

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

УДК 639.2.058; 639.2.053:597–152.6; 639.211.4 (282.256.341) DOI: 10.36038/0234-2774-2020-21-283-294

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПРИДОННО-ГЛУБОКОВОДНОЙ  
МОРФО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГРУППЫ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ  
(*COREGONUS MIGRATORIUS*)**

© 2020 г. Н.Г. Петухова<sup>1</sup>, А.Е. Бобырев<sup>1,2</sup>, А.В. Соколов<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, 107140

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН), г. Москва, 119071

<sup>3</sup> Байкальский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (БайкалНИРО), г. Улан-Удэ, 670034

<sup>4</sup> Калининградский государственный технический университет (КГТУ), г. Калининград, 236022

E-mail: ng \_ petukhova@mail.ru

Поступила в редакцию 7.07.2020

В работе представлены результаты количественного анализа состояния придонно-глубоководной морфо-экологической группы байкальского омуля, рассматриваемой как отдельная единица запаса. Имеющееся информационное обеспечение позволило применить когортную модель, реализованную в программных комплексах TISVPA и Синтез. Последний был применен впервые для оценки придонно-глубоководной морфо-экологической группы байкальского омуля. Оценки биомассы запаса, полученные в двух программных комплексах, подтвердили вывод о непрерывном уменьшении численности запаса, полученный ранее другими исследователями. В мировой рыбохозяйственной практике восстановление запаса подразумевает увеличение численности запаса до определенного биологического ориентира. В настоящем исследовании в качестве целевого ориентира предлагается использовать величину биомассы, при которой запас продуцирует максимальную прибавочную продукцию. По результатам расчетов в программном комплексе Combi оценка такой биомассы составила 1–281 т. Выполненный анализ показал, что в силу сокращения нерестовой биомассы запаса в годы перед введением моратория на вылов, пополнение не сможет обеспечить восстановление промыслового запаса до целевого ориентира по биомассе в ближайшие 5 лет.

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

**ВВЕДЕНИЕ**

В результате адаптации байкальского омуля (*Coregonus migratorius* (Georgi, 1775)) к условиям различных биотопов оз. Байкал у вида образовались различные морфо-экологические группы (МЭГ): придонно-глубоководная, пелагическая и прибрежная (Смирнов, Шумилов, 1974; Калягин, Майстренко, 1997; Смирнов и др., 2009). Придонно-глубоководная

МЭГ освоила придонные слои склоновой зоны всемирно известного водоема, за что и получила свое название. Несмотря на то, что особи встречаются на глубине от 20 до 350 м, большая часть сконцентрирована на относительно большой глубине от 100 до 350 м (Смирнов, 1997).

Придонно-глубоководная МЭГ в основном состоит из посольской, чивыркуйской и кикинской популяций, особи которых ми-

грируют на нерест в реки Большая, Култушная, Толбозиха, Абрамиха, Большой и Малый Чивыркуй, Безымянка, Халури, Кика и др. Наиболее многочисленной из трех популяций является посольская (Майстренко, Майстренко, 2007). Состояние этой популяции вызывает особый интерес, поскольку поддержание ее численности осуществляется только за счет искусственного воспроизводства, осуществляемого на Большереченском рыбобродном заводе (Воронова и др., 2015, Черняев, 2017).

Высокая промысловая ценность байкальского омуля является причиной его массового вылова. Промысел омуля ведется сетями, а также закидными и ставными неводами. Неуклонное сокращение биомассы его запасов (Петерфельд, Соколов, 2016; Соколов и др., 2018), в том числе придонно-глубоководной МЭГ, послужило поводом для введения в октябре 2017 г. моратория на его промышленный и любительский вылов с некоторыми исключениями (Соколов, Петерфельд, 2018), действие которого продолжается и в настоящее время. В период запрета на вылов мониторинг состояния запасов особенно важен, поскольку от полученных результатов зависят дальнейшие меры по восстановлению запасов эндемика. Основной целью настоящей работы является оценивание состояния придонно-глубоководной МЭГ, принятой за единицу запаса.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Ретроспективный анализ состояния запаса основан на данных Байкальского филиала ФГБНУ «ВНИРО» о биологии и промысле придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля за период с 1995 по 2017 гг. Данные включали в себя следующую информацию:

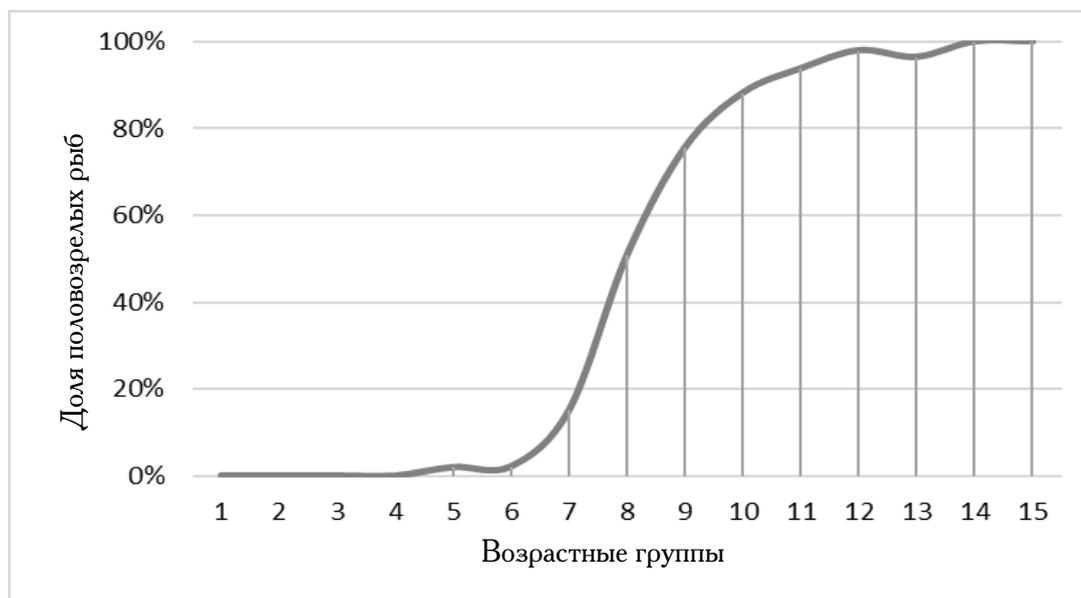
- статистику годовых уловов (включая экспертную оценку величины неучтенного вылова),
- возрастной состав уловов в процентном выражении,

