

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАПАСА ОМУЛЯ
COREGONUS MIGRATORIUS НА АКВАТОРИИ
СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА ПО ДАННЫМ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

© 2023 г. С.М. Гончаров¹ (spin: 7783-4281), С.Б. Попов¹ (spin: 8905-1324),
В.А. Петерфельд² (spin: 8947-0511), Н.Г. Ключарева¹ (spin: 1152-7670)

*1 – Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии, Россия, Москва, 105187*

*2 – Байкальский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (БайкалНИРО), Россия, Улан-Удэ, 670034
E.mail: sgonch@vniro.ru*

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

В последние годы в оз. Байкал наблюдалось резкое падение количества наиболее многочисленного вида среди промысловых рыб – байкальского омуля (*Coregonus migratorius*). В связи с этим были введены ограничительные меры на его промысел. Для оценки динамики численности омуля в период ограничительных мер на одном из самых продуктивных районов его промысла Северном Байкале был использован гидроакустический метод, основанный на проведении гидроакустических съёмов.

В работе приведены результаты трёхлетних гидроакустических исследований (2021, 2022 и 2023 гг.), выполненных в первой декаде июня. С учётом доверительных интервалов оценки численности и биомассы омуля, его запас на Северном Байкале находится на достаточно стабильном уровне. Характер пространственного распределения концентраций омуля на обследованных акваториях также стабилен.

Ключевые слова: байкальский омуль, Северный Байкал, гидроакустическая съёмка, численность и биомасса, поверхностная плотность, пространственное распределение, оценка запаса.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении многих лет на акваториях оз. Байкал не проводились гидроакустические исследования запасов омуля, являющегося самым многочисленным видом среди других промысловых видов рыб. На основании Федерального закона «Об охране озера Байкал» от 01.05.1999 № 94-ФЗ (с изменениями на 18 июля 2019 г.) и Федерального проекта «Сохранение озера Байкал», входящего в национальный проект «Экология», в 2021 г. были возобновлены такие работы, в том числе и на акватории Северного Байкала. Этот район считается одним из самых продуктивных районов про-

мысла. Нагульное стадо байкальского омуля на Северном Байкале представлено прибрежной морфоэкологической группой (Цырендылыкова, Коновалова, 2023).

История рыболовства на северной оконечности озера, как и в устье р. Селенга, насчитывает около 350 лет (Базов, 2020). Был период в первой половине XIX столетия, когда центр байкальского рыболовства переместился на север озера, в связи с истощением запасов омуля на акватории Селенгинского мелководья (Базов, 2020).

Учитывая в настоящее время депрессивное состояние запасов столь

ценного промыслового вида в озере, контроль за его количеством имеет особое значение.

Целью проведённых работ была оценка численности и биомассы байкальского омуля на акватории Северного Байкала и их изменений за последние три года, после введения ограничений на его промысел в 2017 г. Для этого использовался гидроакустический метод, основанный на проведении гидроакустических съёмок и широко применяемый в мире при проведении ресурсных исследований как на пресноводных водоёмах, так и морских акваториях. Главным его преимуществом является то, что по сравнению с траловыми съёмками, исследуется вся толща воды, и измерения проводятся непрерывно вдоль следования судна, а не от станции к станции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Гидроакустические съёмки были выполнены в период с 03.06 по 04.06.2021 г., с 04.06 по 06.06.2022 г. и с 07.06 по 09.06.2023 г. Время съёмок было выбрано с учётом особенности сезонного распределения байкальского омуля. Оптимальным временем проведения гидроакустических съёмок является конец мая – начало июня, до развития гомотермии байкальских вод, характеризующейся распределением основной массы омуля всех популяций в диапазоне 50–350 м (Мельник и др., 2009).

Гидроакустические съёмки были выполнены с использованием научно-эхолота EY500 (Simrad) с частотой заполнения ультразвукового импульса посылки 70 кГц и антенной ES 70–11 (ширина диаграммы направленности 11°) с расщеплённым лучом. Скорость движения судна при проведении гидроакустических съёмок составляла 9–10 км/час. Контрольные обловы проводились порядками ставных сетей, в

местах наибольших рыбных концентраций по данным, полученным в процессе съёмки с эхолота EY-500 (Simrad).

