

Keywords:

Lake Baikal, omul (*Coregonus migratorius*), hydroacoustic survey, surface density, biomass, abundance, echo sounder, GIS, hydroacoustic database

Результаты гидроакустических исследований байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) на рыбопромысловых акваториях озера Байкал с использованием отечественных информационных разработок

Рисунок 1. НИС «Г.Ю. Верещагин» / Figure 1. NIS "G.Yu. Vereshchagin"

DOI

Кандидат технических наук **С.М. Гончаров** – начальник отдела промысловой гидроакустики Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»); **С.Б. Попов** – главный специалист отдела промысловой гидроакустики Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»); кандидат биологических наук **В.А. Петерфельд** – руководитель Байкальского филиала «ВНИРО» (Россия)

@ sgonch@vniro.ru;
spopov@vniro.ru;
wrw2@yandex.ru

Ключевые слова:

Озеро Байкал, омуль (*Coregonus migratorius*), гидроакустическая съемка, поверхностная плотность, биомасса, численность, эхолот, ГИС, гидроакустическая БД

THE RESULTS OF HYDROACOUSTIC STUDIES OF THE BAIKAL OMUL (*COREGONUS MIGRATORIUS*) IN THE FISHING WATERS OF LAKE BAIKAL USING DOMESTIC INFORMATION DEVELOPMENTS

Candidate of Technical Sciences **S.M. Goncharov** – Head of the Department of Commercial Hydroacoustics of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO); **S.B. Popov** – Chief Specialist of the Department of Commercial Hydroacoustics of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO); Candidate of Biological Sciences **V.A. Peterfeld** – Head of Baikal Branch of VNIRO (Russia)

After many years of interruptions, sonar surveys of the main fishing areas of Lake Baikal were carried out: Selenginsky shallow water and Northern Baikal. When performing hydroacoustic research and data processing, a Simrad EY500 scientific echo sounder with a frequency of 70 kHz and with an ES 70-11 antenna (split beam), a domestic GIS "CartMaster" with a hydroacoustic database was used. In the area of the Selenginsky shallow water, accumulations of omul were recorded in the depth range from 70 to 300 meters. In the water area of 145,010 hectares, the number of omul was 11386970, and its biomass was 4108 tons. The maximum registrations of omul accumulations per unit of distance traveled on Northern Baikal were higher compared to the Selenga shallow water. The densest accumulations of omul were recorded in the depth range from 120 to 250 meters. In the water area of 14695 hectares, the number of omul was 6370,540, and its biomass was 992 tons.

The results of hydroacoustic surveys turned out to be comparable with the results of biological studies and on the basis of which it can be assumed that the decline in abundance and biomass has stopped. There is an increase in spawning herds and the number of larvae, which means that we can expect an increase in the total biomass in the foreseeable future.

Озеро Байкал – достояние всего человечества, древнейшее озеро на планете, обладающее крупнейшими запасами пресной воды и уникальными природными ресурсами. Задача сохранения его ресурсов является самой актуальной проблемой, стоящей

не только перед Российской Федерацией, но и всем миром. Регулярный гидроакустический мониторинг на акваториях озера позволит с высокой степенью достоверности контролировать рыбные запасы озера, самым многочисленным среди

которых является байкальский омуль (*Coregonus migratorius*).

Гидроакустический метод количественной оценки рыбных запасов на внутренних водоемах, основанный на проведении гидроакустических съемок, нашел широкое применение во многих странах мира [3; 5; 7]. Он позволяет достаточно оперативно и полно проводить мониторинг рыбных запасов, и альтернативы ему нет. При проведении гидроакустической съемки производится запись эхосигналов в вертикальном направлении вдоль маршрута следования судна. Маршрут судна представляет собой заранее спланированную сетку галсов.

