

## ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНАДРОМНОЙ МИГРАЦИИ МИКИЖИ *PARASALMO MYKISS* (SALMONIDAE) РЕКИ КВАЧИНА (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА)

© 2022 г. Э. С. Борисенко<sup>1</sup>\*, Д. С. Павлов<sup>1</sup>, К. В. Кузицин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем экологии и эволюции РАН – ИПЭЭ РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет, Москва, Россия

\*E-mail: esborisenko@gmail.com

Поступила в редакцию 30.05.2022 г.

После доработки 16.06.2022 г.

Принята к публикации 20.06.2022 г.

С использованием научно-исследовательского гидроакустического комплекса “NetCor” приведены результаты исследования анадромной миграции микижи *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) в р. Квачина (Западная Камчатка) в период её осеннего захода из моря. Выявлено, что интенсивность хода рыб увеличивается в сходные периоды смежных лет (2010–2011 гг.), это указывает на цикличность миграции вида, связанную с изменениями температуры и уровня воды в реке. Для суточной динамики хода характерны два периода повышенной интенсивности миграции: первый приурочен к рассвету, второй начинается в предвечерние часы. В результате экстраполяции полученных данных предполагаемая численность микижи в реке в 2010 г. составила 9832, в 2011 г. – 2855 особей. Различие в численности проходной микижи в смежные годы, вероятно, обусловлено особенностями геоморфологии и гидрологического режима реки.

**Ключевые слова:** проходная микижа, гидроакустические исследования, миграции, суточная и сезонная динамика, оценка численности.

**DOI:** 10.31857/S0042875222060054

Микижа *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) на азиатском побережье Тихого океана встречается в основном в водоёмах Камчатского п-ова (Павлов и др., 2001). Для вида характерна сложная структура – в популяциях сосуществуют особи с резидентным (жилым) и мигрантным (проходным) типами жизненной стратегии (Павлов и др., 1999, 2001; Павлов, Савваитова, 2008; Кузицин, 2011). Соотношение жилых и проходных рыб в локальных популяциях определяется геоморфологией речной системы (Павлов и др., 1999, 2001, 2008; Кузицин, 2011). Проходная микижа Камчатки является особо охраняемым объектом биоразнообразия и внесена в Красную книгу Российской Федерации с 1983 г. (Савваитова, 2001; Красная книга ..., 2021). В реках Северо-Западной Камчатки популяции микижи обитают в ненарушенных экосистемах, слабо подвержены антропогенному воздействию, сохранили свою первозданную структуру; в локальных популяциях преобладают проходные рыбы (Павлов и др., 2001, 2009б, 2016; Кузицин и др., 2020). Тем самым популяции микижи рек Северо-Западной Камчатки являются уникальными единицами биоразнообразия и природными эталонами, имеющими большое значе-

ние для оценки состояния и сохранения особо охраняемого объекта в целом (Павлов и др., 2007).

Мониторинг состояния популяций микижи в реках Северо-Западной Камчатки (Снатолваям, Квачина и Утхолок) проводят с 1970 г. и продолжают по настоящее время. Установлено, что в течение этого отрезка времени в популяциях происходили постоянные краткосрочные и долгосрочные изменения их основных параметров (Савваитова и др., 2002; Павлов и др., 2016). В то же время оценки такого важного параметра, как численность проходных производителей, сопряжены с рядом объективных трудностей, обусловленных геоморфологией рек и поведенческими особенностями рыб после их захода в реки из моря. Учёт производителей визуальным методом с берега и при подводных наблюдениях малоэффективен. В связи с этим представляется перспективным при изучении миграций и учёте мигрирующих рыб использование гидроакустических методов, активно внедряемых в практику ихтиологических исследований анадромных лососёвых рыб (Cheng et al., 1991; Levy et al., 1991; Павлов и др., 2009а; Pavlov et al., 2009; Борисенко и др., 2013, 2019; Дегтев и др., 2012; Conrad et al., 2019).

Впервые наблюдения за осенней нерестовой миграцией камчатской микижи с применением двухчастотного идентификационного сонара DIDSON (“SMC”, США) были выполнены на р. Утхолок в 2006–2007 гг., в результате были получены предварительные данные о численности вида в реке (Pavlov et al., 2009). Однако на других реках, отличающихся от р. Утхолок по размерам, водности и другим элементам строения, работы по оценке численности не проводили. Поэтому в настоящее время для иных рек, кроме р. Утхолок, нет достоверных данных о численности особо охраняемого вида, что затрудняет разработку и внедрение эффективных природоохранных мероприятий. Так, бассейн р. Квачина рекомендован для создания лососёвых рыбохозяйственных заповедных зон третьего типа – зоны для сохранения генфонда особо ценных видов лососёвых рыб в реках, экосистемы которых и обитающие в них популяции лососей не нарушены или слабо нарушены человеком (Павлов, Букварева, 2010). В настоящее время в р. Квачина обитает одна из наиболее значимых для сохранения природного разнообразия вида на Камчатке популяция проходной микижи (Павлов и др., 2007).

Известно, что даже в принципиально сходных условиях распределение рыб в водотоках непостоянно и динамично меняется под влиянием внешних и внутренних факторов (Борисенко и др., 2013; Павлов, Скоробогатов, 2014). По этой причине требуется проведение исследований, направленных на разработку специальных подходов и методик корректной оценки численности производителей проходной микижи как одного из элементов комплексного мониторинга состояния вида Красной книги.

Цель нашей работы – с использованием гидроакустического научно-исследовательского комплекса выявить закономерности осенней нерестовой миграции проходной микижи р. Квачина, определить её численность и размерный состав, описать суточную и многодневную динамику хода производителей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования на р. Квачина проводили в первой половине октября 2010 и 2011 гг. Дополнительные данные о характере миграции и распределении рыб в реке были получены в результате обловов и прямых наблюдений с берега в 2014–2021 гг. без привлечения гидроакустического оборудования.

Река Квачина берет начало в высоких тундрах Приморского плато и впадает в бухту Квачина зал. Шелихова Охотского моря. Общая протяжённость реки ~ 95 км. В истоке ширина реки 1–2 м, в нижнем течении – 25–30 м, в устье – ~40–50 м (в отлив); расход воды в устье до 3.2 м<sup>3</sup>/с, скорость по-

тока в среднем и нижнем течении – 0.2–0.4 м/с, площадь водосборного бассейна ~750 км<sup>2</sup>. Прилив действует на 15–20 км вверх от устья. Вода имеет коричневатый цвет, в нижнем течении дно образовано мелким гравием и песком. В верхнем и среднем течении река сильно меандрирует, древесная растительность на берегах практически отсутствует, изредка встречаются заросли ольхи. Характерной особенностью реки, как и других рек Западной Камчатки, является чередование глубоких ям и мелководных участков – перекатов и плёсов. Большая часть ям располагается в среднем и нижнем течении, ниже слияния рек Квачина и Пухль (Павлов и др., 2001).

