



Корректировка оценки величин приемной ёмкости Посольского сора оз. Байкал для личинок байкальского омуля

Научная статья
УДК 639.3.03 (282.256.341)

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-1-91-101>
EDN: TAOOUT

Аношко Павел Николаевич – научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий, Иркутск, Россия
E-mail: apn000@mail.ru

Сакирко Мария Владимировна – кандидат географических наук, научный сотрудник Лаборатории гидрохимии и химии атмосферы, Иркутск, Россия
E-mail: sakira@lin.irk.ru

Непокрытых Анна Владимировна – кандидат биологических наук, научный сотрудник Лаборатории биологии водных беспозвоночных, Иркутск, Россия
E-mail: nep@lin.irk.ru

Шевелёва Н.Г. – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории биологии водных беспозвоночных, Иркутск, Россия
E-mail: shevn@lin.irk.ru

Лимнологический институт СО РАН (ФГБУН ЛИН СО РАН)

Адрес: Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278

Аннотация. Динамика популяции посольского байкальского омуля определяется его искусственным воспроизводством на базе Большереченского рыбоводного завода (БРЗ). В настоящее время деятельность БРЗ является примером эффективного пастбищного рыбоводства байкальского омуля и сиговых рыб в целом. Мощность БРЗ составляет 1,25 млрд шт. икры. Тем не менее, рекомендуемый ранее объем зарыбления, прилегающего Посольского сора, составлял 0,5 млрд личинок. На фоне превышающих 0,7 млрд выпущенных личинок в 2003-2007 гг. произошло значительное снижение запасов байкальского омуля данной популяции. В результате анализа собственных материалов по продукции зоопланктона, а также привлечения литературных данных по рационам личинок, получена кривая приемной ёмкости Посольского сора, которая отражает ее снижение по мере роста личинок и увеличения рационов питания. Оптимум объемов искусственного воспроизводства по результатам исследования лежит в границах 0,2-0,3 млрд личинок.

Ключевые слова: байкальский омуль, искусственное воспроизводство, приемная ёмкость

Для цитирования: Аношко П.Н., Сакирко М.В., Непокрытых А.В., Шевелева Н.Г. Корректировка оценки величин приемной ёмкости Посольского сора оз. Байкал для личинок байкальского омуля // Рыбное хозяйство. 2025. № 1. С. 91-101. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-1-91-101>

CORRECTION OF THE ESTIMATION OF THE RECEIVING CAPACITY VALUES FOR THE BAIKAL OMUL LARVAE IN THE POSOLSKY SOR (LAKE BAIKAL)

Anoshko Pavel Nikolaevich – Researcher of Laboratory of Interdisciplinary Environmental and Economic Research and Technologies, Irkutsk, Russia

Sakirko Maria Vladimirovna – Candidate of Geographical Sciences, Researcher of Laboratory of Hydrochemistry and Atmosphere Chemistry, Irkutsk, Russia

Nepokrytykh Anna Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Researcher of Laboratory of Aquatic Invertebrate Biology, Irkutsk, Russia

Sheveleva N.G. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of Laboratory of Aquatic Invertebrate Biology Irkutsk, Russia

Limnological Institute SB RAS

Address: Russia, 664033, Irkutsk, Ulaanbaatar street, 3, office 278

Annotation. The population dynamics of the Baikal omul in the Posolsky Sor is determined by its artificial breeding at Bolsherechensk fish breeding plant (BRZ). Currently, the BRZ activity is an example of efficient pasture fish farming of the Baikal omul and whitefish in general. The BRZ output is 1.25 billion pieces of caviar. However, the recommended stocking volume of fish of the adjacent Posolsky Sor was 0.5 billion larvae. In 2003-2007, over 0.7 billion larvae were released, resulting in a significant decrease in the stock of the Baikal omul in this population. After analyzing our own materials on zooplankton production and reviewing literature data on larval diets, we obtained a curve of the receiving capacity of the Posolsky Sor. The curve reflects a decrease in receiving capacity as larvae grow and diets increase. According to the study results, the optimal volume of artificial breeding is between 0.2-0.3 billion larvae.

Keywords: Baikal omul, artificial breeding, receiving capacity

For citation: Anoshko P.N., Sokirko M.V., Nepokrytykh A.V., Sheveleva N.G. (2025). Correction of the estimate of the Receiving capacity of the Embassy Lake. Baikal for Baikal omul larvae // Fisheries. No. 1. Pp. 91-101. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-1-91-101>

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос рационального использования ресурсов байкальского омуля в настоящее время является наиболее актуальным в сфере рыбохозяйственной деятельности Ангаро-Байкальского бассейна. Байкальский омуль – это основной промысловый вид и бренд не только для Байкала, но и в целом для Республики Бурятия и Иркутской области. Снижение его запасов и введение запрета на их промышленное освоение и ограничения на любительский лов, введенные с 2017 г., имели негативные социально-экономические последствия для местного населения и экономики региона, но не могли быть эффективной мерой сохранения и восстановления численности этого вида [1]. В целом рыбохозяйственный комплекс находится в состоянии глубокого кризиса, как в Республике Бурятия [2], так и в Иркутской области. Несмотря на наличие огромного фонда рыбохозяйственных водоемов, возникает необходимость решения проблемы стабильного поступления местной товарной рыбы на рынок.

Динамика популяции посольского омуля определяется его искусственным воспроизводством на базе Большереченского рыбоводного завода (БРЗ). В настоящее время деятельность БРЗ является примером эффективного пастбищного рыбоводства байкальского омуля и сиговых рыб в целом. Мощность БРЗ составляет 1,25 млрд шт. икры [3], получаемой экологическим методом Н.Ф. Дзюменко (1984) [4]. Такой способ гарантирует высокую выживаемость икры, процент оплодотворения составляет не менее 90% [3]. Однако необходимость выпуска личинок в бассейне Посольского сора в объеме более 500 млн экз. неоднократно ставилась под сомнение [5; 6]. Корректировка оценок приемной ёмкости вызвана необходимостью оптимизации искусственного воспроизводства байкальского омуля и развития пастбищного рыбоводства с использованием фонда рыбохозяйственных водоемов, что особенно актуально для Иркутской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В мае и июне 2022 г. были проведены исследования в Посольском соре оз. Байкал (рис. 1).