Для расчёта значений поверхностных плотностей вдоль галсов съёмки использовался метод эхоинтегрирования. В основе современного метода лежит интегрирование эхосигналов в вертикальном направлении внутри заданного слоя и последующее усреднение в горизонтальном направлении вдоль маршрута следования судна. Интегрирование ведётся над силой обратного объёмного рассеяния, определяемой как $10\log(S_V)$, где S_V – коэффициент обратного объёмного рассеяния и определяется следующими соотношениями:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial V} = 4\pi r_0^2 S_V, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial A} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\partial \sigma}{\partial V} dV, \quad (2)$$

$$s_a = \text{mean}\left[\frac{\partial \sigma}{\partial A}\right], \quad (3)$$

где \bar{b} – площадь эффективного обратного рассеяния, m^2 ;

V – облучённый объём, m^3

A – общая облучённая площадь, m^2

В первом уравнении осуществляется переход от силы обратного объёмного рассеяния к площади обратного рассеяния на единицу объёма. Соответствующая площадь обратного рассеяния на единицу горизонтального сечения определяется интегрированием вертикально по слою $r_1 - r_2$. Выходным параметром за каждый период интегрирования служит величина s_a , представляющая собой среднее значение $\partial \sigma / \partial A$ за период эхоинтегрирования. Более удобно использовать величину морского коэффициента поверхностного рассеяния S_A или в международной терминологии *Nautical area scattering coefficient (NASC)*,

измеряемой в м² миля⁻² (MacLennan et al., 2002), связанную с s_a , (м² м⁻²) соотношением:

$$s_A = 4\pi(1852)^2 s_a, \quad (4)$$

или

$$S_A = 16\pi^2 r_0^2 \text{mean} \left[\int_{r_1}^{r_2} S_V dr \right] (1852)^2, \quad (5)$$

где $r_0 = 1$ м

Реально, интегрирование заменяется на суммирование:

$$\int_{r_1}^{r_2} S_V dr \approx \Delta r \sum_{r_i} S_{V_i}, \quad (6)$$

где Δr – интервал дискретизации, связанный с частотой квантования эхосигнала F_D соотношением:

$$\Delta r = \frac{c}{2F_D}, \quad (7)$$

Среднее значение S_V за период интегрирования определяется следующей формулой:

$$S_V = \frac{S_A}{16\pi^2 r_0^2 (1852)^2 (r_2 - r_1)}, \quad (8)$$

Алгоритмы расчётов поверхностных плотностей в размерности кг/га, представлены схематично на рисунке 1.

По аналогичной схеме производится расчёт поверхностных плотностей рыб в размерности экз./га, только вместо веса рыб данного вида используется количество рыб данного вида в пробе.

Расчёт TS омуля проводился по формуле (Гончаров и др., 2008):

$$TS = 20 * \text{Log}(L) - 64,24 \quad (9)$$

где L – длина рыбы, см

$$\sigma = 4\pi \times 10_{10}^{\text{TS}} \quad (10)$$

Интервал интегрирования при обработке данных гидроакустической съёмки на акватории Северного Байкала – 250 м.

Биомасса или численность (в зависимости от того, какая размерность поверхностной плотности используется: кг/га – для биомассы или экз/га для численности) определяются как интеграл поверхностной плотности в пределах обследованной акватории (S , га):

$$W = \int_S \rho_a dS, \quad (11)$$

где ρ_a – значения поверхностной плотности на интервалах интегрирования.

Для оценки численности запасов омуля, его распределения в пределах обследованных акваторий и дальнейшего хранения результатов работ использовались только отечественные разработки: гидроакустическая информационная система, состоящая из ГИС «КартМастер» (Бизиков и др., 2007) и специализированная база данных (Гончаров и др., 2013). Построение карт пространственного распределения численности и биомассы омуля проводилось методом геостатистической интерполяции Kriging (Демьянов, Савельева, 2010; Kanevski, Maignan, 2004).