Для учёта численности проходящих рыб, определения их размерного состава и направления перемещения использовали гидроакустический программно-технический комплекс “NetCor” (далее – комплекс) производства ООО “ПромГидроакустика” (Россия). Комплекс состоит из гидроакустической высокочастотной многолучевой станции, связанной по радиоканалу с береговой компьютеризированной контрольно-измерительной системой. Основные тактико-технические характеристики комплекса: акустическая рабочая частота – 455 кГц, электрическая мощность на гидроакустической антенне – 40–80 Вт, частота следования посылок гидроакустического излучения – до 12 Гц, ширина характеристики направленности одного луча на уровне –6 дБ – 10°, ширина многолучевого сектора на одной станции – до 70° в плоскости веера лучей, дистанция устойчивой радиосвязи – до 300 м. Антенна комплекса осуществляет зондирование водного пространства в горизонтальном режиме, и при прохождении рыбы через плоскость веера лучей возможно определение направления её движения вверх/вниз по течению путём последовательного считывания эхосигналов от рыбы пронумерованными акустическими лучами многолучевого сектора. В указанном режиме комплекс обеспечивает регистрацию рыб при глубине места не менее 0.3 м и с максимальной дальностью регистрации одиночной рыбы с силой цели –50 дБ – 20 м.

Математическое обеспечение системы включает в себя пакет программ на базе ОС Windows, разработанных ООО “ПромГидроакустика”, – экспедиционную программу управления комплексом и сбором данных с гидроакустической станции в реальном времени и программу камеральной обработки данных в отложенном времени. Пакет программ установлен на компьютер на платформе x86.

Оценку численности рыб в водотоке обеспечивает измерение параметров плотности их потока во времени при пересечении ими неподвижной зоны гидроакустической регистрации с последующим расчётом численности особей. Математическое обеспечение комплекса “NetCor” позво-

ляет количественно интерпретировать полученные гидроакустические регистрации проходящих рыб двумя способами — эхосчётом и эхоинтегрированием (Юданов и др., 1984; Simmonds, MacLennan, 2005). В условиях работы на р. Квачина для оценки численности проходной микижи использовали метод эхосчёта, позволяющий регистрировать отдельных рыб (разрешаемые одиночные цели при эхолокации), проходящих через контролируемый створ реки. Дальнейшую обработку подобных регистраций проводили путём цифровой фильтрации помех (фильтр низких частот) и с помощью процедуры объединения следов рыбы с использованием элементов кластерного анализа по признаку близости мгновенных регистраций в каждой посылке излучения. Выделенные таким образом следы регистрации проходящих одиночных рыб поддавались эхосчёту с восстановлением распределения силы цели и направления движения рыб вверх и вниз по течению относительно неподвижного регистратора. При выделении и прослеживании каждой цели (рыбы) определяли и измеряли все амплитуды эхосигналов от неё в каждом посыле гидроакустического излучения, а в расчётах силы цели учитывали только максимальную амплитуду эхосигнала. Таким образом, при подсчёте общей численности исключали возможность многократного учёта одной и той же особи, прошедшей через створ. В процессе обработки определяли время регистрации прошедшей сечение реки рыбы, направление её движения, местоположение в сечении реки и акустическую силу цели, по величине которой рассчитывали длину рыбы. Процедура сквозной калибровки многолучевого гидролокатора была проведена по стандартной образцовой сфере из электролитической меди диаметром 39.1 мм, значение силы цели ( $TS$ ) которой на рабочей частоте 455 кГц составляла  $-39.6$  дБ. Измерения выполняли для каждого луча многолучевой антенны на расстояниях 5, 10, 15 и 20 м. Уровень гидродинамических шумов измеряли в пассивном режиме с использованием встроенного осциллографа. По результатам электроакустических измерений были выставлены оптимальные режимы работы аппаратуры и поправочные коэффициенты, которые использовали в процессе камеральной обработки эхосигналов.

Гидроакустический комплекс был установлен на мелководном правом берегу реки в 16 км от её устья в точке с координатами  $57^{\circ}41'48''$  с.ш.  $157^{\circ}13'44''$  в.д. (рис. 1). Управление режимами работы и передачу информации с береговой контрольно-измерительной системы, установленной в лаборатории на расстоянии 70 м от антенны, осуществляли по радиоканалу. Акустическое зондирование охватывало всю толщу воды от поверхности до дна и до противоположного берега реки, что позволило с высокой вероятностью регистриро-

вать всех рыб, проходящих через контролируемое сечение реки шириной  $\sim 20$  м (рис. 2).

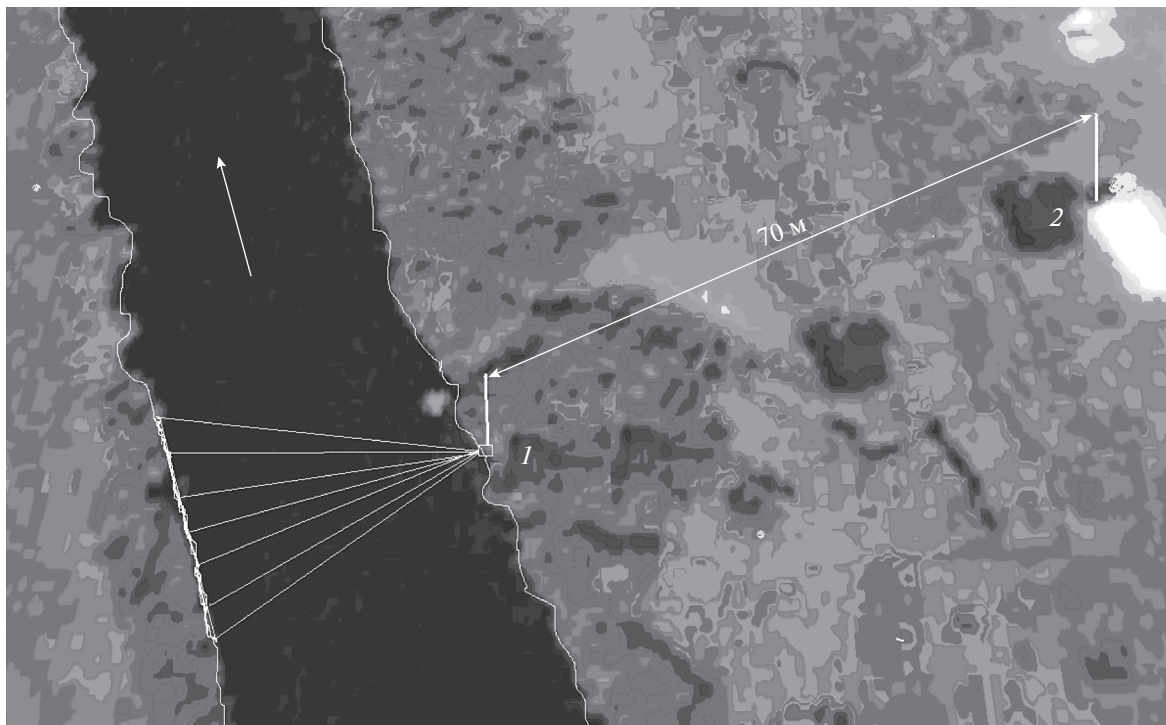
На рис. 3 в качестве примера приведена типичная эхограмма регистрации двух особей микижи после фильтрации помех и кластерного анализа, а также результаты окончательной обработки эхосигналов. Как видно из эхограммы, комплекс чётко регистрирует особей проходной микижи в зондируемом секторе диаграммы направленности антенны от начала и до окончания эхоконтактов с рыбами, сила цели которых составила  $-18.0$  и  $-21.4$  дБ.