Материал представлен 20 пробами зоопланктона, собранными в Посольском соре в весенний период (май-июнь) 2022 года. В каждом месте отбора проб определялось содержание растворенного кислорода по методу Винклера [7]. На точках с глубиной не более 1 м отбор зоопланктона осуществлялся путем процеживания 100 л воды через сачок Апштейна, на глубинах свыше 1 м – планктонной сеткой Джели (диаметр входного отверстия – 30 см, размер ячеек – 100 мкм).

Обработка планктонных проб проводилась по стандартным гидробиологическим методикам [8]. Для подсчета биомассы ракообразных и коловраток использовали индивидуальные веса, которые рекомендованы для байкальских организмов [9]. Продукция коловраток и ракообразных планктона определена физиологическим методом с использованием, принятых в литературе, коэффициентов K_2 . Так, для *Rotifera* $K_2 = 0,45$, для *Cladocera* $K_2 = 0,35$, для *Copepoda* $K_2 = 0,25$ [10; 11]. При расчете трат на обмен использовался оксикалорийный коэффициент равный 4,86 кал/млО₂.

При разделении зоопланктона на трофические уровни к хищникам отнесли старших копеподитных (III-V) и взрослых *Cyclopoida*, *Leptodora kindtii* (Focke), половину биомассы *Asplanchna* и *Synchaeta* [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Условия среды обитания

Посольский сор расположен на восточном побережье оз. Байкал, в северной части его южной котловины. Залив отделён от Байкала узкой песчаной косой (п-ов Карга). Между косами существует пр. Прорва шириной до 700 м, по которому осуществляется выход вод из залива. Посольский сор разделен на два водоема – Большой сор и Малый сор, связанные между собой узким проливом. Средняя глубина Большого сора – 2,0-2,5 м, Малого – около 1,0 м [5]. В Большой сор впадают реки Абрамиха, Кул-



Рисунок 1. Расположение Посольского сора в оз. Байкал

Figure 1. Location of the Posolsky Sor in Lake Baikal



Рисунок 2. Большой сор Посольского сора 13 мая 2022 г. На переднем плане – участок открытой воды, на заднем плане – акватория, покрытая ледовым крошевом, справа – песчаная коса, отделяющая сор от открытого Байкала

Figure 2. Bolshoy Sor of the Posolsky Sor, May 13, 2022. In the foreground, there is an open water area, while in the background, there is a water area covered with ice blocks. On the right, there is a sand spit that separates the Sor from the open part of Lake Baikal

тушная, Толбажиха, в Малый сор – р. Большая Речка, приносящая 50-60% объема воды от всех рек. Объем воды в Посольском соре составляет около $80 \times 106 \text{ м}^3$. Далее на север находится Селенгинское мелководье – акватория, прилегающая к дельте самого большого притока озера. Длина сора с юга на северо-восток – 13,5 км, максимальная ширина – 4,9 км, площадь – около $3,5 \text{ км}^2$.

Проведенные исследования 12-13 мая 2022 г. были ограничены Малым сором и северной точкой Большого сора вблизи, с проливом между ними. В это время акватория большого сора была забита ледовым крошевом, поступившем туда из открытого Байкала, в результате нагона после продолжительных северо-западных ветров (рис. 2). Температура поверхностной воды в этот период изменялась от $+4,3^\circ\text{C}$ в районе пролива между Большим и Малым сором до $+8,6^\circ\text{C}$ в северной части Малого сора. Содержание кислорода в мае высокое $8,7-11,9 \text{ мг/дм}^3$, насыщение воды кислородом в этот период в среднем составило 90%.

В период отбора проб 28-го июня температура воды в соре поднялась до $+21,3-22,8^\circ\text{C}$, в районе прорвы до $+11,5^\circ\text{C}$, в прилегающих участках открытого Байкала $+11,8^\circ\text{C}$. Температурные условия в соре благоприятны для нагула личинок рыб общесибирского комплекса (щуки, окуня, плотвы, ельца, язя), однако выше температурного оптимума личинок омуля $+10-15^\circ\text{C}$. Такие обстоятельства обуславливают их выход в открытый Байкал. Содержание растворенного кислорода в июне несколько ниже,

чем в предшествующий период, и варьировало от $8,2$ до $10,2 \text{ мг/дм}^3$ в водах Посольского сора, в водах открытого озера достигало $12,2 \text{ мг/дм}^3$, насыщение воды кислородом в среднем составило до 98% в соре и 121% в озере.

Зоопланктон: разнообразие, продуктивность

Анализ, проведенных исследований за период май-июнь 2022 г. в мелководной зоне Байкала в Посольском соре, показал, что в составе зоопланктона обнаружено 37 видов, из них – 18 коловраток и 19 ракообразных, из них ветвистоусых ракообразных – 9 видов. Необходимо отметить, что в период наших исследований впервые для фауны Байкала в Посольском соре отмечен новый вид в таксономической группе *Cyclopoida* – *Cyclops kikuchii* [12]. Ранее для Байкала в таксономическом списке род *Cyclops* был представлен двумя видами *Cyclops vicinus* и *Cyclops kolensis* [13; 14]. По мнению авторов, [15; 16] *C. kikuchii* и *C. vicinus* встречаются совместно, если пробы были взяты в литоральной зоне, так как *C. kikuchii* приурочен к литорали, а *C. vicinus* – к пелагиали.

Как и ранее в 1996-2000 и 2001-2002 гг. [17; 18], в период наших исследований было отмечено, что в зоопланктоне доминантный состав по количественным показателям представляли *Conochilus uniconis*, *Asplanchna priodonta*, *C. kolensis*, *C. vicinus* + *C. kikuchii*, *Macrocyclus albidus*, *Eudiaptomus graciloides*, *Daphnia galeata* (= *D. longispina*), *Sida crystallina* (табл. 1).

