



УДК 597.553.2.574.22

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2022.41.66>

Исследования влияния расхода воды на протяжённость нерестовой миграции байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Coregonidae) в реке Селенге на базе многолетних данных

А. В. Базов¹, Н. В. Базова², Н. Л. Фролова^{3*}

¹Байкальский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (БайкалНИРО), г. Улан-Удэ, Россия

²Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия
E-mail: selengan@yandex.ru

Аннотация. На основе многолетних (1936–2018 гг.) данных о протяжённости нерестовой миграции байкальского омуля в р. Селенге проанализирована связь среднего миграционного расстояния ядра нерестового стада и расхода воды в реке в начале нерестового хода (сентябрь). С использованием математического аппарата установлен примерный пороговый показатель расхода воды, отмечающий укорочение нерестового пути в «многоводные» годы и заметное продление его вверх по течению в «маловодные». Обсуждается роль других совокупных факторов, влияющих на нерестовую дистанцию омуля.

Ключевые слова: байкальский омуль, *Coregonus migratorius*, река Селенга, распределение икры, расходы воды, нерестовая миграция.

Благодарности. Авторы благодарят руководителей и сотрудников Байкальского филиала Главного бассейнового управления по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов (Байкальского бассейнового управления рыбного хозяйства и сохранения водных биологических ресурсов) в г. Улан-Удэ за многолетнюю неизменную поддержку исследования. Авторы признательны В. А. Петерфельду, П. Е. Галкову, О. И. Журавлеву, А. В. Дубинину, В. А. Кильдюшкину, А. И. Тугарину, С. Г. Афанасьеву, А. В. Варнавскому, В. В. Ткачеву, С. Д. Ильину, А. Ю. Кузнецову, С. В. Кушнарёву, С. В. Чашину, С. С. Убонову за содействие при сборе материала; Д. В. Матафонову за помощь в составлении карты-схемы исследований, К. А. Базову за помощь в статистических расчётах.

Работа выполнена в рамках темы гос. задания (регистрационный № 121030900141-8) программы фундаментальных исследований ИОЭБ СО РАН.

Для цитирования: Базов А. В., Базова Н. В., Фролова Н. Л. Исследования влияния расхода воды на протяжённость нерестовой миграции байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Coregonidae) в реке Селенге на базе многолетних данных // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2022. Т. 41. С. 66–84. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2022.41.66>

Studies of the Water Discharge Effect on the Spawning Migration Distance of Baikal Omul *Coregonus migratorius* (Coregonidae) in the Selenga River Based on Long-term Data

A. V. Bazov¹, N. V. Bazova², N. L. Frolova^{3*}

¹*Baikal Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Ulan-Ude, Russian Federation*

²*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation*

³*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

Abstract. The Selenga River, the main tributary of Lake Baikal, is 1,453 km long and accounts for 50 % of its surface runoff. It is a large foothill, free-flowing, unregulated watercourse flowing through Mongolia (2/3 of the length) and Russia (1/3). Global climatic changes in recent decades have been particularly evident in the Baikal region: since the mid-1990s, there has been a significant decrease in water and sediment runoff in the Selenga basin. Omul spends most of its life cycle in the lake; spawning takes place in the river system. In total, there are 22 spawning rivers of Baikal omul in the Lake Baikal basin, among which 47 % of its spawning grounds are concentrated in Selenga. Omul spawns in the Selenga channel within 20–580 km upstream of the lake, and in some years it crosses the border between Russia and Mongolia. Based on long-term (1936–2018) data of the Baikal omul spawning migration in the Selenga River, the relationship between the average migration distance of the spawning herd core and the water discharge at the beginning of the spawning migration (September) was analyzed. Statistical analysis has established an approximate threshold for water discharge, which marks the shortening of the spawning path in «high-water» years and a noticeable extension of it upstream in “low-water” years. The role of other cumulative factors affecting the spawning distance of omul is discussed. Under conditions of a long subglacial period, omul eggs are successfully incubated in large areas for five to six months (November–April). Stability of habitat characteristics in such a shelter is ensured by a significant decrease in flow velocity and temperature, as well as increased water transparency and a relatively favorable oxygen regime. Ice cover formation can also be attributed to protective factors: it reliably shelters eggs from external atmospheric impact: average ice thickness on the river during the study period was 0,5 m (0,1–1,5 m, maximum by spring it often reaches 2 m near the shores). Hydraulic construction in the upper Selenga Watershed in Mongolia could have a significant negative impact on the spawning grounds of the Baikal omul, reducing the survival of its eggs during the winter months. Such impacts, combined with global warming and other anthropogenic disturbances, may even lead to the extinction of this cold-loving endemic of the Selenga Basin, which will undoubtedly affect the entire lake ecosystem.

Keywords: Baikal omul, *Coregonus migratorius*, Selenga River, eggs distribution, water discharge, spawning migration.

For citation: Bazov A.V., Bazova N.V., Frolova N.L. Studies of the Water Discharge Effect on the Spawning Migration Distance of Baikal Omul *Coregonus migratorius* (Coregonidae) in the Selenga River Based on Long-term Data. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2022, vol. 41, pp. 66-84. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2022.41.66> (in Russian)

Введение

Река Селенга – главный приток оз. Байкал, обеспечивающий 50 % его поверхностного стока. Это крупный свободно текущий незарегулированный трансграничный водоток, протекающий по территории Монголии (2/3 длины) и России (1/3), её исток находится в Монголии, в 1453 км от оз. Байкал [Описание отдельных ... , 1973].

Глобальные климатические изменения последних десятилетий особо проявились в регионе Байкала: величина положительного тренда годовых температур воздуха в бассейне оз. Байкал (1,2 °C за 100 лет) оказалась вдвое

выше, нежели в среднем для земного шара ($0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) [О проявлении на Байкале ... , 2002; Sixty years ... , 2008]. На фоне этого явления особенно выраженными стали современные флуктуации режима водоёмов территории: с середины 1990-х гг. отмечалось значительное снижение стока воды и наносов в бассейне Селенги, снижение уровня озёр и подземных вод и деградация вечной мерзлоты [Runoff fluctuations ... , 2017], затем с 2018 г. ситуация стала развиваться в обратную сторону. Изменения температуры воздуха, расхода воды и толщины льда особо заметны в зимний период [Obyazov, Smachtin, 2013]. Растущее антропогенное воздействие на систему р. Селенги – оз. Байкал создаёт дополнительные существенные риски для существования экосистем Байкальского региона. Так, в последнее десятилетие активно обсуждались представляющие весьма серьёзную потенциальную угрозу экосистеме Селенги гидротехнические проекты на территории Монголии [Water resources ... , 2013; Современная и прогнозная ... , 2016].

В Селенге обитают и нерестятся многие виды байкальских рыб, среди них ценные и охраняемые [Хохлова, 1967]. Особое значение имеет байкальский омуль, многие десятилетия составлявший основу рыбного промысла на Байкале [Мишарин, 1958; Шумилов, 1974; Краснощеков, 1981; Черняев, 1982; Воронов, 1993]: в недавнем прошлом доля вида в общих годовых уловах составляла 55–60 % [Краснощеков, 1981; Stock structure ... , 1999], при этом 25–75 % его уловов приходилось на прилегающее к дельте р. Селенги мелководье.

Большую часть жизненного цикла омуль проводит в озере, нерест происходит в речной системе. Всего в бассейне оз. Байкал насчитывается 22 нерестовых реки, среди которых Селенга является наиболее важной: в её системе сосредоточено 47 % нерестилищ байкальского омуля [Афанасьев, 1981; Voronov, Bolshunova, Luzbaev, 2021]. Миграция нерестового омуля в реку начинается в конце августа – начале сентября и завершается в течение 1,5 месяца [Афанасьев, 1981]. Омуль нерестится на участках русла в пределах 20–580 км вверх по течению от озера, в отдельные годы преодолевая границу России и Монголии (410 км) [Селезнев, 1942; Базов, Базова, 2016; Voronov, Bolshunova, Luzbaev, 2021]. Нерест происходит во второй половине октября, после длительного (180–200 дней) инкубационного периода в апреле – мае следующего года появляются личинки, мигрирующие в Байкал ко второй неделе мая [Мишарин, 1953].

