст массового полового созревания (70%).

ных прогонов после отбрасывания таковых с отрицательными значениями биомассы было слишком малым. Для увеличения количества оставленных прогонов решено в качестве стартового значения выбирать значение $M < 0,10$. Окончательное значение M в данной работе получено при настройке самой модели и составило $M = 0,075$ и $SD = 0,023$ (т.е. 30% от среднего), что входит в границы оценок этого параметра, представленные в табл. 1. При этом лог-нормальное распределение запишется как $\ln(-2,64; 0,3)$.

Галланд (Gulland, 1971) установил, что отношение F_{MSY}/M часто близко к 1. Но позднее данную величину было решено выбирать из интервала $[0,5; 1,0]$ в зависимости от средней продолжительности жизни объекта промысла: большее значение для длиннопериодных видов и меньшее — для короткоцикловых (Бабаян, 2000). Севрюга является длиннопериодным видом рыбы. Ее максимальный возраст был определен по спилам грудных плавников и составил от 31 до 41 года (Цепкин, Соколов, 1971; Беляева и др., 1989). Принимая во внимание продолжительность жизни севрюги, выбрано среднее значение $F_{MSY}/M = 0,75$ и его $SD = 0,075$, тогда лог-нормальное распределение запишется как $\ln(-0,29; 0,1)$. Отметим, что для этого параметра и для B_{MSY}/K стандартное отклонение произвольно принято равным 10% от среднего.

Величина B_{MSY}/K лежит в пределах $(0-1)$ и, как правило, находится в границах более узкого диапазона для отдельных категорий рыб, которые классифицируются по продуктивности вида. Критериями уровня продуктивности служат коэффициент уравнения Бергаланфи (k), максимальная продолжительность жизни, возраст созревания и т. д. (Musick, 1999). Коэффициент k севрюги волжской популяции составляет 0,07 (Сливка и др., 1982; Сафаралиев, 2013), максимальная продолжительность жизни, по эмпирическим наблюдениям, колеблется от 31 до 41 года, а возраст созревания 50% особей равен 10 годам. В соответствии с данными биологическими параметрами

севрюгу можно отнести к группе запасов с очень низкой продуктивностью, у которых величина B_{MSY}/K превышает 0,45 (FAO, 2005).

Низкая продукционная способность запаса севрюги, т. е. способность запаса увеличивать свою биомассу за счет процессов воспроизводства и весового роста (Бабаян, 1990), является следствием негативного воздействия антропогенных факторов на воспроизводительную способность запаса. С возведением каскада волжских водохранилищ для севрюги были потеряны нерестилища от Волжской ГЭС до г. Камышин. Участок нижней Волги от Волгоградской плотины до взморья стал полностью определять масштабы естественного воспроизводства этого вида. В настоящее время нерестилища севрюги составляют не более 191,5 га (Власенко и др., 2012). В условиях зарегулирования стока эффективность размножения находится в прямой зависимости от попусков воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла. В маловодные годы при неблагоприятных гидрологических условиях промысловый возврат может ожидаться в 6–7 раз ниже, чем в годы с оптимальной водностью (Ходоревская и др., 2007б). В меньшей степени на процесс воспроизводства и темп весового роста севрюги влияет загрязнение окружающей среды на местах нагула в море и нерестилищах Волги.

Режим промысла 1960–2000 гг. значительно повлиял на состояние запаса севрюги в настоящее время. В условиях кратковременных превышений объемов вылова относительно величины MSY в 1960–1987 гг. наблюдалась некоторая стабилизация биомассы выше B_{MSY} на фоне основного отрицательного тренда. Последующее беспрецедентное давление браконьерства в 1990-х гг., приведшее к критическому падению биомассы промыслового запаса, вынудило отнести вид к категории «в критической опасности» (Critically Endangered) по классификации Международного союза охраны природы (International Union for Conservation of Nature) (Freyhof, Brooks, 2011).

По литературным данным, абсолютная численность севрюги в Каспийском море снизилась с 67,7 млн экз. в 1978 г. до средней величины 8,0 млн экз. в 2003–2005 гг. (Рубан и др., 2015б). В зоне ответственности Российской Федерации численность этого вида за период 2005–2014 гг. упала с 4,9 до 0,99 млн экз., а промысловый запас в период 2007–2011 гг. с 11,14 до 3,81 тыс. т (Сафаралиев, 2012; Довгопол и др., 2015). Таким образом, за рассмотренный период 1978–2014 гг. при сокращении абсолютной численности соответственно уменьшалась биомасса промыслового запаса. При значении B_{msy}/K , равном 0,6, модель показывала схожую динамику стремительного сокращения биомассы промыслового запаса, если рассматривать представленные значения абсолютной численности и промыслового запаса как индексы обилия. Таким образом, в модели было решено использовать значение B_{msy}/K , равное 0,6, при котором модельная динамика запаса в ретроспективе соответствует нашим представлениям о запасах севрюги всего Каспийского моря и ее волжской популяции. В качестве вероятностного распределения этого отношения принято бета-распределение со следующими параметрами: среднее значение $B_{msy}/K = 0,6$ и $SD = 0,06$.

Величину B_T/K установили методом итераций, остановившись на значении 0,05 и $SD = 0,015$ и заложив в модель бета-распределение. Чувствительность модели DB-SRA к данному параметру наиболее высока (Dick, MacCall, 2011; Wetzel, Punt, 2011), поскольку именно на значение B_T/K настраивается оценка параметра K в каждой из реализаций. Поэтому для этого параметра принимаем значение SD , равное 30% от средней. При $B_T/K = 0,05$ получаемая траектория промысловой биомассы севрюги проходит близко к величине биомассы на начало года-ориентира (2009), которая получена суммированием результатов оценки промыслового запаса по летней осетровой траловой съемке и экспертной оценке незаконного, нерегули-

руемого и несообщенного (ННН) изъятия и составляет 5,8 тыс. т.

Нижняя граница диапазона допустимых значений K была принята равной наибольшей наблюдаемой величине промыслового запаса севрюги за период 1994–2015 гг. — 59,3 тыс. т (Сливка и др., 2000). Таким образом, поиск вероятной величины необлавливаемого запаса проводился в диапазоне 60–300 тыс. т.

