

## Водные биологические ресурсы

УДК 639.2.058; 639.2.053:597-152.6; 639.211.4 (282.256.341)

**Состояние селенгинской популяции байкальского омуля в условиях моратория на вылов**Н.Г. Петухова<sup>1</sup>, А.Е. Бобырев<sup>1,2</sup>, А.В. Соколов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ФГБУН «ИПЭЭ РАН»), г. Москва

<sup>3</sup> Байкальское отделение ФГБНУ ВНИРО («БайкалНИРО»), г. Улан-Удэ  
E-mail: ng\_petukhova@mail.ru

На основе биопромысловых данных о пелагической морфо-экологической группе байкальского омуля выполнен ретроспективный анализ состояния его селенгинской популяции. Анализ с использованием когортной модели подтвердил продолжающуюся тенденцию к снижению биомассы нерестовой части популяции, несмотря на увеличение общей биомассы запаса в последние годы промысла. По модельным расчётам в 2014–2015 гг. отмечено значительное увеличение пополнения в возрасте 2+ с последующим резким снижением, что закономерно отразилось на прогнозных оценках величины популяции. Представлены результаты анализа 4 сценариев динамики нерестовой биомассы на период с 2018 по 2022 гг., различия которых заключались в задаваемой интенсивности незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла. Выполненные расчёты показали, что при сведении нелегального промысла к минимуму нерестовая часть селенгинской популяции способна восстановиться к 2022 г. до уровня начала 2000-х гг. — ориентировочно до 900 т.

**Ключевые слова:** байкальский омуль *Coregonus migratorius*, оценка запасов, математическое моделирование.

**ВВЕДЕНИЕ**

Байкальский омуль (*Coregonus migratorius*, (Georgi, 1775)) — эндемик озера Байкал. До недавнего времени считался подвидом (*Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi, 1775)) арктического омуля, однако в результате проведённых генетических исследований [Суханова, 2004] выделен в са-

мостоятельный вид. Омуль — ценный промысловый вид, запасы которого интенсивно эксплуатируются на протяжении более двух столетий. В период с 1939 г. по настоящее время промышленные уловы колебались от 9 тыс. т в 1942 г. до 0,6 тыс. т в 1969 г. (рис. 1). Неуклонное сокращение биомассы запасов и официальных уловов бай-

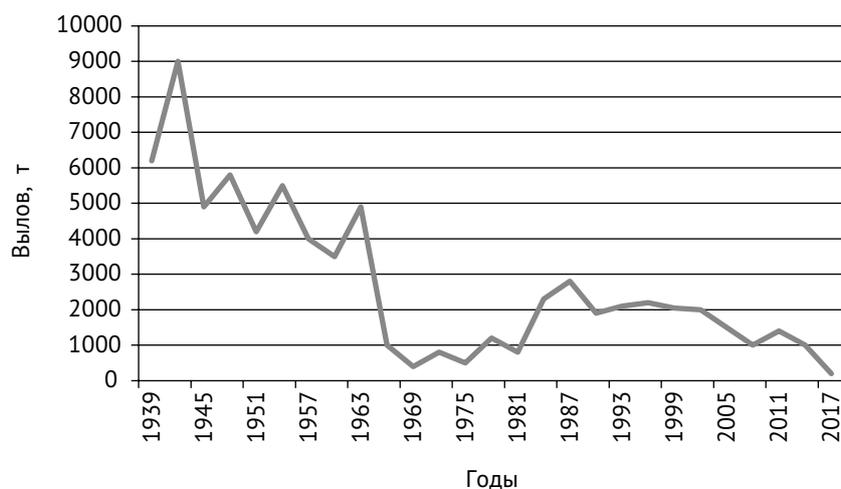


Рис. 1. Динамика уловов байкальского омуля

кальского омуля послужило поводом для введения в октябре 2017 г. моратория на его промышленный и любительский вылов.

Восстановление запасов омуля представляется крайне важной задачей как с экологической, так и с социально-экономической точек зрения. Вылов омуля являлся основным источником заработка для значительной части населения Республики Бурятия. После введения моратория на промысел в 2017 г. возможность легально вылавливать эндемика сохранилась только у представителей некоторых коренных малочисленных народов. Тем не менее, в настоящее время незаконный, несообщаемый и нерегулируемый (ННН) промысел остаётся одним из важных факторов, влияющих на состояние запасов омуля. Количественно оценить его масштабы достаточно сложно, однако согласно имеющимся литературным данным в последнее время по объёму он практически сравнялся с официальным выловом [Соколов, Петерфельд, 2016; Государственный доклад «О состоянии озера Байкал ...», 2018].

К настоящему времени накоплен значительный материал, свидетельствующий о достаточно сложной внутривидовой структуре байкальского омуля [Смирнов, Шумилов, 1974; Калягин, Майстренко, 1997; Майстренко, Майстренко, 1998; Алехин, 2005; Смирнов и др., 2009]. Вид представлен несколькими популяциями (селенгинская, посольская, баргузинская, северобайкаль-

ская, чивыркуйская), которые, в свою очередь, в разных соотношениях сформированы из трёх морфо-экологических групп (МЭГ) — прибрежной, пелагической и придонно-глубоководной. Образование МЭГ обусловлено возможностью освоения омулем кормовой базы нескольких зон: пелагиали открытого Байкала, батигальной части, а также прибрежной отмели в пределах свала глубин.

