

Гидроакустические исследования структуры нагульного стада байкальского омуля на Селенгинском мелководье оз. Байкал

Аношко П.Н.^{id}, Дзюба Е.В.^{*id}, Ханаев И.В.^{id}, Кучер К.М.^{id},
Небесных И.А.^{id}, Макаров М.М.^{id}

Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск, 664033, Россия

АННОТАЦИЯ. Сравнительный анализ гидроакустических данных с 2011 по 2024 г. позволил выявить особенности распределения байкальского омуля в весенний период на акватории Селенгинского мелководья в условиях значительного снижения его запасов. В результате контрольных тралений проанализирован размерно-возрастной состав байкальского омуля, показано увеличение численности запаса за счет поколений 2019-2023 гг., подтверждена возможность корректного применения, полученного по многолетним данным соотношения длина-вес $LWR: W = 10.9(SL_{dm})^{3.02}$. На основе полученных данных, ожидается рост биомассы, как более инертного показателя, через 4-6 лет. Для формирования более точного прогноза, необходимо провести корректировку коэффициентов естественной смертности.

Ключевые слова: байкальский омуль, гидроакустический метод, контрольные траления, размерно-возрастной состав, соотношение «длина-вес», оценка запасов, озеро Байкал

Для цитирования: Аношко П.Н., Дзюба Е.В., Ханаев И.В., Кучер К.М., Небесных И.А., Макаров М.М. Гидроакустические исследования структуры нагульного стада байкальского омуля на Селенгинском мелководье оз. Байкал // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 5. - С. 1302-1317. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-5-1302

1. Введение

С ростом населения и увеличения уровня эксплуатации рыбных ресурсов, последний становится решающим фактором динамики популяций многих промысловых видов. Интенсивность промысла оказывает существенное влияние на запасы ценных видов рыб с длительным циклом развития, например, сиговых. Запасы сиговых рыб являются востребованным ресурсом континентальных водоемов северного полушария (Fera et al., 2015; Winfield and Gerdeaux, 2015; Bourinet et al., 2024), в отдельных регионах они имеют большое социально-экономическое значение, являясь важной составляющей потребительского рынка и продовольственной безопасности. Эти виды демонстрируют большие колебания запасов как по причине рыболовного пресса, так и из-за их высокой чувствительности в период воспроизводства и развития на первом году жизни к условиям окружающей среды (Лукин и др., 2006; Straile et al., 2007; Anneville et al., 2009; Myers et al., 2015; Rook et al., 2022; Bourinet et al., 2024).

Снижение запасов байкальского омуля и последующее введение запрета на промышленный и ограничений на любительский вылов в 2017 г. явилось фактором снижения уровня жизни значительной части местного населения, источником доходов которого был рыбный промысел. Изначально предполагалось, что принятые меры позволят восстановиться запасам в течение пяти лет. Однако, эффект от принятых мер можно будет оценить только через 11-14 лет после введения запрета (Аношко и др., 2020). Сиговые рыбы при их низкой репродуктивной способности и медленном росте увеличивают численность популяции минимум за два поколения (Лукин и др., 2006; Матковский, 2021). Принимая во внимание демографический кризис популяций байкальского омуля 2016-2018 гг. (Материалы ..., 2024) и то, что для достижения половой зрелости поколениям, способным обеспечить достаточную численность нерестового стада необходимо 6-7 лет, и соответственно их потомство только через 5-7 лет сможет обеспечить значительный прирост биомассы промыслового запаса.

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: e.dzuba@lin.irk.ru (Е.В. Дзюба)

Поступила: 23 сентября 2024; Принята: 28 октября 2024;

Опубликована online: 31 октября 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



Селенгинское мелководье является одним из основных рыбопромысловых районов на озере Байкал, что обусловлено наличием обширных площадей мелководной зоны с глубинами благоприятными для обитания байкальского омуля. По оценкам, полученным ранее в результате гидроакустических исследований (Мельник и др., 2009) в этом районе была сосредоточена значительная часть (до 50% и более) общих запасов этого вида. На Селенгинском мелководье формируется основа промыслового запаса селенгинской и посольской популяций, нерест которых происходит в р. Селенге, а также реках Посольского сора, соответственно. На фоне депрессии запасов байкальского омуля и введения ограничений на его вылов, объем ресурсных научно-исследовательских работ, ограниченных только рыбопромысловыми районами (Гончаров и др., 2022a;b; 2023a;b) явно недостаточен. Тем не менее, материалы гидроакустических исследований за период с 2011 по 2015 гг. (Мельник и др., 2009; Макаров и др., 2012) позволяют провести сравнительный анализ плотности распределения байкальского омуля в Селенгинском рыбопромысловом районе с данными, полученными нами после введения запрета. Целью данной работы является проведение сравнительного анализа структуры нагульного стада, и изменения запасов байкальского омуля на Селенгинском мелководье в период с 2011 по 2024 гг.