ННН-изъятие и его компонента в модели DB-SRA

Одним из существенных воздействий человека на рыбные запасы является ННН-изъятие, которое может значительно повысить промысловую смертность. Три составляющие ННН-изъятия подразумевают улов, не зафиксированный официальной статистикой, расхищение части улова с официальных мест промысла и браконьерский вылов, полученный в результате нарушения официально действующих Правил рыболовства.

Оценкой возможных величин ННН-изъятия осетровых в бассейне Северного Каспия занимался целый ряд авторов. Было установлено, что за период 1989–2006 гг. величина ННН-изъятия превышала в различные годы в 1,2–20,0 раза официальный вылов осетра и севрюги. Сводные данные величины оценки ННН-изъятия по различным литературным источникам представлены в табл. 2.

Власенко и Зыкова (2007) предложили методику оценки величины ННН-изъятия в море по общей длине конфискованных сетных порядков в море и уловам осетровых в исследовательских (контрольных) сетях. Зная относительный улов на известную длину в контрольных сетях, можно оценить общий улов осетровых из конфискованных охранными органами сетей и масштабы браконьерского изъятия в море.

Используя представленные в литературе отношения ННН-изъятия к официальному объему вылова и предложенную

Таблица 2. Отношение нелегального, неконтролируемого и неучтенного изъятия (ННН) осетровых в Северном Каспии к официальному вылову (по литературным данным)

Год	Коэффициент ННН-изъятия от официальных уловов (n раз)	Литературные источники
1989	1,2	Зыкова и др., 2000
1990	2,2	
1991	3,2	
1992	4,2	
1993	7,0	
1994	8,0	
1995	9,0	
1996	10,0	
1997	11,0	
1998	12,0	
1999	15,0–20,0	Бабаян и др., 2008; Бобырев и др., 2009
2000		
2001		
2002		
2003		
2004		
2005		
2006		

методику Власенко–Зыковой (2007), проведена оценка ННН-изъятия для севриги волжской популяции Каспийского моря. Оценки за период 1989–2003 гг. взяты из литературных источников, за 2004–2015 гг. рассчитаны по методике Власенко–Зыковой (2007).

Так как полученные величины ННН-изъятия (1989–2015 гг.) основаны на косвенных и экспертных оценках и, следовательно, не лишены ошибок, заложенных во входных данных, что отражается в значительном колебании оценок в отдельные годы, было проведено сглаживание динамики ННН-изъятия за представленный период методом локальной регрессии (Cleveland et al., 1992; Мاستицкий, Шитиков, 2014). Аппроксимацию выполняли при заданном параметре степени сглаженности ($span = 0,7$) и полиноме второй степени в программной среде R Core Team (2016). Конечные результаты оцененной экспертным путем величины ННН-изъятия представлены на рис. 2.

Как указано выше, компонента IC , представляющая ННН-изъятие (рис. 2), вошла в уравнение (1) как составляющая общего вылова для ретроспективного анализа запаса севриги.

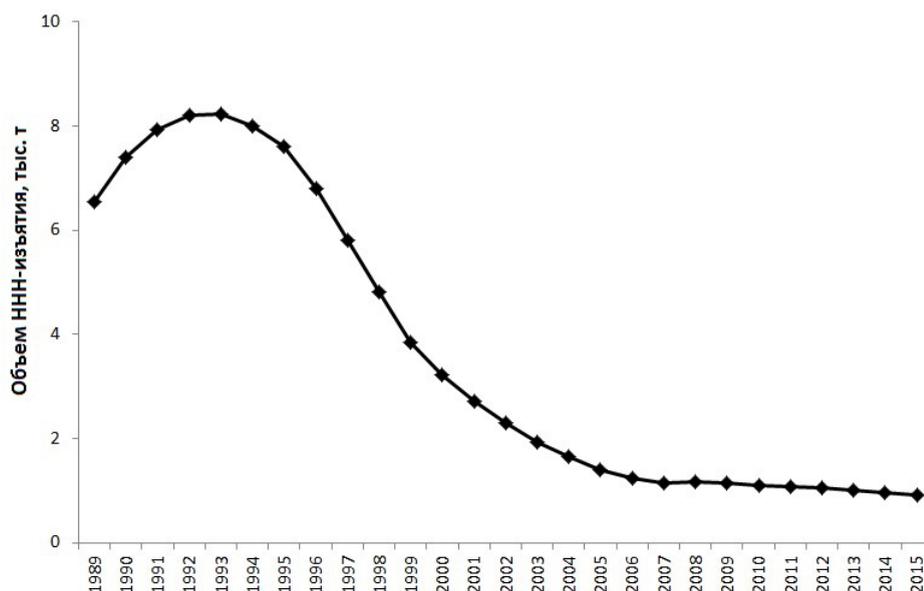


Рис. 2. Динамика объема незаконного, нерегулируемого и несообщенного (ННН) изъятия волжской популяции севриги Каспийского моря, график построен по литературным оценкам с помощью метода Власенко–Зыковой (2007).

**Оценка влияния пополнения
от искусственного воспроизводства
и ННН-изъятия на прогнозную
динамику запаса**

После построения ретроспективной модели DB-SRA для волжской популяции севрюги Каспийского моря и получения выходных результатов были проведены расчеты для оценки возможной прогнозной динамики ее запаса при разных условиях эксплуатации. Для этого были рассмотрены три сценария с соответствующей модификацией уравнения модели DB-SRA (1).

Целью первого сценария было проследить динамику запаса в условиях современного давления браконьерства и осуществляемого объема искусственного пополнения от ОРЗ дельты р. Волга. В связи с этим в уравнение модели две компоненты вылова — официальный вылов C и IC (ННН-изъятие) — были внесены раздельно, а также включено пополнение от искусственного воспроизводства R . В этом случае уравнение принимает следующий вид:

$$B_t = B_{t-1} + \rho(B_{t-a}) - C_{t-1} - IC_{t-1} + R_{t-1}. \quad (4)$$

Поскольку промысел севрюги приостановлен в 2005 г. в связи с Распоряжением Правительства РФ от 17.12.2004 г. № 1668р, изъятие стало возможно только для целей научно-исследовательских работ (НИР) и искусственного воспроизводства. Официальный вылов C в уравнении (4) равен сумме объема изъятия для НИР и искусственного воспроизводства, средняя величина этой суммы за 2012–2015 гг. составила 467 кг. Прогнозная величина ННН-изъятия IC получена методом экспоненциального сглаживания, процедура расчетов которого реализована в пакете forecast (Hyndman, 2016). Пополнение от искусственного воспроизводства R представлено функцией количества сеголеток поколений, формирующих запас в соответствующий год; коэффициентом промыслового возврата; темпом вступления в промысел, который оце-