Имеющиеся биопромысловые данные дифференцированы по МЭГ, которые в силу сложившейся практики рассматриваются как отдельные единицы запаса. Однако по имеющимся сведениям селенгинская популяция на 96% представлена особями пелагической МЭГ [Базов, Базова, 2016]. В настоящей работе данная популяция принята в качестве анализируемой единицы запаса.

Цели работы — оценка состояния селенгинской популяции байкальского омуля, а также анализ четырёх сценариев влияния ННН-промысла на состояние популяции в условиях моратория на вылов:

- 1) ННН-промысел отсутствует;
- 2) величина нелегального вылова равна его среднему объёму за последние 10 лет;
- 3) величина нелегального вылова равна его максимальному объёму, зарегистрированному в последнее десятилетие;
- 4) величина нелегального вылова равна его минимальному объёму за последние 10 лет.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В настоящей работе использовались архивные материалы Байкальского филиала ФГБНУ «ВНИРО» о биологии и промысле байкальского омуля за период с 1995 по 2017 гг. Данные включали в себя статистику годовых уловов пелагической МЭГ омуля (включая экспертную оценку величины неучтённого вылова), возрастной состав уловов в процентном выражении, среднюю массу особей по возрастным группам и годам промысла, оценки мгновенного коэффициента естественной смертности по возрастным группам, количественные оценки темпа созревания рыб по возрастным группам, а также индексы численности по годам промысла — оценки уловов на единицу промыслового усилия (среднегодовой вылов на сетепорядок длиной 2,0 км).

Исходная информация об уловах на усилие была обобщена для всех трёх морфо-экологических групп байкальского омуля и приведена в тыс. т. Индексы численности пелагической МЭГ рассчитывались как доля общего улова на усилие, соответствующая доле уловов пелагической МЭГ в общих годовых уловах всех морфо-экологических групп на протяжении всего рассматриваемого периода. Для выражения полученной

величины в тыс. экз. уловы на усилие пелагической МЭГ (в тыс. т) делились на средневзвешенную массу особей основных возрастных групп, встречающихся в промысловых уловах. Результаты представлены на рис. 2. Численность пелагической МЭГ омуля в уловах рассчитывалась аналогично.

Мгновенные коэффициенты естественной смертности пелагической МЭГ омуля, традиционно используемые при оценке ОДУ, приняты постоянными для всего исследуемого периода (табл. 1).

Оценки темпа созревания рыб, осреднённые для обоих полов, приняты также постоянными для всего рассматриваемого ряда наблюдений (рис. 3).

Имеющаяся информационная база обеспечивает возможность применения для оценки состояния селенгинской популяции байкальского омуля когортных моделей, позволяющих детально анализировать динамику запасов на уровне отдельных поколений (когорт) [Бабаян, 2000]. В настоящей работе использована когортная модель TISVPA [Васильев, 2006], являющаяся одной из разновидностей виртуального популяционного анализа, а также рекомендованная членами Межинститутской рабочей группы по оценке сырьевой базы рыболовства,

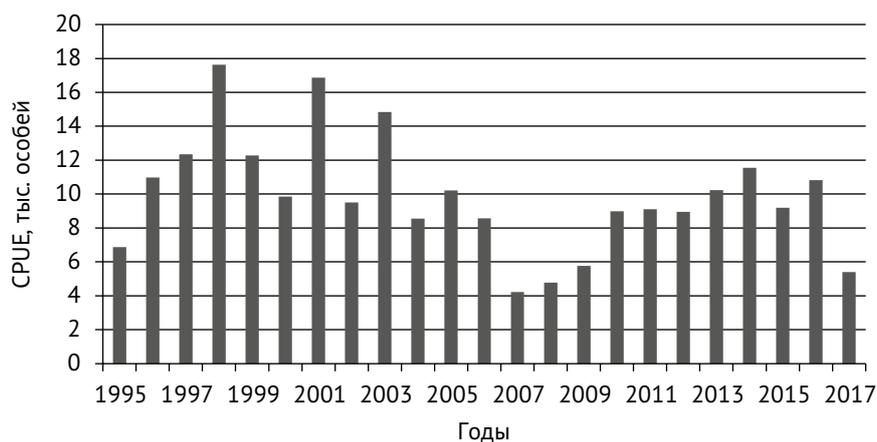


Рис. 2. Динамика уловов на усилие (CPUE) пелагической МЭГ байкальского омуля

Таблица 1. Мгновенные коэффициенты естественной смертности (M) пелагической МЭГ

Возрастная группа	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+
M	0,40	0,30	0,24	0,21	0,21	0,22	0,25	0,29	0,33	0,40	0,53