- среднюю массу особей по возрастным группам и годам промысла,
- оценки мгновенного коэффициента естественной смертности по возрастным группам,
- среднегодовые оценки темпа созревания рыб по возрастным группам,
- оценки уловов на единицу промыслового усилия (среднегодовой вылов на сетевой порядок длиной 2,0 км);
- усилия, выраженные в условных единицах.

Первичная информация об уловах на усилие была общей для всех трех морфо-экологических групп байкальского омуля и выражена в т. Индексы численности придонно-глубоководной МЭГ рассчитаны как доля общего улова на усилие, соответствующая доле уловов придонно-глубоководной МЭГ в общих годовых уловах всех морфо-экологических групп. Для выражения полученной величины в тыс. экз. уловы на усилие придонно-глубоководной МЭГ (в т) делились на средневзвешенную массу особей основных возрастных групп, встречающихся в промысловых уловах. Численность каждого поколения в уловах рассчитана в соответствии с его долей в возрастном составе.

При выполнении исследований приняты допущения о постоянстве темпа созревания особей придонно-глубоководной МЭГ (рис. 1), а также мгновенных коэффициентов естественной смертности (таблица) на протяжении всего рассматриваемого периода.

Информационное обеспечение исследуемой единицы запаса позволяет применить для оценки ее состояния когортные модели динамики численности, особенностью которых является представление популяции в виде совокупности отдельных поколений, численность каждого из которых убывает под воздействием промысла и природных факторов. В настоящей работе использовался программный комплекс (ПК) TISVPA (Васильев, 2006). В качестве проверочной модели был применен ПК Синтез (Ильин, 2009). Данные программные комплексы



**Рис. 1.** Огиба созревания придонно-глубоководного байкальского омуля (общая для самцов и самок).

**Таблица.** Мгновенные коэффициенты естественной смертности (М) придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля

Возрастная группа	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	12+	13+	14+	15+
М	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23	0,24	0,26	0,3	0,36	0,47	0,74

входят в рекомендуемый перечень современного программно-методического инструментария для оценки запасов водных биоресурсов (Бабаян и др., 2018).

В расчетах ПК TISVPA использовалась версия модели с двухпараметрической аппроксимацией коэффициентов эксплуатации. В качестве метода оценки параметров выбрано обеспечение несмещенности оценок логарифмов численности уловов. Видом компонент целевой функции модели для возрастного состава уловов послужила минимизированная медиана распределения квадратов логарифмических остатков; для данных по уловам на единицу усилия — сумма квадратов логарифмических остатков. Целевая функция формировалась в виде взвешенной суммы описанных выше двух компонент. В расчетах выбран вариант модели, при котором допускалось наличие ошибок в дан-

ных, как по возрастному составу уловов, так и в описании устойчивости селективных свойств промысла.

В ПК Синтез применялась процедура расчета с минимизацией целевой функции по алгоритму Левенберга-Марквардта (частный случай). Для настройки модели использовались данные об уловах придонно-глубоководной МЭГ на единицу промыслового усилия. Видом компоненты целевой функции для уловов по возрастным группам выбрана сумма квадратов логарифмов остатков. Аппроксимация Поупа не использовалась. Поскольку в течение периода исследования тип промысловых орудий лова не менялся, в ПК была задана единственная группа селективности. Коэффициент селективности аппроксимировался гладкой функцией. В качестве описания зависимости «запас—пополнение» выбра-

на функция Бивертон—Холта (Beverton, Holt, 1957).

Диагностика полученных результатов основной модели осуществлена в ПК TISVPA. Тест Колмогорова—Смирнова для проверки типа распределения остатков данных по пополнению и по индексам численности запаса, полученных в ПК Синтез, выполнен в ПК Statistica 8.0.

Прогноз динамики запаса на 5 лет (2018—2022 гг.) выполнен с помощью уравнения динамики численности Ф.И. Баранова (1918). При прогнозировании оценки мгновенного коэффициента естественной смертности, темпа полового созревания и массы особей приняты такими же, как и для ретроспективного анализа состояния запаса. Величина пополнения в возрасте 5+ рассчитана с помощью зависимости «запас-пополнение» Бивертон-Холта (Beverton, Holt, 1957) в программе Statistica 8.0.

Поскольку рыбоохранные мероприятия на оз. Байкал с введением моратория усилились, но в то же время полное прекращение вылова омуля невозможно из-за социально-экономических факторов, в работе сделано предположение, что незаконный, несообщаемый и нерегулируемый (ННН) промысел будет продолжен, но в меньшем объеме. При прогнозировании состояния запаса величина ННН вылова принята равной его минимальному объему за последние 10 лет промысла, т.е. 17% от официального вылова рыб придонно-глубоководной МЭГ.

Таким образом, мгновенный коэффициент промысловой смертности для прогноза состояния запаса задан как:

$$F_{\text{ННН}} = \overline{F_{\text{бар}}} \times 0,17,$$

где  $F_{\text{ННН}}$  — мгновенный коэффициент промысловой смертности, соответствующий ННН вылову;  $\overline{F_{\text{бар}}}$  — усредненный мгновенный коэффициент промысловой смертности основных возрастных групп (6—12), встречающихся в уловах за последние 10 лет промысла.

