

Acoustic-trawl studies of the *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) in the Selenga shallow water zone of Lake Baikal, 2023

Anoshko P.N., Dzyuba E.V.*, Kucher K.M., Nebesnykh I.A., Smolin I.N., Khanaev I.V., Makarov M.M.

Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Batorskaya Str., 3, Irkutsk, 664033, Russia

ABSTRACT. Study of peculiarities of distribution of aggregations and size-age structure of the Baikal omul feeding stock in the Selenga shallow water zone of Lake Baikal were studied using the hydroacoustic method in combination with control trawls. Comparative analysis of the results of 2023 with the data of 2015-2022 showed significant changes in the general character of distribution of the Baikal omul aggregations in the water area and depth. Standard length of fish from different shallow water zones ranged from 10 to 39 cm with a sample median of 17 cm. In terms of weight, individuals of 18-26 cm in length were dominant. A “length-age” equation allows making an operational assessment of age class abundance correlation based on the probability of assigning individuals of a certain length to them. It is shown that 3-5 years old fish form the basis of the biomass of feeding stock in the Selenga fishing zone. A significant proportion of young fish indicates that there is sufficient recruitment to increase the biomass of the Baikal omul stock in 5 years perspective.

Keywords: *Coregonus migratorius*, hydroacoustic method, control trawls, size-age structure, “length-age” relationship, stock assessment, Lake Baikal

1. Introduction

The Baikal omul *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) habitats mainly to a depth of 350 m. The largest fish concentrations are formed in the zone of underwater slope in winter, in the coastal zone in the spring-summer season, and in the open pelagic zone in the summer-autumn warming of waters. The Selenga shallow water adjacent to the Selenga River delta is one of the main fishing areas of Lake Baikal, where, according to estimates obtained as a result of hydroacoustic studies (Melnik et al., 2009), a significant part (up to 50% and more) of the total stocks of this species is concentrated due to the extensive areas of the shallow water with depths favorable for its habitat. Areas with depths up to 300 m in Baikal are traditionally considered as “shallow water” in contrast to the deep water zone with depths up to 1600 m. The Selenga and Posolsky populations form the basis of the commercial stock here, spawning of these fish occurs in the Selenga River and the rivers of the Posolsky Sor, respectively.

The Selenga population of the Baikal omul migrates actively in the waters of southern and middle basins of the lake, and at certain years, fish entered wide-scale the Maloye More Strait are observed. Its

stocks are intensively exploited by both industrial and recreational fisheries. The Posolsky Sor population of the Baikal omul is predominantly distributed in deeper waters. Until recently, individuals, which were in the period of spawning shoals and spawning migration, were the base of this population fishery. A significant share of the Posolsky omul is caught for artificial reproduction purposes determining its stock dynamics. Recently, recreational fishermen have mastered the catch of omul during the feeding period up to 200 m depth.

Developing and improving approaches to fisheries management in a changing environment (Anneville et al., 2015; DeVanna et al., 2016; Zhang et al., 2018) has received particular attention in many countries (Marchal et al., 2016; Jayasinghe et al., 2017). Relevance of reliable assessment of quantitative parameters of the state of populations of commercial hydrobionts is caused by increase of anthropogenic impact on the environment and need to ensure the restoration of bioresources. Fishery enterprises that provide employment of population are town-forming enterprises in many regions of the country. This is especially important for regions where fishing is the main source of the population life support. Since October

*Corresponding author.

E-mail address: e_dzyuba@lin.irk.ru (E.V. Dzyuba)

Received: August 12, 2023; **Accepted:** August 23, 2023;

Available online: August 25, 2023

2017, a ban on commercial and recreational fishing of the Baikal omul, the main commercial species of Lake Baikal, has been introduced (Order ..., 2014). Against this background, depressed reserves of the Baikal omul and restrictions on its catch, the amount of research work devoted to this problem is clearly insufficient. Under conditions of climatic changes, the migratory behavior of fish has been significantly transformed, which is probably caused by the established adaptive mechanisms. Changes in behavioral pattern have occurred periodically in the past, for example, changes in “resting” of the Baikal omul in the Maloye More Strait, which is the main fishing area of Lake Baikal in Irkutsk region. The dependence of fish migrations on climatic conditions is currently beyond doubt (Smirnov et al., 2012; Smirnov et al., 2013), but requires more detailed studies. Hydroacoustic surveys of the main fishing areas including the Selenga shallow water are carried out on a regular basis (Melnik et al., 2009; Makarov et al., 2012; Goncharov et al., 2022). The obtained data enable not only to conduct a comparative analysis of the peculiarities of distribution of aggregations and size-age structure of the Baikal omul feeding stock in this water zone, but also provide an opportunity to predict changes in biomass.

The aim of this work is to analyze the structure of the Baikal omul feeding stock in the Selenga shallow water zone based on 2023 data.

2. Materials and methods

The hydroacoustic survey in the Selenga fishing area of Lake Baikal was conducted during the spring warm-up period from May 21- 27, 2023. The R/V “G.Yu.Vereshchagin” moved according to a standard tack grid (Fig. 1) with depth ranges from 50 to 400 m. The total length of tacks was more than 230 km. The survey was carried out with hydroacoustic complex “Echo-Baikal” representing software and hardware combination of modernized echo sounder Furuno FCV-1100 (Japan) and author’s software. The complex operated in dual-frequency mode with the following parameters: probing signal frequency 28 and 200 kHz, pulse duration 1.0 ms, single-target selection threshold -52dB. Calibration of the hydroacoustic complex was carried out according to the standard method (Simrad, 2001) using a copper sphere with a diameter of 60 mm with calculated value of target strength (TS) equal to -33.61 dB. Control trawls were conducted using a multi-depth trawl (vertical opening up to 10 m, 17.5 m bottom opening) after 4-5 tacks and detection of fish aggregations.

Control of trawl operation (opening, trajectory of movement relative to the bottom and fish aggregations) was carried out using synchronized depth recording sensors placed on the upper and lower picks. Sensors were calibrated before trawling using the cross-calibration method with a two channel submersible temperature and depth logger RBRduet³ T.D. (Canada). After lifting the trawl on board, data were read via Bluetooth wireless interface.