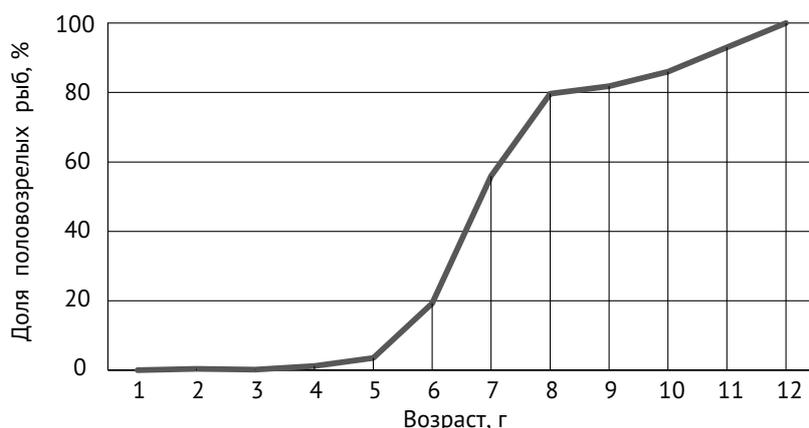


Рис. 3. Огиба созревания пелагического байкальского омуля (общая для самцов и самок)

и неоднократно используемая экспертами Международного совета по исследованию моря (ИКЕС). Особенностью модели является целенаправленное использование принципов робастной статистики в процедурах оценивания параметров, что позволяет снизить влияние ошибок в данных на результаты анализа и полнее извлекать имеющуюся в них информацию о системе «запас-промысел». Подробное описание модели представлено в Методических рекомендациях по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов [Бабаян и др., 2018].

Прогноз динамики нерестового запаса на 5 лет вперед (2018–2022 гг.) выполнен на основе уравнения динамики численности Ф.И. Баранова [1918]. При прогнозировании все необходимые для расчётов величины задавались по результатам ретроспективного анализа запаса. В качестве мгновенных коэффициентов промысловой смертности приняты значения, оцененные по результатам ретроспективного анализа ННН-промысла, т. к. в прогнозный период промышленный вылов запрещён. Коэффициенты рассчитывались для каждого сценария отдельно: сначала рассчитывались средние значения общего мгновенного коэффициента промысловой смертности (из оценок модели TISVPA, полученных суммарно для официальных и ННН-уловов) по основным группам за каждый год, затем из полученных значений вычиталась доля, соответствующая официальным уловам. Мгновенные коэффициенты естественной смертности

считались постоянными для всего прогнозного периода.

Зависимость «запас-пополнение» описана функцией Бивертон-Холта [Beverton, Holt, 1957] в программе Statistica 8. При оценке состояния запаса на период с 2018 по 2022 гг. рассчитанное пополнение в возрасте 2+ принято постоянным.

Годовые оценки биомассы нерестового запаса в прогнозный период рассчитывались как сумма биомасс возрастных групп 7–12 лет (т. к. в возрасте 7+ более 50% рыб в популяции являются половозрелыми) за каждый год.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Анализ исходной информации*

Из анализа возрастного состава уловов и темпа половозрелости омуля следует, что в основном промысел охватывал возрастные группы от 4+ до 10+. В последнее десятилетие усилился пресс промысла на неполовозрелую часть популяции — особей возрастных групп 4+ — 6+ (рис. 4). В возрасте 4+ половой зрелости достигает лишь 1,2%; в возрасте 5+ — 3,5%; в возрасте 6+ — 19,3% (средние значения для самок и самцов). За период с 2014 по 2017 г. доля этих групп в уловах составила 23,6%, т. е. почти четверть. Вероятно, это привело к неспособности пополнения популяции компенсировать убыль по естественным и промысловым причинам.

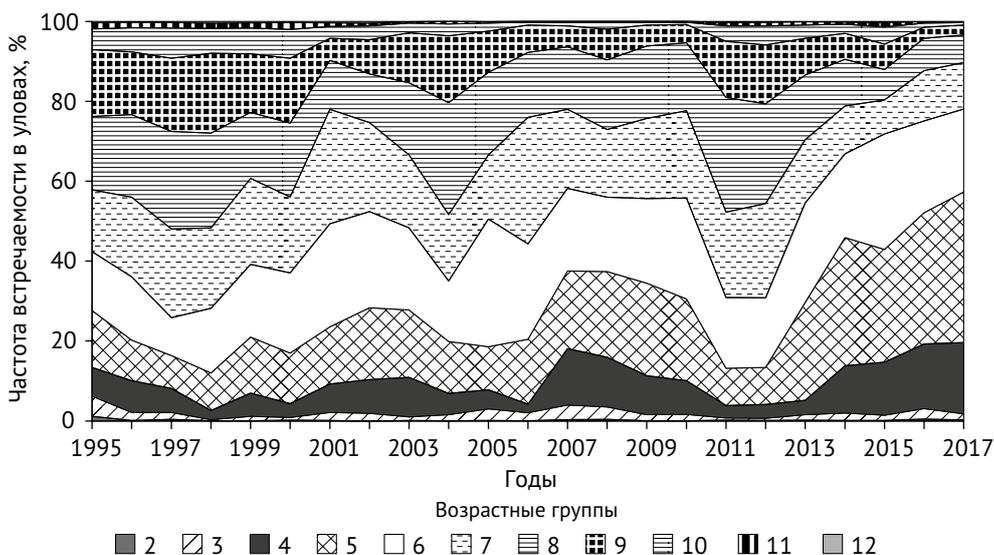


Рис. 4. Динамика возрастного состава уловов пелагической МЭГ байкальского омуля



Рис. 5. Динамика CPUE и объёмов стока р. Селенга (CPUE сдвинут на 5 лет назад)