По численности и биомассе в планктоне в середине мая доминировали веслоногие ракообразные, в основном виды р. *Cyclops* (табл. 1). Количественные показатели ветвистоусых ракообразных и коловраток были низкими. Коловратки были представлены 5 видами, ни один вид не входил в структурообразующее ядро. В начале июня количество и разнообразие зоопланктона увеличилось, по сравнению с данными за май. Так, общая численность увеличилась в 5 раз и составляла $53,3 \text{ тыс. экз./м}^3$, главным образом за счет науплиальных стадий веслоногих ракообразных и более чем в 200 раз – за счет коловраток. Среди коловраток по численности доминировали мелкие виды: *Polyarthra dolichoptera* ($11,5 \text{ тыс. экз./м}^3$), *Keratella cochlearis* $4,2 \text{ тыс. экз./м}^3$, *Keratella quadrata* 3 тыс. экз./м^3 . Также необходимо отметить относительно большую численность – $4,2 \text{ тыс. экз./м}^3$ *A. priodonta*, биомасса которой составляла 37% от общей биомассы зоопланктона, и она входила в доминантное ядро. В конце июня, при температуре воды $+20-21^\circ\text{C}$ число видов в каждой таксономической группе еще увеличилось, особенно в группе ветвисто-

усых ракообразных. В планктоне появились крупные виды, такие как *L. kindtii*, *S. crystallina*, *D. galeata*. Последние два вида лидировали по биомассе в своей группе. В группе веслоногие ракообразные такие виды как *C. vicinus* и *C. kikuchii* выпали из планктона или они встречались в единичных экземплярах, уменьшилась относительная роль в биомассе *C. kolensis*, на его долю в биомассе приходилось не более 5%. В этот период количество других копепод увеличилось. Так, лидировали среди них по биомассе *E. graciloides* и *M. albidus*.

Разнообразие коловраток также увеличилось до 11 видов, по сравнению с данными начала июня. Доминантом по биомассе и численности (6 и 40%, соответственно) в этот период выступал *C. unicornis*. Максимальная значимость в биомассе зоопланктона приходилась на крупного полифага *A. priodonta* (табл. 1). Лидирование по биомассе среди коловраток полифага *A. priodonta* было отмечено в 1996 и 1997 гг. [5]. Разнообразие и количественные показатели фауны планктона увеличивались по мере прогрева воды. Так максимальные значения количества зоопланктона приходятся на июнь: численность – в начале июня, а биомасса – в конце июня, при максимальном прогреве воды до +22 °С, за счет крупного циклопа *M. albidus* и крупной формы *A. priodonta*. Наши значения биомассы сравнимы с данными 2000 г., и в 2,8-1,5 раза выше данных 1987 г., 2002 г. [17-20].

Зоопланктон является наиболее важным компонентом в пищевом рационе многих рыб на их ранних стадиях развития. Кормовая ценность зоопланктона определяется уровнем количественного развития и соотношением биомассы и, главным образом, продукцией рачков и коловраток в различные периоды года.

Зависимость продукции от биомассы

Зависимость продукции (*P*) от биомассы (*B*) планктона, по полученным нами данным, в Посольском соре в мае-июне 2022 г. близка к линейной $P = 0,086 B$. Часть продукции идет на увеличение биомассы, и другая часть составляет рацион хищников, в т.ч. молоди рыб.

Однако первые 12 суток, согласно полученным зависимостям, наблюдается дефицит продукции и суточное увеличение биомассы не может быть больше чем их суточная продукция, с 13 суток, когда биомасса эквивалентна 190 кал, продукция начинает опережать прирост биомассы (рис. 3). Таким образом, в условиях майского увеличения биомассы, основная доля продукции идет на ее увеличение. «Полезная» продукция, которая может использоваться молодью рыб без оказания воздействия на динамику биомассы зоопланктона, появляется в последних числах мая. Следует отметить, что инкубационный цех БРЗ не функционировал, вследствие проведения реконструкции. Личинок омуля при проведении контрольных тралений в соре обнаружено не было. Поэтому продукция зоопланктона потреблялась личинками рыб, нерест которых происходит как в самом соре, так и в его притоках (щука, окунь, плотва, елец).

Рост личинок и суточные рационы

В период 1961-1966 гг. средний выпуск личинок составлял около 300 млн экз., в 1972-1975 гг. –

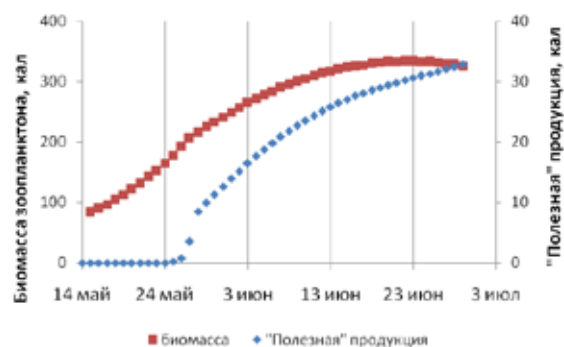


Рисунок 3. Изменение биомассы и полезной продукции на основе уравнений интерполяции фактических данных

Figure 3. Change in the biomass and useful production based on interpolation equations of actual data

Таблица 1. Численность (*N*, тыс. экз./м³), биомасса (*B*, мг/м³) и доминантный состав (5% от общей биомассы) видов зоопланктона в Посольском соре, 2022 г. /

Table 1. Abundance (*N*, thousand individuals/m³), biomass (*B*, mg/m³), and dominant composition (5% of total biomass) of zooplankton species in the Posolsky Sor, 2022

Дата	N	B	Доминантный комплекс
13.05	11,0 ± 7,0	166 ± 62,5	<i>C. kolensis</i> 47%; <i>C. kikuchii</i> + <i>C. vicinus</i> 46%
2.06	53,3 ± 15,5	540 ± 73	<i>C. kolensis</i> 46%; <i>C. vicinus</i> 5%; <i>A. priodonta</i> 37%
28.06	51,5 ± 25,3	676 ± 138	<i>C. kolensis</i> 5%; <i>E. graciloides</i> 6%; <i>M. albidus</i> 18%; <i>D. galeata</i> 5%; <i>S. crystallina</i> 5%; <i>A. priodonta</i> 40%; <i>C. unicornis</i> 6%.