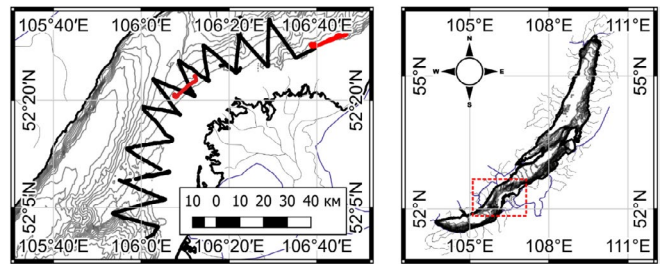


Fig.1. Standard tack grid (in black) of the acoustic survey. Sites of productive trawls (in red)

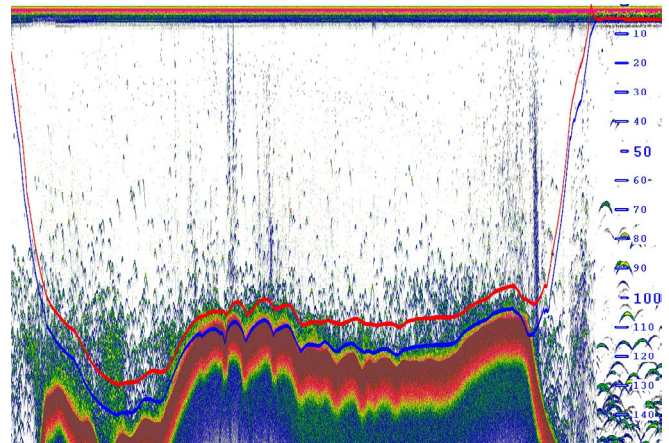


Fig.2. Echogram of the bottom trawling mode (trawl №4). Trajectory of the lower (in blue) and upper (in red) wings

Four bottom trawls were conducted by bottom trawling (Fig. 2). The size composition of fish in the Baikal omul feeding stock was studied based on the data of successful trawl catches (Nos. 2 and 4), measurements of fish from trawls Nos. 1 and 3 were additionally used to estimate biomass (Table). Fish length measurements were taken accurate within 1 cm. Sampled fish weights were obtained using the “length-weight” relationship $Wg = 10.9(SL_{dm})^{3.02}$, where Wg is weight in grams, SL_{dm} is standard length in decimeters (Anoshko et al., 2022). A total of 1258 specimens of the Baikal omul were included in the analysis.

3. Results and discussion

Distribution. The distribution of the Baikal omul in the Selenga shallow water area generally corresponded to the winter-spring distribution, the main aggregations were concentrated at depths of 100-300 m. Denser fish aggregations were observed in the underwater slope zone. During the daytime, sparse aggregations were recorded at depths of about 200-250 m. In the upper layers from 100 to 150 m, fish formed small dense (unresolved) aggregations that dispersed at night (Fig. 3).

Comparative analysis of the hydroacoustic survey results of the Selenga shallow waters with similar data from 2015-2022 showed that the general character of the distribution of the Baikal omul aggregations in the water area and depth has significantly changed in 2023. The omul accumulations were more active in comparison with the previous research years. Their redistribution from south to north was recorded,

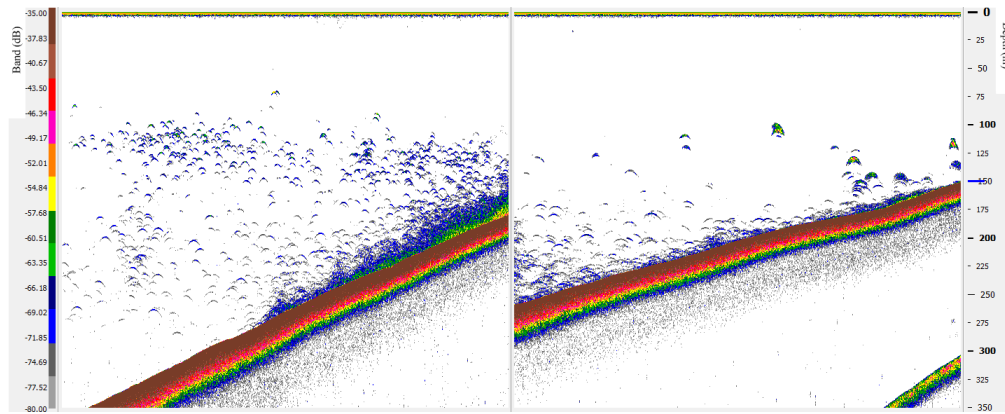


Fig.3. Echograms of the Baikal omul aggregations according to the night survey (from the left) and the day survey (from the right) on May 25-26, 2023

caused probably by the peculiarities of the coastal zone warming due to the arrival of the warmer Selenga River waters in the spring-summer period of 2023.

Size composition. Based on trawl catches in different shallow water zones, the standard length of fish from the feeding stock ranged from 10 to 39 cm with the sample median of a size equal to 17 cm. Representative samples (Fig. 4) had a similar distribution of individuals by size class. Sample from the northern part of the zone was characterized by a large number of small (10-13 cm) and largest (more than 25 cm) individuals. Sample from the middle part was dominated by fish 14-24 cm in length.

Weight composition. Analysis of weight characteristics of fish from all trawl fisheries obtained using “length-weight” relationship (Anoshko et al., 2022) showed that size classes dominant by weight were individuals of 18-26 cm in length (Fig. 5). The sample median was 102 g with fish length corresponding to a size class of 21 cm.

Age composition. The local modes (abundance peaks) of 11, 14, 18, and 21 cm that can be identified in the frequency histograms (Fig. 4), in our opinion, correspond to the age classes of 1-4 years old. To confirm this we used the “length-age” regression relationships (Fig. 6) based on the trawl catch data of 2023 and the TACs data (Materials ..., 2017). The following relations are obtained: $T = 0.0071SL^{2.1}$ and $T = 0.0079SL^{2.0}$, where T – is the age in years, SL – is fish length in cm. Age in years for the Baikal omul is proportional to length SL close to 2, i.e. to the square of length.