Динамика уловов на единицу промыслового усилия (CPUE) за анализируемый период демонстрирует незначительную тенденцию к уменьшению (рис. 2). Отмечены низкие значения индекса численности в 2007–2009 гг. Одним из внешних факторов (помимо промыслового), оказывающих влияние на динамику численности популяции, может быть объём годового стока р. Селенга. Данное предположение подтверждается наличием положительной корреляции между объёмом стока (данные заимствованы из статьи [Чалов и др., 2016]) и величиной уловов на единицу

промыслового усилия за период с 1990 по 2009 гг. ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,05$ ). На рис. 5 приводится сравнение динамики анализируемых величин. Значения CPUE сдвинуты на 5 лет назад, т. к. в промысловый запас входят возрастные группы, начиная с 5-летнего возраста. О влиянии изменения объёмов реки на численность селенгинского омуля также указывали В.В. Смирнов и др. в работе «Микроэволюция байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi)» [Микроэволюция байкальского омуля ..., 2009].

*Оценка состояния селенгинской популяции байкальского омуля*

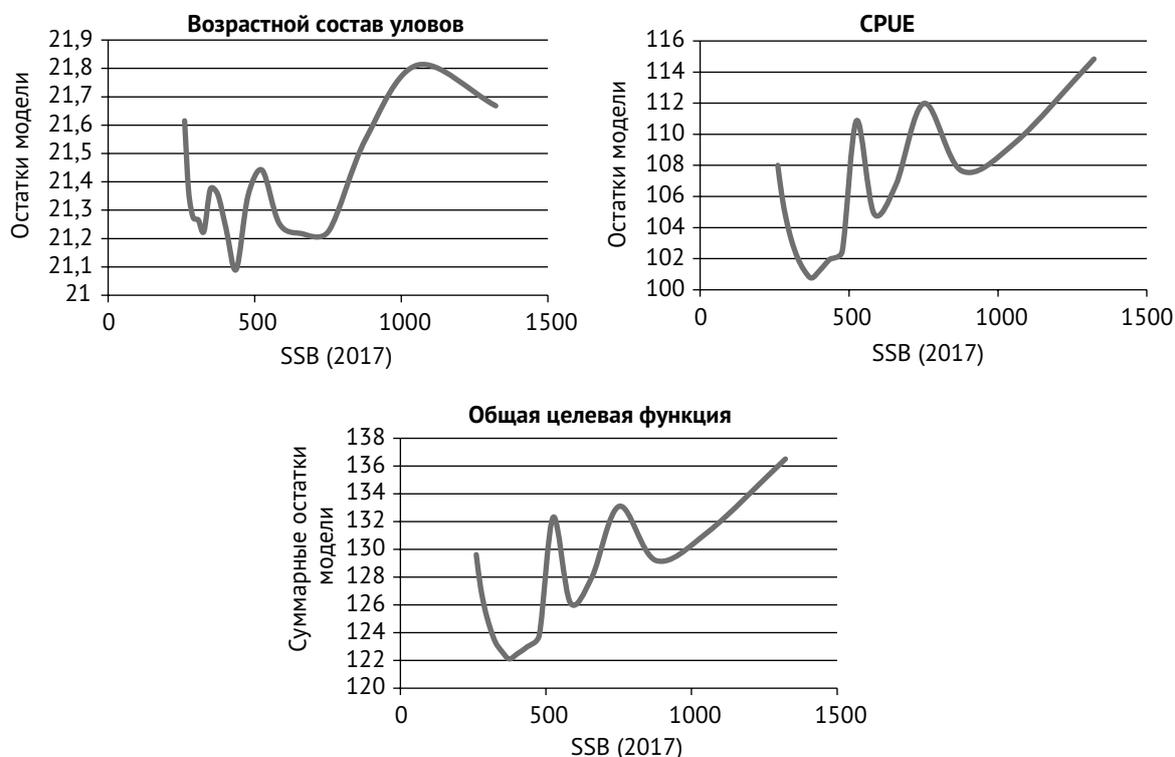
В ходе предварительного анализа установлено, что «наилучшие» (в статистическом смысле) результаты демонстрирует вариант модели TISVPA, при котором параметры оценивались путём суммирования остатков в сепарабельном представлении промысловой смертности, равном нулю для каждой возрастной группы и для каждого года. Кроме того, допускалось наличие ошибок в данных, как по возрастному составу уловов, так и в описании устойчивости селективных свойств промысла.

Основными источниками информации о состоянии запаса являлись два массива данных: данные по возрастному составу уловов и данные по уловам на усилие. Целевая функция формировалась в виде взвешенной суммы этих двух компонент. В качестве меры близости модельного описания имеющихся данных по возрастному составу уловов выбрано абсолютное медианное отклонение распределения остатков от их

медианного значения. Для индексов численности запаса с возрастной структурой в качестве меры близости модельного описания данных использовалась сумма квадратов логарифмических остатков.

Анализ компонент целевой функции модели для селенгинской популяции омуля указывает на наличие сходных сигналов о величине нерестового запаса в 2017 г. как от данных по возрастному составу уловов, так и от индекса численности (CPUE). Тем не менее, на графиках прослеживаются локальные минимумы, что может быть вызвано, в частности, искажениями в структуре входных данных (рис. 6).