Все данные обработки — дата, время регистрации, акустическая сила цели рыб и направление их перемещения, — а также основные значения электроакустических параметров системы, которые использовали во время выполнения работ, записывали в отдельные файлы, создаваемые каждый час.

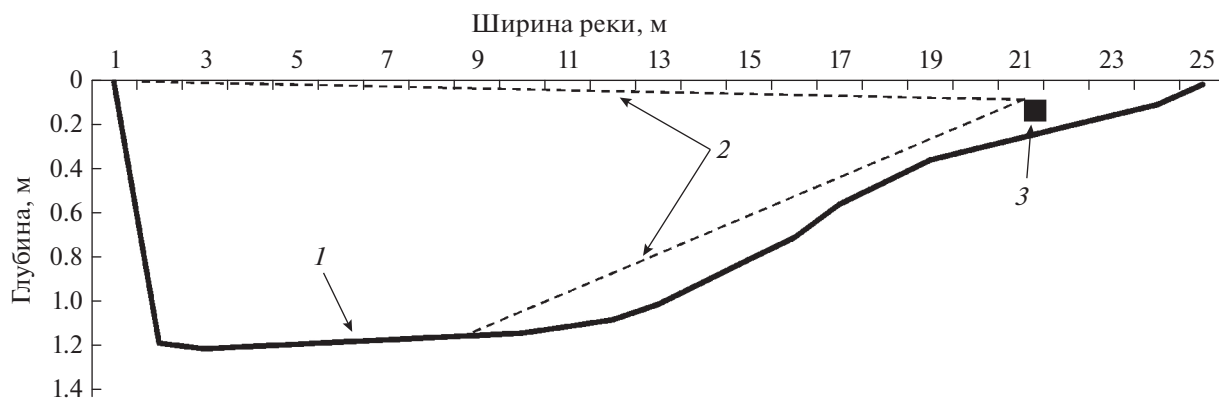
В результате обработки были получены характеристики суточной и сезонной (за период наблюдений) динамики прохождения рыб контролируемого сечения реки и размерный состав особей. Линейные размеры зарегистрированных производителей микижи рассчитывали на основе измеренных *in situ* значений силы цели рыб с использованием известного уравнения регрессии, полученного для этого вида рыб на частоте 420 кГц для бокового аспекта облучения (Kubecka, Duncan, 1998), которое с учётом поправки на рабочую частоту гидролокатора “NetCor” имеет вид:  $TS = 27.48 \log FL - 97.42$ , где  $FL$  — длина рыб по Смитту (мм) от вершины рыла до развилки хвостового плавника.

Несмотря на то что приведённое уравнение получено для культивируемой микижи (Kubecka, Duncan, 1998) длиной до 425 мм, оно может быть использовано для расчётов длины тела более крупных особей, что было подтверждено нашими измерениями выловленных живых особей микижи длиной тела 705 и 650 мм путём их неоднократной проводки через контролируемое сечение реки. Так, с учётом поправки в 4.47 дБ на коэффициент усиления приёмного тракта гидролокатора, полученной при сквозной градуировке системы с использованием образцовой сферы, сила цели этих рыб составила соответственно  $-19.2$  и  $-20.1$  дБ.

Для сравнения данных по размерному составу рыб, полученных методами гидроакустического и биологического анализов, были выполнены обловы и измерения особей. Рыб отлавливали учебными снастями по принципу “поймай и отпусти” в соответствии с разрешениями Росприроднадзора № 41 от 13.05.2010 г и № 65 от 30.05.2011 г. Измеряли длину тела по Смитту от вершины рыла до развилки хвостового плавника и обхват тела перед спинным плавником. Массу тела рыб определяли прямым взвешиванием: рыбу помещали в мешок из мягкой сетки и взвешивали без нанесения ей травм. Пол определяли по форме головы, расположению верхней челюсти относительно заднего



**Рис. 1.** Место установки научного гидроакустического комплекса “NetCor” на р. Квачина: 1 – гидроакустическая многолучевая антенна (координаты  $57^{\circ}41'48''$  с.ш.  $157^{\circ}13'44''$  в.д.), 2 – лаборатория, (→) – направление течения реки. Масштаб: 35 м.