Значение  $\overline{F_{\text{бар}}}$  составило 0,4, а  $F_{\text{ННН}}$  — 0,07.

Целевой ориентир для восстановления исследуемого запаса рассчитан в ПК Combi 4.1 на основе промысловых данных. При использовании полного ряда первичной информации за период с 1995 по 2017 г. зависимость уловов на усилие от усилий демонстрировала положительный тренд, что противоречит условиям использования ПК Combi (Бабаян и др., 2018). В этой связи дальнейшие расчеты проведены по данным за период с 1996 по 2016 г., при которых в зависимости был отмечен отрицательный тренд.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Ретроспективный анализ состояния запаса

Результаты анализа возрастного состава уловов позволили сделать вывод о его омоложении в последнее десятилетие промысла. Согласно рисунку 1 половина исследуемой единицы запаса созревает в возрасте 8+. Однако, как видно из рисунка 2, начиная с 2006 г. в уловах зарегистрирована существенная доля неполовозрелых рыб в возрасте 5+. Также следует отметить преобладание численности особей возрастных групп 6+ — 8+, в то время как до 2006 г. большую часть уловов составляли особи, достигшие половой зрелости (9+ — 11+).

Результаты анализа компонент целевой функции модели для придонно-глубоководной МЭГ омуля указывают на наличие сходных сигналов о величине нерестового запаса в 2017 г. как от данных по возрастному составу уловов, так и от индекса численности (CPUE) (рис. 3). Тем не менее, следует отметить наличие небольших локальных минимумов в данных по уловам на усилие, что свидетельствует о наличии небольших искажений в исходных данных.

Динамика биомассы общего и нерестового запасов придонно-глубоководной МЭГ омуля, восстановленная с помощью двух программных комплексов, имеет выраженную тенденцию к снижению (рис. 4). Вероятнее всего, это связано с выловом осо-

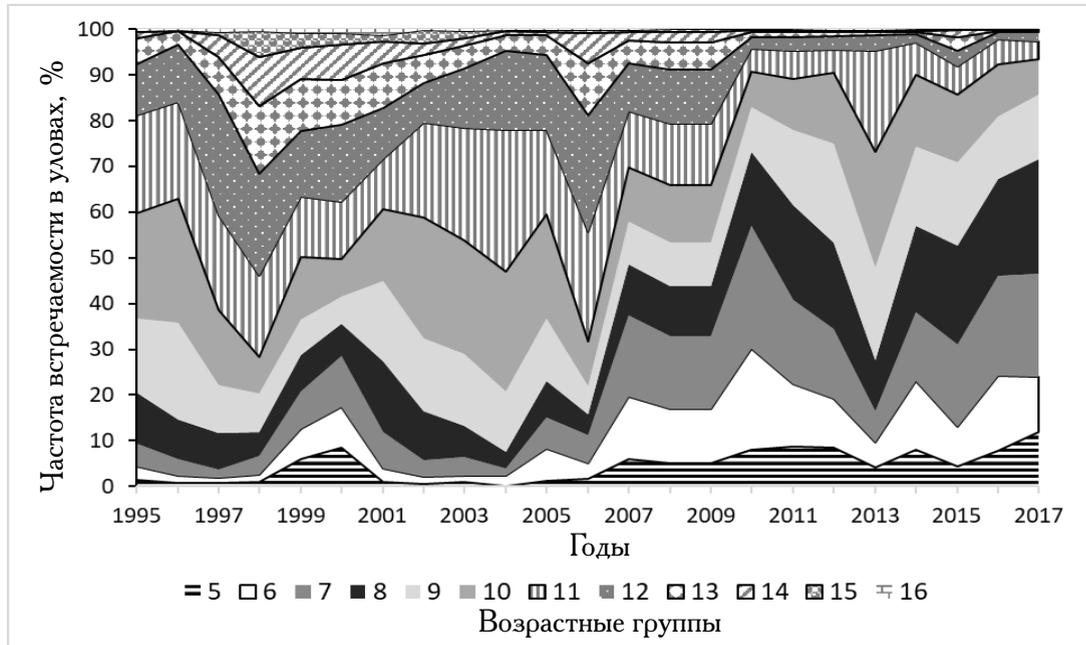


Рис. 2. Динамика возрастного состава уловов придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля.