Многие годы в реке проводятся мониторинговые наблюдения за нерестовой популяцией байкальского омуля, однако знания о многообразии условий среды, определяющих закономерности его нерестовых миграций и выбор мест нереста, до сих пор остаются ограниченными [Voronov, Bolshunova, Luzbaev, 2021]. Целью настоящего исследования явилось выяснение особенностей влияния гидрологических характеристик речного потока на протяжённость миграционного пути байкальского омуля к располагающимся в русле р. Селенги нерестилищам.

Материалы и методы

Сбор данных, послуживших основой исследования, выполнен в 1987–2018 гг. в рамках программы многолетнего непрерывного мониторинга нерестовой популяции байкальского омуля, стартовавшей в 1984 г.

В исследовании использованы гидрологические данные трёх пунктов гидрометеонаблюдений, расположенных на разных участках русла реки [АИС ГМВО]: пос. Мостовой (пост 7051; 127 км выше устья; 486,07 м над у. м.), пос. Новоселенгинск (пост 704; 273 км выше устья; 531,12 м над у. м.), пос. Наушки (пост 704; 402 км выше устья; 589,18 м над у. м.) (табл. 1).

Большая часть объёма годового стока Селенги (80–85 %) приходится на апрель – сентябрь, 12–14 % на октябрь – ноябрь и только 3–4 % – на зимний период с декабря по март, примерно половина годового объёма выпадает на июль – сентябрь. Уклон русла реки в пределах территории России составляет существенную величину – 0,34 ‰, что обуславливает высокие скорости течения в период открытой воды, в паводки достигающие 4 м/с. Годовая амплитуда колебаний уровня воды в реке составляет в среднем 2,0–3,5 м, в отдельные годы возрастая до 4,0–6,0 м. Во время летних паводков вода характеризуется максимальной мутностью [Описание отдельных ... , 1973]. В наиболее маловодные годы (2008 г. в период наших работ) эти характеристики снижаются до минимальных (см. табл. 1).

Таблица 1

Ежедекадные гидрологические характеристики р. Селенги на гидрометеостанциях Мостовой (127 км выше устья), Новоселенгинск (273 км) и Наушки (402 км) в 2008 г. (по данным АИС ГМВО)

Месяц	Декада	Мостовой				Новоселенгинск		Наушки			
		Q	T °C	M	N	Q	T °C	Q	T °C	M	N
Январь	1	129,0	–	–	–	112,5	–	46,5	–	–	–
	2	118,5	–	–	–	87,4	–	43,0	–	–	–
	3	104,1	–	–	–	56,5	–	42,1	–	–	–
Февраль	1	94,3	–	–	–	45,9	–	40,9	–	–	–
	2	86,6	–	–	–	41,1	–	39,2	–	–	–
	3	82,1	–	–	–	34,7	–	38,9	–	–	–
Март	1	89,7	–	–	–	42,2	–	41,4	–	–	–
	2	106,6	–	–	–	69,0	–	46,8	–	–	–
	3	137,8	–	–	–	115,7	–	67,4	–	–	–
Апрель	1	245,2	0,0	12,0	2,9	205,9	0,0	243,5	0,0	14,0	2,9
	2	553,8	1,4	18,0	10,0	479,4	2,4	331,4	1,2	27,0	8,8
	3	776,5	5,2	20,0	16,0	558,6	6,2	312,5	7,0	33,0	10,0
Май	1	645,0	7,2	10,0	6,6	467,7	8,2	306,3	8,7	28,0	8,2
	2	563,8	11,9	9,0	5,2	399,6	12,8	224,7	12,8	22,0	5,1
	3	599,1	11,3	13,0	7,6	427,2	12,1	239,8	12,8	10,0	2,5
Июнь	1	677,4	15,0	28,0	19,0	444,7	17,7	216,2	18,0	10,0	2,3
	2	780,4	17,9	20,0	16,0	536,7	18,5	254,9	18,6	19,0	5,2
	3	1398,8	18,7	31,0	45,0	1208,9	18,6	468,9	18,7	35,0	16,0
Июль	1	1750,0	21,0	130,0	230,0	1436,0	20,3	593,4	21,0	90,0	53,0
	2	1579,0	21,7	40,0	63,0	1269,0	20,9	452,8	22,3	46,0	21,0
	3	1261,8	22,4	30,0	38,0	991,4	21,7	381,9	21,9	27,0	10,0
Август	1	1387,0	15,5	17,0	24,0	1084,6	15,0	431,1	15,1	27,0	12,0
	2	1262,0	20,6	20,0	26,0	990,6	20,4	419,2	20,8	30,0	13,0
	3	973,1	20,1	23,0	22,0	773,9	19,4	359,6	20,3	17,0	6,0

Окончание табл. 1

Месяц	Декада	Мостовой				Новоселенгинск		Наушки			
		Q	T °C	M	N	Q	T °C	Q	T °C	M	N
Сентябрь	1	1150,0	14,9	19,0	22,0	923,4	14,9	366,0	14,8	9,3	3,4
	2	1308,0	13,1	18,0	23,0	1055,0	12,5	412,7	13,0	7,5	3,1
	3	1169,0	9,5	15,0	17,0	887,2	9,6	367,4	11,7	6,6	2,4
Октябрь	1	954,4	0,8	11,0	–	706,9	1,6	330,1	1,7	11,0	3,7
	2	822,8	3,5	9,2	–	597,3	4,7	302,5	6,6	9,2	2,8
	3	636,4	0,8	11,0	–	516,5	1,6	272,6	1,7	11,0	3,0
Ноябрь	1	369,2	0,2	12,0	–	401,6	0,3	222,8	0,6	14,0	–
	2	260,7	0,0	18,0	–	226,8	0,0	155,2	0,0	27,0	–
	3	225,9	–	–	–	162,5	–	120,2	0,0	33,0	–
Декабрь	1	191,5	–	–	–	148,4	–	86,2	–	–	–
	2	160,1	–	–	–	140,4	–	64,0	–	–	–
	3	129,7	–	–	–	130,8	–	59,0	–	–	–

Примечание: Q – расход воды, м³/с; T °C – температура воды; M – мутность, г/м³; N – наносы, кг/с.

Для изучения взаимосвязи между расстояниями нерестовой миграции и оценками стока Селенги дополнительно использовали данные по расходу воды по гидрометеостанции «Мостовой» в августе – сентябре (время начала миграции) с 1936 по 2018 г., полученные из соответствующих выпусков гидрологических ежегодников за 1936–2007 гг. и данных за 2008–2018 гг. [АИС ГМВО].

В подлédный период температура воды в реках бассейна Байкала колеблется в пределах 0 °C, проходит через 0,2 °C в конце октября – начале ноября и во второй половине апреля. В течение весны температура реки неуклонно повышается, максимальные температуры (+20...+22 °C) отмечены в июле (см. табл. 1). В зимнее время насыщенность вод реки растворённым кислородом составляет ~40 % и ниже этого предела не опускается [Описание отдельных ... , 1973].

Данные непосредственных измерений температур воды в исследовании не учитывали из-за катастрофического замерзания приборов, накопления шуги и якорного льда. Для всего исследования в подлédный период нами принято значение температуры воды, близкое к ~0 °C [Описание отдельных ... , 1973], что не противоречит данным по условиям естественной инкубации икры других сиговых рыб [Черняев, 1971; Решетников, Богданов, 2011].

Максимальное количество взвешенных наносов колеблется в пределах 540–1100 г/м³, с прекращением поверхностного стока в середине сентября уровень воды в реке постепенно снижается и показатель уменьшается. Окончательная очистка воды наступает после ледостава в середине ноября; этот период длится 150–170 дней (~140 дней) (см. табл. 1). Подо льдом Селенга несёт чистую воду с голубоватым оттенком, которая остаётся такой в течение всей зимы вплоть до ледохода [Описание отдельных ... , 1973].

В русле Селенги в подлédный период преобладают гравийно-галечно-песчаные грунты: например, в 2007 г. они занимали более 80 % всех площадей исследования, каменисто-галечно-песчаные грунты составили 5–6 %, песчано-илистые – 6 и 2 % площади соответственно (табл. 2).

Данные по распределению икры омуля на нерестилищах р. Селенги в 1935–1937, 1944–1952, 1953–1962 гг. были получены из фондовых материалов Байкальского филиала ВНИРО (БайкалНИРО)) [Кактынь, 1953; Краснощек, 1962; цит. по: Базов, Базова, 2016], за 1965–1972 гг. – из исследования В. Н. Сорокина [1981]. Пробы икры в эти годы отбирали по 25 на каждой контрольной площадке размером до 5 га. В 1973–1983 гг. такие пробы на р. Селенге не отбирались.