На рис. 7 а представлена восстановленная моделью динамика биомассы общего и нерестового запасов селенгинской популяции омуля. Результаты анализа указывают на то, что в рассматриваемый период биомасса нерестового запаса имеет тенденцию к снижению, а в последние 2 года промысла и вовсе достигла минимальных значений — 400 и 374 т, соответственно. Вероятнее все-



**Рис. 6.** Профили компонент целевой функции модели TISVPA для селенгинской популяции байкальского омуля

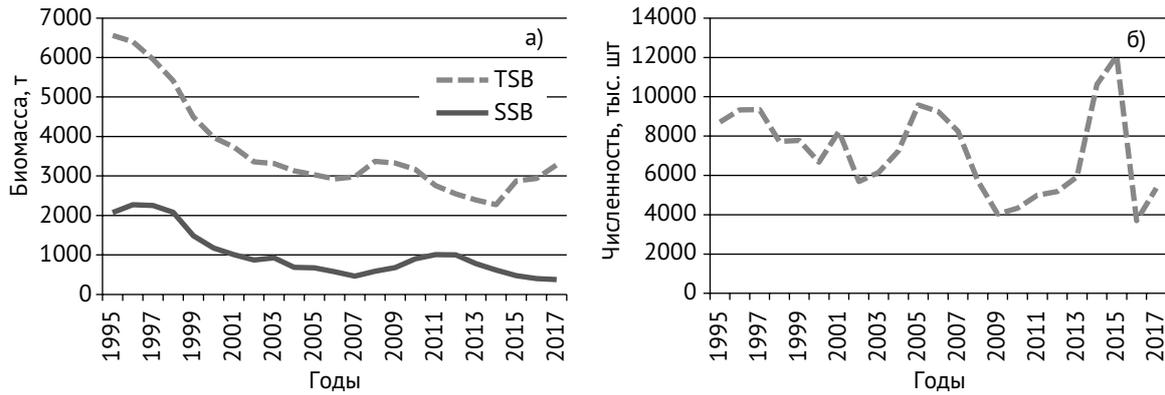


Рис. 7. Результаты моделирования: а) динамика биомассы общего (TSB) и нерестового (SSB) запасов селенгинской популяции; б) динамика пополнения селенгинской популяции (в возрасте 2+)

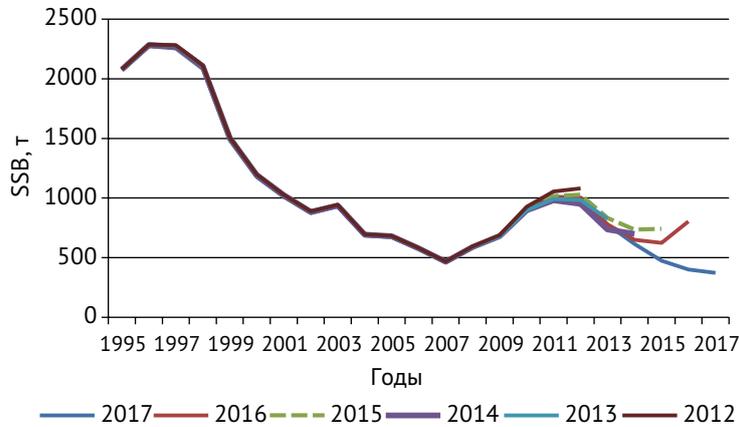


Рис. 8. Результаты ретроспективной диагностики оценок биомассы нерестового запаса селенгинской популяции (SSB)

го, это связано с сокращением численности старших возрастных групп и омоложением возрастного состава. В то же время общая биомасса запаса в последние годы увеличивается. Как следует из результатов анализа, это происходит в результате появления в 2014–2015 гг. высокоурожайных годовых классов омуля (рис. 7 б).

Об устойчивости модельных оценок можно судить по результатам ретроспективной диагностики, в рамках которой проводились расчёты с последовательным исключением последнего года из исходных данных. На рис. 8 представлены результаты диагностики для нерестового запаса селенгинской популяции омуля.

Разброс оценок нерестовой биомассы в последние годы невелик. Только в 2016 г. отмечается существенное отклонение (почти в 2 раза) биомассы нерестового запаса,

полученной при ретроспективной диагностике, от итоговой величины. В то же время в результатах ретроспективного анализа наблюдается систематическое смещение оценок в сторону их завышения. В этой связи итоговые оценки численности и биомассы запаса также могут оказаться несколько завышенными.

#### Сценарный анализ влияния ННН-промысла на состояние селенгинской популяции

Выполнить прогноз влияния ННН-промысла на популяцию достаточно сложно из-за отсутствия достоверной информации как о его величине, так и о промысловом усилии. Тем не менее, информация о его масштабах имеет важнейшее значение для оценки запасов. Особенно актуальным анализ влияния ННН-промысла представляется в условиях моратория на промышленный вылов, ког-

да он является, фактически, единственным промышленным фактором, воздействующим на популяцию. В настоящей работе рассмотрены 4 варианта прогноза нерестовой биомассы селенгинской популяции, реализованные при различных значениях мгновенного коэффициента промысловой смертности, соответствующих задаваемой интенсивности ННН-промысла (табл. 2).