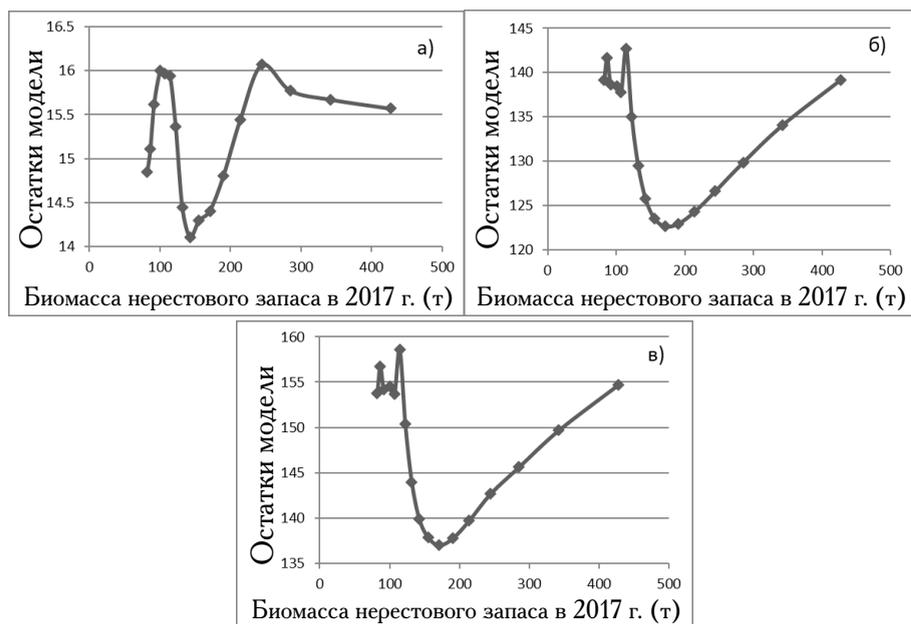
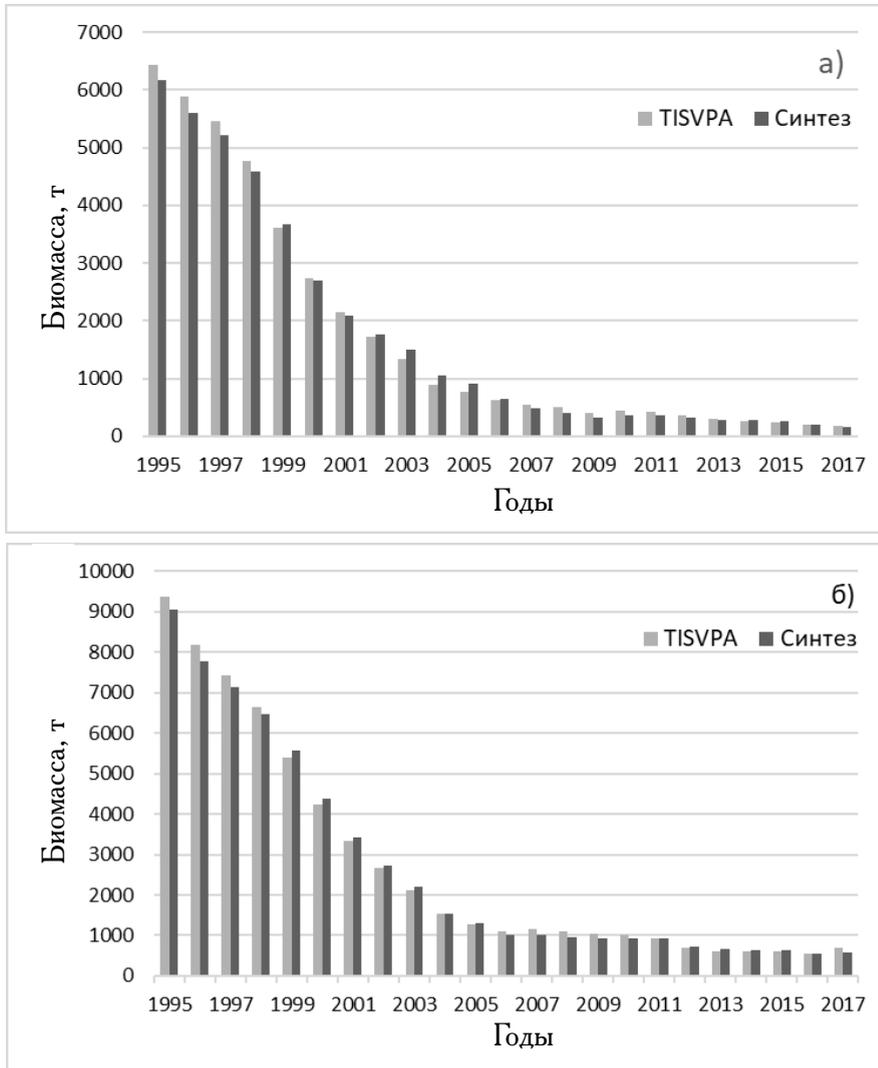


Рис. 3. Профили компонент целевой функции модели TISVPA для придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля: а) данных по возрастному составу уловов, б) данных по CPUE, в) общей целевой функции.

бей, не успевших отнереститься, а, следовательно, и с уменьшением пополнения запаса. Значительным фактором, влияющим на динамику численности омуля, является незаконный, несообщаемый и нерегулируемый

промысел. Большой вред популяциям такой промысел наносит во время их нерестовых миграций в реках. Объемы ННН промысла в отдельные годы были почти соизмеримы официальному вылову (Петерфельд, Соко-



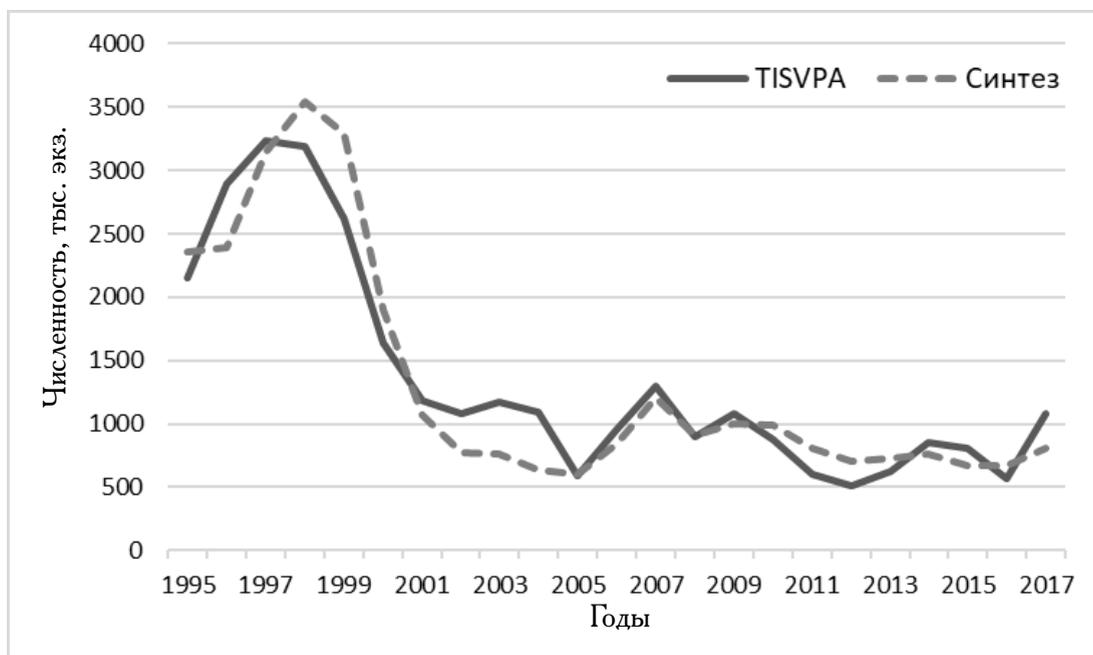
**Рис. 4.** Динамика биомассы: а) нерестового запаса и б) общего запаса придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля, восстановленная с помощью ПК TISVPA и Синтез.