Начиная с 1984 г. при изучении нерестилищ омуля на р. Селенге контрольные площадки были заменены профильными разрезами, содержащими по 10 проб на каждом [Воронов, 1993]. Так, в 1985 г. на участке 65 км выше устья по разрезу через всё русло реки были отобраны 19 проб грунта с икрой.

Станции разместили в шахматном порядке по четырём линиям на расстоянии 30 м друг от друга, с таким же расстоянием между линиями [Базов, Базова, 2016, с. 134]. Полученные данные по плотности икры, распределённой на различном числе станций, сравнивали с помощью U-критерия Манна-Уитни. Было показано отсутствие отличий средних, полученных при взятии 19 проб и любой выборке из 10 станций при шахматном размещении по разрезу. Затем было рассчитано теоретическое число разрезов, необходимых для обеспечения 90%-ной надежности данных съёмки нерестилищ. Было выяснено, что на 400-километровом участке Селенги в пределах России необходимо исследовать 24 разреза на расстоянии ~10–20 км, каждый из них должен охватывать всю ширину реки (100–450 м).

На участке 20–410 км выше устья Селенги с интервалом ~10–20 км были выбраны 24 разреза, проходящих через поперечное сечение речного русла и целиком охватывающих его ширину, изменяющуюся в пределах 100–450 м (рис. 1, б). На каждом разрезе в шахматном порядке в два ряда размещали 10 станций по пять в каждом ряду (рис. 2). Расстояние между станциями одного поперечного профиля было одинаковым (~20–30 м), величина его зависела от ширины реки, но не превышала 40 м. Число разрезов, места их ежегодного расположения и расположение станций на каждом с 1984 г. сделали постоянными.

Отбор проб выполняли ежегодно в декабре, вскоре после окончания нереста омуля и установления надёжного ледового покрова, в течение 27 лет с 1987 по 2018 г., за исключением 1991, 1993 и 2002 гг. Средняя толщина льда в начале подледного периода в 1987–2012 гг. составила 0,44 м (min–тах – 0,01–1,40 м; $n = 3036$), в конце периода средняя толщина льда составила 0,99 м (0,01–2,00; $n = 1271$). Грунт с икрой отбирался через проруби с помощью скребка Дулькейта. Более подробно процесс отбора проб описан ранее [Базов, Базова, 2016, с. 135]. Всего со дна речного русла отобраны 5872 пробы субстрата, содержащего икру омуля.

Ошибки для числа отобранной в пробах икры омуля приняты из экспериментальных данных, полученных в декабре 1989 г. [Базов, Базова, 2016, с. 135]. Наибольшие значения ошибок наблюдались на песчаных (песок / мелкий гравий, $\pm 10\%$) и каменистых грунтах (гравий/булыжник, $\pm 13\%$).

Таблица 2

Характеристики условий среды на участках сбора проб (ихтиологических разрезах) в русле р. Селенги (декабрь 2007 г.)

№ участка	Расстояние от устья реки, км	Высота над у. м., м	Координаты		Глубина, м	Толщина льда, м	Скорость течения, м/с	Число проб	Тип грунта, %					
			с. ш.	в. д.					1	2	3	4	5	6
1	20	457	52°12'23,4"	106°28'15,5"	2,34±0,12	0,5	0,32±0,02	10	0	50	0	50	0	0
2	35	457	52°08'40,4"	106°33'79,2"	3,67±0,32	0,4	0,21±0,04	10	20	30	0	50	0	0
3	45	459	52°05'67,6"	106°37'63,2"	2,41±0,10	0,4	0,38±0,07	10	10	20	0	70	0	0
4	55	463	52°02'81,2"	106°45'33,6"	2,12±0,25	0,6	0,29±0,05	10	0	0	0	100	0	0
5	65	466	52°03'15,1"	106°52'16,3"	1,73±0,16	0,2	0,45±0,03	10	0	0	0	100	0	0
6	85	470	52°08'27,9"	107°06'63,1"	1,29±0,10	0,4	0,33±0,05	10	0	0	0	100	0	0
7	101	478	52°07'67,5"	107°19'73,4"	1,68±0,20	0,4	0,48±0,09	10	0	0	0	90	10	0
8	113	480	52°08'78,3"	107°26'72,0"	2,12±0,23	0,6	0,33±0,06	6	0	0	0	83	17	0
9	123	484	52°03'08,8"	107°29'39,4"	1,20±0,11	0,4	0,51±0,15	6	0	0	0	83	0	17
10	136	488	51°58'03,9"	107°29'45,0"	1,50±0,15	0,2	0,34±0,02	10	0	0	0	100	0	0
11	153	491	51°50'55,8"	107°33'89,1"	2,86±0,32	0,3	–	9	0	0	0	67	33	0
12	165	494	51°45'34,5"	107°31'50,0"	1,79±0,12	0,3	0,45±0,05	10	0	0	0	40	30	30
13	175	496	51°44'39,5"	107°28'84,9"	1,99±0,40	0,5	0,14±0,04	10	0	0	0	100	0	0
14	185	501	51°37'95,9"	107°23'24,6"	1,70±0,15	0,5	0,40±0,07	10	0	0	0	100	0	0
15	193	504	51°32'75,6"	107°20'76,5"	2,52±0,20	0,3	0,26±0,02	10	0	0	0	80	0	20
16	204	508	51°30'71,7"	107°11'58,7"	1,94±0,20	0,5	0,31±0,04	10	0	0	0	90	10	0
17	230	514	50°24'44,9"	106°00'15,2"	1,27±0,16	0,3	0,72±0,06	10	0	0	0	100	0	0
18	262	524	51°14'46,5"	106°51'19,8"	1,98±0,06	0,6	0,36±0,06	10	0	0	0	80	20	0
19	280	532	51°04'24,3"	106°39'30,5"	2,10±0,11	0,5	0,30±0,03	10	10	0	0	90	0	0
20	290	542	50°58'09,9"	106°21'96,3"	2,17±0,23	0,7	0,30±0,09	10	0	0	0	90	10	0
21	346	560	50°45'22,8"	106°17'45,5"	1,55±0,16	0,3	0,53±0,03	10	0	0	0	90	10	0
22	372	578	50°32'04,7"	106°16'38,9"	1,23±0,09	0,2	0,31±0,05	10	10	0	0	30	10	50
23	390	583	50°30'07,7"	106°08'41,8"	2,72±0,34	0,6	0,18±0,01	9	0	44	0	56	0	0
24	410	591	50°23'18,6"	106°04'36,2"	1,68±0,18	0,3	0,55±0,04	11	0	0	0	100	0	0
Среднее					1,98±0,05	0,41±0,01	0,37±0,01	231	2,1	6,0	0	80,8	6,2	4,9

Примечание: 1 – ил, песок; 2 – песок (крупный и мелкий); 3 – ил, гравий, песок; 4 – гравий, галька, песок; 5 – гравий, булыжник, песок; 6 – булыжник. Использована следующая гранулометрическая шкала: песок – 0,1–2 мм; гравий – 2–10 мм; галька – 1–10 см, булыжник – более 10 см.