Цель гидроакустической съемки – получение адекватной картины распределения и оценки рыбных биомасс на обследованной акватории, как для всех видов ихтиоценоза, так и для каждого вида в отдельности. Данные о распределении рыб необходимы для выявления природных закономерностей образования, поведения и распада концентраций, в зависимости от условий среды обитания, оценки антропогенного воздействия на водоем. Достоверные сведения о рыбной биомассе необходимы для оценки запасов и при решении задачи краткосрочного прогнозирования. Для повышения достоверности результатов съемки необходимо ее тщательное планирование, подготовка аппаратных средств и выбор

После многолетнего перерыва проведены гидроакустические съемки основных рыбопромысловых районов о. Байкал: Селенгинское мелководье и Северный Байкал. При выполнении гидроакустических исследований и обработки данных использовался научный эхолот Simrad EY500 с частотой 70 кГц и с антенной ES 70-11 (расщепленный луч), отечественная ГИС «КартМастер» с гидроакустической БД. В районе Селенгинского мелководья скопления омуля регистрировались в диапазоне глубин от 70 до 300 метров. На акватории площадью 145010 га численность омуля составила 11386970 экз., а его биомасса – 4108 тонн. Максимальные регистрации скопления омуля на единицу пройденного пути на Северном Байкале были выше, по сравнению с Селенгинским мелководьем. Наиболее плотные скопления омуля регистрировались в диапазоне глубин от 120 до 250 метров. На акватории площадью 14695 га численность омуля составила 6370540 экз., а его биомасса – 992 тонны. Результаты гидроакустических съемок оказались сопоставимыми с результатами биологических исследований, на основании которых можно предположить, что падение численности и биомассы прекратилось. Наблюдается рост нерестовых стад и количества личинок, а значит можно ожидать увеличения общей биомассы в обозримом будущем.



Рисунок 2. Моторный катер (дв. Хонда 250 л.с.)
Figure 2. Motor boat (engine Honda 250 hp)



Рисунок 3. Карта распределения значений поверхностной плотности (кг/га) омуля вдоль галсов съемки на акватории Селенгинского мелководья (площадь акватории 145010 га)

Figure 3. Map of the distribution of the values of the surface density (kg/ha) of the omul along the tracks of the survey in the water area of the Selenginsky shoal (the area of the water area is 145010 hectare)

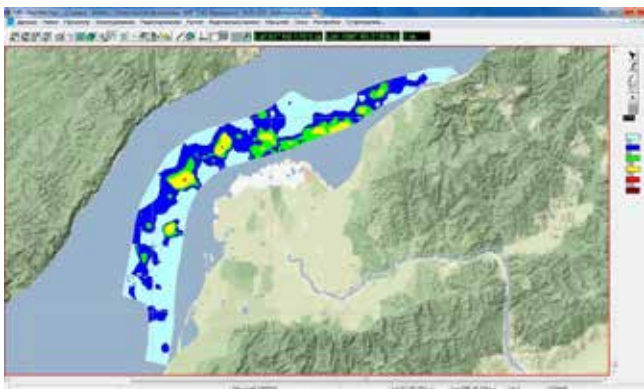


Рисунок 4. Карта распределения биомассы омуля в размерности кг/га на Селенгинском мелководье

Figure 4. Map of the distribution of omul biomass in the dimension of kg/ha in the Selenginsky shallow water

правильных алгоритмов обработки записанных эхосигналов. Поэтому задача гидроакустической съемки – не только ее непосредственное проведение, но и подготовительные мероприятия, включающие планировку галсов, калибровку аппаратуры, а также процесс обработки данных съемки с помощью современных постпроцессинговых систем (ППС) и геоинформационных систем (ГИС).

В период конца мая - начала июня 2021 г. специалистами центрального аппарата ФГБНУ «ВНИРО» и его Байкальского филиала были проведены гидроакустические съемки на традиционных рыбопромысловых акваториях озера, а именно – на Селенгинском мелководье и Северном Байкале. Следует отметить, что данные гидроакустические ресурсные съемки были проведены после многолетнего перерыва.