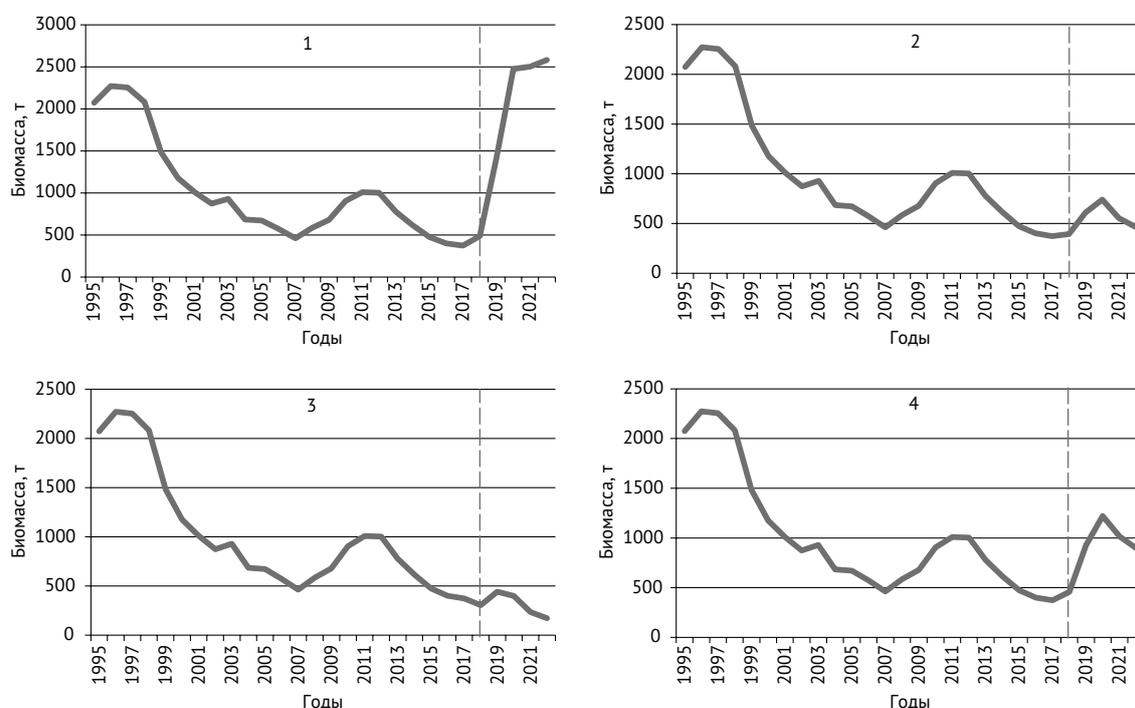
При прогнозе нерестовой биомассы запаса в отсутствие ННН-промысла учитывалась только смертность особей по естественным причинам. В этом сценарии биомасса резко увеличивалась, достигая максимальных значений за весь рассматриваемый период (рис. 9 (1)). Это свидетельствует о высокой чувствительности популяции к воздействию

промыслового фактора. Тем не менее, в силу причин социально-экономического характера полное прекращение нелегального промысла вряд ли осуществимо, что делает первый сценарий мало правдоподобным.

Анализ воздействия на популяцию незаконного промысла в других трёх сценариях демонстрирует непродолжительное и не такое резкое, как в первом случае, увеличение нерестовой биомассы с последующим её снижением (рис. 9 (2, 3, 4)). Увеличение биомассы в первые прогнозные годы обусловлено ярко выраженным скачком величины пополнения в 2014–2015 гг. Биомасса нерестового запаса закономерно оказывается тем ниже, чем более высокой задаётся промысловая смертность. Соответственно,

**Таблица 2.** Мгновенные коэффициенты промысловой смертности (F), принятые в различных сценариях оценки влияния нелегального промысла

№ сценария	Условие	F (оф. + ННН), год <sup>-1</sup>	F (ННН), год <sup>-1</sup>
1	ННН = 0	0	0
2	ННН = сред. за 2008–2017 гг.	0,67	0,36
3	ННН = max за 2008–2017 гг.	0,69	0,39
4	ННН = min за 2008–2017 гг.	0,43	0,20



**Рис. 9.** Четыре сценария динамики биомассы нерестовой части селенгинской популяции байкальского омуля (после пунктирной линии — прогноз)

для этих трёх сценариев максимальные расчётные значения биомассы в прогнозный период (с 2018 по 2022 гг.) получены в четвёртом, при величине ННН-промысла, равной минимальному нелегальному вылову за последнее десятилетие (рис. 9 (4)). Таким образом, можно предполагать, что усиление рыбоохранных мероприятий на оз. Байкал и продолжающееся сведение нелегального вылова к минимуму будут способствовать восстановлению численности селенгинской популяции омуля в среднем до уровня начала 2000-х гг.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К основным причинам устойчивого падения численности селенгинской популяции относятся вылов неполовозрелых особей в последние годы эксплуатации запаса, значительная величина нелегального промысла, в том числе особей, мигрирующих на нерест, колебания объёмов стока реки Селенга и другие факторы.

Результаты сценарного анализа указывают на то, что при сведении нелегального промысла к минимуму нерестовая часть селенгинской популяции к 2022 г. способна восстановиться до уровня ориентировочно 900 т, при допущении об относительном постоянстве факторов окружающей среды. Необходимо отметить, что полученные оценки не являются окончательными, т. к. спрогнозировать изменения природных факторов, а также случайные антропогенные вмешательства в функционирование экосистемы представляется трудновыполнимой задачей.