лов, 2016; Государственный доклад о состоянии оз. Байкал, 2018), а после введения моратория на вылов байкальского омуля все же зарегистрированы случаи продолжения нелегального вылова (Суходолов и др., 2019; Суходолов и др., 2020), негативно влияющие на восстановление численности эндемика.

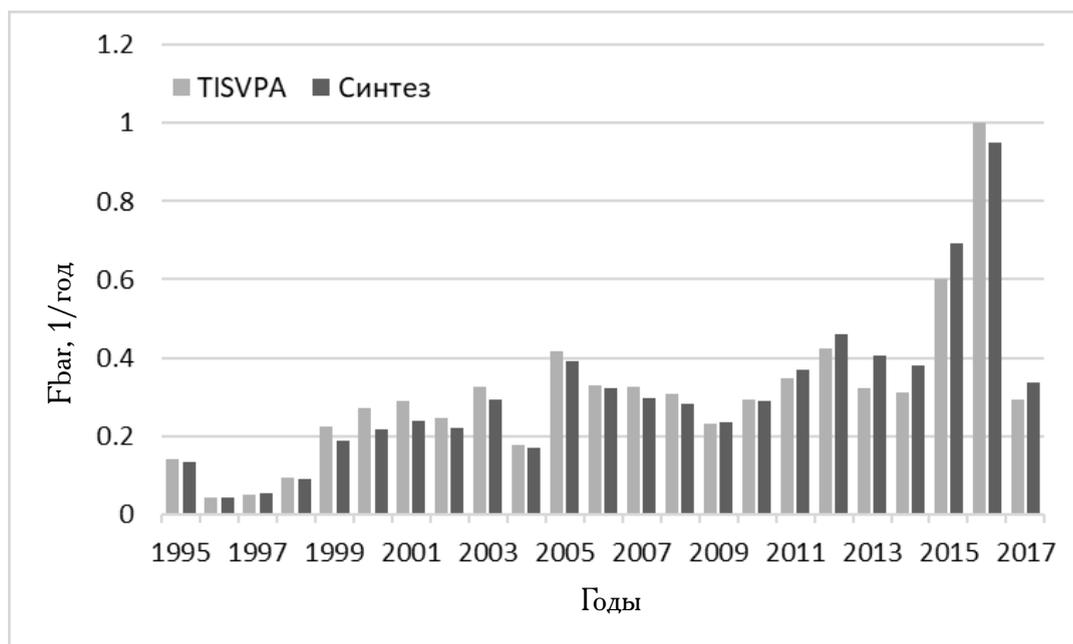
На рисунке 5 представлена восстановленная динамика пополнения придонно-глубоководной МЭГ в возрасте 5+. Программные комплексы TISVPA и Синтез демонстрируют схожую тенденцию к снижению численности пополнения. Тем не менее, в терминальный год полученные оценки различаются: согласно расчетам по модели

TISVPA в 2017 г. отмечается увеличение пополнения, согласно расчетам по модели Синтез пополнение сохраняется на уровне чуть выше предыдущего года. Вероятно, разница связана с различиями в процедурах настройки моделей, применяемой в программных комплексах. Как бы то ни было, применительно к любой когортной модели оценки, получаемые для последнего (терминального) года, отличаются наименьшей точностью.

Увеличение промысловой нагрузки на запас также подтверждается рассчитанными оценками мгновенного коэффициента промысловой смертности. На рисунке 6 представлена динамика  $F_{bar}$  — усредненного



**Рис. 5.** Динамика пополнения (5+) придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля, восстановленная в ПК TISVPA и Синтез.



**Рис. 6.** Оценки мгновенного коэффициента промысловой смертности.

значения мгновенного коэффициента промысловой смертности основных облавливаемых возрастных групп исследуемой единицы запаса за каждый год (с 1995 по 2006 гг. — групп 8–13; с 2007 по 2017 гг. — 6–12).