Обоснование таких работ:

- Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 01.05.1999 N 94-ФЗ (с изменениями на 18 июля 2019 года);

- Федеральный проект «Сохранение озера Байкал», входящий в национальный проект «Экология» (срок реализации проекта 01.01.2019 – 31.12.2024)

Для проведения гидроакустических съемок на рыбопромысловых акваториях озера Байкал использовался научный эхолот EY500 (Simrad) с частотой заполнения ультразвукового импульса посылки 70 кГц и антенной ES 70-11 (ширина диаграммы направленности 11°) с расщепленным лучом. Скорость движения судна, при проведении гидроакустических съемок, составляла 9-10 км/ час. Съемка на акватории Селенгинского мелководья была выполнена на НИС «Верещагин». Работы на Северном Байкале были выполнены на моторном катере, оснащенный мотором Хонда 250 л.с. Фотографии судов представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Для расчета значений поверхностных плотностей, вдоль галсов съемки использовался метод эхоинтегрирования. В основе этого метода лежит интегрирование эхосигналов в вертикальном направлении внутри заданного слоя и последующее усреднение в горизонтальном направлении вдоль маршрута следования судна. Результатом постпроцессинговой обработки являются значения коэффициентов поверхностного обратного рассеяния (Area backscattering coefficient) sa в размерности $m^2/га$.

Все расчеты численности и биомассы омуля, в пределах обследованных акваторий, были выполнены программными средствами, разработанными в центральном аппарате ФГБНУ «ВНИРО», а именно – гидроакустической БД (ГАБД), созданной на базе СУБД PostgreSQL и интегрированной в нее геоинформационной системой (ГИС) «КартМастер» [1], с помощью которой можно наглядно представлять хранимые данные, как в картографических проекциях, так и в табличном виде, производить с данными различные математические расчеты и проводить комплексный анализ.

После внесения результатов интегрирования и контрольных обловов в гидроакустическую базу данных (ГАБД), автоматически были рассчитаны значения поверхностных плотностей омуля в размерностях экз/га и кг/га на каждом интервале эхоинтегрирования, для этого были использованы зависимости силы цели (TS, ДБ) от длины рыбы (L, см) [2]

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

и эмпирической зависимостью веса омуля (w , гр) от его длины (L, см), полученной по результатам контрольных обловов на акватории Селенгинского мелководья

$$w = 0,0046 * L^{3,2776}$$

и на акватории Северного Байкала:

$$w = 0,028 * L^{2,6263}$$

Таблица 1. Результаты расчетов плотности, численности и биомассы байкальского омуля *Coregonus migratorius* на акваториях Селенгинского мелководья и Северного Байкала /
Table 1. Results of calculations of the density, abundance and biomass of the Baikal omul *Coregonus migratorius* in the waters of the Selenginsky shoal and Northern Baikal

Подрайон	Площадь, га	Среднее значение плотности		Биомасса/численность	
		кг/га	экз/га	тонн	экз
Селенгинское мелководье	145 010	27,0	74,4	4 108 ± 83	11 386 971 ± 373830
Северный Байкал	14 695	67,3	432,2	992 ± 19	6 370 540 ± 171020

Таблица 2. Прогнозируемые оценки численности и биомассы байкальского омуля (общее стадо) и полученные по результатам акустической съемки /
Table 2. Projected estimates of the number and biomass of the Baikal omul (total herd) and obtained from the results of acoustic survey

Оценки	Численность, тыс. экз.	Биомасса, т
Прогнозируемые (весь Байкал)	35637	8746
Акустика (два промрайона)	17758	5100

Контрольные обловы были выполнены порядками ставных сетей длиной 168 м, с размером ячеи 14-40 мм. В обловах присутствовал только омуль.

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):

$$W = \int_S \rho_a dS,$$

где ρ_a – значения поверхностной плотности на интервалах интегрирования.

В качестве интерполятора, при построении планшетов распределений плотности, использовался геостатистический метод линейной интерполяции «Кригинг» [4; 6]. Общепринято сопровождать оценку запаса величиной ошибки или доверительным интервалом. Для этого был использован статистический анализ исходных данных (измеренных значений поверхностных плотностей омуля на интервалах интегрирования) [3].