Кроме того, следует отметить, что при выполнении настоящей работы не учитывался такой потенциально важный фактор как выпуск молоди омуля с рыбоводных заводов. Во время написания статьи заводы функционировали далеко не на полную мощность, но при условии эффективности их деятельности они, по-видимому, могли бы внести весомый дополнительный вклад в восстановление запаса.

Исследование запасов байкальского омуля не ограничивается селенгинской популяцией. Для дальнейшей оценки общего запаса эндемика и выработки рекомендаций по его

рациональному использованию необходимо исследовать состояние и других популяций с использованием современного программно-методического обеспечения. Решение данной задачи осложняется особенностями внутривидовой структуры байкальского омуля и отсутствием достаточно надежных оценок представительства особей различных морфо-экологических групп в составе популяций. Весьма важной также является проблема повышения эффективности рыбоводных мероприятий, поскольку, как следует из результатов проведённого анализа, темпы восстановления запаса существенным образом зависят от урожайности новых годовых классов.

*Авторы выражают благодарность сотрудникам Байкальского филиала ФГБНУ «ВНИРО» за предоставленные биопромысловые данные, к. т. н. В.К. Бабаяну за ценные советы при проведении исследования, а также д. т. н. Д.А. Васильеву за консультации при освоении модели TISVPA.*

### ЛИТЕРАТУРА

- Алехин И.Е. 2005. Морфоэкологические особенности внутривидовой подразделенности байкальского омуля. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тюмень: ТюмГУ. 24 с.
- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова. М.: Изд-во ВНИРО. 192 с.
- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Базов А.В., Базова Н.В. 2016. Селенгинская популяция байкальского омуля: прошлое, настоящее, будущее. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН. 352 с.
- Баранов Ф.И. 1918. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Известия отдела рыбоводства и научно-промышленных исследований. Т. 1. Вып. 1. С. 84–128.
- Васильев Д.А. 2006. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Triple-separable virtual population analysis (TISVPA)» № 2006611764.
- Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году». 2018. Иркутск: АНО «КЦ Эксперт». 340 с.
- Калягин Л.Ф., Майстренко С.Г. 1997. Динамика распределения морфо-экологических групп байкальского омуля. Труды ВНИРО. Т. 177. С. 140–150

- кальского омуля по акватории Байкала // Экологически эквивалентные виды гидробионтов в великих озёрах мира. Мат. межд. симпозиума. Улан-Удэ. С. 33–35.
- Майстренко С.Г., Майстренко М.А. 1998. Многолетняя динамика основных биологических показателей морфо-экологических групп байкальского омуля (*Coregonus autumnalis migratorius*, Georgi) // Сибирский экологический журнал. Новосибирск. № 5. С. 417–423.
- Смирнов В.В., Смирнова-Залуми Н.С., Суханова Л.В. 2009. Микроэволюция байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). Новосибирск: СО РАН. 246 с.
- Петерфельд В.А., Соколов А.В. 2016. Современное состояние запасов омуля (*Coregonus migratorius*, Georgi) в озере Байкал // Рыбное хозяйство. № 3. С. 72–75.
- Смирнов В.В., Шумилов И.П. 1974. Омюли Байкала. Новосибирск: Наука. 160 с.
- Суханова Л.В. 2004. Молекулярно-филогенетическое исследование байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi): Дис. ... канд. биол. наук. Иркутск: ИЦиГ СО РАН. 88 с.
- Чалов С.Р., Гречушникова М.Г., Варенцов М.И., Касимов Н.С. 2016. Современная и прогнозная оценка стока воды и наносов рек бассейна Селенги // География и природные ресурсы. № 5. С. 39–48.
- Beverton R.J., Holt S.J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations // U.K. Min. Agr. Fish. Food Fish. Invest. Ser. 2. V. 19. 533 p.

Поступила в редакцию 12.07.2019 г.  
Принята после рецензии 07.08.2019 г.

Trudy VNIRO

2019. Vol. 177

## Aquatic biological resources

### Status of the Selenga population of Baikal omul under moratorium on the fishery

N.G. Petukhova<sup>1</sup>, A. Ye. Bobyrev<sup>1,2</sup>, A. V. Sokolov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS (FSBIS «SIEE RAS»), Moscow

<sup>3</sup> Baikal Branch of FSBSI «VNIRO» («BaikalNIRO»), Ulan-Ude

The retrospective analysis for the state of the Selenga population of Baikal omul was performed based on the biological and fishery data of pelagic morpho-ecological group. The analysis using the cohort model confirmed the continuing decrease of the spawning part biomass of the population. Coincidentally, an increase of the total biomass was noticed in recent fishery years. According to model calculations significant increase of recruitment at the age of 2+ was in 2014–2015 followed by a sharp decrease. This dynamic impacted on forecasting quantitative estimates of population. The results of the analysis for 4 scenarios of spawning biomass dynamics for the period from 2018 to 2022 were presented. The differences in the scenarios were in the specified intensity of illegal, unreported and unregulated fishing. The calculations showed that the spawning part of the Selenga population is able to recover to 2022 to the level at the beginning of 2000s approximately 900 tons by minimizing illegal fishing to a minimum.