2. Материалы и методы

Гидроакустическую съемку в Селенгинском рыбопромысловом районе оз. Байкал проводили с 22 по 24 мая 2024 года на НИС «Г.Ю. Верещагин» (Таблица 1). Работы выполняли по стандартной сетке галсов (Рис. 1) с диапазонами глубин от 50 до 400 м, протяженностью 370 км. Съемку проводили при помощи гидроакустического комплекса «Эхо-Байкал» представляющего программную и аппаратную связку модернизированного промыслового эхолота Furuno FCV-1100 (Япония) и авторского программного обеспечения. Комплекс настраивали на двухчастотный режим с следующими параметрами: частота зондирующего сигнала 28 и 200 кГц, длительность импульса 1.0 мс, порог селекции одиночных целей -52дБ. Гидроакустический комплекс калибровали по стандартной методике (Simrad,

2001) при помощи медной сферы диаметром 60 мм с расчетным значением силы цели (TS) – 33.61 дБ. Обработку гидроакустических данных, как современных (2020–2024 гг.), так и фондовых (2011 и 2015 гг.), проводили в программном комплексе Echo-view (Австралия) с идентичными настройками. Для расчета значений поверхностных плотностей вдоль галсов съемки использовали метод эхоинтегрирования. Гидроакустические галсы делили на участки длиной 500 м. В результате анализа данных в программном комплексе, получали значение NASC (Nautical Area Scattering Coefficient – показатель рассеяния, отражающий интегральную площадь акустического сечения на площади одной морской мили) для каждого участка. Анализ данных по вертикали ограничивали 8 м от поверхности и 2 м от дна. Области с кратным отражением дна и звуко-рассеивающими слоями, несвязанными с рыбными скоплениями, например, газовыми выходами, из анализа исключали. Силу цели байкальского омуля вычисляли по уравнению $TS = 28.7 * \log(SL) - 76.4$ (Кудрявцев и др., 2005), с корректировкой на частоту излучения +0.77 дБ. Данное уравнение дает меньшее смещение (занижение) при восстановлении размеров мелких рыб из значений TS средней SL 15-18 см, которые зарегистрированы в траловых уловах в сравнении с уравнениями, полученными для рыб SL=21-38 см (Гончаров и др., 2008) и SL=24-27 см (Макаров и др., 2018).

Контрольные траления (Таблица 1) выполняли разноглубинным тралом (вертикальное раскрытие 10 м, раскрытие по нижней подборе 17.5 и 26,0 м) после прохождения 4-5 галсов и обнаружения скоплений рыб. Контроль работы тралового орудия (раскрытие, траекторию движения относительно дна и скоплений рыб) осуществляли с применением приборов синхронной регистрации глубины, размещенных на траловых досках, верхней и нижней подборах. Разработанные в лаборатории гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН приборы состояли из контроллера, регистрирующего и сохраняющего в энергонезависимую память данные с датчика глубины, а также беспроводного интерфейса связи стандарта Bluetooth. Приборы, установленные на траловых досках, дополнительно оснащали трех-осевым датчиком ускорения, позволяющим регистрировать их пространственную ориентацию для контроля основных параметров

Таблица 1. Материалы гидроакустических съемок, использованные в анализе.

Год	Сроки проведения съемки, дд.мм - дд.мм	Протяженность галсов, км	Количество контрольных тралений, шт.	Количество проанализированных рыб, экз.
2011	30.05-01.06	311	10	1808
2015	29.05-31.05	307	-	-
2020	28.05-29.05	296	-	-
2021	26.05-28.05	450	-	-
2022	27.05-28.05	350	7	930
2023	23.05-26.05	217	8	1275
2024	22.05-24.05	370	6	523

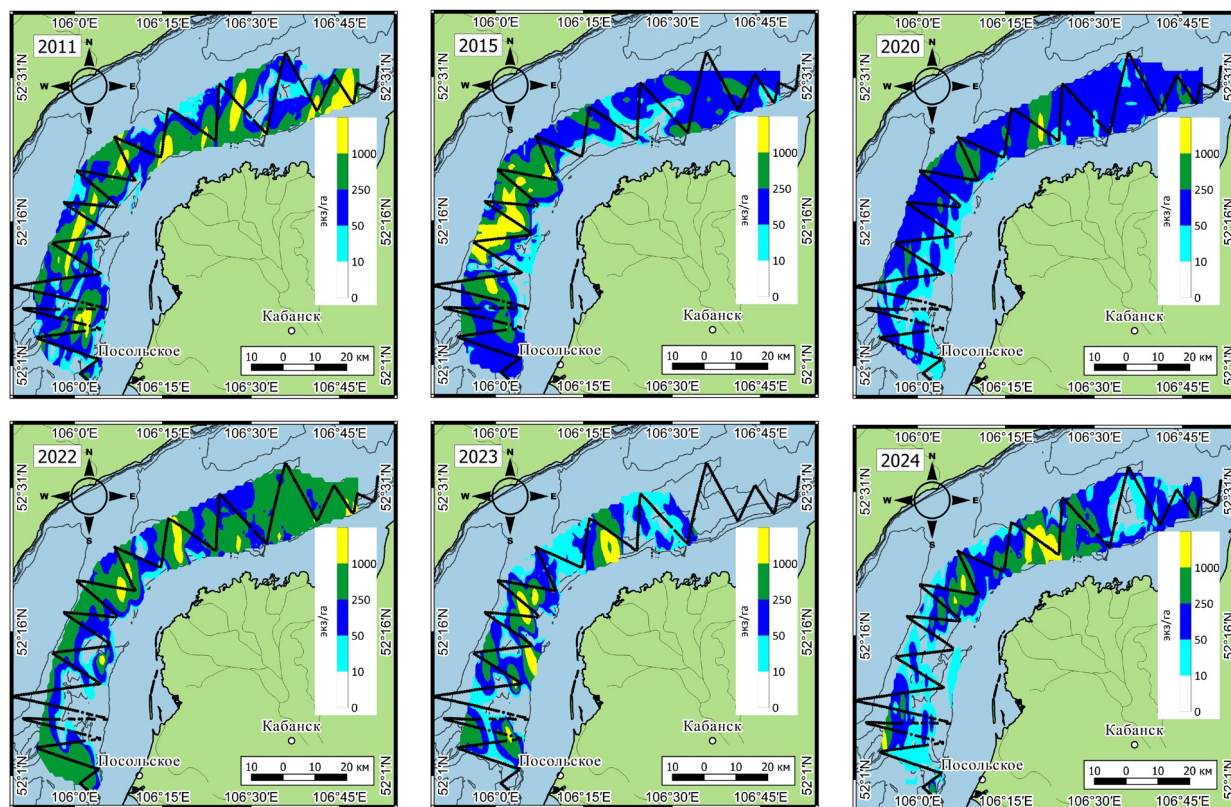


Рис.1. Планшеты распределения байкальского омуля на Селенгинском мелководье по многолетним данным.