Гидроакустическая съемка на акватории Селенгинского мелководья была выполнена в период с 25.05.2021 г. по 28.05.2021 года. Скопления омуля регистрировались в диапазоне глубин от 70 до 300 метров. Наибольшие его концентрации отмечались в слое от 100 до 250 метров. Омуль регистрировался в придонном и пелагическом слое, причем наибольшие скопления были зарегистрированы в придонном слое. Модальные значения размерных групп, по гидроакустическим оценкам эхолота EY500, увеличивались с ростом глубины. **На акватории площадью 145010 га численность омуля составила 11386971 ± 373830 экз., а его биомасса 4108 ± 83 тонн.**

На рисунке 3 отображена карта распределения значений поверхностной плотности (кг/га)

омуля вдоль галсов гидроакустической съемки на акватории Селенгинского мелководья. Пространственное распределение биомассы омуля, в размерности кг/га, представлена на рисунке 4.

Гидроакустическая съемка на акватории Северного Байкала была выполнена в период с 03.06.2021 по 04.06.2021 года. Следует отметить, что регистрации скоплений омуля на единицу пройденного пути на Северном Байкале были выше по сравнению с Селенгинским мелководьем. Скопления омуля регистрировались в диапазоне глубин от 120 до 250 метров. **На акватории площадью 14695 га численность омуля составила 6370540 ± 171020 экз., а его биомасса – 992 ± 19 тонны.**

На рисунке 5 представлена карта распределения значений поверхностной плотности (кг/га)

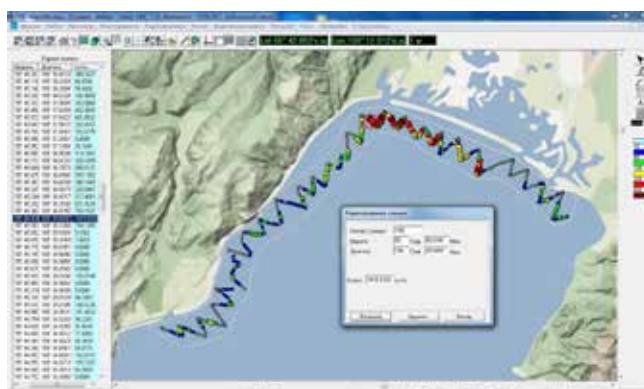


Рисунок 5. Карта распределения значений поверхностной плотности (кг/га) омуля вдоль галсов гидроакустической съемки на акватории Северного Байкала (площадь акватории 14695 га)

Figure 5. Map of the distribution of the values of the surface density (kg/ha) of the omul along the tracks of the sonar survey in the water area of Northern Baikal (the area of the water area is 14695 ha)



Рисунок 6. Карта распределения биомассы омуля в размерности кг/га на акватории Северного Байкала

Figure 6. Map of the distribution of omul biomass in the dimension of kg/ha in the water area of Northern Baikal

омуля вдоль галсов гидроакустической съёмки на акватории Северного Байкала, пространственное распределение омуля в той же размерности, в пределах акватории съёмки, отображено на рисунке 6.

В таблице 1 представлены результаты расчетов плотности, численности и биомассы байкальского омуля *Coregonus migratorius* на акваториях Селенгинского мелководья и Северного Байкала.

Средние значения поверхностной плотности биомассы (кг/га) и численности (экз/га) омуля на Селенгинском мелководье оказались существенно ниже значений на акватории съёмки Северного Байкала: по численности – в 5,8 раза, а по биомассе – в 2,5 раза, что свидетельствует о преобладании более крупных особей на Селенгинском мелководье по сравнению с Северным Байкалом. Распределение скоплений омуля на акватории Северного Байкала, по сравнению с Селенгинским мелководьем, было менее равномерным, и наибольшие концентрации были локализованы в самой северной части акватории.