“Length-age” ratio ($T = 0.0071SL^{2.1}$) enables to conduct rapid estimation of age class abundance ratio based on the probability of assigning individuals of a certain length to them (Fig. 7). The histogram

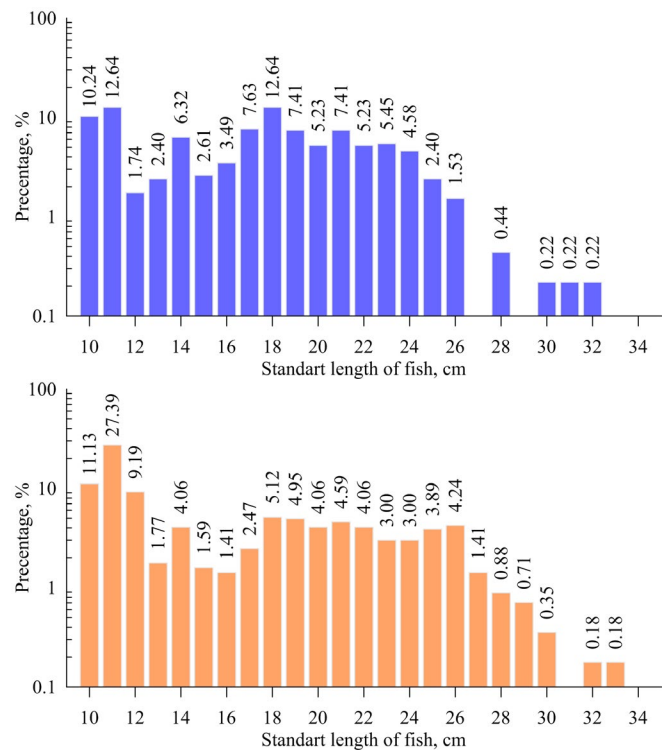


Fig.4. Size composition of catch based on data from trawl №2 (upper) and trawl №4 (bottom).

Table. Trawl parameters and material structure

Trawl no.	Trawling coordinates		Time of trawling		Depth of trawling, m	Sampling volume, spec.
	Beginning, Lat°N/Lon°E	Ending, Lat°N/Lon°E	Beginning	Ending		
1	52.16228/105.96628	52.16231/105.96627	12:20	13:50	145	112
2	52.38949/106.20513	52.34594/106.12876	10:10	12:10	150	461
3	52.48270/106.76392	52.46015/106.6544	22:50	00:50	140	119
4	52.48481/106.77041	52.46027/106.6444	02:10	04:20	140	566
Total, spec.						1258

is constructed only up to 7 years of age due to low representation of fish with sizes corresponding to older ages. It should be noted that it is the younger age groups of fish that are more important for predicting stock biomass. The dependence demonstrates a trend of exponential decrease in abundance of fish proportion with its age. The degree coefficient of 0.33 is analogous to instantaneous mortality coefficient. However, in this case it reflects the trend caused by total mortality (natural and by-catch), the level of recruitment in different years and migration patterns of older individuals. The share of the two-year-olds in catches showed a sharply deviating value from the obtained trend. It can be assumed that the hatching generation of 2021 gave a relatively low recruitment to population. However, other reasons cannot be excluded, such as heterogeneous distribution of fish size classes in the water area, as well as conditions that facilitated the migration of fish of this generation to other areas.

The biomass peak of each generation occurs in fish of 7-8 years age (Sokolov and Peterfeld, 2011) with 25-35 cm in length. However, their weight proportion in our catches was relatively low, indicating a period of low recruitment in the respective generations. Weight of fish with 18-26 cm in length may triple for three years, but, according to the natural mortality rates, (Materials ..., 2023) fish abundance will decrease by half. Consequently, a 1.5-fold increase in reserves of the Selenga region can be expected in the medium term from 3 to 5 years.

Against the background of extremely high estimates of the annual reproduction rate in 2001-2010, there was a decline in the Baikal omul stocks in 2007-2019, totally 3.24 milliard larvae in Baikal (Materials ..., 2017). Downstream migration of larvae in the Selenga River and rivers of the Posolsky Sor averaged 1.729 milliard in 2008-2013, and decreased to 0.640 milliard in 2018-2020 (Materials ..., 2023). At the same time, the basis of the biomass of the Baikal omul in the Selenga shallow water in May-June 2023 contained individuals aged 3-5 years, i.e. the hatching generation of 2018-2020. This indicates the recruitment sufficient to increase the biomass of the stock in the future. Probably, low reproductive rates are not catastrophic for the Baikal omul stocks, and level of fish mortality in the first year of life is of greater importance.

4. Conclusion

Comparative analysis of the results of 2023 with the data of 2015-2022 showed significant changes in the general character of distribution of the Baikal omul aggregations in the water area and depths of the Selenga shallow water. Analysis of mass measurements using “length-weight” and “length-age” correlation enables to make an operational assessment of ratio of age class abundance and to formulate middle-term forecast. The standard length of fish ranged from 10 to 39 cm, individuals with 18-26 cm were dominant in terms of weight. Thus, the feeding stock of the Baikal omul was characterized by a significant share of juveniles despite the low level of natural reproduction.

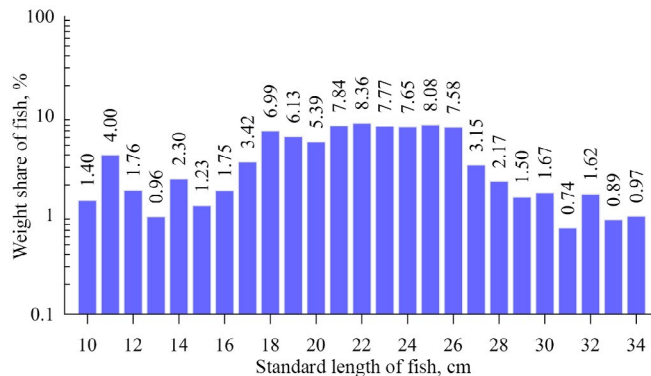


Fig.5. Weight composition based on data of trawls Nos. 2 and 4.

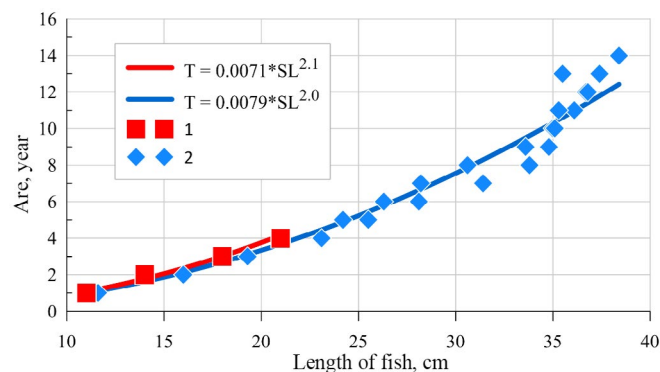


Fig.6. “Length-age” correlation of fish of the Selenga population obtained from: 1 - abundance peaks, our data and 2 - age determination by scale (Materials ..., 2017).