нен по усредненной возрастной структуре нерестовой части популяции севрюги в р. Волга за период 2007–2012 гг. при средней массе особи промыслового стада, принятой равной 4,6 кг. КПВ севрюги от искусственного воспроизводства был оценен Буханевичем с соавторами (1986) в 0,9% и утвержден Ученым советом ВНИРО (Приказ №1166 от 25 ноября 2011 г.). Начиная с 2016 г. и далее количество выпускаемых сеголеток севрюги осетровыми заводами Астраханской области принималось равным 0,161 млн экз. как среднее за период 2012–2015 гг. До 2016 г. численность сеголеток для оценки пополнения R бралась по фактическому выпуску заводами.

Во втором сценарии полагаем, что нет никакого изъятия, а пополнение осуществляется только за счет продукционной способности, оцененной по ретроспективной модели (1) (обсуждение функции $\rho(B)$ см. в разделе «Результаты и обсуждение»). В этом случае делается попытка ответить на вопрос, возможно ли восстановление запаса севрюги за заданный период лет при продукционных свойствах запаса, которые сложились в период 1932–2015 гг. В этом сценарии использовано уравнение (4) при условии, что $C_{t-1} = IC_{t-1} = R_{t-1} = 0$.

В третьем сценарии предполагается, что ННН-изъятие отсутствует, вылов осуществляется только для целей НИР и искусственного воспроизводства C , а также существует пополнение от искусственного воспроизводства R , уровень которого можно варьировать. Тогда уравнение модели принимает следующий вид:

$$B_t = B_{t-1} + \rho(B_{t-a}) - C_{t-1} + R_{t-1}. \quad (5)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ретроспективная оценка запаса по модели DB-SRA. На рис. 3 представлены траектории принятых и отвергнутых ретроспективных вероятностных оценок биомассы промыслового запаса волжской популяции севрюги по модели DB-SRA. При проведенных вычислениях принятые траектории составили 14% от общего числа итераций (20000).

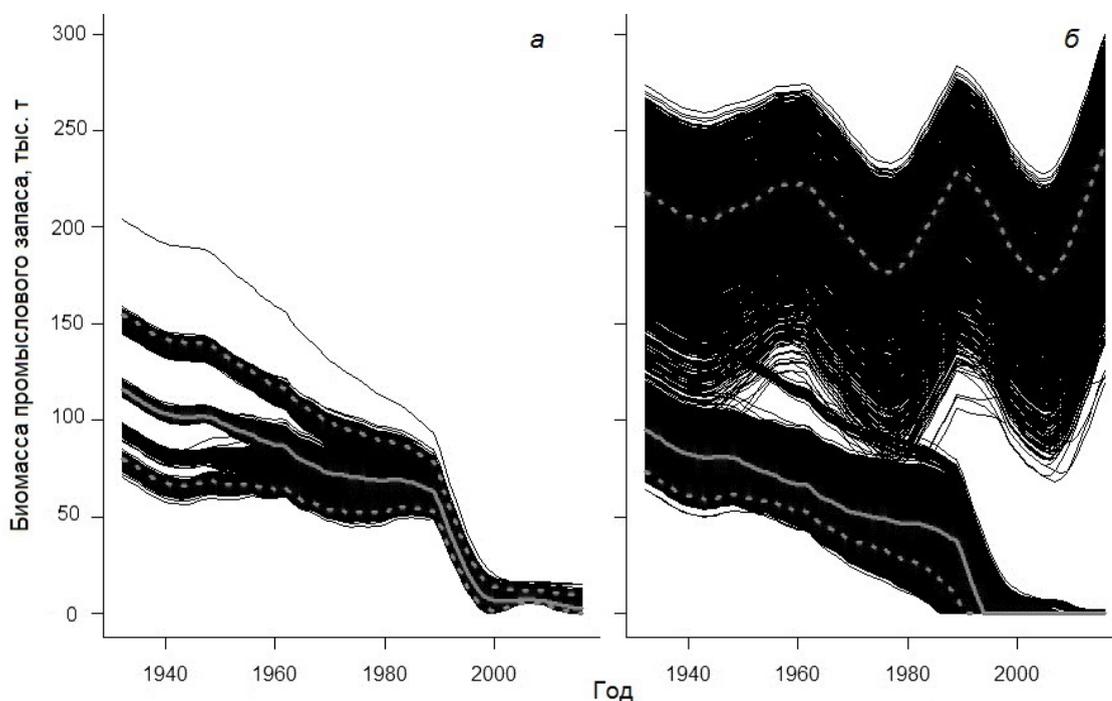


Рис. 3. Оставленные (а) и отвергнутые (б) траектории биомассы промыслового запаса волжской популяции севрюги Каспийского моря по модели DB-SRA: (—) — медиана биомассы, (---) — отдельная траектория биомассы, (---) — 2,5 и 97,5%-ные процентиля.

Множество принятых (оставленных) траекторий биомассы запаса севрюги (рис. 3, а) (всего принято около 2800 реализаций модели из 20000) демонстрируют прерывистость множества допустимых значений начальной биомассы, что может вызвать недоумение. При дополнительных исследованиях оказалось, что такой характер динамики запаса проявляется при небольшом количестве принятых реализаций. При большем их количестве (например, при 5000) получается сплошное множество начальных значений биомассы.

Оцененные по модели DB-SRA ориентиры управления, биомасса запаса в год-ориентир B_{ref} , K и ретроспективная динамика промыслового запаса севрюги волжской популяции Каспийского моря за период 1932–2015 гг. представлены в табл. 3 и на рис. 4. Результаты модели $B(t)$ сопоставляли с оценками биомассы промыслового запаса севрюги в период с 2008 по 2015 гг., полученными суммированием оценок по траловым съёмкам или

трендовым методом с экспертной оценкой ННН-изъятия в соответствующие годы. Траектории величин биомассы по DB-SRA и съёмкам достаточно хорошо повторяют друг друга, что позволяет сделать заключение о достоверности построенной модели (рис. 4).