Общепринято сопровождать оценку запаса доверительными интервалами. Для этого был использован метод, основанный на статистическом анализе исходных данных (измеренных значений) (Юданов и др., 1984) и реализованный в ГИС «КартМастер» (Бизиков и др., 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В период с 3 июня по 4 июня 2021 г. была выполнена первая съёмка на аква-

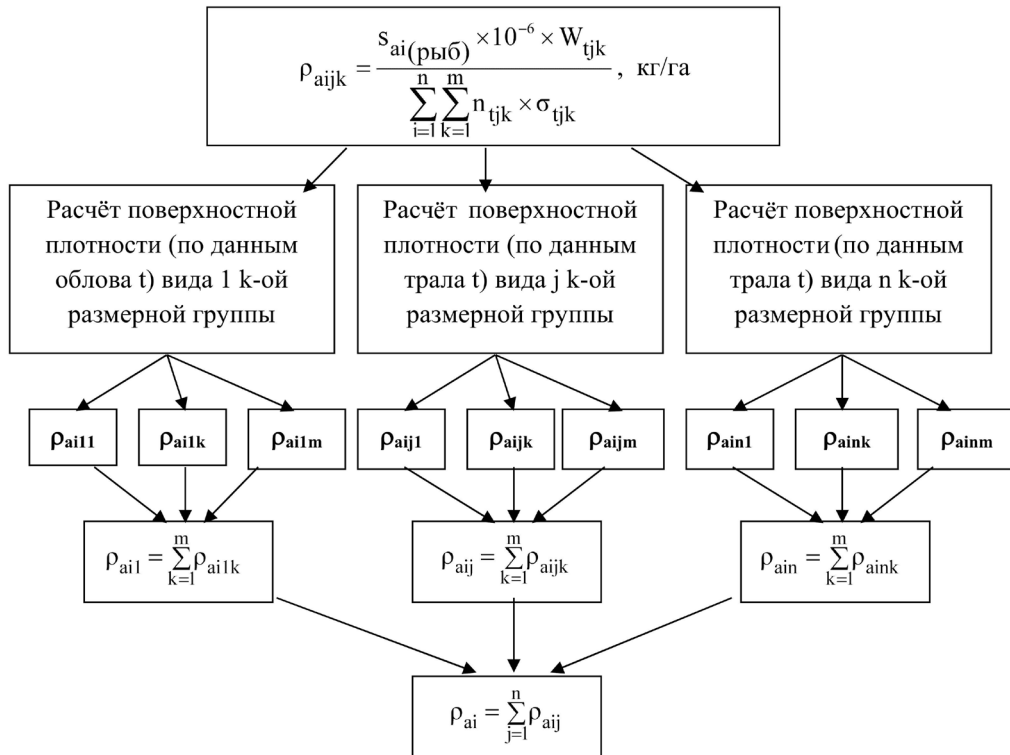


Рис. 1. Схема этапов расчёта поверхностных плотностей многовидовых скоплений. В данной схеме $i (1...b)$ – порядковый номер отсчёта эхоинтегрирования; $j (1...n)$ – вид рыбы; $k (1...m)$ – размерный класс рыбы; $g (1...t)$ – номер контрольного облова; w – вес рыбы, г; ρ_a – поверхностная плотность, кг/га; σ – акустическое сечение обратного рассеяния рыбы, м².

тории Северного Байкала. На рисунке 2 представлена карта распределения значений поверхностной плотности омуля вдоль галсов гидроакустической съёмки в размерности кг/га (а) и карта распределения его биомассы (б). Скопления омуля различной плотности регистрировались в диапазоне глубин от 120 до 250 м. Наиболее плотные концентрации омуля были отмечены в самой северной части акватории. Площадь района работ составила 14 695 га. Общая численность омуля в пределах акватории съёмки составила $6\,370\,540 \pm 347\,225$ экз., биомасса – 992 ± 38 т.

В 2022 г., примерно в те же сроки, что и в 2021 г., с 4 июня по 6 июня была проведена вторая гидроакустическая съёмка. На рисунке 3 представлена карта распределения значений поверхностной плотности омуля вдоль галсов съём-

ки в размерности кг/га (а) и карта распределения его биомассы (б). Акватория съёмки была увеличена (рис. 3 б). Сетка галсов съёмки 2021 г. была продлена как вдоль западного, так и восточного побережья (рис. 3 а). По сравнению с предыдущим годом диапазон регистрации скоплений омуля был шире – от 50 до 300 м. Ареал омуля в северо-восточной части расширился и его распределение в этой части района стало более равномерным. Вдоль восточного берега скопления омуля не регистрировались. Общая площадь обследованной акватории составила 20677 га при численности омуля $5\,926\,228 \pm 220\,695$ экз. и биомассе – 946 ± 30 т.