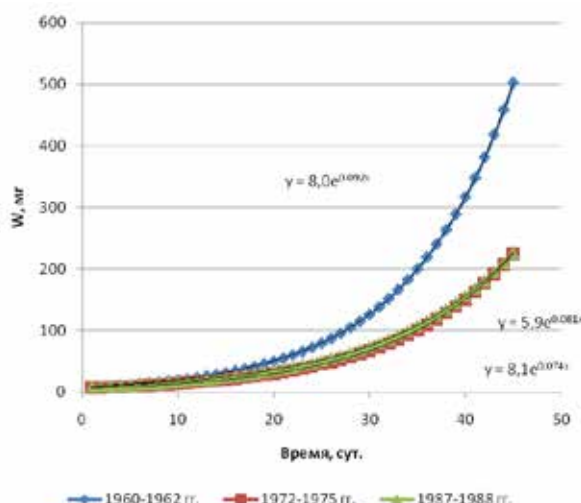


Рисунок 4. Рост личинок омуля в Посольском соре, согласно данным В.Н. Кузьмич (1988) [21]

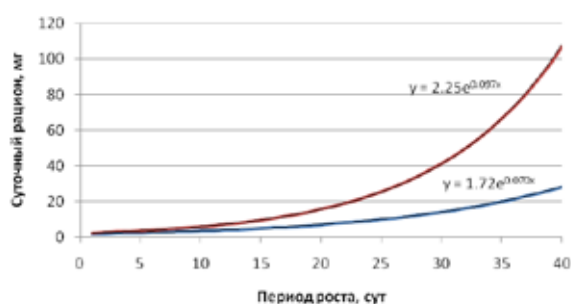
Figure 4. Growth of omul larvae in the Posolsky Sor according to V.N. Kuzmich (1988) [21]

720 млн экз., в 1987-1988 гг. – 600 млн экз. Прирост молоди омуля в Посольском соре в 1960-1962 гг. практически в 2 раза больше такового в 1972-1975 гг. и 1987-1988 гг. (рис. 4). Вероятно, что рост личинок в период 1960-1962 гг. проходил в условиях близких к оптимальным, в т.ч. в отношении состояния кормовой базы. Следовательно, эти данные более корректно использовать в расчетах суточных рационов.

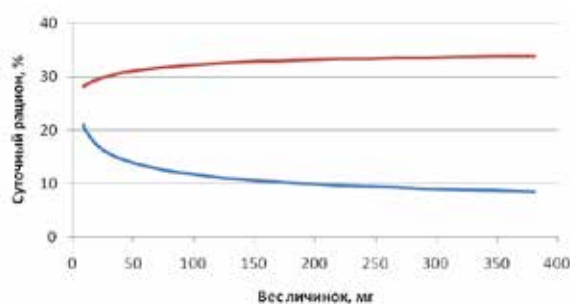
Суточный рацион личинок омуля в Посольском соре, согласно расчетам В.Н. Кузьмич [21],

на основании данных о среднесуточной массе пищевого комка, в зависимости от веса личинок описывается уравнением $C_{мг} = 0,36 \times W_{мг}^{0,76}$, где $C_{мг}$ – суточный рацион в мг, $W_{мг}$ – вес личинок в мг. Однако, согласно зависимости, относительный суточный рацион личинок весом 9 мг составляет 21%, тогда как у личинок весом 500 мг – только 8% (рис. 5), что меньше среднесуточного прироста 9%. Следовательно, оценка рационов по данному уравнению не приемлема.

Кроме того, нами был рассчитан рацион, на основе уравнений энергетического обмена Г.Г. Винберга [22]: $0,8 \times C = P + T$, $T = a \times 3,38 \times 24 \times QQ = 3,38 \times (0,3 \times (W)^{0,81} / q)$, где C – суточный рацион в кал, P – прирост (кал), T – траты на обмен (кал), a – коэффициент активного обмена; Q – скорость потребления кислорода ($мг \times г^{-1} \times час^{-1}$), q – коэффициент температурной поправки, в соответствии с кривой Крога, W – вес личинок (г), 3,38 – оксикалорийный коэффициент (кал/мг O_2). При расчетах рационов учитывалась рекомендация использования двойного обмена, обусловленная отношением активного обмена к основному. При расчете весовых рационов отношение калорийности зоопланктона к калорийности личинок принималась равной 0,5. В результате расчетов по уравнениям Г.Г. Винберга [22], рационы личинок по мере роста экспоненциально увеличиваются. На 40-й день, к концу периода нагула в соре, достигнут в среднем 106 мг, что по весу составит около 34% от веса личинки (рис. 5). Сходные рационы были получены И.П. Шумиловым [23] для молоди омуля северобайкаль-



а) По В.Н. Кузьмич (1988) По Г.Г. Винберг (1956)



б) По В.Н. Кузьмич (1988) По Г.Г. Винберг (1956)

Рисунок 5. Изменение суточного рациона в зависимости от продолжительности роста (а) и изменение относительного рациона в зависимости от веса (б) личинок омуля в Посольском соре, на основании аллометрической зависимости рациона от веса В.Н. Кузьмич [21] и уравнения энергетического обмена, с учетом изменения температуры среды обитания, Г.Г. Винберга [22]

Figure 5. Change in the daily ration depending on growth duration (a) and change in the relative ration depending on weight (b) of the omul larvae in the Posolsky Sor based on the allometric dependence of ration on weight (V.N. Kuzmich) [21], and the equation of energy exchange taking into account changes in habitat temperature (G.G. Winberg) [22]

Таблица 2. Биотический баланс зоопланктона (кал/м³, суточные показатели) в Посольском соре, 2022 г. / **Table 2.** Biotic balance of zooplankton (kal/m³, daily values) in the Posolsky Sor, 2022

Дата	Мирный уровень			Хищный уровень			
	<i>B</i>	<i>P</i>	<i>P/B</i>	<i>B</i>	<i>P</i>	<i>P/B</i>	<i>C</i>
13.05	21,84	0,24	0,01	61,32	4,81	0,08	4,68
2.06	110	9,15	0,08	160	13,63	0,08	23,1
28.06	258	25,74	0,09	80,29	5,24	0,06	16,75

Примечание: *B* – биомасса, *P* – продукция, *P/B* – коэффициент, *C* – рацион

ской популяции, на основе уравнений Г.Г. Винберга [22], а также в условиях эксперимента И.И. Ширококовым (1988) [24].

На основе полученных данных, кормовой коэффициент зоопланктона для личинок омуля можно принять равным 3. Сходные оценки были даны еще И.Г. Топорковым и П.Я. Тугариной (1963) [25]. Важное значение в рыбохозяйственной практике имеет значение коэффициента *P/B*. Однако их величина может быть рассчитана в отношении разных временных периодов – суточные, сезонные, годовые и т.д. коэффициенты. В отношении молоди омуля важны коэффициенты, рассчитанные в период их пребывания в сорах с конца мая по конец июня. Величина *P/B*-коэффициента, рассчитанная как отношение суммы суточных «полезных» продукций к максимальной биомассе, определяемой в конце июня, равна 1,9.