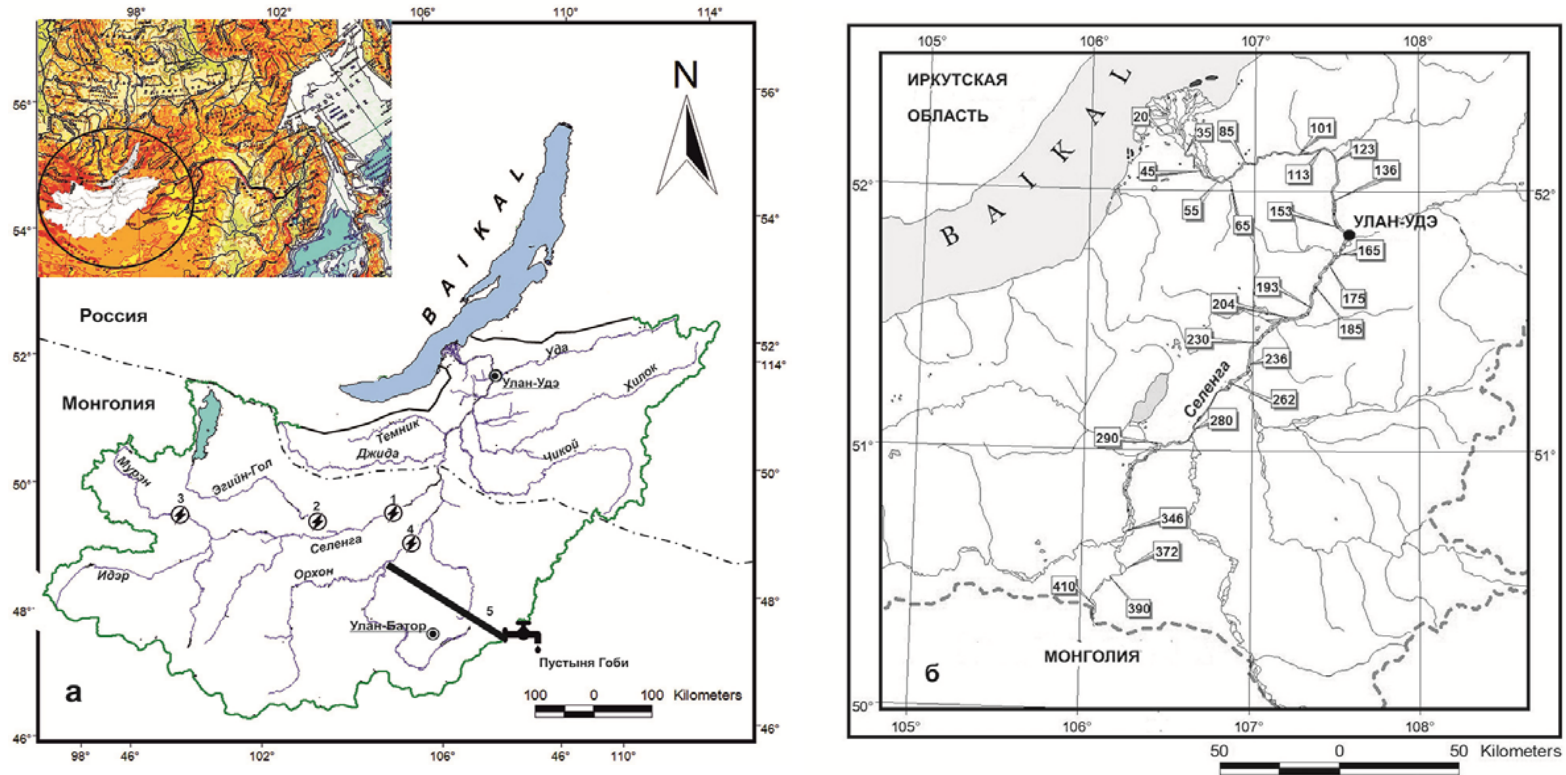


Рис. 1. Карта-схема оз. Байкал и бассейна р. Селенги: а – пунктирной линией обозначена государственная граница Российской Федерации и Монголии, символами показано расположение гидротехнических сооружений, планируемых в бассейне р. Селенги на территории Монголии; б – карта-схема разрезов отбора проб икры байкальского омуля в р. Селенге. На метках указано расстояние от устья реки

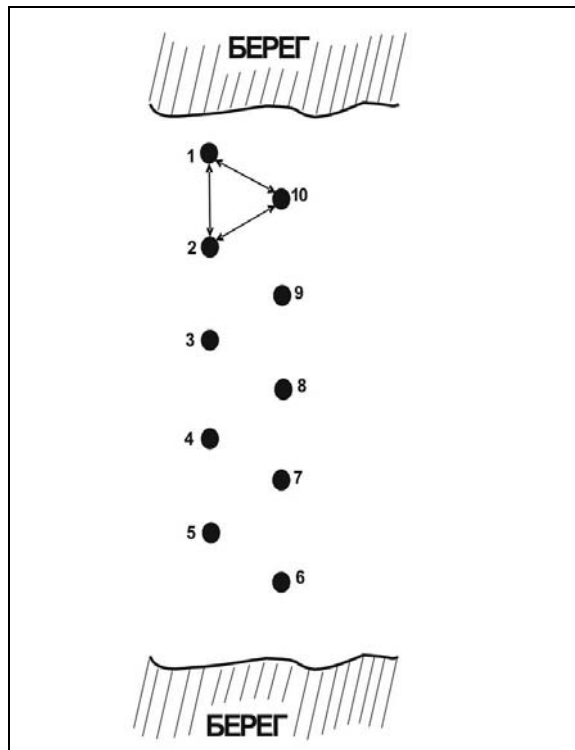


Рис. 2. Схема расположения станций отбора проб грунта, содержащего икру омуля, на разрезе через поперечное сечение русла р. Селенги

Средняя величина плотности залегания икры на разрезе определяется как средневзвешенная средних значений по плотности в каждом треугольнике, образованном тремя соседствующими станциями разреза (см. рис. 2) [Воронов, 1993; Базов, Базова, 2016]. Поскольку икра омуля в р. Селенге по мере удаления от оз. Байкал распределяется в соответствии с законом нормального распределения, место пика распределения икры было отмечено как среднее миграционное расстояние ядра нерестового стада за тот или иной год. Различия среднего миграционного расстояния для «многоводных» и «маловодных» лет были проверены с помощью теста Манна – Уитни для независимых средних, поскольку распределение в эти годы отличалось от нормального.

Статистический анализ выполнен с помощью пакетов MS Office 2007 (Excel) и Statistica v. 13.

Результаты и обсуждение

Исследования нерестилиц байкальского омуля на притоке Северного Байкала р. Кичере в 1931 г. показали, что омуль нерестится в основном на участке реки протяжённостью 20–25 км [Тюрин, Сосинович, 1937]. В 1959 г. А. А. Лобовиковой [1960: цит. по: Базов, Базова, 2016] найдены нерестилища омуля в р. Кике (Средний Байкал) в 20 км от устья. Границы нерестилиц в

р. Верхней Ангаре были определены в 270–360 км выше устья, причём отмечалось, что верхняя граница изменяется в зависимости от водности года. В многоводные годы омуль способен преодолевать мелководные перекаты верхнего течения, увеличивая протяжённость нерестовой миграции. Косяки разных сроков захода при этом использовали для размножения разные участки реки [Шумилов, 1971, 1974].

На р. Селенге икра омуля впервые найдена в 1935 г. [Селезнев, 1942]. В исследовании С. И. Краснощекова [1962: цит. по: Базов, Базова, 2016] отмечено, что в нижнем течении (10–35 км выше устья) омуль в течение одного года нерестился преимущественно на галечно-песчаном субстрате на глубине 1,4–4,0 м, в следующем же году нерест в этом районе не отмечен вообще. В 1965–1973 гг. расстояние нерестовой миграции омуля в Селенге обычно варьировало в пределах 20–153 км выше устья и лишь в некоторые годы превысило 153 км [Сорокин, 1981]. В работе Г. А. Афанасьева [1981] отмечено, что при повышении уровня воды в реке нерестовые производители поднимаются для нереста выше. В исследованиях М. Г. Воронова [Воронов, 1993; Воронов, Воронова, Воронов, 2020; Воронов, Жугдурова, Ахметшакирова, 2020; Voronov, Bolshunova, Luzbaev, 2021] показано, что дальность хода нерестового омуля определяется степенью зрелости половых продуктов производителей при заходе в реку.

Ранее нами отмечалось, что расстояние нерестовой миграции омуля определяется уровнем р. Селенги [Базов, Базова, 2016]. В данной работе мы опираемся на сведения не по уровню стояния вод реки, а по расходу воды в начале нерестовой миграции омуля, каковой подход считаем более корректным.

Нижняя граница размещения нерестилищ омуля в русле Селенги, как правило, остаётся неизменной и находится в 20 км выше устья (пос. Мурзино), откуда начинается распространение подходящих для нереста грунтов.

На основании данных распределения максимальной плотности икринок (пиков) на разрезах р. Селенги в 1936–2018 гг. (табл. 3, рис. 3) было получено уравнение линейной регрессии (1), объясняющее зависимость нерестовой дистанции (L , км) от расходов воды в августе (Q_{Aug}) и сентябре (Q_{Sep}):

$$L = 266 - 0,007 \times Q_{Aug} - 0,051 \times Q_{Sep}. \quad (1)$$

В этом уравнении коэффициент $R^2 = 0,262$, т. е. составляет незначительную величину.