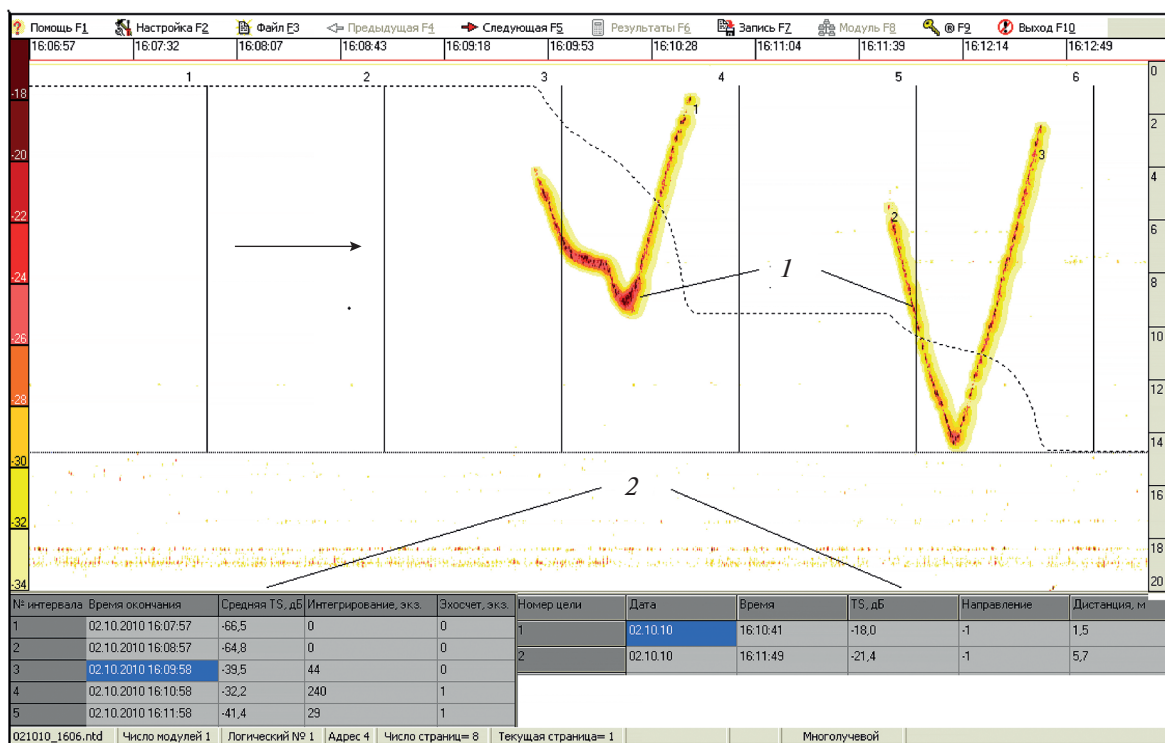
**Рис. 2.** Сечение р. Квачина в месте наблюдений ( $57^{\circ}41'48''$  с.ш.  $157^{\circ}13'44''$  в.д.): 1 – дно реки, 2 – зона действия диаграммы направленности антенны по глубине, 3 – антенна комплекса “NetCor”.

края глаза и форме тела. Места поимки рыб регистрировали с применением портативного GPS-навигатора Garmin eTrex Vista (“Garmin”, США), тем самым определяли основные типы её временных биотопов во время движения вверх по реке. Всего было выловлено 149 экз. в 2010 г. и 61 экз. в 2011 г.

Для непрерывного полного зондирования сечения реки в течение периода наблюдений глубину размещения антенны гидролокатора регулировали в соответствии с изменениями уровня воды в реке.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Во время исследований через контролируемое сечение р. Квачина по результатам прямого эхосчёта прошли 3081 и 637 особей проходной микижи в 2010 и 2011 гг. соответственно. Учитывали только рыб, ориентированных против течения реки, размеры которых превышали 500 мм. На рис. 4. представлена динамика миграции производителей проходной микижи вверх по течению реки с 02.10. по 15.10.2010 г. и с 05.10. по 16.10.2011 г.



**Рис. 3.** Результаты камеральной обработки эхограммы регистрации двух экземпляров анадромной микижи *Parasalmo mykiss*, прошедших вверх по течению через сечение р. Квачина в зоне действия многолучевого гидролокатора комплекса "NetCor": 1 – зарегистрированные рыбы, 2 – результаты обработки, (→) – направление течения реки.

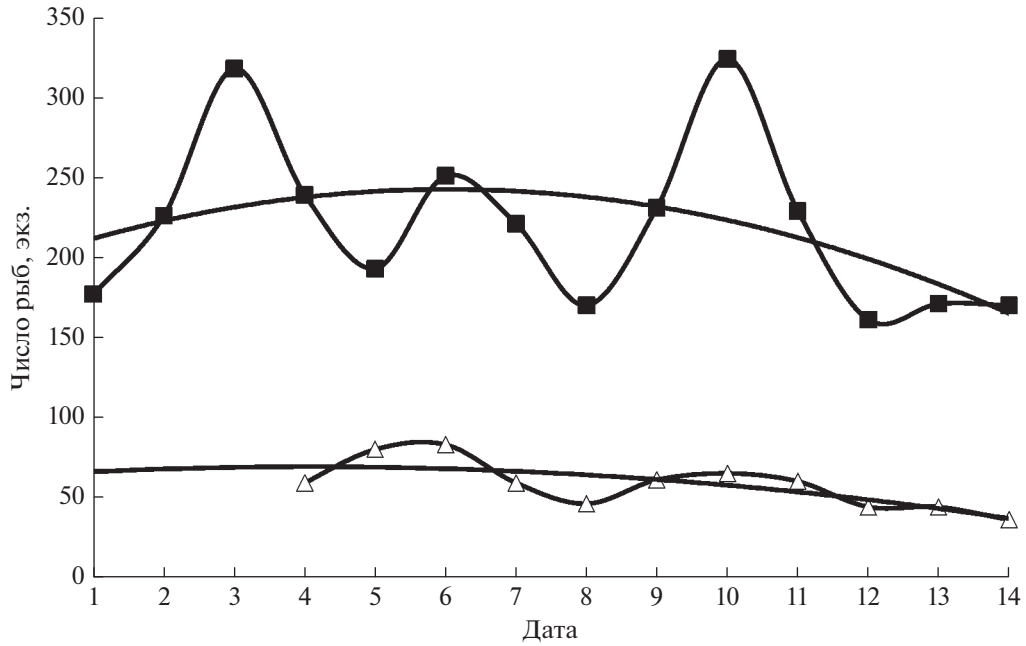
Максимальное число особей анадромной микижи, прошедшей через сечение реки за сутки, отмечено 11.10.2010 г. (324 экз.), несколько меньше особей за сутки прошло неделей раньше – 04.10.2010 г. (318 экз.). Число мигрирующих рыб в эти даты почти в два раза превышало таковое в предыдущие и последующие дни. Так, 03.10 и 13.10.2010 г. было зарегистрировано 170 и 161 экз. микижи. Сходный характер динамики миграции производителей микижи наблюдали и в 2011 г.

В результате полиномиальной аппроксимации численности микижи за периоды исследования получены соответствующие уравнения и величины её достоверности: 1) 2010 г.:  $y = -1.2191x^2 + 17.131x + 182.35$ ,  $R^2 = 0.565$ ; 2) 2011 г.:  $y = -0.3275x^2 + 2.6678x + 63.7$ ,  $R^2 = 0.564$ . Рассчитанная по этим уравнениям численность рыб в р. Квачина в первой половине октября 2010 и 2011 гг. составила соответственно 3114 и 658 экз. Соответствие расчётных данных результатам прямого эхосчёта позволяет произвести экстраполяцию полученных данных на весь предполагаемый период захода из моря – с начала сентября до первых чисел ноября (рис. 5).