Третья гидроакустическая съёмка была выполнена с 07 июня по 09 июня 2023 г. Галсы съёмки были существенно продлены вдоль восточного берега Бай-

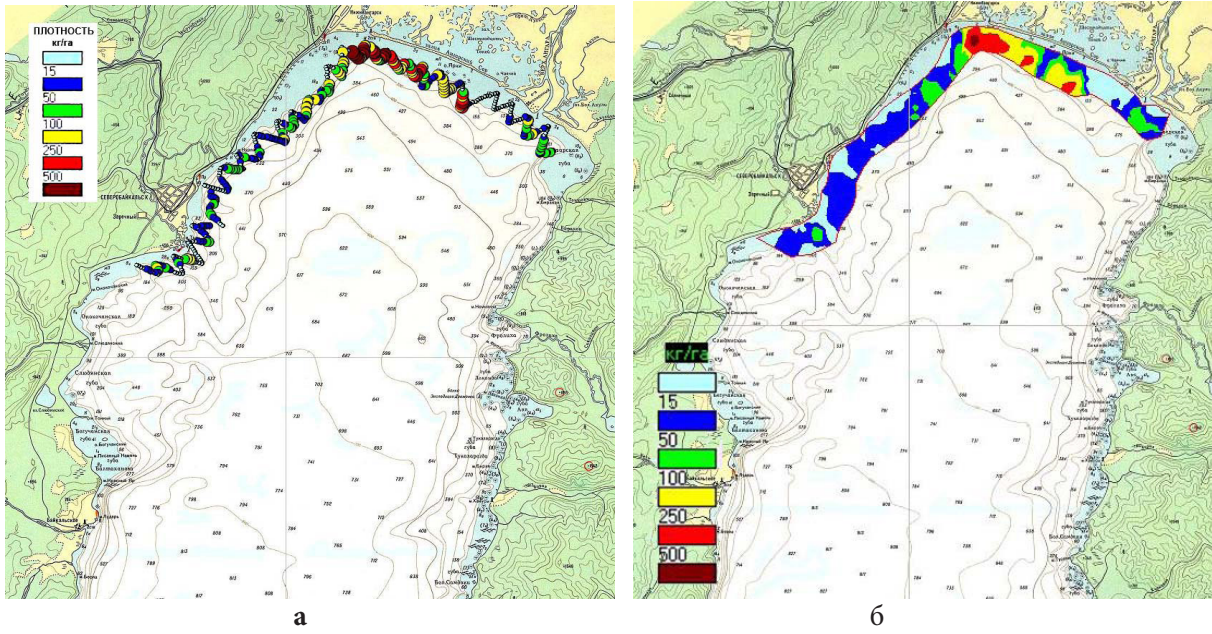


Рис. 2. Карта распределения значений поверхностной плотности омуля вдоль галсов гидроакустической съёмки в размерности кг/га (а) и карта распределения его биомассы (б) в 2021 г. (Площадь акватории 14695 га). Численность $6\,370\,540 \pm 347\,225$ экз. Биомасса 992 ± 38 т.