Следует заметить, что данные по нерестовой миграции до 1984 г. не отличаются достаточной точностью. Фондовые материалы БайкалНИРО свидетельствуют, что при отборе проб в 1935–1952 гг. специалисты передвигались гужевым транспортом, из-за чего регулярный охват исследованиями российской части русла Селенги целиком представляется весьма проблематичным. Тем не менее данные этого периода все же позволяют проследить тенденцию увеличения миграционного расстояния нерестового омуля с уменьшением расходов воды р. Селенги (рис. 3).

Таблица 3

Расходы воды и расстояние нерестовой миграции байкальского омуля
в р. Селенге в 1935–2018 гг.

Год	1935	1936	1937	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953
Q_{Aug}	–	1110	2150	1110	1740	1240	1710	1740	1820	2230	1500	3000	1730
Q_{Sep}	–	1930	1910	1030	2500	1220	1240	2500	2160	2080	1490	2030	1100
L	230	180	170	300	300	300	300	120	100	120	230	130	175
M	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Год	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1965	1966	1967	1968	1970
Q_{Aug}	1600	1400	2250	1560	1240	2940	1110	3270	2350	2540	2090	1870	1560
Q_{Sep}	1350	1630	1600	1510	1180	2210	1030	2430	1540	1450	1990	1640	2040
L	175	175	175	150	100	250	100	150	113	113	150	150	100
M	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	–	–	1
Год	1971	1972	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Q_{Aug}	3420	1270	2100	3310	1550	1620	2780	1860	4020	2400	1740	4360	3150
Q_{Sep}	1460	908	2900	2220	1690	1640	3070	1420	3530	2310	2640	2650	3200
L	150	200	113	101	113	113	113	153	113	85	85	101	113
M	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Год	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Q_{Aug}	2170	1570	2400	3989	1653	1545	1698	692	1771	820	1156	1543	785
Q_{Sep}	1500	972	1270	2261	1214	1697	1377	536	1738	655	985	891	965
L	185	230	185	113	230	101	185	450	230	262	185	230	230
M	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	–	–
Q_{Aug}	1200	1294	1285	1000	2072	2052	1023	956	1863	781	2308	–	–
Q_{Sep}	1209	1124	970	687	1380	2266	812	1147	1545	1166	1911	–	–
L	185	185	185	346	185	100	185	85	85	100	100	–	–
M	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	–	–

Примечание: Q_{Aug} – расход воды в августе ($\text{м}^3/\text{с}$), Q_{Sep} – расход воды в сентябре ($\text{м}^3/\text{с}$) по гидрометеопосту «Мостовой»; L – расстояние нерестовой миграции омуля до пика плотности отложенной икры, км; M – миграция: 1 – дальняя, 2 – ближняя

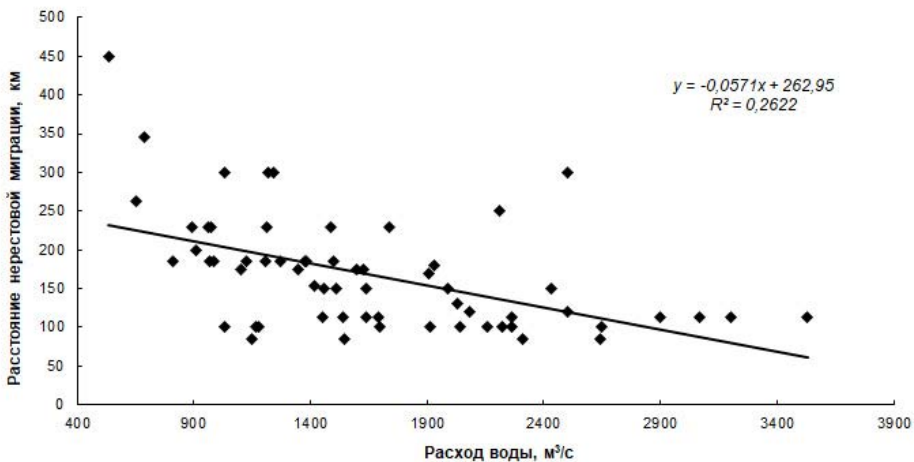


Рис. 3. Соотношение протяжённости нерестовой миграции омуля и среднего расхода воды в сентябре в р. Селенге в 1936–2018 гг.

В аналогичном уравнению (1) выражении, полученном по данным 1984–2018 гг. (см. табл. 3), использован метод наименьших квадратов. Была выбрана степенная функциональная форма, для чего все переменные были логарифмированы и сведены к линейной модели:

$$\ln L = 9,578 + 0,368 \times \ln Q_{Aug} - 1,001 \times \ln Q_{Sep}. \quad (2)$$

В этой модели коэффициент $R^2 = 0,651$, т. е. уравнение достаточно хорошо описывает зависимость, вместе с тем величина коэффициента позволяет предположить, что расход воды не является единственным фактором, влияющим на нерестовую дистанцию омуля, о чём будет упомянуто ниже.

Расходы воды р. Селенги в августе и в сентябре в значительной степени взаимосвязаны ($r = 0,80$), поэтому можно исключить один из этих факторов без существенного снижения качества модели. Модуль t -статистики для расхода воды Q_{Aug} равен 2,364 ($p = 0,024$), для Q_{Sep} , соответственно, – 6,23 ($p = 5,6e-07$). Можно сделать вывод, что расход воды р. Селенги в сентябре значительно влияет на нерестовую дистанцию омуля (см. табл. 3). Для упрощения модели оставим в ней только расход воды в сентябре, затем построим новую регрессию (3):

$$\ln L = 10,064 - 0,693 \times \ln Q_{Sep}, \quad (3)$$

В этом уравнении новый коэффициент $R^2 = 0,59$; отметим, что незначительное снижение коэффициента не снижает качества модели.

Характеристики нерестовых миграций 2015–2017 гг. дали основание обсуждать ещё один фактор, влияющий на дальность продвижения омуля к нерестилищам: экстремально малую численность нерестового стада. Несмотря на низкий расход воды в Селенге в эти годы, нерестовые производители не поднялись, как ожидалось, на нерестилища, расположенные в 200–400 км выше устья, а преодолели лишь 85–101 км. Средняя численность производителей в 2015–2017 гг. составила 0,5 млн экз., что втрое ниже соответствующего показателя за последние 50 лет [Базов, Базова, 2016]. Можно предполагать существование определённой «пороговой» численности нерестового стада, когда концентрация производителей в реке, превышающая её, заставляет косяк подниматься выше по течению, расширяя площади для нереста, либо довольствоваться уже занятыми нерестилищами, если численность стада небольшая. Мы предполагаем, что такая «пороговая» численность нерестового стада пелагического омуля Селенги составляет около 0,5 млн экз. Однако отсутствие достаточного объёма наблюдений за годы с низкой численностью нерестового стада не позволяет свидетельствовать о достоверном влиянии этого фактора, поскольку численность стада крайне редко достигала столь малых значений.

Следует отметить, что данные за 2003 г. (см. табл. 3) значительно выходят за пределы полученной регрессии, что позволяет отнести их к разряду «выбросов» (outliers).

Исключив из модели данные за 2003 и 2015–2017 гг., получим увеличение коэффициента R^2 до 0,80, что заметно улучшает её:

$$\ln L = 10,615 - 0,761 \times \ln Q_{Sep}. \quad (4)$$

F-критерий указывает на существенную значимость итоговой регрессии ($p = 3,68e-11$).

После преобразования в степенную функциональную форму

$$L = 40741 \times Q_{Sep}^{-0,744}. \quad (5)$$

Интерпретировать модель (5) можно следующим образом: при уменьшении расхода воды в р. Селенге в сентябре на 1 % нерестовая дистанция омуля возрастает на $\sim 0,7\%$, а при увеличении на столько же снижается (рис. 4).