**Keywords:** Baikal omul *Coregonus migratorius*, stock assessment, mathematical modeling.

## REFERENCES

- Alekhin I.E.* 2005. Morfoehkologicheskie osobennosti vnutrividovoy podrazdelenosti bajkal'skogo omulya [Morphoecological features of the intraspecific subdivision of the Baikal omul]. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Tyumen': TyumGU. 24 s.
- Babayan V.K.* 2000. Predostorozhnyj podkhod k otsenke obshchego dopustimogo ulova [Precautionary approach to assessment of total allowable catch]. M.: VNIRO. 192 s.
- Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasil'ev D.A., Il'in O.I., Kovalev Yu.A., Mikhajlov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremet'ev A.D.* 2018. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zapasov prioritetnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov [Guidelines for the stock assessment of priority species of aquatic living resources]. M.: VNIRO. 312 s.
- Bazov A.V., Bazova N.V.* 2016. Selenginskaya populatsiya bajkal'skogo omulya: proshloe, nastoyashchee, budushchee [The Selenga population of Baikal omul: past, present, future]. Ulan-Udeh: BNTS SO RAN. 352 s.
- Baranov F.I.* 1918. K voprosu o biologicheskikh osnovaniyakh rybnogo khozyajstva [On the issue of biological bases of fisheries] // *Izvestiya otdela rybovodstva i nauchno-promyslovykh issledovaniy*. T. 1. Vyp. 1. S. 84–128.
- Vasil'ev D.A.* 2006. Svidetel'stvo ob ofitsial'noj registratsii programmy dlya EHVM «Triple-separable virtual population analysis (TISVPA)» № 2006611764 [Certificate of official registration of computer program «Triple-separable virtual population analysis (TISVPA)» № 2006611764].
- Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii ozera Bajkal i merakh po ego okhrane v 2017 godu»* 2018. [State report «On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2017»]. Irkutsk: ANO «KTS Ehkspert». 340 s.
- Kalyagin L.F., Majstrenko S.G.* 1997. Dinamika raspredeleniya morfo-ehkologicheskikh grupp bajkal'skogo omulya po akvatorii Bajkala [The distribution dynamics of the morpho-ecological groups of the Baikal omul in the Baikal water area] // *Ehkologicheski ehkvivalentnye vidy gidrobiontov v velikikh ozerakh mira. Mat. mezhd. simpoziuma. Ulan-Udeh*. S. 33–35.
- Majstrenko S.G., Majstrenko M.A.* 1998. Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh biologicheskikh pokazatelej morfo-ehkologicheskikh grupp bajkal'skogo omulya (*Coregonus autumnalis migratorius*, Georgi) [Long-term dynamics of the main biological indicators of the morpho-ecological groups of the Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*, Georgi)] // *Sibirskij ehkologicheskij zhurnal. Novosibirsk*. № 5. S. 417–423.
- Smirnov V.V., Smirnova-Zalumi N.S., Sukhanova L.V.* 2009. Mikroehvolyutsiya bajkal'skogo omulya *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi) [Microevolution of the Baikal omul *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi)]. Novosibirsk: SO RAN. 246 s.
- Peterfel'd V.A., Sokolov A.V.* 2016. Sovremennoe sostoyanie zapasov omulya (*Coregonus migratorius*, Georgi) v ozere Bajkal [Current status of omul stocks in Lake Baikal] // *Rybnoe khozyajstvo*. № 3. S. 72–75.
- Smirnov V.V., Shumilov I.P.* 1974. Omuli Bajkala [Omuls of the Baikal]. Novosibirsk: Nauka. 160 s.
- Sukhanova L.V.* 2004. Molekulyarno-filogeneticheskoe issledovanie bajkal'skogo omulya *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi) [Molecular phylogenetic study of the Baikal omul *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi)]: Dis. ... kand. biol. nauk. Irkutsk: ITsiG SO RAN. 88 s.
- Chalov S.R., Grechushnikova M.G., Varentsov M.I., Kasimov N.S.* 2016. Sovremennaya i prognoznaya otsenka stoka vody i nanosov rek bassejna Selengi [Current and forecasted estimation of water flow and sediment of the rivers of the Selenga basin] // *Geografiya i prirodnye resursy*. № 5. S. 39–48.
- Beverton R.J., Holt S.J.* 1957. On the dynamics of exploited fish populations // *U.K. Min. Agr. Fish. Food Fish. Invest. Ser. 2. V. 19*. 533 p.

## TABLE CAPTIONS

**Table 1.** Instantaneous natural mortality rates for the pelagic morpho-ecological group

**Table 2.** Instantaneous fishery mortality rates (F) used in different cases

## FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** Dynamic of Baikal omul catch

**Fig. 2.** Dynamic of CPUE for pelagic morpho-ecological group of Baikal omul

**Fig. 3.** Maturity ogive for the pelagic Baikal omul (for both sex)

**Fig. 4.** Dynamic of catch age composition for the pelagic morpho-ecological group of Baikal omul

**Fig. 5.** Dynamic of CPUE and flow of the Selenga River

**Fig. 6.** Cost function of TISVPA model for the Selenga population of Baikal omul

**Fig. 7.** Results of modeling: a) dynamic of total (TSB) and spawning (SSB) stocks biomass for the Selenga population; b) dynamic of recruitment for the Selenga population (2+ age)

**Fig. 8.** Results of retrospective testing for spawning stock biomass estimates of the Selenga population

**Fig. 9.** Four cases for spawning stock biomass dynamic of the Selenga population (predict is after dashed line)