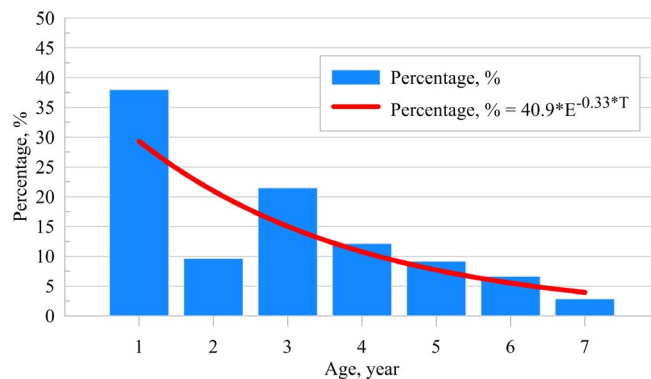


Fig.7. Correlation of age classes of the Baikal omul according to trawl catches data.

This indicates that there is sufficient recruitment to increase the biomass of the Baikal omul stock in 1.5 times in a 5-year period.

The size of reproduction is an important condition for stock recovery, but not a determinant. In the previous period high level of reproduction did not allow ensuring stable stock indices against the background of the traditional Baikal structure. Low reproduction rate of 0.73 milliard larvae in 2016-2020 provides positive dynamics of increase in the Baikal omul stocks, but does not allow quickly restoring them to the level of ecological capacity of Lake Baikal. Therefore, it is an urgent issue to study the factors determining the level of mortality of the Baikal omul in the first year of life, which further will allow correct regulation of its stocks.

Acknowledgements

The work was supported by the State projects Nos. 0345–2019–0002 and 0279-2022-0004.

Conflict of interest

The authors declare that they have no competing interests.

References

Anneville O., Lasne E., Guillard J. et al. 2015. Impact of fishing and stocking practices on Coregonid diversity. *Food and Nutrition Sciences* 6: 1045-1055. DOI: [10.4236/fns.2015.611108](https://doi.org/10.4236/fns.2015.611108)

Anoshko P.N., Makarov M.M., Ustarbekova D.A. et al. 2022. Ratio “length-weight” in the Baikal omul *Coregonus migratorius* in the fattening period of the Selenga shallow water zone of Lake Baikal. *South of Russia: ecology, development* 17(1): 17-23. DOI: [10.18470/1992-1098-2022-1-17-23](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-17-23)

DeVanna Fussell K.M., Smith R.E.H., Fraker M.E. et al. 2016. A perspective on needed research, modeling, and management approaches that can enhance Great Lakes fisheries management under changing ecosystem conditions. *Journal of Great Lakes Research* 42: 743-752. DOI: [10.1016/j.jglr.2016.04.007](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.04.007)

Goncharov S.M., Popov S.B., Peterfeld V.A. et al. 2022. Results of resource hydroacoustic surveys of the Baikal omul in fishery water areas of Lake Baikal in the spring-summer period of 2022. *Trudy VNIRO. [Proceedings of VNIRO]* 190: 186-192. DOI: [10.36038/2307-3497-2022-190-186-192](https://doi.org/10.36038/2307-3497-2022-190-186-192) (In Russian)

Jayasinghe R.P.P.K., Amarasinghe U.S., Newton A. 2017. Evaluation of status of commercial fish stocks in European marine subareas using mean trophic levels of fish landings and spawning stock biomass. *Ocean and Coastal Management* 143: 154-163. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2016.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.07.002)

Makarov M.M., Degtev A.I., Kucher K.M. et al. 2012. Estimation of abundance and biomass of the Baikal omul by trawl-acoustic method. *Doklady Biological Sciences* 447: 363–366. DOI: [10.1134/S0012496612060051](https://doi.org/10.1134/S0012496612060051)

Marchal P., Andersen J.L., Aranda M. et al. 2016. A comparative review of fisheries management experiences in the European Union and in other countries worldwide: Iceland, Australia, and New Zealand. *Fish and Fisheries* 17(3): 803-824. DOI: [10.1111/faf.12147](https://doi.org/10.1111/faf.12147)

Melnik N.G., Smirnova-Zalumi N.S., Smirnov V.V. et al. 2009. Hydroacoustic accounting of the Baikal omul resources. Novosibirsk: Nauka. 244 p. (In Russian)

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated November 7, 2014 N 435. 2014. “On Approval of Fishing Rules for the Baikal Fishery Basin”. URL: <http://base.garant.ru/70818098> (In Russian)

Materialy, obosnovyvyayushchiye obshchedopustimyye ulovy vodnykh biologicheskikh resursov v ozere Baykal (s vpadayushchimi v nego rekami) na 2024 g. (s otsenkoy vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu) [Materials justifying the total allowable catches of aquatic biological resources in Lake Baikal (with the rivers flowing into it) for 2024 (with an assessment of the impact on the environment)]. 2023. URL: http://baikal.vniro.ru/images/байкал_оду_2024_для_ос.pdf (date of reference: 29.09.2023). (in Russian)

Materialy, obosnovyvyayushchiye obshchiye dopustimyye ulovy vodnykh biologicheskikh resursov v ozere Baykal (s vpadayushchimi v nego rekami) na 2018 g. (s otsenkoy vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu) (dlya obshchestvennykh slushaniy) [Materials justifying the total allowable catches of aquatic biological resources in Lake Baikal (with rivers flowing into it) for 2018 (with environmental impact assessment) (for public hearings)]. 2017. URL: <http://ольхонский-район.пф/tinybrowser/files/novosti/odu-na-2018-god-dlya-obschestvennyh-slushaniy.pdf> (date of reference: 15.01.2020). (in Russian)

Simrad. 2001. EK60 Scientific echo sounder instruction manual, Simrad Subsea A/S, Horten, Norway. 246 pp.

Smirnov V.V., Smirnova-Zalumi N.S., Sukhanova L.V. 2012. Fishery management of omul (*Coregonus autumnalis migratorius*) as part of the conservation of ichthyofauna diversity in Lake Baikal. *Pol.J.Natur Sc.* 27(2): 203-214.

Smirnov V.V., Smirnova-Zalumi N.S., Orlov S.I. 2013. Current trends in the distribution and commercial catches of the Baikal omul *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). *Izvestia ISU. Series “Biology. Ecology”* 6(3.1): 63-67. (In Russian)

Sokolov A.V., Peterfeld V.A. 2011. Methodological aspects of fishery monitoring of the state of the Lake Baikal omul stocks. *Izvestia KSTU.* 22: 182-189. (In Russian)

Zhang F., Reid K.B., Nudds T.D. 2018. Effects of walleye predation on variation in the stock-recruitment relationship of Lake Erie yellow perch. *Journal of Great Lakes Research* 44: 805-807. DOI: [10.1016/j.jglr.2018.05.007](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.05.007)

Акустико-траловые исследования байкальского омуля на Селенгинском мелководье озера Байкал 2023 г.