Модель показывает, что за весь представленный исторический период эксплуатации запаса севрюги величина промысловой части биомассы неуклонно сокращалась (рис. 4). В период 1932–1987 гг. биомасса превышала величину B_{MSY} , а режим промысла был в допустимых пределах: до 1962 г. уловы не превышали уровня MSY , а в период 1963–1987 гг. вылов колебался в границах 2,89–5,22 тыс. т, иногда превышая уровень MSY (рис. 5). В 1987 г. биомасса запаса пересекает оптимальный уровень биомассы запаса $B_{MSY} = 66,61$ тыс. т, после чего траектория запаса стремительно сокращается и за рассматриваемый период на более высокий уровень не возвращается (рис. 4).

Таблица 3. Оцененные по модели DB-SRA выходные параметры запаса севрюги волжской популяции Каспийского моря

Показатель	Выходные параметры модели DB-SRA					
	MSY	B_{MSY}	F_{MSY}	Коэффициент эксплуатации U_{MSY}	B_{ref}	K
	тыс. т				тыс. т	
Медиана	3,23	66,61	0,052	0,049	6,45	115,84
Процентиль 2,5%	2,55	45,71	0,028	0,027	4,60	80,14
Процентиль 97,5%	3,93	94,86	0,096	0,086	11,67	154,72
Min	1,77	39,83	0,017	0,017	4,41	71,54
Max	4,23	108,33	0,120	0,106	16,57	204,10

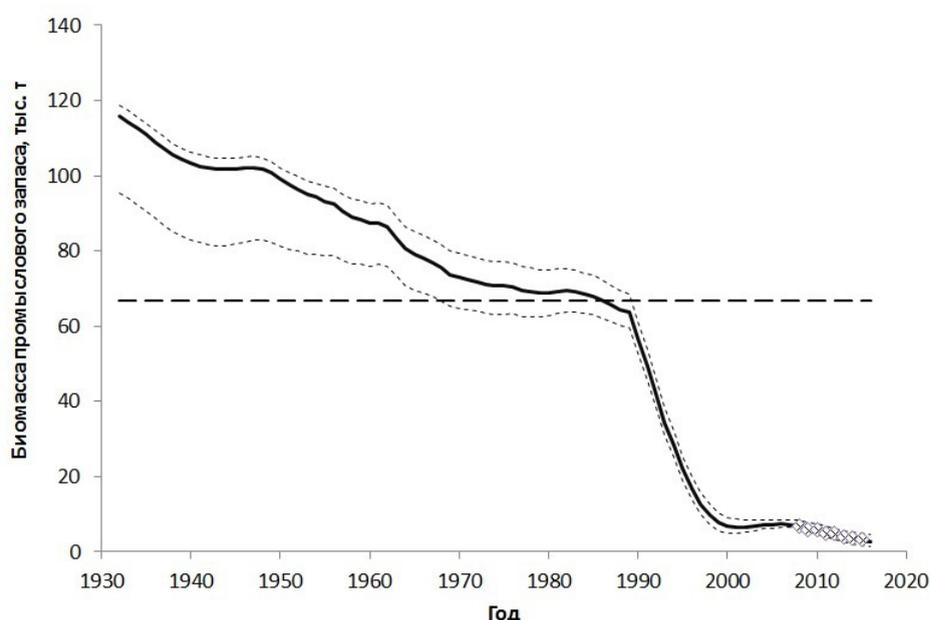


Рис. 4. Динамика промыслового запаса волжской популяции севрюги Каспийского моря по модели DB-SRA за период 1932–2016 гг.: (—) — биомасса, рассчитанная по модели DB-SRA, (□) — промысловый запас (съемка + ННН-изъятие), (— —) — B_{MSY} (66,61 тыс. т), (- - -) — 25 и 75%-ные процентиля.

Сравнительный анализ объема официального и браконьерского изъятий севрюги и величины найденного ориентира MSY показал, что начиная с 1960-х гг. периодически наблюдалась незначительная переэксплуатация запаса. Но с распадом СССР и ослаблением контроля за биоресурсами Каспийского моря значительно возрастает ННН-изъятие, и с 1989 по 2000 гг. перелов становится постоянным явлением, причем общая величина улова может превышать уровень MSY в 3,2 раза (рис. 5). Период 1989–2000 гг. —

критический для севрюги, в это время ее запас был окончательно подорван и вплоть до 2016 г. продолжает сокращаться.

Сценарии восстановления запаса севрюги. Рассмотренные выше результаты модели показали, что запас севрюги в настоящее время находится в депрессивном состоянии. Величина текущего состояния биомассы составляет 4,0% от B_{MSY} . Возможно ли восстановление запаса севрюги в современных условиях при браконьерском вылове и какие необходимы для этого рекреационные

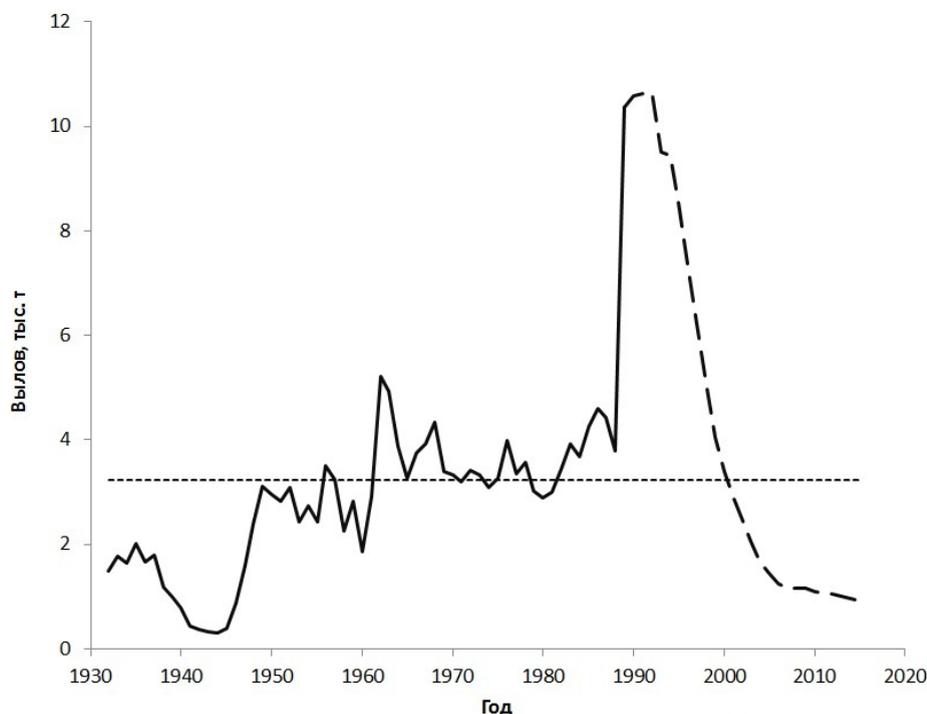


Рис. 5. Динамика изъятия промыслового запаса севрюги волжской популяции Каспийского моря за период 1932–2015 гг.: (—) — официальный вылов, (---) — суммарный вылов (официальный и ННН), (- - -) — MSY (3,23 тыс. т).