работы трала. Калибровку приборов выполняли перед тралениями методом кроскалибровки с двухканальным погружным регистратором температуры и глубины RBRduet3 T.D. (Канада). После подъема трала на борт, проводили считывание данных через беспроводной интерфейс. По данным тестовых тралений были рассчитаны соотношения глубины хода трала от длины «вытравленных» (смотанных с барабанов траловых лебедок) ваеров с учетом работы главного двигателя, обеспечивающего скорость движения судна 2.5-3.0 узла (4.5-5.5 км/ч).

Измерения промысловой длины (SL) рыб при массовых промерах проводили с точностью до 1 см, при проведении биологического анализа с точностью до 1 мм, а вес (W) с точностью до 1 грамма. В расчетах использовали соотношение «длина-вес» $W_g = 10.9(SL_{dm})^{3.02}$, где W_g – вес в граммах, SL_{dm} – стандартная длина в дециметрах (Аношко и др., 2022), полученное на основании анализ многолетних данных. Траловые ловы 2011 г. в данном исследовании не использовали в связи с тем, что селективность размерных классов рыб трала значительно отличалась. Для сравнительного анализа распределения и оценки запасов байкальского омуля в районе Селенгинского мелководья использовали оригинальные записи гидроакустических данных за 2011 и 2023 гг. из архива лаборатории ихтиологии ЛИН СО РАН (Таблица 1).

3. Результаты и обсуждение

Особенности распределения байкальского омуля с 2011 по 2024 гг. представлены на Рисунке 1.

В 2011 г., когда запасы байкальского омуля оценивались как удовлетворительные, скопления более 1000 экз./га регистрировались на всей исследуемой акватории Селенгинского мелководья, а в 2015 г. они были обнаружены только в его юго-восточной части. В 2020 г. скоплений рыб фактически не регистрировались, как правило, их концентрация составляла менее 250 экз./га, что ниже средних значений. В 2022 г. концентрации средней плотности фиксировались по всей акватории Селенгинского мелководья. В 2023 г. крупные скопления байкальского омуля фиксировались в юго-западной и средней части района, при этом они были сравнительно неравномерны и более динамичными (Аношко и др., 2023). Замечено их перераспределение с юга на север, вероятно обусловленное особенностями прогресса прибрежно-соровой зоны, а также поступлением более теплых вод р. Селенга. В 2024 г. омуль регистрировался на всей акватории мелководья, а плотные скопления в его средней части (Рис. 1).

Размерный состав. Соотношение длины и веса (LWR) является важной характеристикой, используемой для расчетов в ресурсных гидроакустических исследованиях. В результате регрессионного анализа на основе данных 2024 г. получено соотношение $LWR W = 9.6(SL_{dm})^{3.16}$ при очень высоком коэффициенте детерминации $R^2 = 0.99$ (Рис. 2). Средняя длина рыб (SL) составила 17,6 см, средний вес – 78 г. Использование полученного нами ранее соотношения основанного на многолетних данных $W = 10.9(SL_{dm})^{3.02}$ (Аношко и др., 2022) при таких размерах приводит к погрешности при расчете среднего веса всего в 1.4% со смещением в большую сторону.

По данным траловых уловов в разных частях Селенгинского мелководья стандартная длина рыб из нагульного стада в 2022-2024 гг. составляла от 9 до 35 см. Представительные выборки (Рис. 3) имели характерное распределение особей по размерам с модами, соответствующими возрастным классам.

Частотное распределение SL в 2022 г. свидетельствует о наличии трех мод: 10, 16 и 19 см, которые соответствуют трем поколениям 2019, 2020 и 2021 гг. Снижение доли рыб длиной более 21 см обусловлено демографической ямой в период 2016-2018 гг. (Материалы ..., 2024). В последующие 2023-2024 гг. количество крупных особей увеличивалось вследствие роста рыб этих поколений. Причем вес рыб в разных размерных классах более рельефно выделяет границу между малочисленными и многочисленными поколениями. Размерная структура байкальского омуля в 2023 г. характеризуется относительно высокой численностью особей в возрасте одного года и их более высокой долей в сравнении с 2022 и 2024 гг. Особи в возрасте двух лет, напротив, имели несколько большие размеры с модой 17 см. В результате пересечения размеров рыб разных возрастов между пиками соответствующих возрастным классам отмечается дополнительный пик, который можно принять за сформированный малочисленным поколением (Аношко и др., 2023). По официальным данным скат личинок в р. Селенга в 2020 г. был оценен в 1186 млн экз., что в три раза выше среднего значения за период 2014-2023 гг. (Материалы ..., 2024). При этом заход производителей в 2019 г. был сопоставим с заходом в смежные годы (Материалы ..., 2024). В размерном составе наших уловов данное anomальное значение численности скатившихся личинок не нашло своего отражения (Рис. 3). Флуктуации размеров рыб могут быть обусловлены межгодовыми колеба-