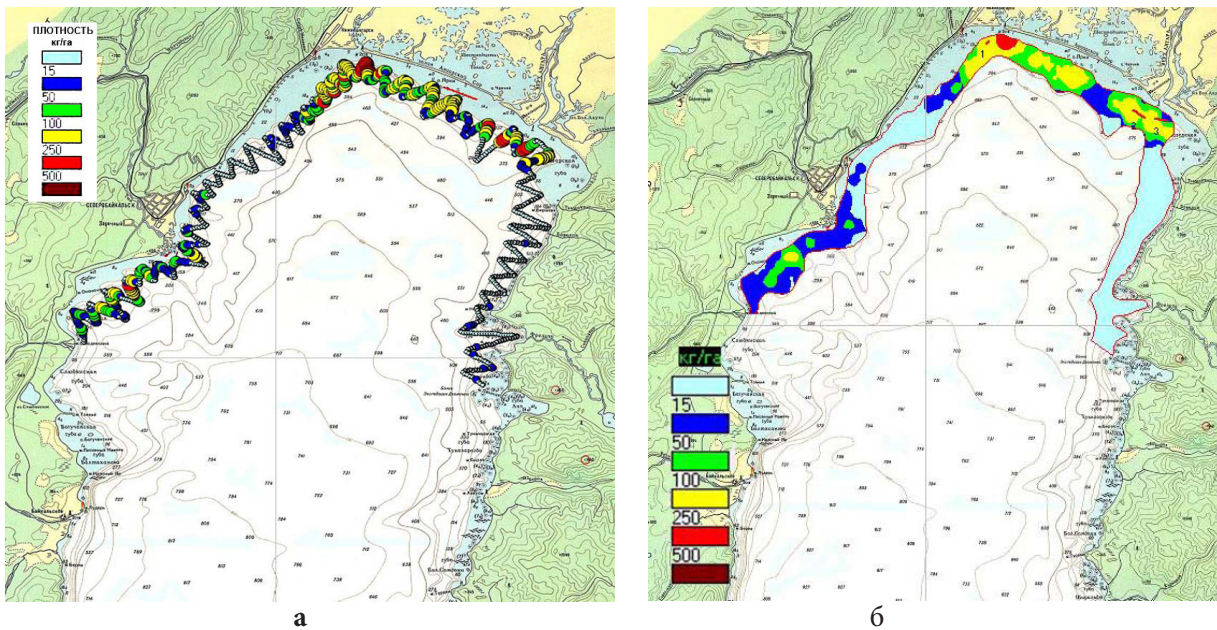


Рис. 3. Карта распределения значений поверхностной плотности омуля вдоль галсов гидроакустической съёмки в размерности кг/га (а) и карта распределения его биомассы (б) в 2022 г. (Площадь акватории 20677 га). Численность $5\,926\,228 \pm 220\,695$ экз. Биомасса 946 ± 30 т.

кала, поскольку по данным рыбаков-любителей в этой части района в зимнее время наблюдался устойчивый вылов омуля. Общая площадь акватории съёмки была максимальной по сравнению с

2021 и 2022 гг. и составила 27 117 га, численность – $5\,636\,710 \pm 325\,200$ экз. и биомасса – 1006 ± 65 т. Диапазон регистрации скопления омуля был в пределах от 20 до 300 м. Вдоль восточного побере-