мероприятия? Модель DB-SRA позволяет ответить на эти вопросы при реализации в ней предполагаемых сценариев эксплуатации запаса. На рис. 6 представлены реализации трех сценариев развития состояния запаса, описанные в разделе «Материал и методика». Моделирование первого сценария показало, что, если браконьерство сохранится на прежнем уровне, волжская популяция севрюги может исчезнуть к 2027 г., а с вероятностью 50% — между 2021 и 2066 гг. Это говорит о том, что современный выпуск молоди ОРЗ бассейна Волги при среднем объеме 0,161 млн экз. за 2012–2015 гг. недостаточен для восполнения убыли от ННН-изъятия и других антропогенных факторов (рис. 6, а). При отсутствии какого-либо изъятия и величине пополнения от искусственного воспроизводства в размерах оцененной продукционной способности запаса в период 1932–2015 гг. (сценарий 2) промысловый запас севрюги за 50 лет восстановится с 2,64 до 38,72 тыс. т, т. е. почти в 15 раз, но не достигнет целевого значения B_{MSY} (рис. 6, б).

Таким образом, согласно второму сценарию, биомасса промыслового запаса на уровне 2,64 тыс. т является критической, при которой продукционная способность вида настолько снижена, что он не сможет восстановиться до оптимальной величины за 50 лет.

Сценарий 3 позволяет оценить вклад пополнения от искусственного воспроизводства и определить стратегию восстановления вида при полном отсутствии браконьерства. Промысловый возврат от современного объема выпуска молоди севрюги ОРЗ р. Волга при среднем за 2012–2015 гг. значении 0,161 млн экз. не является достаточной величиной для восстановления запаса. При таком выпуске сеголеток биомасса за 50 лет восстановится с 2,64 тыс. т только до 41,72 тыс. т при средней навеске особи в промысловом запасе 4,6 кг (рис. 6, в). Как показали расчеты, для достижения оптимальной величины запаса севрюги B_{MSY} в течение 50 лет необходим ежегодный выпуск не менее 10,0 млн экз. молоди ОРЗ при средней массе особи промыслового возврата 4,6 кг (рис. 6, г).