Процесс роста личинок сопровождается снижением их численности в результате естественной смертности. Это процесс остается слабо изученным. Мы приняли коэффициент суточной естественной смертности постоянным $F = 0.02 \times (F = -\ln(N_t/N_{t-1}))$, где *N* – численности личинок, *t* – сутки. Данное значение удовлетворяет условию выживания 0,1% особей к концу первого года, что обеспечит среднестатистическое пополнение в нерестовое стадо, с учетом смертности в возрасте от года до момента достижения зрелости в возрасте 9-10 лет.

Возможности обеспечить рацион растущих личинок определяется «полезной» продукцией зоопланктона, т.е. отношением суточного рациона к продукции (рис. 6). Рассчитанная кривая приемной ёмкости свидетельствует о том, что по мере роста увеличение рационов личинок опережает увеличение продукции. Приемная ёмкость Посольского сора способна обеспечить рацион 500-600 млн самых мелких личинок на этапе перехода на активное питание. В последствии рационы растут и в период выхода личинок из сора в открытый Байкал возможности сора ограничены 100-200 млн подросшей молоди. Недостаток кормовых

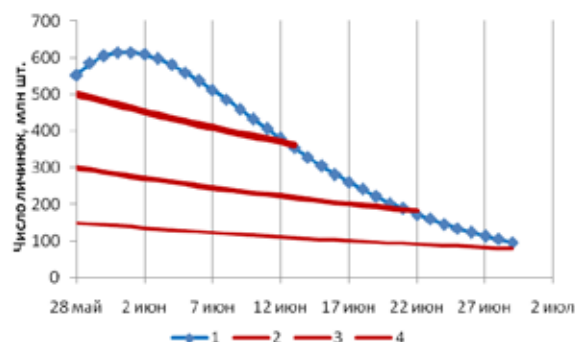


Рисунок 6. Кривая приемной ёмкости Посольского сора (1) и изменение численности личинок в результате естественной смертности, не связанной с голоданием личинок при разных объемах искусственного воспроизводства: 2 – 500 млн шт., 3 – 300 млн шт., 4 – 150 млн шт.

Figure 6. Curve of the receiving capacity of the Posolsky Sor (1) and change in abundance of larvae as a result of natural mortality not related to the starvation of larvae at different volumes of artificial breeding: 2 – 500 million pcs, 3 – 300 million pcs, 4 – 150 million pcs

ресурсов приводит не только к замедлению темпов роста, но и имеет ведущее значение, как фактора смертности вследствие большей доступности для хищников.

Сопоставление фактических данных по изменению численности личинок в Посольском соре [26], когда объемы выпуска составляли 750-800 млн шт., с теоретически рассчитанной кривой, свидетельствует о их соответствии (рис. 7). При таких объемах выпуска фактическая численность личинок 12 и 20 июня практически совпадает с теоретически рассчитанной кривой. Низкую фактическую численность в 14 млн шт. на 2 июля автор объясняла не только высоким уровнем смертности, но и их миграцией из сора. Мгновенный коэффициент суточной смертности по фактическим данным составил 0,06, в 3 раза больше чем теоретический, рассчитанный в условиях избытка пищи. Есть мнение, что при высоких

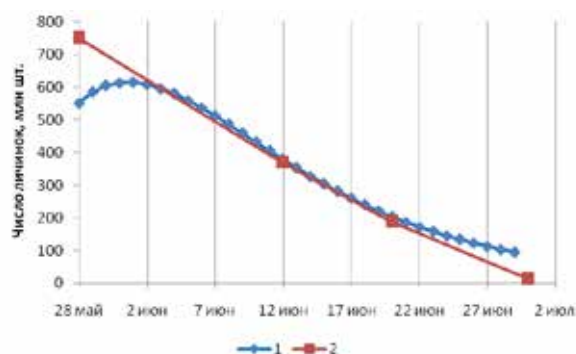


Рисунок 7. Кривая приемной ёмкости Посольского сора (1) и фактические данные (2) [26] изменения численности личинок в соре при объемах искусственного воспроизводства 750-800 млн шт.

Figure 7. Curve of the receiving capacity of the Posolsky sor (1) and actual data (2) [26] on changes in the number of larvae in the sor at artificial breeding volumes of 750-800 mln pcs

показателях искусственного воспроизводства, когда численность личинок превосходит приемную ёмкость сора, биомасса и продукция зоопланктона снижается в результате его выедания [5]. Однако это мнение не подтверждается фактическими данными. Возможно, такие процессы происходят, но носят кратковременный характер. Экосистема может быстро восстановить баланс, благодаря увеличению смертности личинок, в т.ч. в результате каннибализма, и снижения темпов их роста.

Одним из основных показателей эффективности воспроизводства, в том числе искусственного, является промвозврат. Было установлено [6], что относительная величина промвозврата производителей экспоненциально уменьшается, в зависимости от количества выпущенных личинок (рис. 8). Если пересчитать полученную зависимость на абсолютные значения, то максимум приходится на 200 млн личинок, при 500 млн можно ожидать уменьшение промвозврата почти в два раза, а при максимально возможных выпусках 900-1000 млн промвозврат с высокой вероятностью уменьшится в 10 раз. Напротив, объем выпуска в 100 млн личинок обеспечит почти 80% промвозврата от максимально возможного.

Проведенные расчеты противоречат мнению [27] о том, что снижение запасов байкальского омуля произошло в результате увеличения объемов ННН-промысла (незаконный, несообщаемый и нерегулируемый промысел) и облова неполовозрелой части популяции, а также ряда – негативных экологических факторов. Эти факторы могут иметь негативное

значение для воспроизводства посольской популяции только при условии нехватки производителей, отлавливаемых в целях обеспечения искусственного воспроизводства. Численность нерестового стада до строительства БРЗ оценивалась в 100 тыс. производителей [6], однако эффективность искусственного воспроизводства практически в разы выше естественного в условиях нерестовых рек Посольского сора. Ориентировочно 100 тыс. производителей обоих полов общим весом около 50 т обеспечит выпуск 400 млн личинок [6] при современном уровне эффективности работы БРЗ. Согласно приведенным нами расчетам, это двукратно превышает оптимальные значения. Следует отметить, что снижение и последующая депрессия запасов омуля придонно-глубоководной МЭГ, согласно модели [27], происходило на фоне чрезвычайно высоких объемов воспроизводства – 600-1000 млн личинок в 1993-2007 гг. [3], с учетом того, что данный омуль достигает половой зрелости и облавливается в 9-10 летнем возрасте. Поколения с 2010 г. рождения вообще не осваивались промышленным ловом, в связи с введением запрета на него [6]. Таким образом, снижение запасов посольского омуля произошло в результате регулирования и управления деятельностью БРЗ без учета научно-обоснованных рекомендаций. На осно-