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGY

www.limnolfwbiol.com

Аношко П.Н., Дзюба Е.В. *, Кучер К.М., Небесных И.А., Смолин И.Н., Ханаев И.В., Макаров М.М.

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

АННОТАЦИЯ. Исследование особенностей распределения скоплений и размерно-возрастной структуры нагульного стада байкальского омуля в Селенгинском мелководье оз. Байкал проведено с использованием гидроакустического метода в сочетании с контрольными тралениями. Сравнительный анализ результатов 2023 г. с данными 2015-2022 гг. показал, значительные изменения общего характера распределения скоплений байкальского омуля по акватории и глубинам. Стандартная длина рыб из разных частей мелководья находилась в диапазоне от 10 до 39 см, с выборочной медианой 17 см. По весу доминировали особи длиной 18-26 см. Представлено уравнение «длина-возраст», позволяющее провести оперативную оценку соотношения численности возрастных классов на основании вероятности отнесения к ним особей определенной длины. Показано, что основу биомассы нагульного стада в Селенгинском промысловом районе составляют рыбы в возрасте 3-5 лет. Значительная доля молодых особей свидетельствует о наличии пополнения, достаточного для увеличения биомассы запаса байкальского омуля в перспективе до 5 лет.

Ключевые слова: *Coregonus migratorius*, гидроакустический метод, контрольные траления, размерно-возрастной состав, соотношение «длина-возраст», оценка запасов, озеро Байкал

1. Введение

Байкальский омуль *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) обитает преимущественно до глубин 350 м. Наибольшие скопления рыб формируются в районе подводного склона в зимний период, в прибрежном районе в период весенне-летнего и открытой пелагиали в период летне-осеннего прогрева вод. Селенгинское мелководье, прилегающее к дельте р. Селенга, является одним из основных рыбопромысловых районов на озере Байкал, где по оценкам, полученным в результате гидроакустических исследований (Мельник и др., 2009) сосредоточена значительная часть (до 50% и более) общих запасов данного вида, что обусловлено наличием обширных площадей мелководной зоны с глубинами благоприятными для его обитания. Площади с глубинами до 300 м в условиях Байкала традиционно считают «мелководьем» в отличие от глубоководной части с глубинами до 1600 м. Здесь формируется основа промыслового запаса селенгинской и посольской

популяций, нерест которых происходит в р. Селенге, а также реках Посольского сора, соответственно. Селенгинская популяция байкальского омуля активно мигрирует по акватории южной и средней котловин озера, в отдельные годы наблюдаются ее массовые заходы в пролив Малое Море. Ее запасы интенсивно осваиваются как промышленным, так и любительским рыболовством. Посольская популяция байкальского омуля распределяется преимущественно на больших глубинах. Основу промысла данной популяции до недавнего времени составляли особи в период формирования нерестовых косяков и нерестовой миграции. Значительная доля посольского омуля вылавливается в целях искусственного воспроизводства, определяя его динамику его запасов. В последнее время рыбаки любители освоили его вылов в нагульный период до глубин 200 м.

Проблеме разработки и совершенствования подходов к регулированию рыболовства в условиях изменяющейся окружающей среды (Anneville et

*Corresponding author.

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

Поступила: 12 августа 2023; **Принята:** 23 августа 2023;
Опубликована online: 25 августа 2023

© Автор(ы) 2023. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



al., 2015; DeVanna et al., 2016; Zhang et al., 2018) уделяется особое внимание во многих странах (Marchal et al., 2016; Jayasinghe et al., 2017). Актуальность достоверной оценки количественных параметров состояния популяций промысловых гидробионтов вызвана увеличением антропогенного влияния на окружающую среду и необходимостью обеспечения восстановления биоресурсов. Предприятия рыбного хозяйства, обеспечивающие занятость населения, являются градообразующими во многих регионах страны. Особое значение это имеет для регионов, где рыбный промысел является основным источником обеспечения жизнедеятельности населения. С октября 2017 г. введен запрет на промышленный и любительский вылов байкальского омуля – основного промыслового вида оз. Байкал (Приказ ..., 2014). На фоне депрессии запасов байкальского омуля и введения ограничений на его вылов, объем научно-исследовательских работ посвященной этой проблеме явно недостаточен. В условиях климатических изменений миграционное поведение рыб значительно трансформировалось, что вероятно обусловлено сложившимся адаптивными механизмами. Смена поведенческого паттерна происходила периодически в прошлом, например, изменения «привалов» байкальского омуля в проливе Малое море – основном рыбопромысловом районе оз. Байкал на территории Иркутской области. Зависимость миграций рыб от климатических условий в настоящее время не вызывает сомнений (Smirnov et al., 2012; Смирнов и др., 2013), однако требует более детальных исследований. Гидроакустические исследования основных рыбопромысловых районов, в том числе Селенгинского мелководья, проводятся регулярно (Мельник и др., 2009; Макаров и др., 2012; Гончаров и др., 2022). Полученные данные позволяют не только провести сравнительный анализ особенностей распределения скоплений и размерно-возрастной структуры нагульного стада байкальского омуля на данной акватории, но и дают возможность прогнозирования изменения биомассы.

Целью данной работы является анализ структуры нагульного стада байкальского омуля в районе Селенгинского мелководья на основе данных 2023 г.

2. Материалы и методы

Гидроакустическая съемка в Селенгинском рыбопромысловом районе оз. Байкал была проведена в период весеннего прогрева с 21 по 27 мая 2023 г. НИС «Г.Ю. Верещагин» двигался по стандартной сетке галсов (Рис. 1) с диапазонами глубин от 50 до 400 м. Суммарная протяженность галсов составила более 230 км. Съемку проводили при помощи гидроакустического комплекса «Эхо-Байкал» представляющего программную и аппаратную связку модернизированного эхолота Furuno FCV-1100 (Япония) и авторского программного

обеспечения. Комплекс работал в двухчастотном режиме с следующими параметрами: частота зондирующего сигнала 28 и 200 кГц, длительность импульса 1,0 мс, порог селекции одиночных целей -52дБ. Калибровку гидроакустического комплекса проводили по стандартной методике (Simrad, 2001) при помощи медной сферы диаметром 60 мм. с расчетным значением силы цели (TS) равным -33,61 дБ. Контрольные траления проводили с использованием разноглубинного трала (вертикальное раскрытие до 10 м, раскрытие по нижней подборе 17,5 м) после прохождения 4-5 галсов и обнаружения скоплений рыб.