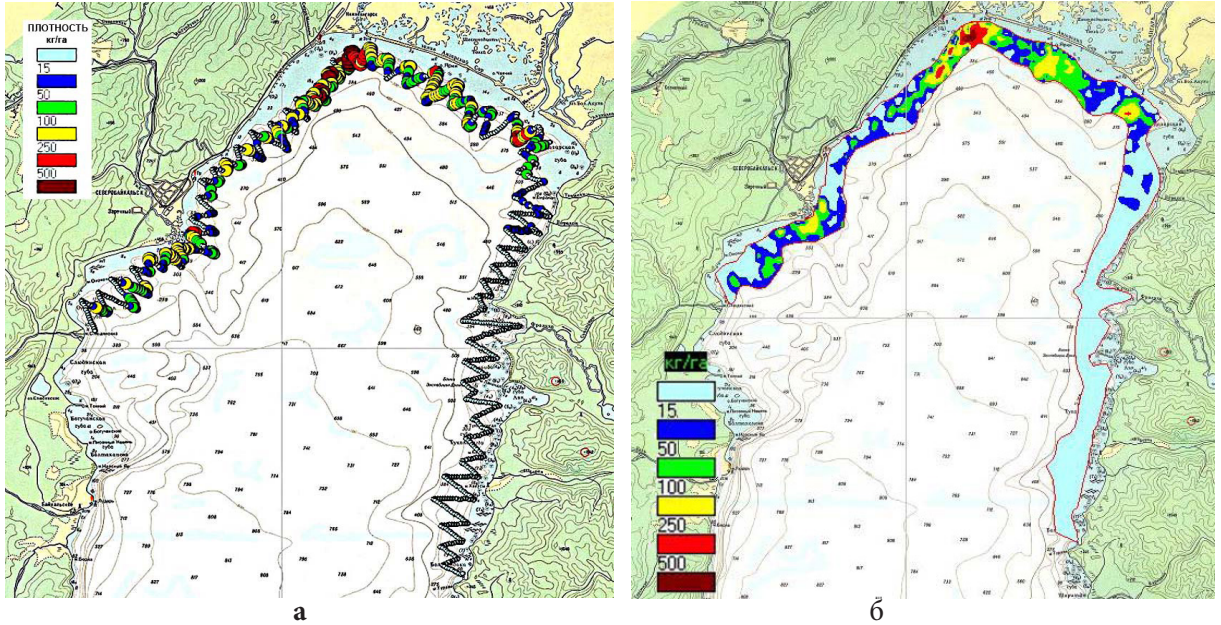


Рис. 4. Карта распределения значений поверхностной плотности омуля вдоль галсов гидроакустической съёмки в размерности кг/га (а) и карта распределения его биомассы (б) в 2023 г. (Площадь акватории 27117 га). Численность $5\,636\,710 \pm 325\,200$ экз.; Биомасса 1006 ± 65 т.

жья, как и в 2022 г., скопления омуля не наблюдались. Распределение биомассы омуля в 2023 г. имеет более выраженную мозаичную структуру в отличие от распределений омуля в предыдущие годы.

В качестве примеров, на рисунках 5–10 представлены различные типы эхограмм скоплений омуля высокой плотности на разных глубинах. Как и в 2021 г. наибольшие значения плотности

в 2022 и 2023 гг. были зарегистрированы в самой северной части Байкала.

Для более детального анализа результатов трёхлетних исследований и оценки динамики численности и биомассы омуля на Северном Байкале были проведены расчёты в пределах наименьшей акватории (гидроакустическая съёмка 2021 г.). В таблице 1 приведены результаты таких расчётов.

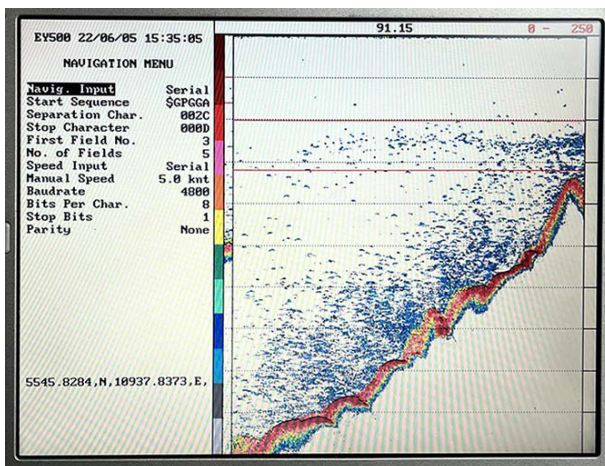


Рис. 5. 2022 г. Эхограмм пелагических скоплений омуля на склоне. Диапазон глубин от 235 до 80 м.

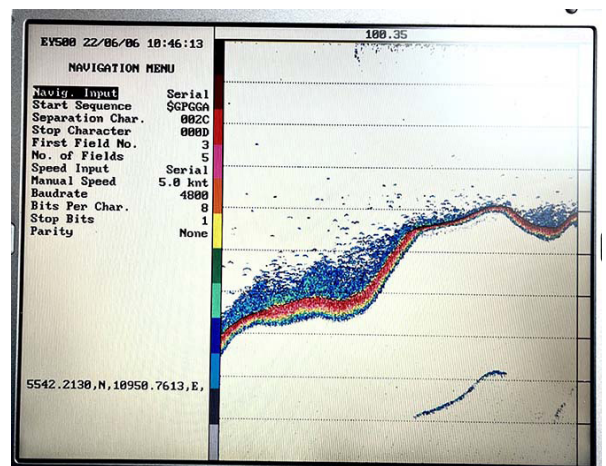


Рис. 6. 2022 г. Эхограмм придонных скоплений омуля. Диапазон глубин от 200 до 129 м.