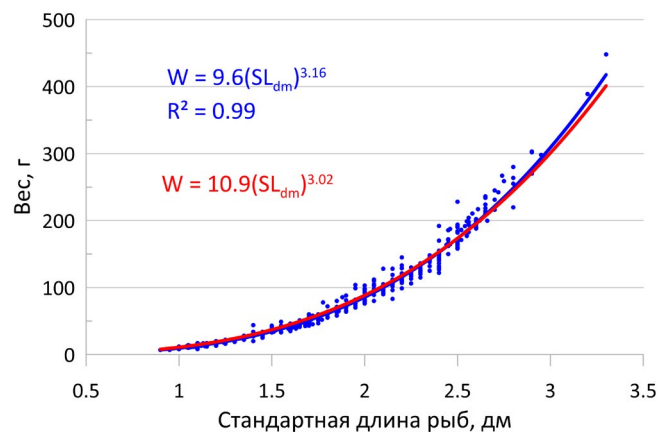


Рис.2. LWR байкальского омуля по данным: — 2024 г. и — уравнению по многолетним данным (Аношко и др., 2022).

ниями их темпов роста на первом и втором годах жизни. Колебания размеров молоди на первом году жизни ожидаемы вследствие ее роста в относительно динамичных условиях прибрежно-соровой зоны.

Возрастная структура байкальского омуля определяется величиной пополнения нагульного стада, естественной и промысловой смертностью, а также миграциями. Размерная структура рыб на акватории Селенгинского мелководья позволяет заключить, что в период с 2022 по 2024 гг. не было значительных изменений в уровне пополнения, которые могли бы повлиять на соотношение размерных, соответственно и возрастных классов. Со второго года жизни уровень смертности в период нагула практически не зависит от пресса хищников. На глубинах более 50 м молодь омуля не доступна хищным рыбам, которые обитают в прибрежно-соровой зоне и рыбоядным птицам.

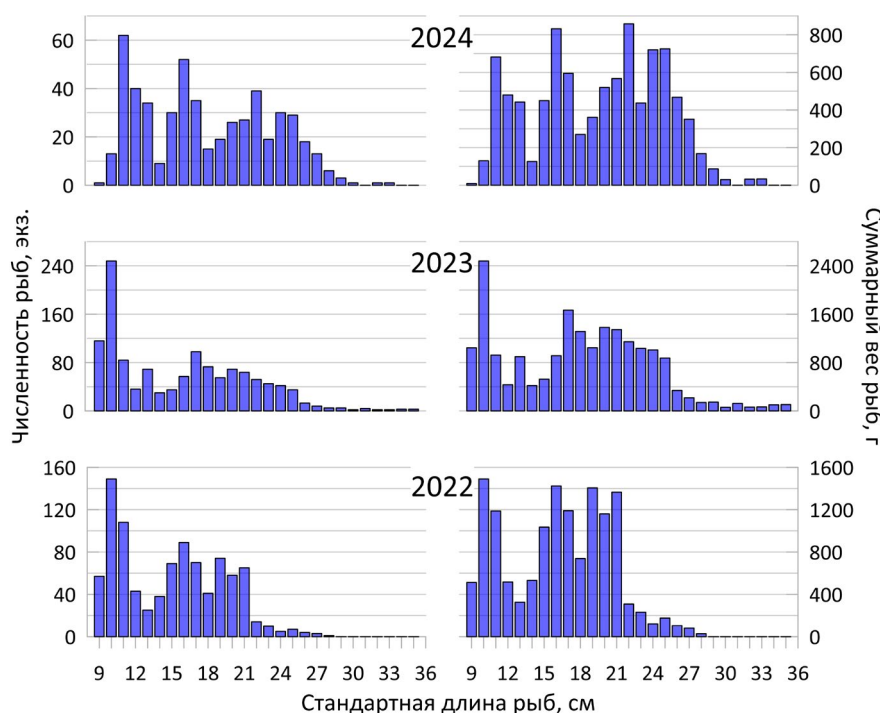


Рис.3. Распределение особей байкальского омуля по размерным классам.

Данные 2022 и 2024 гг. позволили оценить уровень естественной смертности (Рис. 4), так как промышленный лов омуля был запрещен, а уровень смертности рыб таких размеров в следствие любительского и браконьерского вылова можно исключить. Коэффициент мгновенной естественной смертности особей от года до трех лет в 2022 г. согласно показателю степени экспоненциальной зависимости, составил 0.19, а с года до четырех в 2024 г. – 0.23. Эти результаты сопоставимы с коэффициентами, рассчитанными для соответствующих возрастов муксуна *Coregonus muksun* (Pallas, 1814) (Матковский, 2023) с длительной, как у байкальского омуля, продолжительностью жизни.

Динамика запаса. Сравнительный анализ данных в ретроспективе свидетельствует о четырехкратном снижении запасов с 2007 г. (Мельник и др., 2009, Таблица 2) по 2020 г. на Селенгинском мелководье. В дальнейшем происходило увеличение численности молоди за счет поколений 2019-2023 гг. В результате по сравнению с 2020 г. она увеличилась в два раза, но достигла только половины значений, рассчитанных для 2011 г. Биомасса является более инертным показателем, поэтому перспективе ее рост за счет поколений 2019-2024 гг. ожидается в последующие 4-6 лет.