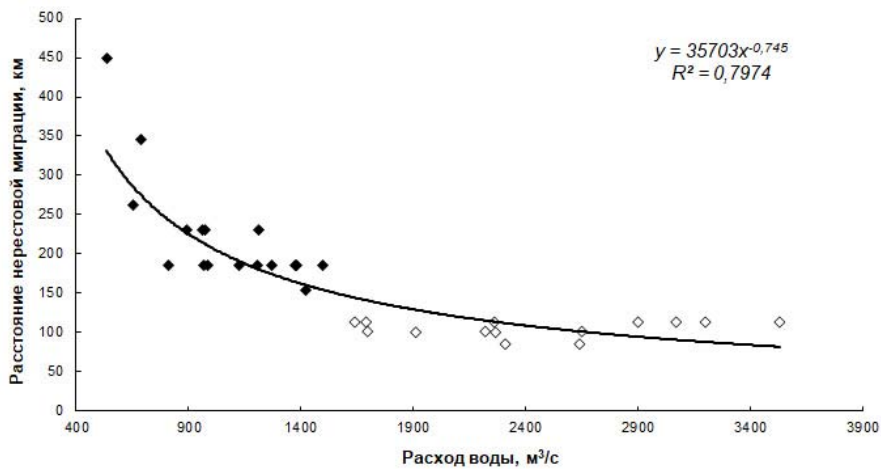


Рис. 4. Соотношение протяжённости нерестовой миграции и среднего расхода воды в р. Селенге в сентябре 1984–2018 гг. Светлые символы – многоводные годы, тёмные – маловодные годы

По данным из табл. 3 мы рассчитали отдельные регрессии к расстоянию, пройденному нерестовым стадом в годы выше («многоводные») и ниже («маловодные») условного порога сентябрьских расходов воды в $1500 \text{ м}^3/\text{с}$.

При этом для «маловодных» лет, отмеченных на рис. 4 тёмными символами, была получена аналогичная степенная регрессия, где $R^2 = 0,817$:

$$L = 201958 \times Q_{Sep}^{-0,99}. \quad (6)$$

Для «многоводных» же лет, отмеченных светлыми символами, коэффициент линейной регрессии $R^2 = 0,256$. Данная зависимость незначима по F-критерию ($p = 0,163$)

$$L = 5,42 \times Q_{Sep}^{0,373}. \quad (7)$$

Значительно различающиеся наклоны тренда иллюстрируют различную стратегию, принятую омулем выше и ниже условного порога $\sim 1500 \text{ м}^3/\text{с}$

между «высокими» и «низкими» показателями расхода воды в начале миграции. Таким образом, можно отметить, что в «многоводные» годы омуль оказывается «маломаневренным», вероятно, из-за невозможности преодолеть значительную силу потока. В то же время в «маловодные» годы у омуля появляется больше возможностей для прохода выше по течению и рассредоточения по руслу Селенги для освоения возможно больших участков нерестилищ: чем выше численность стада, тем большие площади требуются ему для нереста [Москаленко, 1971].

Среднее миграционное расстояние (расстояние вверх по течению до участков с пиком плотности отложенной икры) за 35 лет в 1984–2018 гг. составило 165 (85–450) км от устья реки. При этом средний расход воды (по данным поста Мостовой) в сентябре этих лет составил 1644 (536–3530) м³/с (см. табл. 3).

В годы «близкой» миграции (14 лет) миграционное расстояние равнялось 102 (85–113) км при среднем $Q_{Sep} \sim 2226$ (1147–3530) м³/с. К таким условно многоводным следует отнести 1984–1988, 1990–1994, 1998, 2000, 2013 и 2018 гг. (см. табл. 3).

В годы «дальней» миграции (18 лет) показатель возрастал практически вдвое ($Z = -4,78$; $p = 0,000$) – до 223 (153–450) км. Расход воды в такие годы понижался до 1095 (536–1738) м³/с ($Z = -4,67$; $p = 0,000$). К условно маловодным следует отнести 1989, 1995–1997, 1999, 2001–2012 и 2014 гг. (см. табл. 3). Следует отметить, что часть стада в такие годы заходит на нерест в притоки Селенги – реки Чикой (285 км выше устья) и Орхон на территории Монголии (430 км выше устья) и поднимается по ним на 30–150 км [Базов, Базова, 2016; Voronov, Bolshunova, Luzbaev, 2021].

Таким образом, за период исследований распределения икры омуля в р. Селенге в 1984–2018 гг. расходы воды в начале миграции снизились с ~ 2226 м³/с в конце 1980-х – начале 1990-х гг. до ~ 1057 м³/с в 2000-х гг. Протяжённость нерестовых миграций омуля за тот же период выросла примерно вдвое: с ~ 102 км до ~ 223 км (см. табл. 3, рис. 4).

Омуль нерестится на глубинах 1,5–6,0 м (как правило, по фарватеру русла), избегая глубин менее 1,5 м. Икра омуля встречается на участках со скоростью течения до 0,7 м/с с максимумом при 0,1 м/с [Bazova, Bazov, 2021]. Несмотря на то что температура воды в зимний период снижается практически до 0 °С, полного промерзания русла Селенги не наблюдается. Таким образом, в условиях длительного подлёдного периода икра омуля успешно инкубируется на значительных площадях на протяжении пяти-шести месяцев (ноябрь – апрель). Стабильность характеристик среды обитания в таком укрытии обеспечивается значительным снижением скорости течения и температуры, а также повышением прозрачности воды и относительно благоприятным кислородным режимом. Снижение температуры обуславливает защитные функции среды – метаболизм потенциальных потребителей икры при столь низких температурных значениях сводится к минимуму [Prowse, 2001; Danks, 2007]. Образование ледового покрова также можно отнести к числу защитных факторов – он надёжно укрывает икру от внешне-

го атмосферного воздействия: средняя толщина льда в реке за период исследования составила 0,5 м (0,1–1,5 м), к весеннему периоду у берегов часто достигая 2 м.

Каменисто-гравийно-песчаные грунты, занимающие в подлёдный период пространство ложа реки почти целиком (см. табл. 2), являются естественным нерестовым субстратом байкальского омуля в р. Селенге. Его потенциальная ёмкость в недавнем прошлом, вероятно, была значительно выше: средние значения численности икры (~40–50 шт./м²) рассчитаны из средней численности стада в 1,5 млн производителей. Между тем в XIX в. численность стада была гораздо более высокой – до 10 млн производителей [Базов, Базова, 2016], следовательно, этот субстрат мог содержать пропорционально заметно более высокую среднюю численность икры – ~250–350 шт./м². Грунты такого типа выстилают всё русло Селенги на территории России и, очевидно, распространены в монгольской части реки.

Строительство ГЭС и других гидротехнических сооружений в верхней части селенгинского бассейна может оказать существенное негативное влияние на состояние нерестилищ байкальского омуля, снизив выживаемость его икры в течение зимних месяцев. Предупреждают, например, что введение в эксплуатацию даже одного или двух из планируемых гидроузлов на притоках Селенги в Монголии приведёт к увеличению объёма сбросов отеплённых вод в русло реки и увеличит её зимний сток на границе с Россией в два-три раза [Современная и прогнозная ... , 2016]. Есть основания полагать, что последствия реализации гидротехнических проектов в сочетании с влиянием глобального потепления и антропогенных нарушений среды могут даже привести к исчезновению этого холодолюбивого эндемика в бассейне Селенги, что, несомненно, повлияет на состояние всей экосистемы озера.

Заключение

Многолетние исследования нерестовых миграций байкальского омуля в р. Селенге показали, что расход воды является важным фактором, определяющим протяжённость таких миграций в крупном водотоке. Освоение омулем селенгинских нерестилищ происходит в зависимости от способности нерестового косяка продвигаться против течения. Вместе с тем, несомненно, на продвижение вверх по реке оказывают влияние прочие гидролого-метеорологические условия, а также ряд факторов, определяющих физиологическое состояние нерестовых производителей (в первую очередь условия нагула в озере перед нерестом). Выяснение взаимовлияния гидрологических условий нерестового водотока и биологических показателей производителей может стать темой отдельного исследования.

Список литературы

АИС ГМВО: Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/>

Афанасьев Г. А. Экология нерестового стада омуля реки Селенги // Экология, болезни и разведение байкальского омуля. Новосибирск : Наука, 1981. С. 5–34.

Базов А. В., Базова Н. В. Селенгинская популяция байкальского омуля: прошлое, настоящее, будущее. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2016. 352 с.