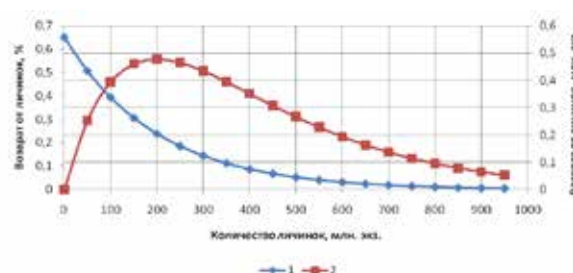


Рисунок 8. Кривая зависимости коэффициента возврата производителей посольского омуля от количества личинок, выпущенных с Большерецкского рыбоводного завода (1) по уравнению $y\% = 0.65e^{-0.005x}$, полученному С.М. Семенченко (2018) [6], и кривая зависимости возврата количества производителей посольского омуля от количества личинок (2), рассчитанной по уравнению $y = xy\%/100$

Figure 8. Curve of the dependence of the return rate of the Posolsky omul manufacturers on the number of larvae released from BRZ (1) using the equation $y\% = 0.65e^{-0.005x}$ obtained by S.M. Semenchenko (2018) [6], and the curve of the dependence of the return rate of the Posolsky omul manufacturers on the number of larvae (2) calculated using the equation $y = xy\%/100$

ве данных промвозврата и оценок приемной ёмкости, было показано, что выпускать в Посольский сор более 500 млн личинок не целесообразно ни с экологических, ни с экономических позиций [5; 19]. В период 1987-2000 гг. оценки приемной ёмкости составили от 60 до 590 млн личинок со средним 290 млн. Однако данные исследования и рекомендации не были учтены при принятии решений по объемам искусственного воспроизводства. Снижение запасов посольского омуля является результатом принятия этих ошибочных решений.

Одним из факторов высокой вариабельности оценок приемной ёмкости Посольского сора является динамика уровня Байкала, обусловленная изменениями климата и уровнем речного стока. Колебания уровня Байкала в пределах 1 м сопровождаются 21,3% изменением площади Посольского сора [28], в то время как объем изменяется только на 4,2%. Однако изменение площади играет важную роль в продуктивности сора, обусловленную прогревом более обширной мелководной зоны, созданием в ней первичной продукции и поступлением дополнительных биогенов.

В действительности мероприятия по искусственному воспроизводству должны быть оптимизированы исходя из целевого показателя максимального промвозврата, а не объема выпуска личинок. Увеличения промвозврата можно добиться благодаря увеличению приемной ёмкости для молоди посольского омуля. Во-первых, есть возможность увеличения приемной ёмкости при проведении мероприятий по рыбохозяйственной мелиорации пойменных водоемов и болот нерестовых рек. Эти участки должны быть объединены системой каналов для обеспечения нагула и свободной миграции личинок, а также – поступления дополнительных кормовых ресурсов в сор. Кроме того, желательно рассмотреть возможность зарегулирования стока пойменных участков для увеличения нагульных площадей молоди рыб. Второй важной составляющей является рыбохозяйственный потенциал Малого Моря оз. Байкал [29] – местные популяции омуля, которые фактически исчезли и в ближайшее время могут быть восстановлены только благодаря искусственному воспроизводству. Целесообразность использования рыбохозяйственного потенциала поймы и мелководий дельты р. Селенги ограничивается возможной конкуренцией за ресурсы с омулем селенгинской популяции. Приемная ёмкость этой акватории, по нашему мнению, сильно переоценена и требует корректировки. Кроме того, в Селенгу заходит на нерест омуль придонно-глубоководной МЭГ. Если селенгинский и посольский

омуль придонно-глубоководной МЭГ относятся к разным популяциям, выпуск личинок последнего в р. Селенгу приведет к снижению генетического разнообразия.

В период запрета рыбаки освоили добычу байкальского омуля любительскими орудиями лова со льда с глубин до 200 метров. В результате, пресс рыболовства на омуля придонно-глубоководной МЭГ (посольской популяции) увеличился, и, в перспективе, может значительно возрасти после снятия ограничений на любительский лов. Поэтому именно сейчас актуально проведение мероприятий по увеличению эффективности его искусственного воспроизводства.

В настоящее время начинают происходить изменения в инвестиционной политике развития производства в Российской Федерации. Стоимость рыбной продукции превосходит мясную, что повышает рентабельность предприятий, занимающихся аквакультурой и обуславливает перспективы инвестирования в них. Наиболее актуальным является развитие пастбищного рыбоводства на базе естественной кормовой базы оз. Байкал и каскада ангарских водохранилищ, зарыбление которых может рассматриваться как инфраструктурный проект, обеспечивающий занятость местного населения в сферах рыболовства, рекреации и туризма.

Полученные результаты свидетельствуют об избыточности производственных мощностей по искусственному воспроизводству байкальского омуля в Республике Бурятия. Повышение рентабельности завода возможно за счет реализации рыбы, выловленной в целях воспроизводства и вылова в режиме пастбищного рыбоводства. Продукция личинок омуля на Большереченском рыбоводном заводе без ущерба для посольской популяции байкальского омуля может использоваться для зарыбления Малого Моря оз. Байкал и водохранилищ Иркутской области.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН, темы №0279-2022-0004 и №0279-2021-0007.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад в работу авторов: Аношко П.Н. – сбор и обработка первичных материалов, идея статьи, написание текста и статистическая обработка данных; Сакирко М.В. – сбор и анализ данных; Шевелёва Н.Г. – сбор и обработка первичных материалов, анализ данных, написание текста; Непокрых А.В. – окончательная проверка рукописи и внесение правок.