Контроль работы трала (раскрытие, траекторию движения относительно дна и скоплений рыб) осуществляли с применением датчиков синхронной регистрации глубины, размещенных на верхней и нижней подборе. Калибровку датчиков 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 Bluetooth.

Было выполнено четыре траления в придонном режиме прохождения трала (Рис. 2). Размерный состав рыб в нагульном стаде байкальского омуля исследовали по данным результативных траловых уловов (№№2 и 4), для оценки биомассы дополнительно использовали промеры рыб из тралов №№1 и 3 (Таблица). Измерения длины рыб

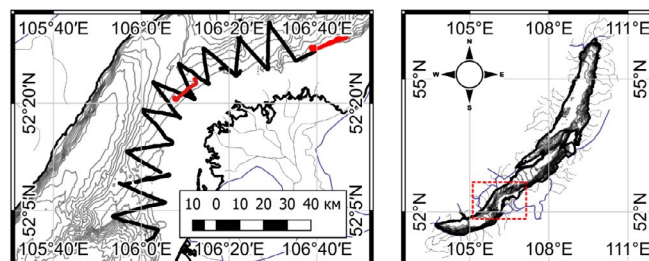


Рис.1. Стандартная сетка галсов (черным цветом) акустической съемки. Места результативных тралений (красным цветом)

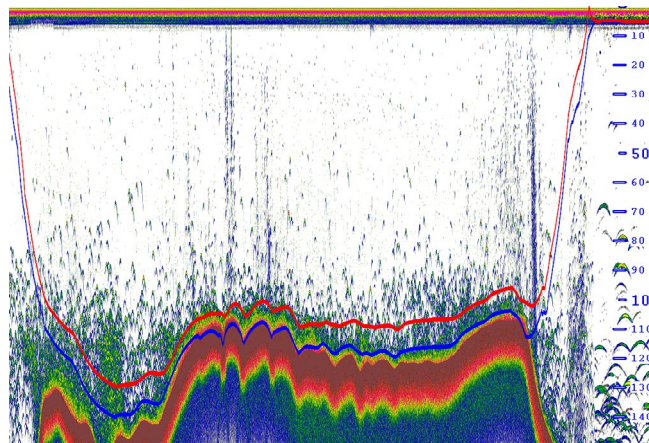


Рис.2. Эхограмма придонного режима прохождения трала (траление №4). Траектория движения нижней (синим цветом) и верхней (красным) подбор трала.

Таблица. Параметры тралений и структура материала

№ трала	Координаты траления		Время траления		Глубины траления, м	Объем выборки, экз.
	Начало с.ш./в.д.	Окончание с.ш./в.д.	Начало	Окончание		
1	52.16228/105.96628	52.16231/105.96627	12:20	13:50	145	112
2	52.38949/106.20513	52.34594/106.12876	10:10	12:10	150	461
3	52.48270/106.76392	52.46015/106.6544	22:50	00:50	140	119
4	52.48481/106.77041	52.46027/106.6444	02:10	04:20	140	566
Всего, экз.						1258

проводили с точностью до 1 см. Выборочные весовые характеристики рыб получали с использованием соотношения «длина-вес» $Wg = 10,9(SL_{dm})^{3,02}$, где Wg – вес в граммах, SL_{dm} – стандартная длина в дециметрах (Аношко и др., 2022). Всего в анализ включены данные по 1258 экз. байкальского омуля.

3. Результаты и обсуждение

Распределение. Распределение байкальского омуля по акватории Селенгинского мелководья в целом соответствовало зимне-весеннему, основные скопления сосредоточены на глубинах 100-300 м. Более плотные скопления рыб наблюдали в зоне подводного склона. В дневное время разреженные скопления регистрировали на глубинах около 200-250 м. В верхних горизонтах от 100 до 150 м рыбы формировали небольшие плотные (неразрешимые) скопления, которые в ночное время рассеивались (Рис. 3).

Сравнительный анализ результатов гидроакустической съемки Селенгинского мелководья с аналогичными данными 2015-2022 гг. показал, что общий характер распределения скоплений байкальского омуля по акватории и глубинам в 2023 г. значительно изменился. Скопления омуля были более подвижны, в сравнении с предыдущими годами исследований. Было зафиксировано их перераспределение с юга на север, вероятно обусловленное особенностями прогрева прибрежно-соровой зоны вследствие поступления более теплых вод р Селенги в весенне-

летний период 2023 г.

Размерный состав. По данным траловых уловов в разных частях мелководья стандартная длина рыб из нагульного стада составляла от 10 до 39 см, выборочная медиана соответствовала размерному классу 17 см. Представительные выборки (Рис. 4) имели сходное распределение особей по размерным классам. Выборка из северной части района отличалась большим количеством мелких (10-13 см) и наиболее крупных (более 25 см) особей. В выборке из средней части преобладали рыбы длиной 14-24 см.

Весовой состав. Анализ весовых характеристик рыб из всех траловых ловов, полученных с использованием соотношения «длина-вес» (Аношко и др., 2022) показал, что доминирующими по весу размерными классами были особи длиной 18-26 см (Рис. 5). Выборочная медиана составила 102 г при длине рыб, соответствующей размерному классу 21 см.

Возрастной состав. Локальные моды (пиков численности) 11, 14, 18 и 21 см, которые можно выделить на частотных гистограммах (Рис. 4), по нашему мнению, соответствуют возрастным классам 1-4 года. Для подтверждения этого, были использованы регрессионные соотношения «длина-возраст» (Рис. 6) по данным траловых уловов 2023 г. и данным ОДУ (Материалы ..., 2017). Получены соотношения: $T = 0,0071SL^{2,1}$ и $T = 0,0079SL^{2,0}$, где T – возраст в годах, SL – длина рыб в см. Возраст в годах, для байкальского омуля, пропорционален длине SL в степени близкой 2, т.е. квадрату длины.