Стабильное состояние запасов байкальского омуля в благоприятный период оценивалось в 20-26 тыс. т. Согласно материалам ОДУ (Материалы ..., 2017), на основании которых был введен запрет на вылов байкальского омуля, его биомасса в 2016 г. определена в 12.6 тыс. т. Было отмечено, что состояние запасов по сравнению с 90-ми годами достигло критического уровня и находится на нижней границе принятых эталонных оценок стабильности. Даже на фоне данных оценок, запас в 6.8 тыс. т в 2017 т опубликованный в материалах ОДУ после введения запрета представляется не обоснованным. В соответствии с данными оценками запас уменьшился на 5.8 тыс. т. При этом, согласно промысловой статистической отчетности вылов составил 0.6 тыс. т, а с учетом экспертных оценок ННН-промысла (незаконный, несообщаемый и нерегулируемый промысел) общий вылов составил около 1.0 тыс. т. Даже если принять, что пополнение в данный период отсутствовало, остается еще разница в 4.8 тыс. т, которая, на наш взгляд требует, аргументированных пояснений.

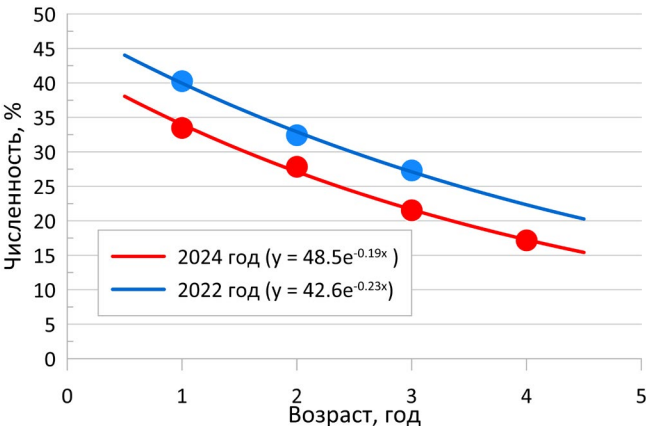


Рис.4. Соотношение возрастных классов байкальского омуля по данным траловых ловов 2022 г. и 2024 г.

Проводимые ВНИРО с 2021 г. наблюдения за численностью нерестового стада и оценка запасов с использованием гидроакустики свидетельствуют о том, что биомасса омуля значительно ниже (7-8 тыс. т), чем она была оценена перед введением запрета (11-13 тыс. т) с использованием моделей виртуальной популяции. Несмотря на увеличение численности молоди, она по-прежнему находится на стабильно низком уровне (Гончаров и др., 2023а; б). Сравнительного анализа оценок запасов байкальского омуля с использованием моделей виртуальной популяции и гидроакустических методов не проводилось. Поэтому различия в оценках, вероятно, являются результатом использования разных методов, а не снижением биомассы после введения запрета. Следует отметить, что исследование запасов байкальского омуля ВНИРО проводилось только по рыбопромысловым районам, в которых формируются его основные промысловые скопления, однако они составляют менее 10 % площади акватории озера. Рыбы, обитающие на остальной акватории в этих работах, не учитываются. В результате невозможно провести корректное сравнение оценок запасов до и после введения запрета. Несопоставимы тралово-акустические оценки 1994, 1995 и 2003 гг. (Мельник и др., 2009) – периода отработки данного метода исследований. Тем не менее, гидроакустический метод является оптимальным для оценки плотности и биомассы сиговых в больших и глубоких озерах, где обитают их различные эколого-морфологические формы (Schluter and McPhail, 1993; Harrod et al., 2010; Siwertsson et

Таблица 2. Оценка плотности биомассы и численности байкальского омуля по данным гидроакустических съемок.

Год	NASC	Средний вес, кг	Средняя длина, см	экз./га	кг/га	Биомасса, т.(145 тыс. га)
2007	229.3	104.0	21.1	367.2	38.2	5543
2011	194.2	85.5	19.8	363.1	31.1	4505
2015	172.2	104.0	21.1	305.6	31.8	4612
2020	52.6	72.0	18.7	128.7	9.3	1345
2021	106.1	46.5	16.2	205.0	9.5	1383
2023	89.6	71.5	18.6	224.7	16.1	2331
2024	83.9	78.8	19.3	195.3	15.4	2233

al., 2010; Malinen et al., 2014). Однако съемку целесообразно унифицировать в соответствии с согласованной схемой галсов, применения зависимостей $TS(SL)$ и LWR . Проводить ее, по возможности, в темное время суток. Рассеивание и более равномерное пространственное распределение в ночное время характерно для многих видов сиговых рыб, обитающих в относительно глубоководных водоемах (Schluter and McPhail, 1993; Mehner et al., 2007; Girard et al., 2020). В результате значительная доля рыб регистрируется в виде одиночных эхо-сигналов, что способствует более точным оценкам их численности и биомассы. Современное аппаратное и программное обеспечение для научной гидроакустики обеспечивает нелетальную для рыб и экономически эффективную альтернативу для оценки численности (Shin et al., 2005; Simmonds and MacLennan, 2008), которая особенно важна в условиях критического снижения запасов. Кроме того, они предполагают менее селективный в сравнении с рыболовством метод определения размерной структуры. В условиях относительно низкой промысловой нагрузки методы оценки запасов, основанные на статистике улова, практически бесполезны (Schluter and McPhail, 1993). Однако построение когортных моделей необходимо для формирования прогнозов и принятию административных решений по регулированию рыболовства.

Следует отметить, что сиговые обитают преимущественно в водоемах с динамичными условиями окружающей среды, характерными для зон с умеренным и субарктическим климатом. Несмотря на способность переживать неблагоприятные условия окружающей среды, их запасы претерпевают периоды значительного снижения численности популяций в течение последних двух десятилетий (Myers et al., 2015; Zischke et al., 2017; Stewart et al., 2021; Bourinet et al., 2024) обусловленного их не рациональным использованием на фоне ухудшения среды обитания. Значительный полиморфизм наблюдаемый у сиговых (Смирнов и др., 2009; Зубова и др., 2022; 2024) является не только способом расширения использования ресурсов, но и одной из адаптаций к изменчивым условиям обитания.