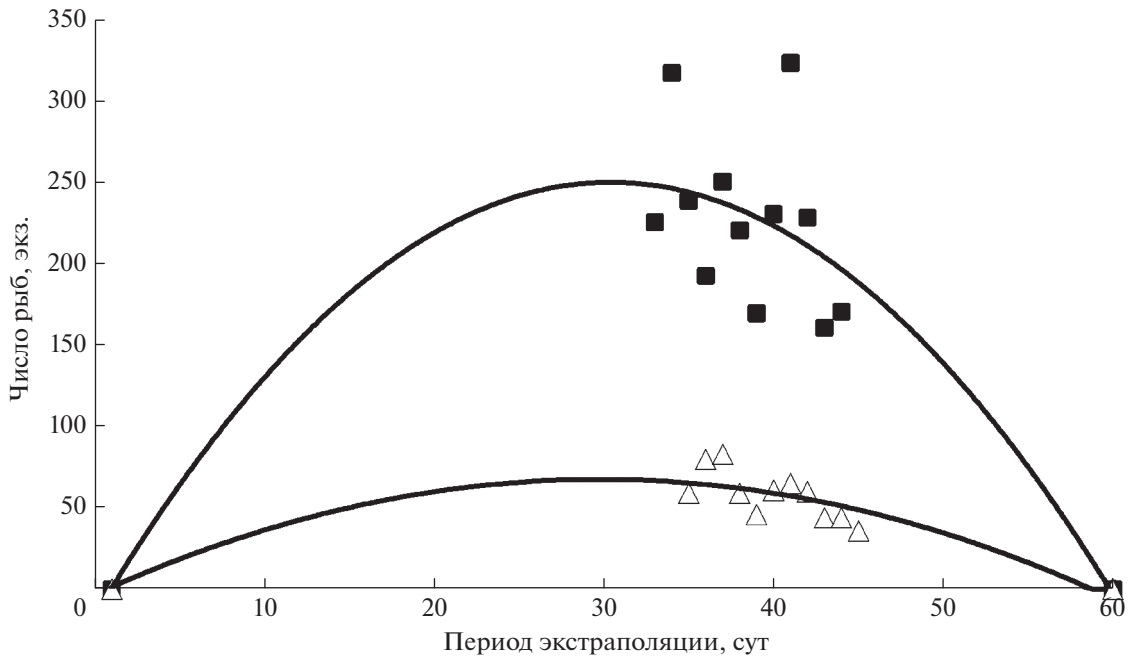
При экстраполяции за период с 01.09 по 30.10 для смежных лет (2010–2011 гг.) получены соответствующие уравнения с высокими величинами досто-

верности: 1) 2010 г.:  $y = -0.288x^2 + 17.504x - 15.385$ ,  $R^2 = 0.781$ ; 2) 2011 г.:  $y = -0.079x^2 + 4.6934x - 2.1976$ ,  $R^2 = 0.8267$ . В результате расчётов по этим уравнениям численность рыб в р. Квачина составила в 2010 и 2011 гг. соответственно 9832 и 2855 экз.

Для суточной динамики нерестовой миграции в 2010 г. были характерны два периода увеличения интенсивности хода рыб вверх по течению реки (рис. 6). Первый период начинался с 3.0 экз/ч на рассвете (07:00) и продолжался до 10:30 с пиком интенсивности хода (13.9 экз/ч) в 08:00. Второй период начинался в предвечерние часы (с 16:30), максимальное значение (19.7 экз/ч) отмечено в 20:00. В 2011 г. также наблюдали два пика интенсивности хода, но значительно менее выраженные. Интенсивность перемещений рыб утром (с 06:00) возрастала с ~1.0 до 4.2 экз/час к 07:00, затем постепенно снижалась до 1 экз/ч к 15:00. Начиная с 16:00 интенсивность миграции медленно увеличивалась до 4.6 экз/ч к 18:00, и со сходной интенсивностью рыбы перемещались до 22:00. После этого времени и до утра интенсивность миграции микижи была минимальной. Следует отметить, что в периоды с низкой интенсивностью нерестовой миграции контролируемое сечение реки в основном пересекали единичные особи, тогда как в периоды повышения интенсивности перемещений



**Рис. 4.** Динамика прохождения сечения р. Квачина производителями микижи *Parasalmo mykiss* в первой половине октября и соответствующие полиномиальные линии трендов, здесь и на рис. 5, 6: (—■—) – 2010, (—△—) – 2011 гг.



**Рис. 5.** Графики полиномиальной экстраполяции полученных значений численности рыб за периоды гидроакустических наблюдений на предполагаемый период миграции озимых производителей *Parasalmo mykiss* в р. Квачина.

мы отмечали одновременные проходы небольших групп рыб численностью от 2 до 6 экз.

Сравнительный анализ размерного состава рыб, полученный в результате расчётов по данным гидроакустических наблюдений, показал высокий

уровень сходства с данными, полученными методами прямых измерений длины и массы тела рыб в уловах (таблица, рис. 7), что является показателем высокой точности гидроакустической оценки размерного состава мигрирующих производи-