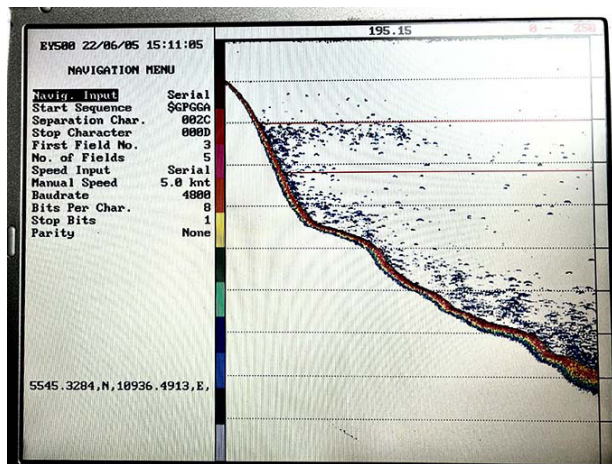


Рис. 7. 2022 г. Эхограмма пелагических и придонных скоплений омуля. Диапазон глубин от 25 до 196 м.

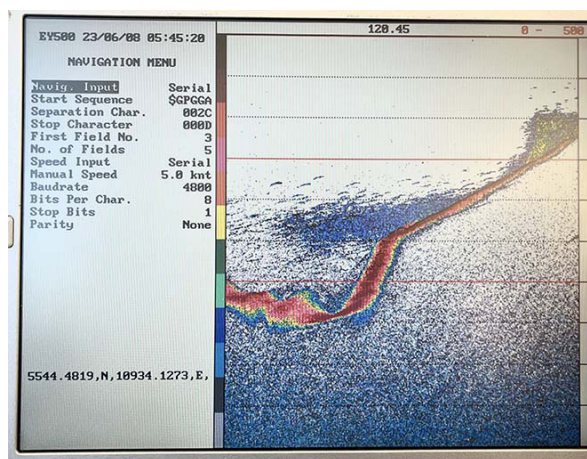


Рис. 8. 2023 г. Эхограмма пелагических и донных скоплений омуля на склоне. Диапазон глубин от 120 до 335 м.

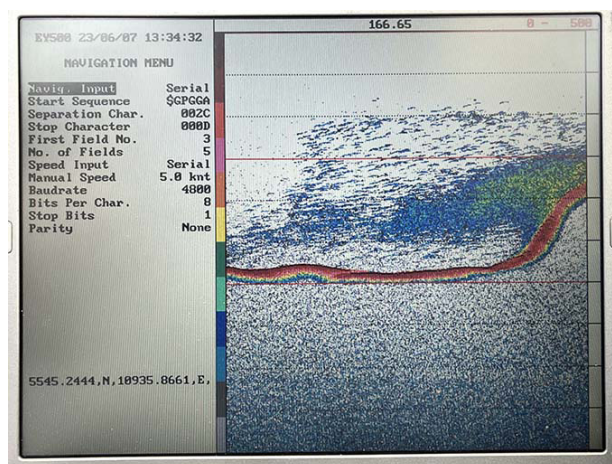


Рис. 9. 2023 г. Эхограмма плотных пелагических скоплений омуля. Диапазон глубин от 167 до 280 м.

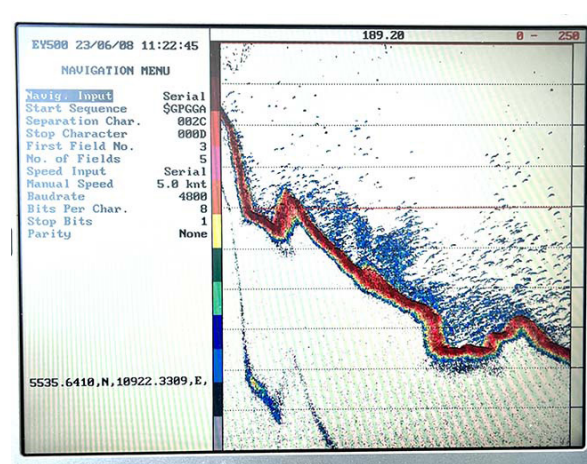


Рис. 10. 2023 г. Эхограмма пелагических и донных скоплений омуля на склоне. Диапазон глубин от 38 до 190 м.