Основными признаками популяций, претерпевающих структурные изменения в результате интенсивной длительной промысловой нагрузки, являются: сокращение численности возрастных групп, увеличение доли медленнорастущих особей, сокращение продолжительности жизни, раннее созревание при крайне малых для вида размерах. (Лукин и др., 2006). Эти признаки не характерны для популяции байкальского омуля акватории Селенгинского мелководья за исключением сокращения численности старших возрастных групп, которое, вероятно, является следствием низкой эффективности воспроизводства, которое связано с высоким прессом браконьерства на путях нерестовых миграций и высокой смертностью на первом году жизни. Несоответствие высокой численности нерестового стада осенью 2015 и последующего малочисленного ската личинок весной 2016 гг.

(Материалы ..., 2024), может быть обусловлено высоким уровнем браконьерства на путях нерестовых миграций. Между тем, в период с 1999 по 2013 гг. наблюдались высокие показатели ската личинок в целом по Байкалу (Материалы ..., 2024). Это свидетельствует о том, что браконьерство на нерестовых реках в это период не повлияло на уровень воспроизводства. Кроме того, поколения байкальского омуля этих лет должны были обеспечить высокие показатели биомассы в последующие 7 лет. Высказана гипотеза о том, что теплая зима в период инкубации приводит к более раннему вылуплению личинок обыкновенного сига *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) в условиях неразвитой кормовой базы (Straile et al., 2007). Для байкальского омуля, нерест которого происходит в реках, в теплые (аридные) периоды возможен ранний выклев личинок в реке и их скат в прибрежно-соровую зону с неблагоприятными условиями для нагула. Учитывая, что значительных изменений физико-химических условий обитания в нерестовых реках не установлено, основания предполагать влияние экологических факторов на уровень смертности икры отсутствуют. В прибрежно-соровой зоне, где происходит нагул молоди, высокий уровень смертности может быть связан с высоким уровнем хищничества, в т.ч. рыбоядных птиц. Сокращение запасов байкальского омуля и рыб прибрежно-сорового комплекса совпадает с катастрофическим увеличением численности большого баклана *Phalacrocorax carbo* (Linnaeus, 1758). Однако в дельте реки Селенги он вторгся в колонию серой цапли *Ardea cinerea* (Linnaeus, 1758) только в 2014 г. (Пыжянов и Мокридина, 2023), а численность гнездящихся особей достигла 1000 только в 2020 г. (Елаев и др., 2021a). В рационе его питания молодь байкальского омуля размерами 40-120 мм занимает около 10% рациона (Елаев и др., 2021b). Это преимущественно особи первого года жизни, которые обитают в прибрежной зоне и доступны для большого баклана. С другой стороны, в его рационе отмечены виды рыб, которые могут потреблять молодь омуля (Елаев и др., 2021b). Таким образом, хищничество большого баклана, вероятно, частично компенсируется.

4. Заключение

Анализ многолетних гидроакустических данных позволил установить особенности распределения байкальского омуля на акватории Селенгинского мелководья в условиях значительного снижения запасов обитающих здесь популяций. На фоне общей неоднородности распределения, относительно плотные скопления рыб локализуются не по всей акватории, а концентрируются в одной из его частей. Размерный состав байкальского омуля в траловых ловах подтвердил корректность применения, полученного нами ранее соотношения основанного на многолетних данных $W = 10.9(SL_{dm})^{3.02}$, т.к. оно приводит к погрешности в расчетах среднего веса всего в 1.4% со смещением в большую сторону.

Сравнительный анализ данных показал четырехкратное снижение запасов байкальского омуля с 2007 к 2020 гг. Однако, увеличение численности молоди за счет поколений 2019-2024 гг. позволяет предположить рост биомассы в последующие 4-6 лет. Среди причин образования демографической ямы 2016-2018 гг. наиболее вероятной является период маловодья 2015-2017 гг. Однако его влияние на снижение пополнения запасов байкальского омуля может реализовываться в результате ряда факторов, среди которых можно выделить доступность рыбоядным птицам и браконьерскому вылову в период нерестовых миграций, а также; повышенный уровень смертности молоди вследствие ската в прибрежно-соровую зону с низким уровнем развития кормовой базы и/или их гибели в результате выедания хищниками. Для формирования более точного прогноза необходимо провести корректировку коэффициентов естественной смертности.

Изучение особенностей распределения рыб, структуры нагульного стада, изменения численности и биомассы важно не только для регулирования рыбохозяйственной деятельности, но и для понимания функционирования экосистем, в том числе реакции популяций на стрессовые воздействия климатических изменений и на антропогенную нагрузку.