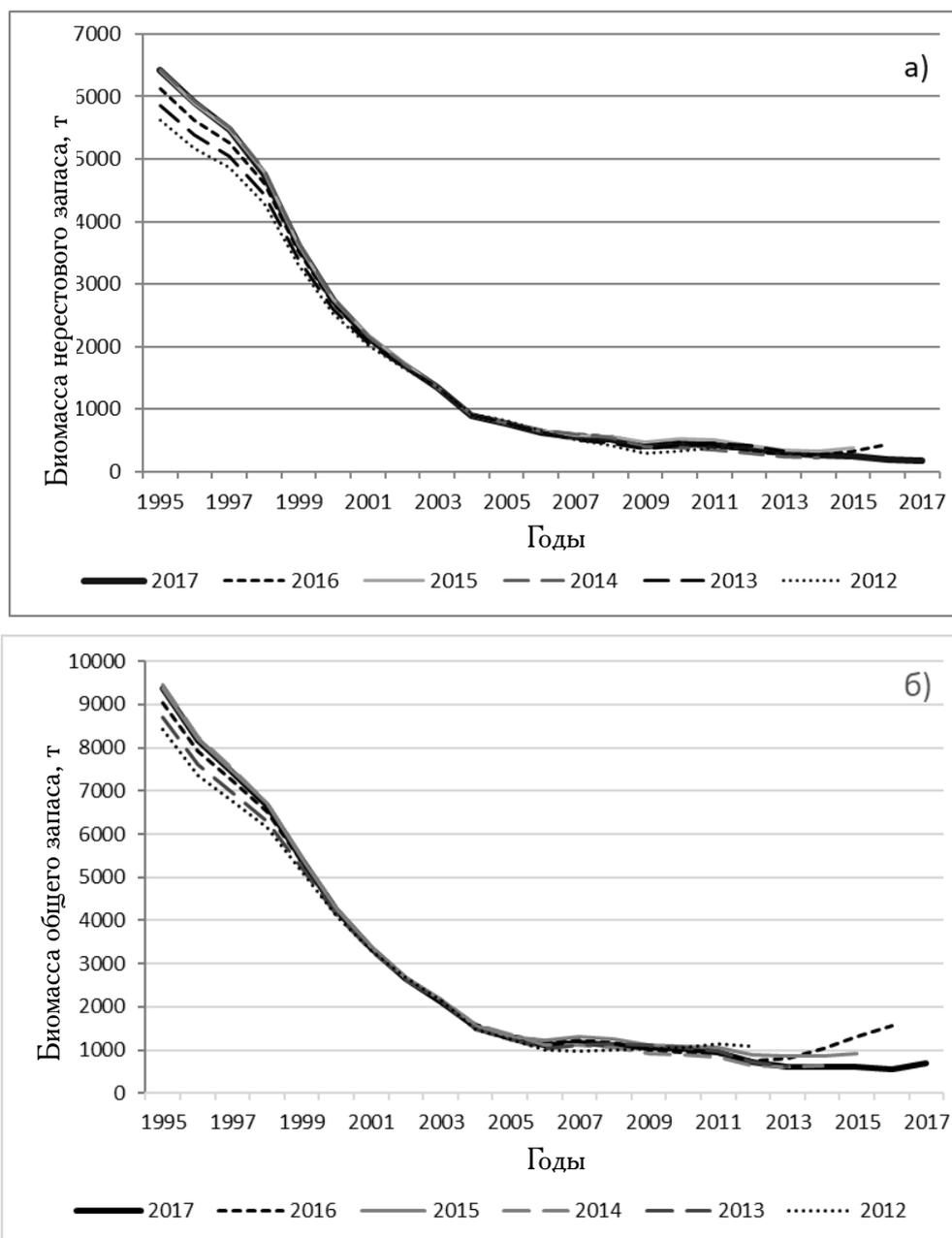
В рамках диагностики полученных результатов в ПК TISVPA проводились расчеты биомассы запаса с последовательным исключением последнего года из исходных данных. Уменьшение полученных зна-

чений в начале исследуемого периода может указывать на завышение итоговых оценок до 1999 г. В то же время существенное смещение оценок вверх в 2016 г. может говорить о занижении финальных значений общего и нерестового запасов (рис. 7).

Таким образом, разброс оценок, полученный в ходе диагностики результатов, свидетельствует о присутствии зашумленно-

сти в первичных данных. Тем не менее, это не меняет вывода о сокращении биомассы как общей, так и нерестовой части придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля.

Также в рамках диагностики полученных результатов в ПК Синтез проанализировано распределение остатков данных по пополнению и индексам численности запаса, то есть разницы между логарифмами



**Рис. 7.** Результаты ретроспективной диагностики оценок: а) биомассы нерестового запаса, б) биомассы общего запаса.

наблюденных величин от логарифмов теоретических. Остатки распределены нормально ( $\rho > 0,2$ ), что подтверждается тестом Колмогорова-Смирнова ( $\rho > 0,05$ ) и доказывает достоверность полученных результатов.

### Оценка целевого биологического ориентира для восстановления запаса

Важнейшей составляющей предосторожного подхода к управлению биоресурсами является восстановление эксплуатируемых запасов до высоких уровней продуктивности и поддержание их состояния на этом уровне на протяжении всего периода эксплуатации (Бабаян, 2000). Согласно Конвенции ООН по морскому праву (Конвенция ..., 1982) таким уровнем является  $V_{MSY}$  — биомасса запаса, соответствующая максимальному устойчивому улову.

Таким образом, истощенные запасы байкальского омуля, включая придонно-глубоководную МЭГ, необходимо восстановить до уровня  $V_{MSY}$ , при котором запас будет продуцировать максимальную прибавочную продукцию и сохранять свою устойчивость.

В настоящей работе оценка  $V_{MSY}$  выполнена с помощью продукционной модели

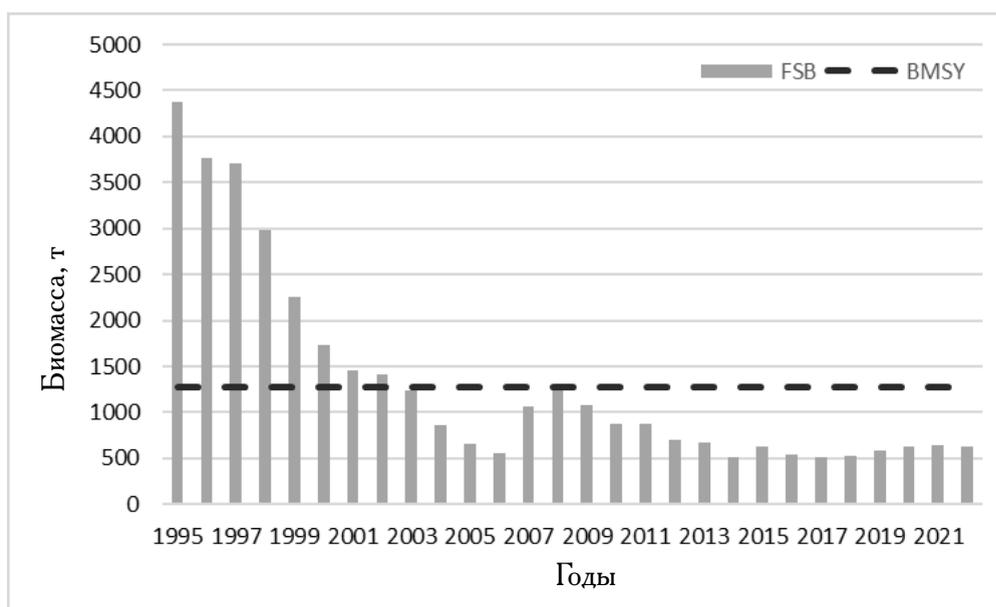
Шефера, реализованной в ПК Combi 4.1. Значения целевой функции для всех девяти вариантов продукционной модели не сильно различались. Поэтому выбор модели осуществлен по усеченному набору данных (количество отсекаемых лет — 5). Минимальное значение суммарного стандартного отклонения (0,2) рассчитано по модели Шефера, что свидетельствует о правильности выбора модели.