- Воронов М. Г. Эколого-биологические основы повышения эффективности воспроизводства омуля в р. Селенге в современных условиях : автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1993. 18 с.
- Воронов М. Г., Воронова З. Б., Воронов А. М. Экспресс-методики, как надежный инструмент мониторинга биолого-физиологического состояния производителей байкальского омуля р. Селенги // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. ГСХА, 2020. С. 302–307.
- Воронов М. Г., Жугдурова С. В., Ахметшакирова Е. Ю. Морфо-физиологические показатели у производителей омуля разных периодов захода в р. Селенга // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. ГСХА, 2020. С. 308–316.
- Краснощечков С. И. Биология омуля озера Байкал. М. : Наука, 1981. 143 с.
- Мишарин К. И. Естественное размножение и искусственное разведение посольского омуля в Байкале // Известия Биолого-географического НИИ при Восточно-Сибирском университете. 1953. Т. 14, вып. 1–4. 133 с.
- Мишарин К. И. Байкальский омуль // Рыбы и рыбное хозяйство в бассейне озера Байкал. Иркутск : Иркут. кн. изд-во, 1958. С. 130–287.
- Москаленко Б. К. Сиговые рыбы Сибири: Биологические основы промышленной эксплуатации и воспроизводства сырьевых запасов. М : Пищ. пром-сть, 1971, 183 с.
- О проявлении на Байкале глобальных изменений климата в XX столетии / М. Н. Шимараев, Л. Н. Куимова, В. Н. Синюкович, В. В. Цехановский // Доклады РАН. 2002. Т. 383, № 3. С. 397–400.
- Описание отдельных рек / Е. Г. Иванов, Л. П. Данилова, В. И. Зильберштейн, И. Ф. Быстрова // Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн озера Байкал (Забайкалье). Л. : Гидрометеоздат, 1973. Т. 16, вып. 3. С. 40–236.
- Решетников Ю. С., Богданов В. Д. Особенности воспроизводства сиговых рыб // Вопросы ихтиологии. 2011. Т. 51, № 4. С. 502–525.
- Селезнев В. Н. Байкальский омуль, его естественное размножение и перспективы искусственного разведения // Известия Биолого-географического НИИ при Восточно-Сибирском университете. 1942. Т. 9, вып. 1–2. С. 24–38.
- Современная и прогнозная оценка стока воды и наносов рек бассейна Селенги / С. Р. Чалов, М. Г. Гречушникова, М. И. Варенцов, Н. С. Касимов // География и природные ресурсы, 2016. № 5. С. 39–48.
- Сорокин В. Н. Условия естественного воспроизводства омуля в р. Селенге // Экология, болезни и разведение байкальского омуля. Новосибирск : Наука, 1981. С. 34–44.
- Тюрин П. В., Сосинович П. Н. Материалы к познанию нереста байкальского омуля в р. Кичере // Известия Биолого-географического НИИ при ИГУ. 1937. Т. 7, вып. 3–4. С. 198–224.
- Хохлова Л. В. Рыбы р. Селенги // Рыбы и кормовые ресурсы рек и водохранилищ Восточной Сибири. Красноярск : Краснояр. рабочий, 1967. С. 291–325.
- Черняев Ж. А. О возможности развития икры байкальских сиговых рыб в переохлажденном состоянии «пагона» // Труды СВКНИИ ДВНЦ АН СССР. Вып. 42. Биологические проблемы Севера. Магадан, 1971. С. 67–73.
- Черняев Ж. А. Воспроизводство байкальского омуля. М. : Легк. и пищ. пром-сть, 1982. 128 с.
- Шумилов И. П. Выживаемость икры байкальского омуля *C. autumnalis migratorius* (Georgi) на нерестилищах р. Кичеры и влияние водности реки на урожайность поколений // Вопросы ихтиологии. 1971. Т. 11, вып. 2. С. 280–289.
- Шумилов И. П. Биологические основы восстановления и рационального использования запасов северобайкальского стада омуля // Омупи Байкала. Новосибирск : Наука, 1974. С. 81–134.
- Bazova N. V., Bazov A. V. Influence of abiotic factors on incubation of Baikal omul eggs in the Selenga River (Lake Baikal Basin). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 908, N 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/908/1/012013>
- Danks H. V. How aquatic insects live in cold climates // Can. Entomol. 2007. Vol. 139, N 4. P. 443–471. <https://doi.org/10.4039/n06-100>

Obyazov V. A., Smakhtin V. K. Climate change effects on winter river runoff in Transbaikalia // Russ. Meteorol. Hydrol. 2013. Vol. 38, N 7. P. 503–508. <https://doi.org/10.3103/S1068373913070091>

Prowse T. D. River-ice ecology. II: Biological aspects // J. Cold Reg. Eng. 2001. Vol. 15, N 1. P. 17–33. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:1\(17\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:1(17))

Runoff fluctuations in the Selenga River basin / N. L. Frolova, P. A. Belyakova, V. Y. Grigoriev, A. A. Sazonov, L. V. Zotov, J. Jarsjö // Reg. Environ. Change. 2017. Vol. 17, N 7. P. 1965–1976. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1199-0>

Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia / S. E. Hampton, L. R. Izmet'seva, M. V. Moore, S. L. Katz, B. Dennis, E. A. Silow // Glob. Change Biol. 2008. Vol. 14, N 8. P. 1947–1958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01616.x>

Stock structure of Lake Baikal Omul as determined by whole-body morphology / C. R. Bronte, G. W. Fleischer, S. G. Maistrenko, N. M. Pronin // J. Fish Biol. 1999. Vol. 54, N 4. P. 787–798. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb02033.x>

Voronov M. G., Bolshunova E. A., Luzbaev K. V. Spawning Migrations of the Baikal Omul. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021, Vol. 670, N. 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012017>

Water resources assessment of the Selenga-Baikal river system / S. Chalov, N. Kasimov, M. Lychagin, E. Belozeroва, G. Shinkareva, P. Theuring, A. Romanchenko, N. Alexeevsky, E. Garmaev // Geoöko. 2013. Vol. 34, N 1–2. P. 77–102.

References

AIS GMVO: Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov Rossiyskoy Federatsii [Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies in the Russian Federation]. Available at: <https://portal.eskigov.ru/fgis/267>

Afanasyev G. A. Ekologiya nerestovogo stada omulya reki Selengi [Ecology of the spawning stock of omul in the Selenga River]. *Ekologiya, bolezni i razvedenie baikalskogo omulya* [Ecology, diseases and breeding of Baikal omul]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, pp. 5–34.

Bazov A. V., Bazova N. V. *Selenginskaya populyatsiya baikal'skogo omulya: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Selengan population of Baikal omul: past, present, future]. Ulan-Ude, Buryat SC SB RAS Publ., 2016. 352 p.

Voronov M. G. *Ekologo-biologicheskie osnovy povysheniya effektivnosti vosproizvodstva omulya v r. Selenge v sovremennykh usloviyakh* [Ecological and biological basis for improving the efficiency of omul reproduction in the Selenga River under modern conditions: Candidate in Biology dissertation abstract]. St.-Petersburg, GosNIORKh Publ., 1993, 18 p.

Voronov M. G., Voronova Z. B., Voronov A. M. Ekspress-metodiki, kak nadezhny instrumentarii monitoringa biologo-fiziologicheskogo sostoyaniya proizvoditelei baikal'skogo omulya r. Selengi [Rapid methods as a reliable tool for monitoring biological and physiological condition of Baikal omul spawners in Selenga River]. *Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnogo sektora ekonomiki Baikalskogo regiona* [Topical issues of agrarian sector development in the Baikal omul region: Proc. AllRuss Sci. Conf., Ulan-Ude, Russia]. Ulan-Ude, Buryat St. Agric. Acad. Publ., 2020, pp. 302–307.

Voronov M. G., Zhugdurova S. V., Akhmetshakirova E. Yu. Morfo-fiziologicheskie pokazateli u proizvoditelei omulya raznykh periodov zakhoda v r. Selenga [Morpho-physiological indices in omul spawners of different periods of entry into the Selenga River]. *Aktualnye voprosy razvitiya agrarnogo sektora ekonomiki Baikalskogo regiona* [Topical issues of agrarian sector development in the Baikal omul region: Proc. AllRuss Sci. Conf., Ulan-Ude, Russia]. Ulan-Ude, Buryat St. Agric. Acad. Publ., 2020, pp. 308–316.

Krasnoshchekov S. I. *Biologiya omulya ozera Baikal* [Baikal omul biology]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 143 p.

Misharin K. I. Estestvennoe razmnozhenie i iskusstvennoe razvedenie posol'skogo omulya v Baikale [Natural breeding and artificial rearing of posolsky omul in Baikal]. *Izvestiya Biol.-geogr. NII pri Vost.-Sib. gos. un-te* [Bull. Biol.-Geogr. Sci. Inst. East-Siberian St. Univ.], 1953, vol. 14, is. 1–4, 133 p.