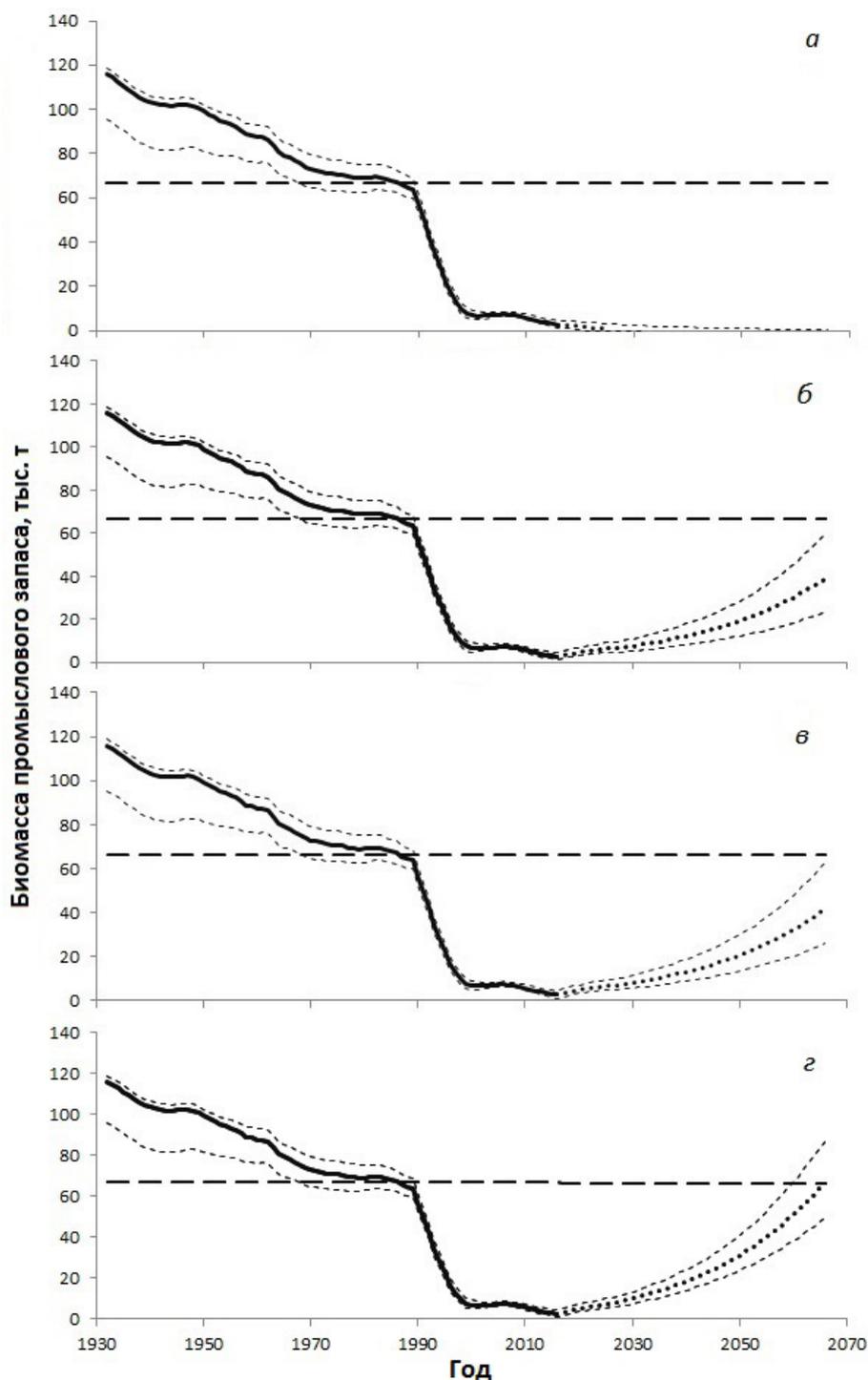


Рис. 6. Сценарии восстановления запаса волжской популяции севрюги Каспийского моря:
а — сценарий 1: ННН-изъятие, изъятие для НИР и искусственного воспроизводства при ежегодном выпуске молоди от ОРЗ в объеме 0,161 млн экз.;
б — сценарий 2: отсутствие всякого изъятия, в том числе для НИР и искусственного воспроизводства, выпуск молоди равен нулю;
в — сценарий 3а: изъятие только для целей НИР и искусственного воспроизводства, пополнение промыслового запаса от ОРЗ при ежегодном выпуске молоди в объеме 0,161 млн экз.;
г — сценарий 3б: изъятие только для целей НИР и искусственного воспроизводства, пополнение промыслового запаса от ОРЗ при ежегодном выпуске молоди в объеме 10,0 млн экз.

Модель DB-SRA, построенная для запаса севрюги всего Каспийского моря (Ye, Valbo-Jørgensen, 2012), показала более оптимистичные результаты. При отсутствии и изъятия, и пополнения от искусственного воспроизводства общий запас севрюги может самостоятельно восстановиться до $B_{MSY} = 86,52$ тыс. т к 2035 г., а включая 50%-ную неопределенность — между 2029 и 2058 гг. Отсутствие какого-либо изъятия при ежегодном выпуске молоди ОРЗ в объеме 10 млн экз. в прогнозный период позволит восстановиться запасу до целевого ориентира уже к 2030 г. Если будет остановлен легальный промысел, но браконьерство продолжится на уровне 2008 г. при отсутствии пополнения от ОРЗ, вид исчезнет к 2042 г. Различие в результатах между двумя представленными моделями DB-SRA объясняется несколькими причинами. В указанной выше работе (Ye, Valbo-Jørgensen, 2012) использовались данные вылова 1933–2008 гг. по всему Каспийскому бассейну, а в качестве терминального года T выбран 2008-й, когда промысловый запас севрюги составлял 16% от целевого ориентира B_{MSY} . В наших расчетах биомасса волжской популяции в терминальный 2016-й г. составила только 4,0% от B_{MSY} . Эти факты указывают на то, что в 2008 г. состояние запаса севрюги было не настолько критически подорванным, как в 2016 г., и могло бы позволить запасу восстановиться до оптимального уровня быстрее. На продукционную способность запаса в модели также влияет входной параметр B_{MSY}/K . Указанные авторы (Ye, Valbo-Jørgensen, 2012) использовали в своей модели $B_{MSY}/K = 0,4$, тогда как для запаса севрюги волжской популяции мы выбрали величину 0,6.

Важно оценить чувствительность результатов моделирования с помощью модели DB-SRA к значениям входных параметров M и F_{MSY}/M . Как показано ранее (Wetzel, Punt, 2011), для разных видов/запасов анализ чувствительности приводит к разным результатам. Например, для камбаловых и морского окуня оценка общего допустимого

улова завьшается при завьшении параметра M , а параметр F_{MSY}/M робастен для камбаловых рыб, но приводит к большим ошибкам для морского окуня. Метод DB-SRA высокочувствителен к отношению (B_T/K) , что выражается в переоценке допустимого уровня вылова, если величина этого отношения слишком завьшена. О высокой чувствительности модели к этому отношению параметров было указано выше.

Необходимо отметить, что при работе с моделью DB-SRA ее авторы (Dick, MacCall, 2011) рассматривали случаи более высоких значений параметра B_T/K (он был назван depletion), и стандартная программа была разработана для $B_T/K = 0,4$. При низких значениях этого параметра, что соответствует сильному истощению запаса, снижается доля принятых в расчет реализаций модели, т. е. и точность результатов расчетов, а практически это приводит к существенным сложностям при восстановлении запаса.

При моделировании динамики запаса в ретроспективе в функцию продукции $P(B)$ в неявном виде входит и искусственное пополнение от осетровых заводов, и при оценке параметров модели учитывается какая-то усредненная величина пополнения. Но, записывая уравнение для прогноза, мы выделяем искусственное пополнение в отдельную составляющую R и даем ей разные значения в разных сценариях. При этом параметры продукционной функции остаются теми же, что были использованы в ретроспективе, что некорректно. Тем не менее, поскольку функция продукции сильно зависит от биомассы запаса, а в последние годы биомасса была очень низкая, такая некорректность не должна сильно повлиять на результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты показали работоспособность модели DB-SRA для запаса волжской популяции севрюги Каспийского моря. Установлено, что MSY данной популяции севрюги составляет 3,23 тыс. т,

а биомасса промыслового запаса B_{MSY} , продуцирующая MSY , равна 66,61 тыс. т, в 2016 г. промысловый запас составляет 4,0% от B_{MSY} .

Проведенная работа позволила усовершенствовать оценку пополнения запаса от искусственного воспроизводства при построении прогнозной части модели, учитывая, что поколение вступает в нерестовую часть не одновременно, а растянуто во времени. Поэтому при оценке величины пополнения темп вступления в промысел рассчитан по усредненной возрастной структуре нерестовой части популяции севрюги в р. Волга за период 2007–2012 гг. В этом заключается одно из отличий от указанной выше работы (Ye, Valbo-Jørgensen, 2012), и это отражает более правдоподобное формирование промыслового запаса вида.

Анализ результатов использования трех представленных сценариев развития запаса севрюги по модели DB-SRA показывает:

1) в настоящее время промысловый запас волжской популяции севрюги в Каспийском море находится на крайне низком уровне и самостоятельно из критического состояния за рассмотренный период (50 лет) выйти не сможет;

2) при существующем ННН-промысле и предпринимаемых рекреационных и охранных мероприятиях сохранить вид в будущем не представляется возможным, он может исчезнуть к 2027 г.;

3) при сведении ННН-промысла к нулю и поддержании объема выпуска молоди севрюги ОРЗ на уровне 10,0 млн экз. запас может восстановиться за 50 лет до целевого значения $B_{MSY} = 66,61$ тыс. т.