По результатам расчетов оценка  $V_{MSY}$  составила 1281 т,  $MSY$  — 246 т,  $F_{MSY}$  — 0,2. Необходимо отметить, что в настоящей работе в качестве  $V_{MSY}$  используется промысловая биомасса запаса.

Таким образом, при восстановлении промысловой части придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля следует ориентироваться на величину примерно 1280 т.

### Прогноз состояния запаса

Результаты прогнозирования состояния промыслового запаса в период с 2018 по 2022 гг. свидетельствуют о постепенном восстановлении придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля. Наибольшее увеличение численности запаса по сравнению с терми-



**Рис. 8.** Динамика промысловой части придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля и целевого ориентира по биомассе ( $V_{MSY}$ ).

нальным 2017 г. ожидается в 2021 г. — примерно на 25%. Тем не менее, полученные прогнозные оценки ниже рассчитанной величины  $V_{MSY}$  почти в 2 раза. Соотношение оценок величины промыслового запаса с целевым ориентиром графически представлено на рисунке 8. К промысловому запасу отнесены особи возрастных групп 9–15 в период с 1995 по 2006 гг. и 6–15 в период с 2007 по 2017 гг. Судя по результатам ретроспективной диагностики оценок общего запаса, оценки, относящиеся к периоду до 1999 г. могут быть несколько завышены.

Как видно из рисунка 8, в первые годы моратория на вылов (ориентировочно 5 лет) восстановление запаса до уровня максимальной продуктивности не наблюдается. Несмотря на запрет вылова, биомасса нерестового запаса в последние годы была минимальной, на что указывают не только результаты моделирования, но и литературные данные, свидетельствующие о заходе малого количества половозрелых особей в нерестовые реки (Воронова и др., 2019). Отмеченная тенденция к уменьшению количества ежегодно выпускаемых личинок байкальского омуля (Литвиненко и др., 2015; Государственный доклад ..., 2018) также является причиной снижения численности придонно-глубоководного запаса, основная часть которого напрямую зависит от эффективности искусственного воспроизводства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ состояния придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля на основе промысловых данных подтвердил сокращение ее численности. Программные комплексы TISVPA и Синтез, задействованные в настоящем исследовании, продемонстрировали схожие оценки биомассы как нерестового, так и общего запасов, промысловой смертности и пополнения запаса, что подтверждает реалистичность полученных результатов.

Причин ухудшения состояния придонно-глубоководной МЭГ может быть

несколько. Во-первых, в последние годы промыслом облавливались неполовозрелые особи, что привело к уменьшению потенциального фонда производителей омуля. Во-вторых, увеличивающийся объем ННН вылова привел к дополнительной промысловой нагрузке на запас. Третья причина, вероятно, является следствием первой и второй, а именно — уменьшение количества особей, заходящих на нерест в реки. Четвертая причина — сократившийся в силу разных причин объем искусственного воспроизводства на Большереченском рыболовном заводе (Литвиненко и др., 2015). Кроме того, нельзя исключать факторы природного происхождения, влияющие на динамику численности байкальского омуля. К таким факторам можно отнести изменение уровня оз. Байкал, влияющее на выживаемость молоди омуля, увеличение количества бакланов, питающихся омулем, состояние кормовой базы и др.

Результаты прогнозирования показали, что в силу сокращения нерестовой биомассы промысловый запас не восстановится до уровня  $V_{MSY}$  за ближайшие 5 лет после введения моратория на вылов. Поэтому, с одной стороны, существенные изменения в состоянии промысловой части придонно-глубоководной МЭГ могут быть зарегистрированы только после того, как поколения, родившиеся в последние годы промысла, дадут потомство. Но, с другой стороны, экстремально маловодный период с 2014 по 2017 г. (Гармаев, Цыдыпов, 2019) привел к сокращению площади продуктивного мелководья и, скорее всего, к снижению выживаемости молоди байкальского омуля в эти годы.

Таким образом, значительного увеличения промыслового запаса придонно-глубоководной МЭГ байкальского омуля в ближайшей перспективе ожидать не следует.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В. К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова. М.: ВНИРО, 2000. 192 с.