The authors advertise the rejection of the conflict of interests. The tab in the authors' work:

Anoshko P.N. – collection and processing of primary materials, article idea, text writing and statistical processing of data; Sakirko M.V. – collection and analysis of data;

Sheveleva N.G. – collection and processing of primary materials, data analysis, text writing; *Nepokrytykh A.V.* – final revision of the manuscript and making edits.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Аношко П.Н., Макаров М.М., Зоркальцев В.И., Деникина Н.Н. и др. Ограничение на вылов байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) и вероятные экологические последствия // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 3. С. 132-143.
2. Воронова З.Б., Воронов М.Г., Большунова Е.А., Балданова А.Н. Состояние и перспективы развития аквакультуры и рыболовства в Бурятии // Переход на федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования. Лучшие практики рыбохозяйственного образования: Сборник научных работ VII национальной межвузовской научно-методической конференции (Казань, 3-5 октября 2018 г.). – Казань: Изд-во КНИТУ. 2019. С. 56-60.
3. Воронова З.Б., Дзюменко Н.Ф., Афанасьев С.Г. и др. История развития и состояние искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов в Байкальском рыбохозяйственном бассейне // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 85-94.
4. Дзюменко Н.Ф. Новая технология сбора икры байкальского омуля // Рыбное хозяйство. 1984. №10. С. 26-27.
5. Бобков А.И., Павлицкая В.П. Отчет НИР: Оценка уровня развития кормовой базы и приемная ёмкость прибрежно-соровой системы оз. Байкал (заключительный за 1997-2000 гг.) – Улан-Удэ, 2001 (рукопись).
6. Семенченко С.М. Эффективность искусственного воспроизводства посольской популяции байкальского омуля *Coregonus migratorius* // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5. № 2(18). С. 4-23.
7. Wetzel R., Likens G. Limnological Analysis // 3rd ed. – Springer: New York, USA. 2000. Pp. 57-112.
8. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л.: Гидрометеиздат. – 1984. 24 с.
9. Кожова О.М., Мельник Н.Г. Инструкция по обработке проб планктона счетным методом – Иркутск. 1978. 52 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ. 1984. 33 с.
11. Иванова М.Б. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. – Л.: Наука. 1985. 246 с.
12. Неронова С.Ю., Шевелева Н.Г., Мишарина Е.А. Современное состояние и трофические взаимоотношения зоопланктона Посольского сора оз. Байкал в 2022 г. // Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2023. №10. С. 173-181.
13. Мазепова Г.Ф. Циклопы озера Байкал. – Новосибирск: Наука. 1978. 144 с.
14. Шевелева Н.Г., Мирабдулаев И.М., Иванкина Е.А., Кирильчик С.В. Видовой состав и экология циклопов в озере Байкал. Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод // Материалы лекций и докладов Международной школы-конференции. Институт биологии внутрен-
- них вод им. И.Д. Папанина РАН. – Борок. 2012. 5-9 ноября. С. 319-322.
15. Дзюбан М.Н. Находка *Cyclops vicinus* var. *kikuchii* Smirn. в Куйбышевском водохранилище // Зоол. журн. 1965. Т. 44. Вып. 2. С. 288-291.
16. Chang C.Y. Invertebrate fauna of Korea. Arthropoda: Maxillopoda: Copepoda: Cyclopoida: Cyclopidae: Cyclopinae. Continental Cyclopoids. 2013. Vol. 21. №26. 107 p.
17. Бобков А.И., Павлицкая В.П. Питание и рост личинок омуля в Посольском соре // Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования. Материалы научных чтений, посвященных памяти профессора Б.Г. Иоганзена. – Томск. 1998. С. 273-274.
18. Бобков А.И., Павлицкая В.П. Экология молоди посольской популяции придонно-глубоководного омуля // Большереченскому заводу 70 лет: Материалы регион. научно-практич. конф. – Улан-Удэ. 2003. С. 11-23.
19. Павлицкая В.П., Бобков А.И. Оценка уровня кормовой базы и приемная ёмкость водоемов прибрежно-соровой системы оз. Байкал для молоди омуля // Материалы научно-практической конференции «Проблемы и перспективы рационального использования рыбных ресурсов Сибири». – Красноярск. 1999. С. 118-128.
20. Павлицкая В.П., Бобков А.И. Особенности функционирования раннелетнего зоопланктона Посольского сора оз. Байкал в современный период // Материалы международной конф. «Проблемы гидроэкологии на рубеже веков». – СПб: 2000. С. 6-8.
21. Кузьмич В.Н. Изучить уровень развития кормовой базы прибрежно-морской системы Байкала в условиях расширенного искусственного воспроизводства омуля (Посольский сор) (заключительный отчет за 1988 г.). – Улан-Удэ. 1988 (рукопись).
22. Винберг Г.Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. – Минск: Изд-во БГУ. 1956. 254 с.
23. Смирнов В.В., Шумилов И.П. Омули Байкала // АН СССР. – Новосибирск: Наука. 1974. 160 с.
24. Ширококов И.И. Питание и рост молоди сиговых рыб в моно- и поликультуре: автореф. дис. канд. биол. наук. – Иркутск. 1988. 24 с.
25. Топорков И.Г., Тугарина П.Я. К питанию молоди байкальского омуля в возрасте до двух лет // Труды Всесоюз. Гидробиол. общ-ва. 1963. Т. 13. С. 217-224.
26. Долгоаршинных З.М. Питание и пищевые взаимоотношения молоди рыб прибрежно-соровой зоны озера Байкал: автореф. дис. канд. биол. наук. Иркутск. 1990. 25 с.
27. Петухова Н.Г., Бобырев А.Е., Соколов А.В. Результаты анализа состояния придонно-глубоководной морфо-экологической группы байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21. №3. С. 283-294. <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2020-21-283-294>
28. Сорокина П.Г. Оценка вариации площади поверхности и объема воды в промысловых заливах озера Байкал // System Analysis and Mathematical Modeling. 2023. Т. 5. № 3. С. 367-372.
29. Суходолов А.П., Федотов А.П., Макаров М.М., Аношко П.Н. и др. Перспективы рыбохозяйственного использования Маломорского рыбопромыслового

района: экономическая оценка и обоснование // Известия байкальского государственного университета. 2020. Т. 30. №2. С. 233-244. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(2\).233-244](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(2).233-244).