Таблица 1. Результаты расчётов численности и биомассы омуля в пределах акватории гидроакустической съёмки 2021 г.

Дата	Площадь, га	Средняя плотность		Биомасса/Численность	
		кг/га	экз/га	тонн	экз.
03.06– 04.06.2021	14 695	67,3	432	992 ± 38	6 370 540 ± 347 225
04.06 – 06.06.2021	14 675	58,1	366	936 ± 30	5 924 275 ± 222 401
07.06 – 09.06.2023	14 686	65,9	374	969 ± 36	5 487 639 ± 184 000

Из таблицы видно, что с учётом доверительных интервалов численность и биомасса омуля на Северном Байкале на

протяжении последних трёх лет практически не изменялись и его запас остаётся достаточно стабильным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнительного анализа данных гидроакустических съёмок в пределах соответствующих границ и в пределах наименьшей акватории (акватория съёмки 2021 г.) показали, что с учётом доверительных интервалов, численность и биомасса омуля почти не изменились, что свидетельствует о достаточно стабильной ситуации его запаса на Северном Байкале на протяжении последних трёх лет после введения ограничений на его промысел в 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базов А.В. Очерки истории байкальских рыбных промыслов. М.: Изд-во ВНИРО, 2020. 292 с.

Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. Географическая информационная система «КартМастер» // Рыбн. хозяйство. 2007. № 1. С. 96–99

Гончаров С.М., Попов С.Б., Бондаренко В.М. и др. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности оценки его запаса в озере Байкал // Рыбн. хозяйство. 2008. № 3. С. 87–90

Гончаров С.М., Попов С.Б., Бизиков В.А. Гидроакустическая база данных и ГИС «КартМастер» в ресурсных исследованиях

// Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана: тезисы докладов. Материалы отраслевого семинара. Владивосток: ТИНРО-Центр, 23–27 сентября 2013. С. 89

Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геоэстатистика: теория и практика. М.: Наука, 2010. 327 с.

Мельник Н.Г., Смирнова-Залуми Н.С., Смирнов В.В. и др. Гидроакустический учёт ресурсов байкальского омуля. Новосибирск: Наука, 2009. 243 с.

Цыренддылыкова М.Ц., Коновалова В.В. Биологическая характеристика северобайкальской популяции байкальского омуля // Природа Внутренней Азии. 2023. № 1(23). С. 73–78

Юданов К.И., Калихман И.Л., Теслер В.Д. Руководство по проведению гидроакустических съёмок. М.: Изд-во ЦНИИТЭИлегпром, 1984. 124 с.

Kanevski M., Maignan M. Analysis and Modelling of Spatial Environmental Data, EPFL Press, Lausanne, Switzerland, 2004. 288. p.

MacLennan D.N., Fernandes P.G., Dalen J. A Consistent Approach to Definitions and Symbols in Fisheries Acoustics // ICES Jo. of Marine Science. 2002. V. 59. P. 365–369

**ASSESSMENT THE STATE OF THE OMUL STOCK
COREGONUS MIGRATORIUS IN THE WATERS
OF NORTHEN BAIKAL ACCORDING
TO HYDROACOUSTIC INVESTIGATIONS**

© 2023 y. S.M. Goncharov¹, S.B. Popov¹, V.A. Peterfeld², N.G. Klyuchareva¹

*1 – Russian Federal Research Institute of Fisheries
and Oceanography, Russia, Moscow, 105187*

*2 – Baikal Branch of the Russian Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography, Russia, Ulan-Ude, 670034*

Recently in Lake Baikal there was observed decrease in population of the most abundant species among commercial fish – Baikal omul (*Coregonus migratorius*). That is why restrictive measures have been imposed on its catches. A hydroacoustic method based on hydroacoustic surveys was used to assess the evolution of the Omul population during the period of restrictive measures in one of the most productive fishery areas – the Northern Baikal. This work represented the results of three-year hydroacoustic research (2021, 2022 and 2023) in the first decade of June. Taking into account the confidence intervals for estimating the number and biomass of Omul, the stock in Northern Baikal is quite stable. The omul spatial distribution on the investigated areas is also stable.

Key words: Baikal omul, Northern Baikal, hydroacoustic survey, number and biomass, surface density, spatial distribution, stock estimation.