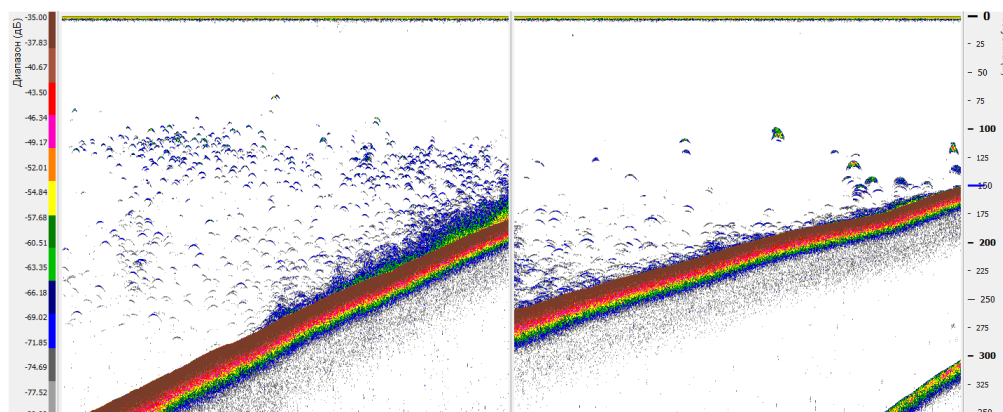


Рис.3. Эхограммы скоплений байкальского омуля по данным ночной (слева) и дневной (справа) съемки 25-26 мая 2023 г.

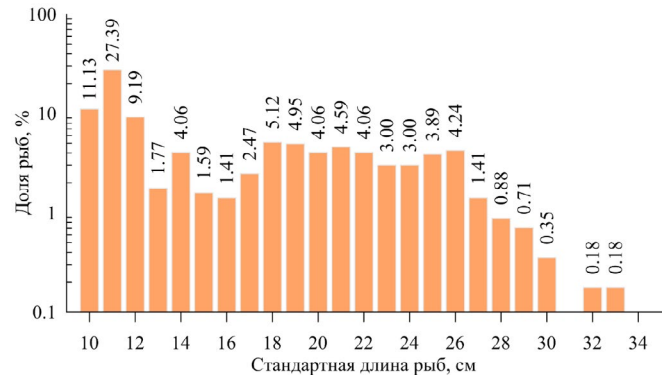
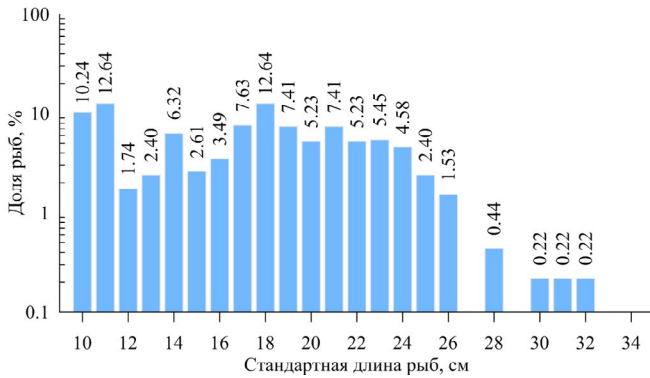


Рис.4. Размерный состав улова по данным трала №2 (сверху) и трала №4 (снизу).

Соотношение «длина-возраст» ($T = 0.0071SL^{2.1}$) позволяет провести оперативную оценку соотношения численности возрастных классов на основании вероятности отнесения к ним особей определенной длины (Рис. 7). Гистограмма построена только до 7-годовалого возраста в связи с низкой представительностью рыб с размерами соответствующими старшим возрастам. Следует отметить, что для прогнозирования биомассы запасов именно младшие возрастные группы рыб имеют большее значение. Зависимость демонстрирует тренд экспоненциального снижения численности доли рыб с возрастом. Коэффициент степени равный 0,33 – аналог коэффициента мгновенной смертности. Однако в данном случае он отражает тренд, обусловленный общей смертностью (естественной и в результате вылова), уровнем пополнения в разные годы и особенностями миграций особей старших возрастов. Доля двухгодоваликов в уловах показала резко отклоняющееся значение от полученного тренда. Можно предположить, что поколение выклева 2021 г. дало относительно низкое пополнение в популяцию. Однако нельзя исключить другие причины, такие как неоднородность распределения размерных классов рыб по акватории, а также условия, способствовавшие миграции рыб этого поколения в другие районы.

Пик биомассы каждого поколения приходится на рыб в возрасте 7-8 лет (Соколов и Петерфельд, 2011), длиной 25-35 см. Однако их весовая доля в наших уловах была относительно низкой, что свидетельствует о периоде низкого пополнения в соответствующих поколениях. У рыб длиной 18-26 см за три года вес может увеличиться в три раза, однако и численность, в соответствии с коэффициентами естественной смертности (Материалы ..., 2023), сократиться в два раза. Следовательно, в среднесрочной перспективе от 3 до 5 лет можно ожидать увеличения запасов в Селенгинском районе в 1,5 раза.

На фоне чрезвычайно высоких оценок ежегодного уровня воспроизводства в 2001-2010 гг., в целом по Байкалу 3,24 млрд личинок, в 2007-2019 гг. происходило снижение запасов байкальского омуля (Материалы ..., 2017). Скат личинок в р. Селенге и реках Посольского сора в

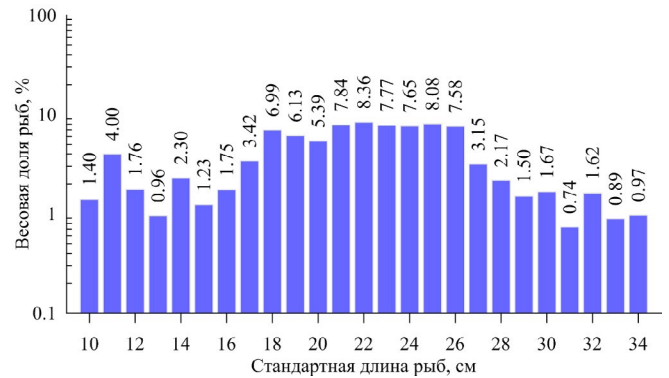


Рис.5. Весовой состав по данным тралов №№2 и 4.

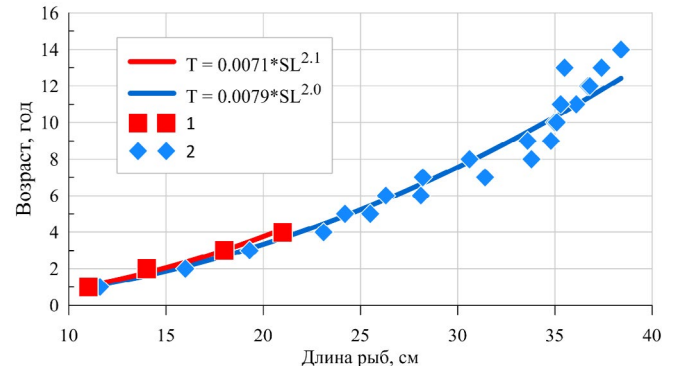


Рис.6. Соотношение «длина-возраст» рыб селенгинской популяции, полученное на основании: 1 - пиков численности, наши данные и 2 - определения возраста по чешуе (Материалы ..., 2017).