Источники финансирования и благодарности

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 0279-2022-0004 (122012600083-9) и № 0279-2021-0005 (121032300224-8). Авторы выражают благодарность команде НИС «Г.Ю. Верецагин» за помощь в сборе материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Anneville O., Souissi S., Molinero J.C. et al. 2009. Influences of human activity and climate on the stock-recruitment dynamics of whitefish, *Coregonus lavaretus*, in Lake Geneva. *Fish Manag Ecol* 16: 492-500. DOI: [10.1111/j.1365-2400.2009.00703.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2009.00703.x)
- Bourinet F., Anneville O., Drouineau H. et al. 2024. Impact of fishing activities on the population dynamics of European whitefish in four peri-alpine lakes. *International Journal of Limnology* 60: 15. DOI: [10.1051/limn/2024015](https://doi.org/10.1051/limn/2024015)
- Fera S.A., Rennie M.D., Dunlop E.S. 2015. Cross-basin analysis of long-term trends in the growth of lake whitefish in the Laurentian Great Lakes. *J Gt Lakes Res* 41: 1138-1149. DOI: [10.1016/j.jglr.2015.08.010](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.08.010)
- Girard M., Goulon C., Tessier A. et al. 2020. Comparisons of day-time and night-time hydroacoustic surveys in temperate lakes. *Aquatic Living Resources* 33: 9. DOI: [10.1051/alr/2020011](https://doi.org/10.1051/alr/2020011)
- Harrod C., Mallela J., Kahilainen K.K. 2010. Phenotype-environment correlations in a putative whitefish adaptive radiation. *Journal of Animal Ecology* 79: 1057-1068. DOI: [10.1111/j.1365-2656.2010.01702.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01702.x)
- Malinen T., Tuomaala A., Lehtonen H. et al. 2014. Hydroacoustic assessment of mono- and polymorphic *Coregonus* density and biomass in subarctic lakes. *Ecology of Freshwater Fish* 23: 424-437. DOI: [10.1111/eff.120](https://doi.org/10.1111/eff.120)
- Mehner T., Kasprzak P., Hölker F. 2007. Exploring ultimate hypotheses to predict diel vertical migrations in coregonid fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 874-886. DOI: [10.1139/F07-067](https://doi.org/10.1139/F07-067)
- Myers J.T., Yule D.L., Jones M.L. et al. 2015. Spatial synchrony in cisco recruitment. *Fish Res* 165: 11-21. DOI: [10.1016/j.fishres.2014.12.014](https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.12.014)
- Rook B.J., Lenart S.J., Caroffino D.C. et al. 2022. A 90-year record of lake whitefish *Coregonus clupeaformis* abundances in Michigan waters of the upper Laurentian Great Lakes. *J Gt Lakes Res* 48: 1618-1635. DOI: [10.1016/j.jglr.2022.08.013](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.08.013)
- Schluter D., McPhail J.D. 1993. Character displacement and replicate adaptive radiation. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 197-200. DOI: [10.1016/0169-5347\(93\)90098-A](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90098-A)
- Shin Y.-J., Rochet M.-J., Jennings S. et al. 2005. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing. *ICES Journal of Marine Science* 62: 384-396. DOI: [10.1016/j.icesjms.2005.01.004](https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.01.004)
- Simmonds J., MacLennan D.N. 2008. *Fisheries Acoustics Theory and Practice*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Simrad. 2001. EK60 Scientific echo sounder instruction manual, Simrad Subsea A/S, Horten, Norway.
- Siwertsson A., Knudsen R., Kahilainen K.K. et al. 2010. Sympatric diversification influenced by ecological opportunity and historical contingency in a young species lineage of whitefish. *Evolutionary Ecology Research* 12: 929-947.
- Stewart T.R., Mäkinen M., Goulon C. et al. 2021. Influence of warming temperatures on coregonine embryogenesis within and among species. *Hydrobiologia* 848: 4363-4385. DOI: [10.1007/s10750-021-04648-0](https://doi.org/10.1007/s10750-021-04648-0)
- Straile D., Eckmann R., Jüngling T. et al. 2007. Influence of climate variability on whitefish (*Coregonus lavaretus*) year-class strength in a deep, warm monomictic lake. *Oecologia* 151: 521-529. DOI: [10.1007/s00442-006-0587-9](https://doi.org/10.1007/s00442-006-0587-9)
- Winfield I.J., Gerdeaux D. 2015. Fisheries in the densely populated landscapes of Western Europe. In *Freshwater Fisheries Ecology*. New York, pp. 181-190.
- Zischke M.T., Bunnell D.B., Troy C.D. et al. 2017. Asynchrony in the inter-annual recruitment of lake whitefish *Coregonus clupeaformis* in the Great Lakes region. *Journal of Great Lakes Research* 43(2): 359-369. DOI: [10.1016/j.jglr.2017.01.007](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2017.01.007)
- Аношко П.Н., Дзюба Е.В., Кучер К.М. и др. 2023. Акустико-траловые исследования байкальского омуля на Селенгинском мелководье озера Байкал 2023 г. *Limnology and Freshwater Biology* 6(4): 126-136. DOI: [10.31951/2658-3518-2023-A-4-126](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2023-A-4-126)
- Аношко П.Н., Макаров М.М., Зоркальцев В.И. и др. 2020. Ограничение на вылов байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) и вероятные экологические последствия. *Юг России: экология, развитие* 15(3): 132-143. DOI: [10.18470/1992-1098-2020-3-132-143](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-132-143)
- Аношко П.Н., Макаров М.М., Устарбекова Д.А. и др. 2022. Соотношение длина-вес у байкальского омуля *Coregonus migratorius* в нагульный период в районе Селенгинского мелководья озера Байкал. *Юг России: экология, развитие* 17(1): 17-23. DOI: [10.18470/1992-1098-2022-1-17-23](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-17-23)
- Гончаров С.М., Попов С.Б., Бондаренко В.М. и др. 2008. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности оценки его запаса в озере Байкал. *Рыбное хозяйство* 3: 87-90.