Результаты расчетов показали, что модель DB-SRA в условиях недостаточности и ограниченности информации по запасу севрюги может решить следующие задачи: оценку целевых ориентиров (MSY , B_{MSY} , F_{MSY}), используемых при зональном правиле регулирования рыболовства и оценку стратегии эксплуатации запаса севрюги на средние и долгосрочные периоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В.К. Краткий словарь терминов долгосрочного прогнозирования (промысловые биопрогнозы). М.: Изд-во ВНИРО, 1990. 48 с.

Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): анализ и рекомендации по применению. М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.

Бабаян В.К., Булгакова Т.И., Васильев Д.А. Модельный подход к оценке неучтенного вылова каспийских осетровых // Матер. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Комплексный подход к проблеме сохранения и восстановления биоресурсов Каспийского бассейна». Астрахань, 2008. С. 36–41.

Беляева В.Н., Казанчев Е.Н., Распопов В.М. и др. Каспийское море: ихтиофауна и промысловые ресурсы. М.: Наука, 1989. 236 с.

Бобырев А.Е., Бурменский В.А., Криксунов Е.А., Шатуновский М.И. Биотическое сообщество Северного Каспия: проблемы управления биологическими ресурсами // Успехи современ. биологии. 2009. Т. 129. № 6. С. 598–609.

Булгакова Т.И., Лепилина И.Н., Сафаралиев И.А., Довгопол Г.Ф. Анализ методов, применяемых для оценки и прогнозирования запасов каспийских осетровых рыб // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 161. С. 102–114.

Буханевич И.Б., Эрман А.А., Довгопол Г.Ф. Определение коэффициентов промыслового возврата севрюги, выращенной на рыбободных заводах // Рыб. хоз-во. 1986. №1. С. 49–51.

Власенко А.Д., Зыкова Г.Ф. Экспертная оценка незаконного изъятия осетровых видов рыб в водоемах Волго-Каспийского района // Матер. Междунар. конф. «Мелиорация малых водоемов, нерестилищ дельты р. Волги и поймы» (Структура экологического проекта «Чистые берега — чистая река»). Астрахань: Изд-во ЦНТЭП, 2007. С. 136–137.

Власенко С.А., Гутенева Г.И., Фомин С.С. Оценка эффективности естествен-

ного воспроизводства осетровых на Нижней Волге // *Вопр. рыболовства*. 2012. Т. 13. №4(52). С. 736–753.

Вовк Ф.И., Пашкин Л.М. Структура и динамика популяций волжских проходных осетровых // *Тр. Волгоград. отд. ГосНИОРХ*. 1971. Т. 3. С. 3–27.

Довгопол Г.Ф., Сафаралиев И.А., Коноплева И.В., Иванова Л.А. Состояние запасов и распределение осетровых в Каспийском море // *Матер. XVII Междунар. науч. конф. «Биологическое разнообразие Кавказа и юга России»*. Нальчик, 2015. С. 460–463.

Зыкова Г.Ф., Журавлева О.Л., Красиков Е.В. Оценка неучтенного и браконьерского вылова русского осетра в р. Волге и Каспийском бассейне // *Тез. докл. Междунар. конф. «Осетровые на рубеже XXI века»*. Астрахань, 2000. С. 54–56.

Мастыцкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. 2014. (<http://r-analytics.blogspot.com>.)

Переварюха Ю.Н. Иммунохимический анализ популяционной структуры каспийской севрюги // *Тез. докл. V Всесоюз. конф. по экологической физиологии и биохимии рыб*. Ч. 4. Популяционная физиология и биохимия рыб. Киев: Наук. думка, 1982. С. 25–26.

Переварюха Ю.Н., Гераскин П.П., Львов В.Л., Галактионова М.Л. О распределении рас и популяций осетровых рыб в Каспийском море // *Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 1998 г.* Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 1999. С. 156–161.

Переварюха Ю.Н., Гераскин П.П., Ручьева Т.В., Коробкова Т.С. Процентное соотношение различных популяций осетровых видов рыб в траловых уловах в Каспийском море в 2002 г. (результаты весенней и летней съемок) // *Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2002 г.* Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2003. С. 184–193.

Переварюха Ю.Н., Кайбелев Р.Ш., Турачев Т.Э. Популяционно-генетические

исследования севрюги в Каспийском море // *Тез. докл. VI Всесоюз. конф. по экологической физиологии и биохимии рыб*. Вильнюс, 1985. С. 184–185.

Рихтер В.А., Ефанов В.Н. Об одном из подходов к оценке естественной смертности рыбных популяций // *Тр. АтлантНИРО*. 1977. Вып. LXXIII. С. 77–85.

Рубан Г.И., Ходоревская Р.П., Кошелев В.Н. О состоянии осетровых в России // *Астрахан. вестн. экол. образования*. 2015а. № 1 (31). С. 42–50.

Рубан Г.И., Ходоревская Р.П., Шатуновский М.И. Динамика популяции белуги, русского осетра и севрюги в условиях запрета их коммерческого лова в Волго-Каспийском бассейне // *Вопр. рыболовства*. 2015б. Т. 16. № 3. С. 269–277.

Сафаралиев И.А. Современное состояние запасов, распределения и качественная структура севрюги (*Acipenser stellatus*, Pallas, 1771) каспийской популяции // *Там же*. 2012. Т. 13. №4 (52). С. 841–854.

Сафаралиев И.А. Обоснование оптимальной эксплуатации популяции севрюги (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) в Волго-Каспийском рыбохозяйственном районе с использованием модели Бивертон–Холта // *Вест. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во*. 2013. № 3. С. 67–76.

Сливка А.П., Довгопол Г.Ф., Захаров С.С. Динамика численности северо-каспийской севрюги // *Биологическая продуктивность Каспийского и Азовского морей*. М.: Изд-во ВНИРО, 1982. С. 64–75.

Сливка А.П., Зыкова Г.Ф., Красиков Е.В. и др. Качественная структура, динамика численности, распределение и состояние запасов осетровых в Каспийском море в 1999 г. // *Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 1999 год*. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2000. С. 154–160.