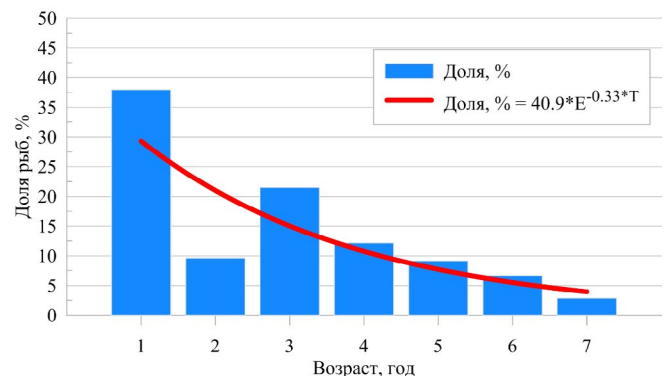


Рис.7. Соотношение возрастных классов байкальского омуля по данным траловых ловов.

период 2008-2013 гг. составил в среднем 1,729 млрд, а в 2018-2020 гг. сократился до 0,640 млрд (Материалы ..., 2023). При этом основу биомассы байкальского омуля на Селенгинском мелководье в мае-июне 2023 г. составили особи в возрасте 3-5 лет, т.е. поколения выклева 2018-2020 гг. Это свидетельствует о наличии пополнения, достаточного для увеличения биомассы запаса в перспективе. Вероятно, низкие показатели воспроизводства не являются катастрофическими для запасов байкальского омуля, а большее значение имеет уровень смертности рыб на первом году жизни.

4. Заключение

Сравнительный анализ результатов 2023 г. с данными 2015-2022 гг. показал, значительные изменения общего характера распределения скоплений байкальского омуля по акватории и глубинам Селенгинского мелководья. Анализ массовых промеров с использованием соотношений «длина-вес» и «длина-возраст» позволил провести оперативную оценку соотношения численности возрастных классов и сформулировать среднесрочные прогнозы. Стандартная длина рыб находилась в диапазоне от 10 до 39 см, по весу доминировали особи длиной 18-26 см. Таким образом нагульное стадо байкальского омуля характеризовалось значительной долей молодых особей несмотря на низкий уровень естественного воспроизводства. Это свидетельствует о наличии пополнения, достаточного для увеличения биомассы запаса байкальского омуля в 5-летней перспективе в 1,5 раза.

Величина воспроизводства является важным условием восстановления запасов, но не определяющим. Высокий уровень воспроизводства в предшествующий период не позволил обеспечить стабильные показатели запасов на фоне традиционной для Байкала структуры промысла. Низкий уровень воспроизводства 0,73 млрд личинок в 2016-2020 гг., обеспечивает положительную динамику увеличения запасов байкальского омуля, однако не позволяет быстро восстановить их до уровня экологической емкости оз. Байкал. В связи с этим, актуальным вопросом является изучение факторов, определяющих уровень смертности байкальского омуля на первом году жизни, что в последующем позволит корректно регулировать его запасы.

Благодарности

Работа выполнена в рамках тем государственного задания №№0345-2019-0002 и 0279-2022-0004

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта

интересов.

Список литературы

- 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., 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)
- 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)
- 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-obshchestvennyh-slushaniy.pdf> (дата обращения: 15.01.2020).
- Материалы, обосновывающие общие допустимые уловы водных биологических ресурсов в озере Байкал (с впадающими в него реками) на 2024 г. (с оценкой воздействия на окружающую среду). 2023. URL: http://baikal.vniro.ru/images/байкал_оду_2024_для_ос.pdf (дата обращения: 29.09.2023).
- Мельник Н.Г., Смирнова-Залуми Н.С., Смирнов В.В. и др. 2009. Гидроакустический учет ресурсов байкальского омуля. Новосибирск: Наука. 244 с.
- Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 7 ноября 2014 г. N 435 «Об утверждении правил рыболовства для Байкальского рыбохозяйственного бассейна». 2014. URL: <http://base.garant.ru/70818098>
- Смирнов В.В., Смирнова-Залуми Н.С., Орлов С.И. 2013. Современные тенденции в распределении и промысловых уловах байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология» 6(3.1): 63-67.
- Соколов А.В., Петерфельд В.А. 2011. Методические аспекты рыбохозяйственного мониторинга состояния запасов омуля озера Байкал. Известия КТГУ 22: 182-189.
- Anneville O., Lasne E., Guillard J. et al. 2015. Impact of fishing and stocking practices on Coregonid diversity. Food and Nutrition Sciences 6: 1045-1055. DOI: [10.4236/fns.2015.611108](https://doi.org/10.4236/fns.2015.611108)
- DeVanna Fussell K.M., Smith R.E.H., Fraker M.E. et al. 2016. A perspective on needed research, modeling, and management approaches that can enhance Great Lakes fisheries management under changing ecosystem conditions. Journal of Great Lakes Research 42: 743-752. DOI: [10.1016/j.jglr.2016.04.007](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.04.007)
- Jayasinghe R.P.P.K., Amarasinghe U.S., Newton A. 2017. Evaluation of status of commercial fish stocks in European marine subareas using mean trophic levels of fish landings and spawning stock biomass. Ocean and Coastal Management 143: 154-163. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2016.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.07.002)
- Marchal P., Andersen J.L., Aranda M. et al. 2016. A comparative review of fisheries management experiences in the European Union and in other countries worldwide: Iceland, Australia, and New Zealand. Fish and Fisheries 17(3): 803-824. DOI: [10.1111/faf.12147](https://doi.org/10.1111/faf.12147)

Simrad. 2001. EK60 Scientific echo sounder instruction manual, Simrad Subsea A/S, Horten, Norway. 246 pp.

Smirnov V.V., Smirnova-Zalumi N.S., Sukhanova L.V. 2012. Fishery management of omul (*Coregonus autumnalis migratorius*) as part of the conservation of ichthyofauna diversity in Lake Baikal. *Pol.J.Natur Sc.* 27(2): 203-214.

Zhang F., Reid K.B., Nudds T.D. 2018. Effects of walleye predation on variation in the stock-recruitment relationship of Lake Erie yellow perch. *Journal of Great Lakes Research* 44: 805-807. DOI: [10.1016/j.jglr.2018.05.007](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.05.007)