Одновременно с проведением акустической съёмки, Байкальским филиалом «ВНИРО» были проведены расчеты численности и биомассы байкальского омуля в рамках работ по оценке запасов и определения общих допустимых уловов основных промысловых видов рыб оз. Байкал. В условиях продолжающегося запрета на промышленный лов эндемика, определение численности и биомассы по традиционным моделям, принятым «ВНИРО» после 2017 г. (год введения моратория на лов байкальского омуля), оказался невозможен. Расчет проводился на основе зависимости количества личинок (численность поколения) и количеством рыб этого поколения, впервые участвующих в промысле за 23 года наблюдений (1995-2017 гг.). Суть данного подхода состоит в том, что ежегодное количество личинок омуля, поступающих в Байкал, известно из учетных работ, проводимых «БайкалНИРО» на протяжении последних 50 лет. Известно также и количество рыб этого поколения, которые начинают встречаться в промысловых уловах (как правило

в двухлетнем возрасте). На основании такой зависимости рассчитывалась выживаемость от личинки до рыб, вступающих в промысел. Так как в настоящее время промышленный лов омуля не ведется, дальнейшие расчеты численности и биомассы промыслового запаса, который включает в себя рыб всех старших возрастов, проводились, исходя из естественной смертности.

Представляется важным сравнить оценки, полученные разными методами – акустическим и описанным выше. Полученные эмпирическим путем значения численности и биомассы байкальского омуля в 2021 г. и по данным акустического учета приведены в таблице 2.

С учетом того, что акустическая съёмка была проведена не на всей акватории озера (не обследованы Маломорский и Баргузинский промрайоны, а также Академический хребет), можно утверждать, что значения численности и биомассы байкальского омуля, посчитанные разными методами, не противоречат друг другу.

Полученные результаты внушают осторожный оптимизм в отношении состояния запасов байкальского омуля. Падение численности и биомассы прекратилось. Наблюдается рост нерестовых стад и количества личинок, а значит можно ожидать увеличения общей биомассы в обозримом будущем.

Выражаем искреннюю благодарность сотруднику Лимнологического института СО РАН за содействие и помощь, оказанную при установке и демонтаже гидроакустического оборудования на борту НИС «Г.Ю. Верещагин».

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Бизиков В.А. Географическая информационная система «Картамастер». // В.А. Бизиков, С.М. Гончаров, А.В. Поляков // Рыбное хозяйство. – 2007. – № 1. – Стр. 96-99.
1. Bizikov V.A. Geographical information system "Cartmaster". // V.A. Bizikov, S.M. Goncharov, A.V. Polyakov // Fisheries. - 2007. - No. 1. - Pp. 96-99.
2. Гончаров С.М. Измерение силы цели байкальского омуля для повышения точности оценки его запаса в озере Байкал. // С.М. Гончаров, С.Б. Попов, В.М. Бондаренко, Н.Г. Мельник // Рыбное хозяйство. – 2008. – № 3. – Стр. 87-90.
2. Goncharov S.M. Measurement of the target strength of the Baikal omul to improve the accuracy of its stock assessment in Lake Baikal. // S.M. Goncharov, S.B. Popov, V.M. Bondarenko, N.G. Melnik // Fisheries. - 2008. - No. 3. - Pp. 87-90.
3. Юданов К.И. Руководство по проведению гидроакустических съёмок. / К.И. Юданов, И.Л. Калихман, В.Д. Теслер – М: ВНИРО, 1984. – 124 с.
3. Yudanov K.I. Guide to conducting sonar surveys. / K.I. Yudanov, I.L. Kalikhman, V.D. Tesler - M: VNIRO, 1984. - 124 p.
4. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геоэкология: теория и практика. // В.В. Демьянов, Е.А. Савельева. – Наука. 2010. – с.50; с. 64-134.
4. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. Geostatistics: theory and practice. // V.V. Demyanov, E.A. Savelyeva. – Science. 2010. – с.50; с. 64-134.
5. Johannesson K.A., Mitson R.B. Fisheries acoustics. A practical manual for aquatic biomass estimation. FAO fisheries technical paper 240. Rome, 1983. – Pp. 249.
6. Kanevski Mikhail and Maignan Michel, Analysis and Modelling of Spatial Environmental Data, EPFL Press, Lausanne, Switzerland. 2004. ISBN 0-8247-5981-8. – Pp.288.
7. Simmonds J., MacLennan D. Fisheries Acoustics. Theory and Practice. Second edition. Published by Blackwell Science Ltd. 2005. – Pp.437.