LITERATURE AND SOURCES

- Anoshko P.N., Makarov M.M., Zorkaltsev V.I., Denikina N.N. et al. (2020). Restriction on catch of the Baikal omul *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) and probable ecological consequences // South of Russia: Ecology, Development. V. 15. o. 3. Pp. 132-143. (In Russ.).
- Voronova Z.B., Voronov M.G., Bolshunova E.A., Baldanova A.N. (2019). State and prospects of aquaculture and fisheries development in Buryatia // Adoption of federal state educational standards of higher education. Best practices of fishery education: Collection of scientific papers of the VII national inter-university scientific and methodological conference (Kazan, October 3-5, 2018). – Kazan: Izd-vo KSTU. Pp. 56-60. (In Russ.).
- Voronova Z.B., Dzyumenko N.F., Afanasyev S.G. et al. (2015). History of the development and state of artificial reproduction of aquatic biological resources in the Baikal fishery basin // Proceedings of VNIRO. V. 153. Pp. 85-94. (In Russ.).
- Dzyumenko N.F. (1984). New technology of collecting caviar of the Baikal omul // Fish economy. No.10. Pp. 26-27. (In Russ.).
- Bobkov A.I., Pavlitskaya V.P. (2001). Research report: Assessment of the level of forage base development and receiving capacity of the Lake Baikal coastal system (final one for 1997-2000 years) – Ulan-Ude. (manuscript). (In Russ.).
- Semenchenko S.M. (2018). Efficiency of artificial breeding of the Posolskaya population of the Baikal omul *Coregonus migratorius* // Vestnik of fisheries science. V. 5. No. 2 (18). Pp. 4-23.
- Wetzel R., Likens G. (2000). Limnological Analysis // 3rd ed. Springer: New York. USA. Pp. 57-112.
- Methodological recommendations on the collection and processing of materials for hydrobiological research in freshwater bodies. Zooplankton and its production. – L.: GosNIORKh. 1984. 33 p. (In Russ.).
- Ivanova M.B. (1985). Production of planktonic crustaceans in fresh waters. – L.: Nauka. 246 p. (In Russ.).
- Neronova S.Yu., Sheveleva N.G., Misharina E.A. (2023). Current state and trophic relationships of zooplankton of the Posolsky Sor of Lake Baikal in 2022 // Readings in memory of V.Y. Levanidov. No. 10. Pp. 173-181. (In Russ.).
- Mazepova G.F. (1978). Cyclops of Lake Baikal. – Novosibirsk: Nauka. 144 p. (In Russ.).
- Sheveleva N.G., Mirabdulaev I.M., Ivankina E.A., Kirilchik S.V. (2012). Species composition and ecology of cyclops in Lake Baikal. Actual problems of studying crustaceans of continental waters // Proceedings of lectures and reports of the International School-Conference. I.D. Papanin Institute of Inland Waters Biology, Russian Academy of Sciences. – Borok. November, 5-9. Pp. 319-322. (In Russ.).
- Dzyuban M.N. (1965). Finding of Cyclops vicinus var. kikuchii Smirn. in Kuibyshevskoe reservoir // Zool. journ. V. 44. Ed. 2. Pp. 288-291. (In Russ.).
- Chang C.Y. (2013). Invertebrate fauna of Korea. *Arthropoda: Maxillopoda: Copepoda: Cyclopoida: Cyclopidae: Cyclopinae. Continental Cyclopoids*. Vol. 21. №26. 107 p.
- Bobkov A.I., Pavlitskaya V.P. (1998). Feeding and growth of the omul larvae in the Posolsky Sor // State of aquatic ecosystems of Siberia and prospects for their use. Materials of scientific readings in memory of Professor B.G. Ioganzen. – Tomsk. Pp. 273-274. (In Russ.).
- Bobkov A.I., Pavlitskaya V.P. (2003). Ecology of young fish of the Posolskaya population of benthic-deepwater omul // 70 years of Bolsherechensk plant: Materials of the regional scientific-practical conf. – Ulan-Ude. Pp. 11-23. (In Russ.).
- Pavlitskaya V.P., Bobkov A.I. (1999). Assessment of the level of the forage base and receiving capacity of water bodies of the coastal-soral system of Lake Baikal for young omul // Proceedings of the scientific-practical conference “Problems and prospects of rational use of fish resources of Siberia”. – Krasnoyarsk. Pp. 118-128. (In Russ.).
- Pavlitskaya V.P., Bobkov A.I. (2000). Peculiarities of functioning of early summer zooplankton of the Posolsky Sor of Lake Baikal in the current period // Proceedings of the International Conference “Problems of Hydroecology at the Turn of the Century”. – Spb: 2000. Pp. 6-8. (In Russ.).
- Kuzmich V.N. (1988). Study the level of development of the forage base of the Baikal littoral-pestiferous system under conditions of extended artificial reproduction of omul (Posolsky sor) (final report for 1988). – Ulan-Ude. (manuscript). (In Russ.).
- Vinberg G.G. (1956). Intensity of metabolism and nutritional needs of fish. – Minsk: Izd-vo BSU. 254 p. (In Russ.).
- Smirnov V.V., Shumilov I.P. (1974). Omuls of Lake Baikal // USSR Academy of Sciences. – Novosibirsk: Nauka. 160 p. (In Russ.).
- Shirobokov I.I. (1988). Nutrition and growth of young whitefish in mono- and polyculture: Cand. of Biological Sciences. – Irkutsk. 24 p. (In Russ.).
- Toporkov I.G., Tugarina P.Y. (1963). Feeding of the young Baikal omul at the age of up to two years // Proceedings of the All-Union Hydrobiological Society. Vol. 13. Pp. 217-224. (In Russ.).
- Dolgoarshinnikh Z.M. (1990). Nutrition and food relationships of young fish of the coastal-soral zone of Lake Baikal: extended abstract of dissertation of Cand. Biol. Sc. – Irkutsk. 25 p. (In Russ.).
- Petukhova N.G., Bobyrev A.E., Sokolov A.V. (2020). Results of the analysis of the state of the benthic-deep-water morpho-ecological group of the Baikal omul (*Coregonus migratorius*) // Fisheries Issues. V. 21. No. 3. Pp. 283-294. <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2020-21-283-294>. (In Russ.).
- Sorokina P.G. (2023). Estimation of variation of surface area and water volume in the commercial bays of Lake Baikal // System Analysis and Mathematical Modelling. V. 5. No. 3. Pp. 367-372. (In Russ.).
- Sukhodolov A.P., Fedotov A.P., Makarov M.M., Anoshko P.N. et al. (2020). Prospects of fishery utilisation of the Malomorsky fishing area: economic assessment and reasoning // Proceedings of Baikal State University. V. 30. No. 2. Pp. 233-244. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(2\).233-244](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(2).233-244). (In Russ.).

Материал поступил в редакцию/ Received 29.12.2024
Принят к публикации / Accepted for publication 16.01.2025