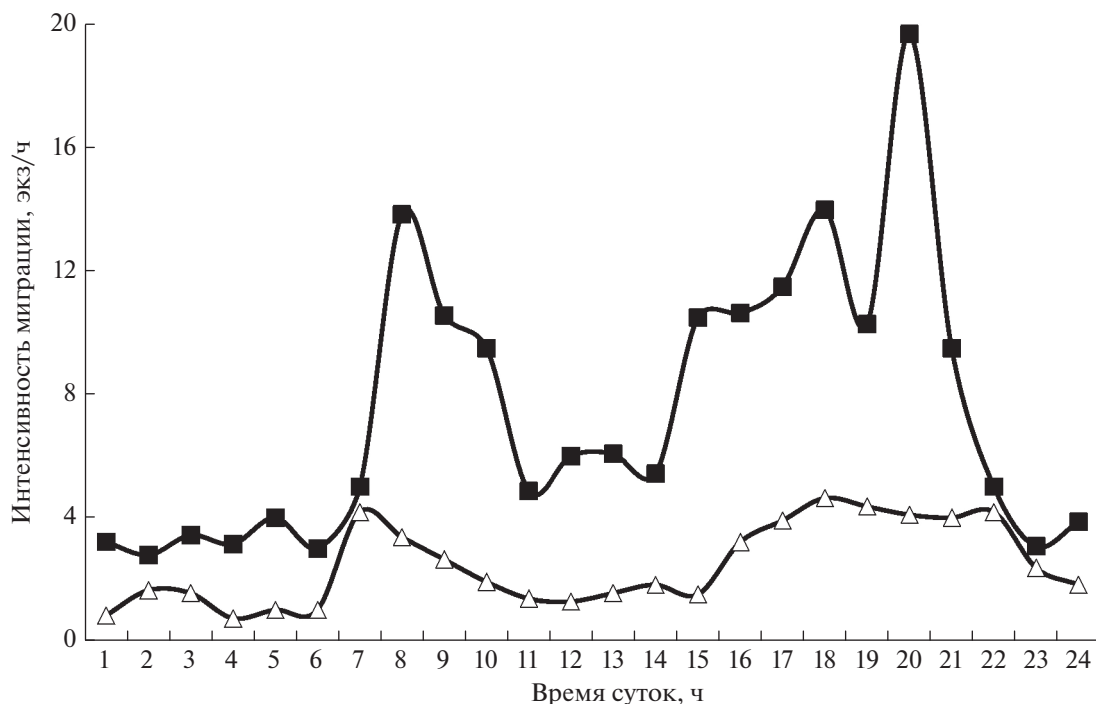


Рис. 6. Суточная динамика миграции анадромной микижи *Parasalmo mykiss*, прошедшей через контролируемое сечение р. Квачина (осреднённые данные).

телей проходной микижи. Так, по данным разных методов анализа размеров рыб, бóльшую часть производителей составили особи длиной тела от 700 до 850 мм и модальным размерным классом 750 мм в 2010 г. и 800 мм в 2011 г.

### ОБСУЖДЕНИЕ

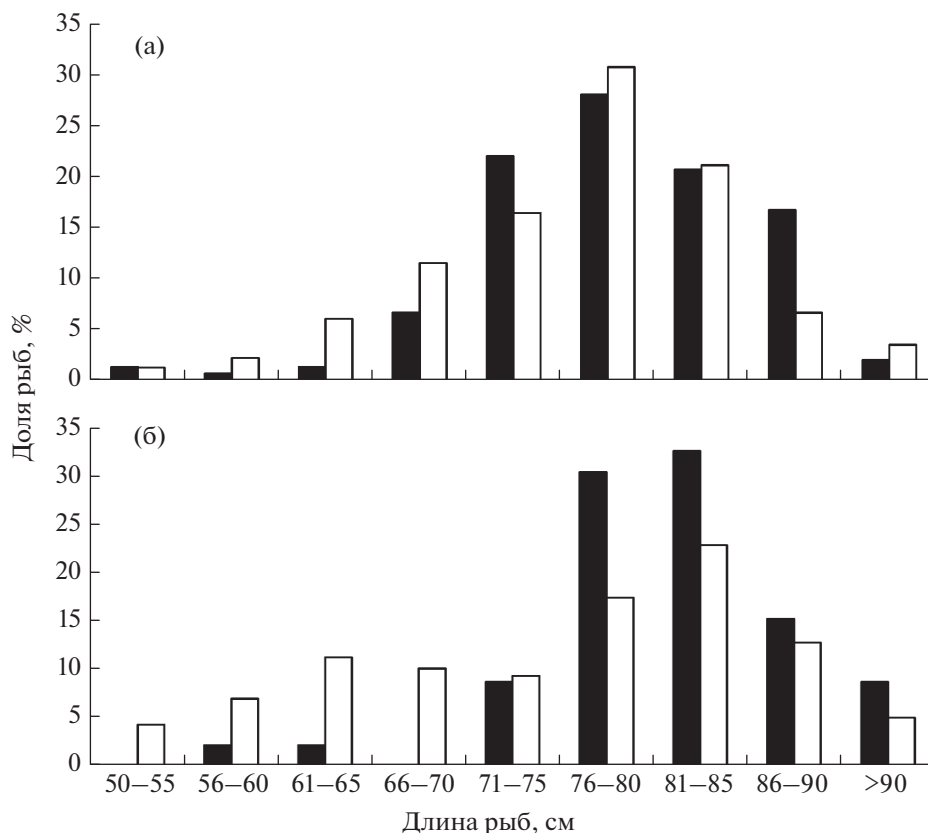
В локальной популяции микижи р. Квачина сосуществуют особи с тремя типами жизненной стратегии – типично-проходной тип, проходной-Б (включающий стадию полуфунтовика) и полуфунтовика (Павлов и др., 2001, 2007). В начале XXI в. стали появляться единичные особи с речным типом жизненной стратегии (Кузищин и др.,

2020). В составе популяции резко преобладает типично-проходная микижа (Павлов и др., 2001; Кузищин и др., 2020). Такое соотношение рыб обусловлено геоморфологической структурой р. Квачина, относящейся к рекам канального типа без эстуария и лимана. Основными факторами, определяющими тип жизненной стратегии микижи в р. Квачина, являются условия воспроизводства вида и продуктивности реки, наличие достаточных площадей для нереста крупных рыб и зимовальных ям (Павлов и др., 2008), а также наличие площадей для нагула молоди в русле реки. Основные ямы, где зимует проходная микижа, расположены в речном русле на расстоянии 18–40 км от устья, поэтому через створ, контролируемый гидро-

Размерно-весовые показатели особей микижи *Parasalmo mykiss* популяции р. Квачина

02–15.10.2010 г.				05–15.10.2011 г.			
Длина, мм	Масса, г	Обхват, мм	Число рыб, экз.	Длина, мм	Масса, г	Обхват, мм	Число рыб, экз.
Самцы							
$\frac{809.8}{571-930}$	$\frac{6050.0}{1937-9706}$	$\frac{431.6}{295-490}$	52	$\frac{811.5}{584-940}$	$\frac{5748.2}{2504-8780}$	$\frac{436.7}{317-521}$	26
Самки							
$\frac{791.1}{700-900}$	$\frac{5560.1}{997-9858}$	$\frac{421.6}{380-530}$	97	$\frac{770.7}{521-914}$	$\frac{5622.2}{3783-9896}$	$\frac{386.3}{284-508}$	35

Примечание. Над чертой – среднее значение, под чертой – пределы варьирования показателя.



**Рис. 7.** Размерный состав производителей *Parasalmo mykiss* в р. Квачина в 2010 (а) и 2011 (б) гг.: (■) – по уловам; (□) – по данным гидроакустических наблюдений.

акустической аппаратурой, проходят все зашедшие из моря производители. Тем самым оценка численности анадромных мигрантов в нижнем течении реки является вполне точной оценкой численности производителей проходной микижи локальной популяции р. Квачина.