- Бабаян В. К., Бобырев А. Е., Булгакова Т. И. и др. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: ВНИРО, 2018. 312 с.
- Баранов Ф. И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Известия отдела рыбоводства и научно-промысловых исследований. 1918. Т. 1. Вып. 1. С. 84–128.
- Васильев Д. А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Triple-separable virtual population analysis (TISVPA)» № 2006611764. 2006.
- Воронова Э. Б., Дзюменко Н. Ф., Афанасьев С. Г., Журавлев О. И., Петерфельд В. А. История развития и состояние искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов в Байкальском рыбохозяйственном бассейне // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 85–94.
- Воронова Э. Б., Воронов М. Г., Большунова Е. А., Балданова А. Н. Состояние и перспективы развития аквакультуры и рыбоводства в Бурятии // Сб. науч. раб. VII нац. межвузовской науч.—метод. конф. «Переход на федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования. Лучшие практики рыбохозяйственного образования» Казань, 3–5 октября 2018 г. Калининград: КГТУ, 2019. С. 56–60.
- Гармаев Е. Ж., Цыдыпов Б. Э. Уровненный режим оз. Байкал: состояние и перспективы в новых условиях регламентации // Вестник Бурятского ГУ. Биология, география. 2019. № 1. С. 37–44. DOI: 10.18101/2587-7143-2019-1-37-44.
- Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году». Иркутск: АНО «КЦ Эксперт». 2018. 340 с. Доступно через: [http://www.mnr.gov.ru/docs/o\\_sostoyanii\\_ozera\\_baykal\\_i\\_merakh\\_po\\_ego\\_okhrane/gosudarstvennyu\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_ozera\\_baykal\\_i\\_merakh\\_po\\_ego\\_okhrane\\_v\\_2017\\_godu/](http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_ozera_baykal_i_merakh_po_ego_okhrane/gosudarstvennyu_doklad_o_sostoyanii_ozera_baykal_i_merakh_po_ego_okhrane_v_2017_godu/) Дата обращения: 29.01.2020 г.
- Ильин О. И. Об одном методе оценки запасов и прогноза оду морских промысловых рыб на основе непрерывной модели динамики возрастной структуры популяции // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2009. № 13. С. 27–34.
- Калягин Л. Ф., Майстренко С. Г. Динамика распределения морфо-экологических групп байкальского омуля по акватории Байкала // Экологически эквивалентные виды гидробионтов в великих озерах мира. Мат. между. симп. Улан-Удэ, 1997. С. 33–35.
- Конвенция ООН по морскому праву. 1982. Доступно через: [http://www.un.org/Depts/los/convention\\_agreements/convention\\_overview\\_convention.htm](http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/convention_overview_convention.htm) Дата обращения: 26.02.2020 г.
- Литвиненко А. И., Семенченко С. М., Капустина Я. И. Искусственное воспроизводство ценных видов рыб Урала и Сибири: состояние, проблемы и перспективы // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 74–84.
- Майстренко С. Г., Майстренко М. А. Биология и структурные особенности искусственно воспроизводимого стада посольского омуля // Рыбное хозяйство. 2007. № 5. С. 94–99.
- Петерфельд В. А., Соколов А. В. Современное состояние запасов омуля (*Coregonus migratorius*, Georgi) в озере Байкал // Рыбн. хоз-во. № 3. 2016. С. 72–75.
- Смирнов В. В. Экология байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 1997. 42 с.
- Смирнов В. В., Смирнова-Залузи Н. С., Суханова Л. В. Микроэволюция байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). Новосибирск: СО РАН, 2009. 246 с.
- Смирнов В. В., Шумилов И. П. Омупли Байкала. Новосибирск: Наука, 1974. 160 с.
- Соколов А. В., Петерфельд В. А. О причинах введения запрета на промысловый лов омуля (*Coregonus autumnalis migratorius*, Georgi) озера Байкал в современный период // Материалы VI Между-

народного Балтийского морского форума. Калининград: КГТУ, 2018. С. 158–164.

Соколов А.В., Петерфельд В.А., Васильев Д.А. Оценка современного состояния запасов байкальского омуля с использованием аналитических методов // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5. № 1 (17). С. 35–45.

Суходолов А.П., Федотов А.П., Макаров М.М., Аношко П.Н., Губий Е.В., Зоркальцев В.И., Сорокина П.Г., Мокрый И.В., Лебедева А.В. Математическое моделирование оценки численности байкальского омуля в системе социально-экономических и правовых аспектов экологической правонарушаемости // Всероссийский криминологический журнал. 2019. Т. 13. № 5. С. 757–771.

Суходолов А.П., Федотов А.П., Аношко П.Н., Колесникова А.В., Сорокина П.Г., Мамонова Н.В. Математическое моделирование в исследовании комплекса детерминантов незаконного вылова водных биоресурсов (омуля) в озере Байкал // Всероссийский криминологический журнал. 2020. Т. 14. № 1. С. 76–86. DOI 10.17150/2500–4255.2020.14 (1).76–86.

Черняев Ж.А. Воспроизводство сиговых рыб. Эколого-физиологические особенности размножения и развития. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 329 с.

Beverton R. J., Holt S. J. On the dynamics of exploited fish populations // U.K. Min. Agr. Fish. Food Fish. Invest. Ser. 2. 1957. V. 19. 533 p.

## RESULTS OF THE STATE ANALYSIS FOR DEEP-WATER MORPHO-ECOLOGICAL GROUP OF THE BAIKAL OMUL (*COREGONUS MIGRATORIUS*)

© 2020 y. N.G. Petukhova<sup>1</sup>, A.E. Bobyrev<sup>1,2</sup>, A.V. Sokolov<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, 107140

<sup>2</sup>A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS (SIEE RAS), Moscow, 119071

<sup>3</sup>Baikal Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (BaikalNIRO), Ulan-Ude, 670034

<sup>4</sup>Kaliningrad State Technical University (KSTU), Kaliningrad, 236022

The study presents the results of quantitative analysis of the deep-water morpho-ecological group state of Baikal omul, considered as a separate stock. The available information support allowed to apply the cohort model implemented in TISVPA and Synthesis software complexes. The Synthesis software was applied for assessment of the near-deep morpho-ecological group of the Baikal omul first time. Stock biomass estimates obtained in two software complexes confirmed the conclusion about a continuous stock abundance decrease obtained by other researchers earlier. In international fisheries practice the stock recovery implies a stock size increase to a certain biological reference point. In this research it is proposed to use as a target reference point a biomass at which the stock produces the maximum surplus production. Based on the results of Combi software calculations, the estimate of such biomass was 1281 tons. The analysis showed recruitment will not be able to ensure the fishery stock recovery to the target reference point in the next 5 years due to the spawning stock biomass decrease in the years before the moratorium on the fishery.

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