Misharin K. I. Baikalskii omul' [Baikal omul]. *Ryby i rybnoe khozyaistvo v basseine ozera Baikal* [Fishes and fisheries in the Lake Baikal basin]. Irkutsk, Irkutskoe knizhnoe izdatelstvo Publ., 1958, pp. 130–287.

Moskalenko B.K. *Sigovye ryby Sibiri: Biologicheskoe osnovy promyshlennoi ekspluatatsii i vosproizvodstva syr'evykh zasposov* [Siberian whitefish: Biological basis for industrial exploitation and reproduction]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost Publ., 1971, 183 p.

Shimaraev M.N., Kuimova L.N., Sinyukovich V.N., Tsekhanovskii V.V. O proyavlenii na Baikale globalnykh izmenenii klimata v XX stoletii [On the manifestation of global climate change in Lake Baikal in the twentieth century]. *Doklady Earth Sciences*, 2002, vol. 383, no. 3, pp. 397-400.

Ivanov E.G., Danilova L.P., Zil'bershtein V.I., Bystrova I.F. Opisanie otdelnykh rek [Description of selected rivers]. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Bassein ozera Baikal (Zabaikal'e)* [Surface water resources of the USSR. Lake Baikal basin (Zabaikalye)]. St.-Petersb., Gidrometeoizdat Publ., 1973, vol. 16, is. 3, pp. 40-236.

Reshetnikov Yu.S., Bogdanov V.D. Osobennosti vosproizvodstva sigovykh ryb [Peculiarities of whitefish reproduction]. *J. Ichthyol.*, 2011, vol. 51, no. 4, pp. 502-525.

Seleznev V.N. Baikalskii omul, ego estestvennoe razmnozhenie i perspektivy iskusstvennogo razvedeniya [Baikal omul, its natural breeding and prospects for artificial breeding]. *Izvestiya Biol.-geogr. NII pri Vost.-Sib. gos. un-te* [Bull. Biol.-Geogr. Sci. Inst. East-Siberian St. Univ.]. 1942, vol. IX, is. 1-2, pp. 24-38.

Chalov S.R., Grechushnikova M.G., Varentsov M.I., Kasimov N.S. Sovremennaya i prognoznaya otsenka stoka vody i nanosov rek basseina Selengi [Current and forecast assessment of water and sediment runoff in the Selenga River basin]. *Geogr. Nat. Resour.*, 2016, no. 5, pp. 39-48.

Sorokin V.N. Usloviya estestvennogo vosproizvodstva omulya v r. Selenge [Conditions for natural reproduction of omul in the Selenga River]. *Ekologiya, bolezni i razvedenie baikal'skogo omulya* [Ecology, diseases and breeding of Baikal omul]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, pp. 34-44.

Tyurin P.V., Sosinovich P.N. Materialy k poznaniyu neresta baikalskogo omulya v r. Kichere [Materials for the Baikal omul spawning survey in the Kichera river]. *Izvestiya Biol.-geogr. NII pri IGU* [Bull. Biol.-Geogr. Sci. Inst. Irkutsk St. Univ.]. 1937, vol. 7, is. 3-4, pp. 198-224.

Khokhlova L. V. Ryby r. Selengi [Fishes of Selenga River]. *Ryby i kormovye resursy rek i vodokhranilishch Vostochnoi Sibiri* [Fishes and feeding resources of rivers and reservoirs]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskii Rabochii Publ., 1967, pp. 291-325.

Chernyaev Zh.A. O vozmozhnosti razvitiya ikry baikal'skikh sigovykh ryb v pereokhlazhdennom sostoyanii «pagona» [On the possibility of development of Baikal whitefish eggs in the supercooled "pagon" state]. *Trudy SVKNII DVNTs AN SSSR, Vyp. 42: Biologicheskoe problemy Severa* [Proc. North-East Compl. Sci. Inst. FESC AS USSR, is. 42: Biological Problems of North]. Magadan, 1971, pp. 67-73.

Chernyaev Zh.A. *Vosproizvodstvo baikalskogo omulya* [Reproduction of Baikal omul]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost Publ., 1982, 128 p.

Shumilov I.P. Vyzhivaemost ikry baikalskogo omulya *C. autumnalis migratorius* (Georgi) na nerestilishchakh r. Kichery i vliyanie vodnosti reki na urozhainost' pokolenii [Survival of eggs of Baikal omul *C. autumnalis migratorius* (Georgi) on spawning grounds of the Kichera River and the influence of river water content on the yield of generations]. *J. Ichthyol.*, 1971, vol. 11, is. 2, pp. 280-289.

Shumilov I.P. Biologicheskoe osnovy vosstanovleniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya zasposov severobaikal'skogo stada omulya [Biological basis for restoration and rational use of the North Baikal omul stock]. *Omuli Baikala* [Omuls of Lake Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 81-134.

Bazova N.V., Bazov A. V. Influence of abiotic factors on incubation of Baikal omul eggs in the Selenga River (Lake Baikal Basin). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 908, no. 1, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/908/1/012013>

Danks H.V. How aquatic insects live in cold climates. *Can. Entomol.*, 2007, vol. 139, no. 4, pp. 443-471. <https://doi.org/10.4039/n06-100>

Obyazov V.A., Smakhtin V.K. Climate change effects on winter river runoff in Transbaikalia. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2013, vol. 38, no. 7, pp. 503-508. <https://doi.org/10.3103/S1068373913070091>

Prowse T.D. River-ice ecology. II: Biological aspects. *J. Cold Reg. Eng.*, 2001, vol. 15, no. 1, pp. 17-33. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:1\(17\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:1(17))

Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigoriev V.Y., Sazonov A.A., Zotov L.V., Jarsjö J. Runoff fluctuations in the Selenga River basin. *Reg. Environ. Change*, 2017, vol. 17, no. 7, pp. 1965-1976. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1199-0>

Hampton S.E., Izmet'eva L.R., Moore M.V., Katz S.L., Dennis B., Silow E.A. Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia. *Glob. Change Biol.*, 2008, vol. 14, no. 8, pp. 1947-1958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01616.x>

Bronte C.R., Fleischer G.W., Maistrenko S.G., Pronin N.M. Stock structure of Lake Baikal Omul as determined by whole-body morphology. *J. Fish Biol.*, 1999, vol. 54, no. 4, pp. 787-798. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb02033.x>

Voronov M. G., Bolshunova E. A., Luzbaev K. V. Spawning Migrations of the Baikal Omul. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 670, no. 1, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012017>

Chalov S., Kasimov N., Lychagin M., Belozerova E., Shinkareva G., Theuring P., Romanchenko A., Alexeevsky N., Garmaev E. Water resources assessment of the Selenga-Baikal river system. *Geoöko*. 2013, vol. 34, no. 1-2, pp. 77-102.

Сведения об авторах

Базов Андрей Владимирович

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Байкальский филиал Всероссийского
научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии
Россия, 670034, г. Улан-Удэ, ул. Хахалова, 4Б
e-mail: abazoff@yandex.ru

Базова Наталья Владимировна

кандидат биологических наук,
научный сотрудник
Институт общей и экспериментальной
биологии СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
e-mail: selengan@yandex.ru

Фролова Наталья Леонидовна

доктор географических наук, профессор,
заведующая кафедрой
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, Воробьевы Горы
e-mail: frolova_nl@mail.ru

Information about the authors

Bazov Andrey Vladimirovich

Candidate of Sciences (Biology),
Senior Research Scientist
Baikal Branch of Russian Federal Research
Institute of Fisheries and Oceanography
4B, Khahalov st., Ulan-Ude, 670034, Russian
Federation
e-mail: abazoff@yandex.ru

Bazova Natalia Vladimirovna

Candidate of Sciences (Biology),
Research Scientist
Institute of General and Experimental
Biology SB RAS
6, Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russian
Federation
e-mail: selengan@yandex.ru

Frolova Natalia Leonidovna

Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of Chair
Lomonosov Moscow State University
Vorobyovy Gory, Moscow, 119991,
Russian Federation
e-mail: frolova_nl@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.03.2022; одобрена после рецензирования 20.05.2022; принята к публикации 31.05.2022
Submitted March, 11, 2022; approved after reviewing May, 20, 2022; accepted for publication May, 31, 2022