Анадромная миграция микижи из моря в реку начинается с последних чисел августа, и её интенсивность постепенно увеличивается в течение сентября (Савваитова и др., 1973; Максимов, 1976; Павлов и др., 2001). Пик миграции наблюдается в первые недели октября. Затем, в третью неделю октября интенсивность хода снижается, иногда вплоть до полной остановки. При определённых погодных условиях (отсутствие длительной засухи и падение уровня воды в реке) в конце октября–начале ноября интенсивный ход вновь возобновляется и, возможно, продолжается подо льдом (Павлов и др., 2001). Интенсивность миграции меняется по годам и тесно связана с температурой и уровнем воды в реке. По нашим наблюдениям, при низком уровне воды и образовании льда на мелководных перекатах интенсивность хода рыб резко снижается и рыбы в основном накапливаются в нижнем течении реки (18–25 км) в зимовальных ямах. Это было обусловлено небольшим

количеством атмосферных осадков и, как следствие, низким уровнем воды на перекатах.

Изучение анадромных миграций рыб с использованием гидроакустической аппаратуры было начато в 1960–1970 гг. – исследовали направление и ритмику миграций рыб в зоне действия гидротехнических объектов (Tesch, 1964; Braithwaite, 1971, 1975; Kristinsson, Alexandersdottir, 1978) и в связи с гидростроительством (Поддубный, 1971; Павлов, 1979; Pavlov, 1989). Применявшиеся учётные системы базировались на различных физических принципах, но наблюдения были выполнены, главным образом, в преобразованной человеком среде. В этих случаях предметом изучения являлось отчасти модифицированное поведение рыб, хотя общие закономерности их миграций – ритмика, скорости, направление движения, состав скоплений – не претерпели изменений сравнительно с естественными условиями (Павлов, 1979; Pavlov 1989; Павлов и др., 2009а; Павлов, Скоробогатов, 2014). Так, использование гидроакустического комплекса “NetCor” позволило выявить закономерности миграции производителей атлантического лосося *Salmo salar* в условиях воздействия рыбоучётных заграждений (РУЗ) на р. Шуя (Карелия) (Павлов и др., 2011) и нерки *Oncorhynchus*



*nerka* р. Озерной (Камчатка) (Дегтев и др., 2012). Установлено, что РУЗ оказывает существенное воздействие на нерестовую миграцию этих рыб. Из-за сетного препятствия нарушался режим миграции производителей, которые скапливались перед заграждением, совершали хаотические перемещения в пределах прилегающей к РУЗ акватории реки и отдельные особи скатывались вниз по течению (Павлов и др., 2011; Дегтев и др., 2012).

Исследования, проведённые с применением сонара DIDSON на р. Утхолок 24.09–15.10.2007 г., позволили оценить численность проходной микижи, изучить динамику её миграции и суточную активность. Данные по численности микижи были получены во время круглосуточных стационарных наблюдений сечения реки ( $2563 \pm 374$  экз.) и в мобильном режиме (эхосъёмки акватории реки,  $6580 \pm 640$  экз.) и составили, учитывая аппроксимацию,  $10800 \pm 1060$  особей (Pavlov et al., 2009). При стационарных наблюдениях получена оценка численности только для 20-метрового участка русла (расстояние от антенны сонара), тогда как ширина р. Утхолок в этом месте доходила до 40 м. Такое положение было ограничено техническими характеристиками сонара (Pavlov et al., 2009). В связи с этим допустимо предположить, что реальная численность анадромной микижи р. Утхолок может превышать полученную оценку в два и более раз.

Проведённые нами исследования с помощью комплекса “NetCor” на р. Квачина показали, что численность анадромной микижи даже в смежные годы весьма существенно различается. Так, за весь период осенней миграции в 2010 г. численность рыб, учитывая экстраполяцию, в 2010 г. составила 9832 экз., в 2011 г. — 2855 экз. В расчётах численности учитывали только тех рыб, размеры которых превышали 500 мм и были ориентированы против течения реки. Такой подход позволяет учитывать только анадромную микижу, минимальные размеры которой в р. Квачина составляют 535 мм (Павлов и др., 2001). При этом, в отличие от съёмки на р. Утхолок, при выполнении стационарных наблюдений на р. Квачина зондирование осуществляли по всей площади контролируемого створа реки, что позволило регистрировать всех проходящих рыб и тем самым получить репрезентативные данные по численности проходной микижи.

Столь существенная разница в численности проходной микижи в смежные годы может быть обусловлена рядом факторов. Один из них — особенности геоморфологии и гидрологического режима р. Квачина. Река Квачина имеет небольшие размеры (ширина реки ~ 25–30 м в участках нижнего течения, глубина на перекатах в межень 25–30 см). Гидрологический её режим очень сильно зависит от атмосферных осадков. В отдельные годы (2014, 2018, 2020 и 2021) из-за продолжительной засухи в сентябре уровень реки на перекатах

падал до 15–20 см, что препятствовало миграции крупных рыб вверх по течению.

Наблюдаемое в динамике миграции резкое усиление прохода микижи вверх по течению реки в отдельные даты (04.10 и 11.10.2010 г.; 06.10. и 11.10.2011 г.), по нашему мнению, обусловлено интенсивным заходом производителей из моря. В районе побережья Северо-Западной Камчатки сформировался сложный ритм приливо-отливных явлений, когда так называемые “двойные малые воды” (полусуточный прилив) сменяются на “большие одинарные воды” (суточный прилив) (Чернявский, 1981; Лучин, 1998; Лоция Охотского моря, 2007; наши наблюдения). Во время короткого периода (~4–5 дней) больших одинарных вод происходит подъём уровня воды в нижнем течении реки с притоком абсолютного уровня на 1.0–1.2 м. Влияние большой одинарной воды распространяется до 13–14 км реки от устья. Весьма вероятно, что именно в этот период складывается благоприятная уровенная ситуация для захода проходной микижи из моря в реку. Помимо повышения уровня воды в реке в первой декаде октября температура воды опускается ниже 5°C. Ранее было замечено, что анадромная миграция проходной микижи активизируется при снижении температуры воды в реке (Савваитова и др., 1973; Максимов, 1976). Установленный нами факт резкого усиления миграции проходной микижи в сходные даты смежных лет (2010 и 2011 гг.) говорит о цикличности миграции вида, связанной с приливо-отливными циклами, а также с изменениями температуры и уровня воды в реке.