Ходоревская Р.П., Рубан Г.И., Павлов Д.С. Поведение, миграции, распределение и запасы осетровых рыб Волго-Каспийского бассейна. М.: Тов. науч. изданий КМК, 2007а. 241 с.

- Ходоревская Р.П., Судаков Г.А., Романов А.А.* Современное состояние запасов биологических ресурсов Каспийского бассейна // *Вопр. рыболовства*. 2007б. Т. 8. № 4(32). С. 608–622.
- Цепкин Е.А., Соколов Л.И.* О максимальных размерах и возрасте некоторых осетровых рыб // *Вопр. ихтиологии*. 1971. Т. 11. Вып. 3(68). С. 541–542.
- Шубаев С.В.* Промысловая ихтиология. Калининград: Аксиос, 2014. 535 с.
- Alverson D., Carney M.* A graphic review of the growth and decay of population cohorts // *J. du Conseil Internat. pour l'Exploration de la Mer*. 1975. V. 36 (2). P. 133–143.
- Alverson D.L., Pereyra W.T.* Demersal fish explorations in the northeastern Pacific Ocean – an evaluation of exploratory fishing methods and analytical approaches to stock size and yield forecasts // *J. Fish. Res. Board Can.* 1969. V. 26. P. 1985–2001.
- Cleveland W.S., Grosse E., Shyu W.M.* Local regression models. Ch. 8. Statistical Models in S. N. Y.: Chapman and Hall, 1992. P. 309–376.
- Dick E.J., MacCall A.D.* Depletion-based stock reduction analysis: a catch based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks // *Fish. Res.* 2011. V. 110. P. 331–341.
- FAO. Fisheries technical paper № 474. Rome: FAO, 2005. 251 p.
- Fletcher R.I.* On the restructuring of the Pella–Tomlinson system // *Fish. Bull. USA*. 1978. V. 76. P. 515–521.
- Freyhof J., Brooks E.* European red list of freshwater fishes. Luxembourg: Publ. Office of the European Union, 2011. 61 p.
- Gulland J.A.* The Fish resources of the Ocean. Surrey, England: Fishing News (Books) Ltd, 1971. 255 p.
- Hewitt D., Hoenig J.* Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity // *Fish. Bull.* 2005. V. 103. P. 433–437.
- Hoenig J.* Empirical use of longevity data to estimate mortality rates // *Ibid.* 1983. V. 81. P. 893–903.
- Hyndman R.J.* Forecast: forecasting functions for time series and linear models. R package version 7.3. 2016. (<http://github.com/robjhyndman/forecast>)
- Jensen A.* Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival // *Can. J. Fish. Aquatic Sci.* 1996. V. 53. P. 820–822.
- Kimura D.K., Tagart J.V.* Stock reduction analysis: another solution to the catch equations // *Ibid.* 1982. V. 39. P. 1467–1472.
- Kimura D.K., Balsinger J.W., Ito D.H.* Generalized stock reduction analysis // *Ibid.* 1984. V. 41. P. 1325–1333.
- MacCall A.D.* Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations // *ICES J. Marine Sci.* 2009. V. 66. P. 2267–2271.
- Musick J.A.* Criteria to define extinction in marine fishes // *Fisheries*. 1999. V. 24. № 12. P. 6–13.
- Nelson G.A.* Fishmethods: fishery science methods and models in R. R package version 1.9-0. 2015. (<https://CRAN.R-project.org/package=fishmethods>)
- Pella J.J., Tomlinson P.K.* A generalized production model // *IATTC Bull.* 1969. V. 13. P. 421–458.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria, 2016. (<https://www.R-project.org/>)
- Stolberg F., Borysova O., Mitrofanov I. et al.* Caspian Sea, GIWA Regional assessment 23. Kalmar, Sweden: University of Kalmar, UNEP, 2006. 92 p.
- Walters C.J., Martell S.J.D., Korman J.* A stochastic approach to stock reduction analysis // *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* 2006. V. 63. P. 212–223.
- Wetzel C.J., Punt A.E.* Model performance for the determination of appropriate harvest levels in the case of data-poor stocks // *Fish. Res.* 2011. V. 110. P. 342–355.
- Ye Y., Valbo-Jørgensen J.* Effects of IUU fishing and stock enhancement on and restoration strategies for the stellate sturgeon fishery in the Caspian Sea // *Ibid.* 2012. V. 131–133. P. 21–29.

**ASSESSMENT OF THE VOLGA STOCK OF STELLATE STURGEON
ACIPENSER STELLATUS IN THE CASPIAN SEA DURING THE
MORATORIUM ON FISHING: RETROSPECTIVE VIEW
AND POSSIBLE FUTURE SCENARIOS**

© 2017 y. I.A. Safaraliev, T.I. Bulgakova*

Caspian Research Institute of Fisheries , Astrakhan, 414056

**Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140*

The significant volumes of illegal catches and decline in natural spawning area, together with the poor hydrological conditions have brought about a considerable drop in the Volga stock of stellate sturgeon. The commercial fishing for the species was closed from 2005; only a very small catch volume is permitted now for scientific monitoring and for stock enhancement purposes. The interrupted time series of data do not make it possible to apply the conventional stock assessment techniques. An attempt is made in this paper to compute the dynamics of this stock using DB-SRA method which is normally used in respect of the stocks for which only scarce data are available. The input information includes a retrospective catch data series (sum of legal and illegal catches), and four input parameters provided with the probability distribution. This method enabled us to evaluate the dynamics of the Volga stellate sturgeon stock biomass, and set a number of management reference points. Besides, some prediction is made a regards this stock's potential fluctuations under various harvesting alternatives. It is shown that given the present illegal catch level this stock would disappear by the year 2027. However, if illegal fishing is fully terminated, and under the current juvenile release volumes from the Volga hatcheries during 50 years, the stock might recover up to 60% of the optimum level ensuring the maximum sustainable yield. In order to ensure rehabilitation of the stock to the optimum level after 50 years the illegal fishing must be fully stopped, while releasing the young fish annually in the amount of 10 million individuals.

Keywords: stellate sturgeon *Acipenser stellatus*, Caspian Sea, stock assessment, illegal catch, DB-SRA method, prediction, exploitation strategies.