- Гончаров С.М., Попов С.Б., Петерфельд В.А. и др. 2022. Результаты ресурсных гидроакустических съёмок байкальского омуля на рыбопромысловых акваториях озера Байкал в весенне-летний период 2022 года. Труды ВНИРО 190: 186-192. DOI: [10.36038/2307-3497-2022-190-186-192](https://doi.org/10.36038/2307-3497-2022-190-186-192)
- Гончаров С.М., Попов С.Б., Петерфельд В.А. 2022. Результаты гидроакустических исследований байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) на рыбопромысловых акваториях озера Байкал с использованием отечественных информационных разработок. Рыбное хозяйство 2: 54-58. DOI: [10.37663/0131-6184-2022-2-54-58](https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-2-54-58)
- Гончаров С.М., Попов С.Б., Петерфельд В.А. и др. 2023. Оценка состояния запаса омуля *Coregonus migratorius* на акватории Северного Байкала по данным гидроакустических исследований. Вопросы рыболовства 24(4): 72-80. DOI: [10.36038/0234-2774-2023-24-4-72-80](https://doi.org/10.36038/0234-2774-2023-24-4-72-80)
- Гончаров С.М., Попов С.Б., Петерфельд В.А. и др. 2023. Гидроакустическая оценка запасов байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) по результатам двухлетних исследований в весенне-летний период 2021 и 2022 годов. Рыбное хозяйство 2: 73-79. DOI: [10.37663/0131-6184-2023-2-73-79](https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-2-73-79)
- Елаев Э.Н., Доржиев Ц.З., Ананин А.А. и др. 2021. История гнездования и динамика численности большого баклана (*Phalacrocorax carbo* L., 1758) в Байкальской Сибири. Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география 3: 21-32. DOI: [10.18101/2587-7143-2021-3-21-32](https://doi.org/10.18101/2587-7143-2021-3-21-32)
- Елаев Э.Н., Доржиев Ц.З., Ананин А.А. и др. 2021. Экология питания и эпизоотологическое значение большого баклана (*Phalacrocorax carbo*) в период вторичной экспансии Байкальского региона. Юг России: экология, развитие 16(4): 47-55. DOI: [10.18470/1992-1098-2021-4-47-55](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-4-47-55)
- Зубова Е.М., Кашулин Н.А., Терентьев П.М. и др. 2022. Морфоэкологическая и генетическая дифференциация симпатрических форм сига озера Куэтсьярви (бассейн реки Пасвик, Мурманская область). Успехи современной биологии 142(5): 498-509. DOI: [10.31857/S0042132422050131](https://doi.org/10.31857/S0042132422050131)
- Зубова Е.М., Терентьев П.М., Кашулин Н.А. и др. 2024. Европейский сиг *Coregonus lavaretus* Нижнетуломского водохранилища (бассейн реки Тулома, Мурманская область) и условия его обитания. *Limnology and Freshwater Biology* 2024 (2): 58-97. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-2-58](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-2-58)
- Кудрявцев В.И., Дегтев А.И., Соколов А.В. 2005. Об особенностях количественной оценки запасов байкальского омуля гидроакустическим методом. Рыбное хозяйство 3: 66-69.
- Лукин А.А., Шарова Ю.И., Прищеп Б.Ф. 2006. Влияние промысла на состояние популяций сига *Coregonus lavaretus* в озере Имандра. Вопросы ихтиологии 46(3): 370-373.
- Макаров М.М., Дегтев А.И., Кучер К.М. и др. 2012. Оценка численности и биомассы байкальского омуля тралово-акустическим методом. Доклады академии наук 447(3): 343-346. DOI: [10.1134/S0012496612060051](https://doi.org/10.1134/S0012496612060051)
- Макаров М.М., Дегтев А.И., Ханаев И.В. и др. 2018. Экспериментальные исследования по измерению силы цели байкальского омуля на частоте 200 кГц. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2: 142-146. DOI: [10.17513/mjpf.12124](https://doi.org/10.17513/mjpf.12124)
- Материалы, обосновывающие общие допустимые уловы водных биологических ресурсов в озере Байкал (с впадающими в него реками) на 2018 г. (с оценкой воздействия на окружающую среду) (для общественных слушаний). 2017. URL: <http://ольхонский-район.рф/tinybrowser/files/novosti/odu-na-2018-god-dlya-obschestvennyh-slushaniy.pdf> (дата обращения: 07.10.2024).
- Материалы обосновывающие общие допустимые уловы водных биологических ресурсов в озере Байкал (с впадающими в него реками) на 2025 г. (с оценкой воздействия на окружающую среду). 2024. URL: http://baikal.vniro.ru/images/материалы_обосновывающие_общие_допустимые_уловы_вбр_в_озере_байкал_с_впадающими_в_него_реками_на_2025_gpdf.pdf (дата обращения: 07.10.2024)
- Матковский А.К. 2023. Изучение естественной смертности у муксуна и пеляди р. Обь путем построения зависимостей убыли численности генераций. Биология внутренних вод 3: 407-419. DOI: [10.31857/S0320965223030154](https://doi.org/10.31857/S0320965223030154)
- Матковский А.К. 2021. Определение эффективности работ по искусственному воспроизводству пеляди *Coregonus peled* в Обь-Иртышском бассейне. Рыбное хозяйство 4: 53-60. DOI: [10.37663/0131-6184-2021-4-53-60](https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-4-53-60)
- Мельник Н.Г., Смирнова-Залуми Н.С., Смирнов В.В. и др. 2009. Гидроакустический учет ресурсов байкальского омуля. Новосибирск: Наука.
- Пыжьянов С.В., Мокридина М.С. 2023. Реинтродукция баклана на Байкал: причины и последствия. IV Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 30-летию юбилею Байкальского музея СО РАН «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле». Иркутск: Иркутский государственный университет, С. 31-35. DOI: [10.24412/cl-34446-2023-4-31-35](https://doi.org/10.24412/cl-34446-2023-4-31-35)
- Смирнов В.В., Смирнова-Залуми Н.С., Суханова Л.В. 2009. Микроэволюция байкальского омуля: *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). ред. академик Большаков В.Н. Новосибирск: Изд-во СО РАН.