Динамика анадромной миграции проходной микижи в 2020 г. резко отличалась от среднемноголетней и аномальной, наблюдавшейся в предыдущий, 2019 г. В течение всего сентября уровень воды был аномально низким: –41 см по отношению к среднемноголетнему значению в межень сентября — 63 см условного ординара. В результате в реке скорость течения составляла всего 0.1 м/с, на перекатах ширина реки уменьшилась до 4–5 м, а уровень воды над перекатами упал до 10–12 см. Из-за низкого уровня воды на перекатах заход проходных рыб в реку был существенно затруднён. Единичные производители проходной микижи были отмечены преимущественно в самых нижних участках рек — в зоне действия морского прилива, когда уровень воды на перекатах поднимался на 40–50 см. По нашим наблюдениям, особи проходной микижи вплоть до 06.10.2020 г. не поднималась выше участков, удалённых от устья всего на 5–6 км. Тем самым есть основания говорить, что до конца первой недели сентября ни одна особь не поднялась до участков, где расположены глубокие ямы, пригодные для зимовки крупных проходных рыб. Активный заход проходной микижи в 2020 г. начался только после

14–15 октября, после сильных дождей и подъёма уровня воды на 80–100 см.

В годы проведения гидроакустических исследований погодные условия и уровень реки существенно различались. В 2010 г. осень была дождливая, уровень воды в р. Квачина был повышенным (~+50–55 см по отношению к среднемноголетним значениям в сентябре и +55–60 см в октябре). В этих условиях анадромная миграция микижи в сентябре проходила равномерно, а увеличение её интенсивности произошло только в начале октября. Но в 2011 г. сентябрь был засушливым, уровень воды в реке – крайне низким (сравнимым с 2020 г.), и проходная микижа вверх по реке практически не мигрировала. В начале октября 2011 г. прошли небольшие дожди, благодаря которым уровень воды в реке поднялся примерно на 30 см, что привело к активизации хода, однако к середине октября из-за ясной и морозной погоды уровень воды вновь упал на 20 см. Сильные дожди в октябре 2011 года прошли только после 17 числа. В 2011 г., по-видимому, произошёл сдвиг анадромной миграции на более поздние сроки, когда гидроакустические исследования были закончены.

Полученные оценки численности были выполнены на малой р. Квачина впервые. Ранее гидроакустическую съёмку проводили в более или менее крупных реках, где изменения уровня не приводят к драматическому обмелению перекатов и резким модификациям динамики анадромной миграции. В связи с этим результаты выполненных исследований можно рассматривать как основу для дальнейшего совершенствования методов гидроакустической оценки численности проходных рыб. В частности, необходим более полный охват периода анадромной миграции и параллельный сбор данных по уровенному и температурному режиму реки для получения более точных оценок. Применительно к объекту Красной книги России – проходной микиже Камчатки – гидроакустические исследования необходимо рассматривать как неотъемлемый элемент комплексного мониторинга состояния локальных стад.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современного гидроакустического многолучевого научно-исследовательского комплекса “NetCor” позволило изучить закономерности нерестовой миграции проходной микижи р. Квачина в первой половине октября 2010–2011 гг. и получить репрезентативные данные о её численности в период осенней миграции.

Для динамики миграции анадромной микижи, прошедшей через сечение реки за время наблюдений, характерно увеличение интенсивности хода рыб в сходные периоды смежных лет (2010–2011 гг.), что указывает на цикличность миграции

вида, связанную с изменениями температуры и уровня воды в реке.

В суточной динамике нерестовой миграции выявлено два периода существенного повышения интенсивности хода рыб вверх по течению реки: начало первого было приурочено к рассвету, второй начинался в предвечерние часы. Максимальные значения интенсивности хода отмечены с 18:00 до 22:00. Причём в периоды повышения интенсивности перемещений регистрировали одновременные проходы небольших групп рыб численностью от 2 до 6 экз., тогда как в остальное время проходили одиночные особи.

Полученная в результате прямого подсчёта численность производителей осенней микижи составила 3081 и 637 особей соответственно в 2010 и 2011 гг. Близкие значения результатов подсчёта и их аппроксимации за период наблюдений позволили произвести экстраполяцию полученных данных на весь предполагаемый период осенней миграции производителей микижи с 1 сентября по 30 октября. В результате экстраполяции предполагаемая численность микижи в 2010 г. составила 9832, в 2011 г. – 2855 особей.

Различие в численности проходной микижи в смежные годы, вероятно, определяется очень низким уровнем воды в реке в 2011 г., что обусловлено особенностями геоморфологии и гидрологического режима р. Квачина, зависящего от количества выпадающих атмосферных осадков, которые определяют глубину воды на перекатах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисенко Э.С., Мочек А.Д., Павлов Д.С., Чемагин А.А.* 2013. Распределение рыб в речной системе Нижнего Иртыша // *Вопр. ихтиологии*. Т. 53. № 1. С. 31–43. <https://doi.org/10.7868/S0042875213010049>
- Борисенко Э.С., Павлов Д.С., Кузицин К.В.* 2019. Исследование нерестовых миграций Камчатской микижи (*Parasalmo mykiss*) рек Квачина и Утхолок (Западная Камчатка) гидроакустическими методами // *Тез. II науч. конф. “Ориентация и навигация животных”*. М.: Тво науч. изд. КМК. С. 10.
- Дегтев А.И., Шевляков Е.А., Малых К.М., Дубынин В.А.* 2012. Опыт оценки численности молоди и производителей тихоокеанских лососей гидроакустическим методом на путях миграции в пресноводных водоемах // *Изв. ТИНРО*. Т. 170. С. 113–134.
- Красная книга Российской Федерации. Животные. 2021. М.: Изд-во ВНИИ Экология, 1128 с.
- Кузицин К.В.* 2011. Структура локального стада и особенности размножения кижуча в Квачине – малой лососевой реке тундрового типа (северо-западная Камчатка) // *Матер. XII междунар. науч. конф. “Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей”*. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 58–61.
- Кузицин К.В., Семёнова А.В., Груздева М.А., Павлов Д.С.* 2020. Закономерности формирования разнообразия жизненных стратегий и генетическая изменчивость

- камчатской микижи *Parasalmo mykiss* (Walbaum) на уровне локальной популяции // *Вопр. ихтиологии*. Т. 60. № 6. С. 636–654.  
<https://doi.org/10.31857/S004287522006003X>
- Лощия Охотского моря. 2007. Вып. 1. Южная часть моря. СПб.: Изд-во УНиО МО РФ, 260 с.
- Лущин В.А. 1998. Непериодические течения // *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*. Т. 9. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат. С. 233–256.
- Максимов В.А. 1976. Экология популяций камчатской микижи *Salmo mykiss* (Walbaum) р. Большой (Западная Камчатка) // *Вопр. ихтиологии*. Т. 16. Вып. 1 (96). С. 16–20.
- Павлов Д.С. 1979. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды. М.: Наука, 319 с.
- Павлов Д.С., Букварева Е.Н. 2010. Место рыбохозяйственных заповедных зон в формировании общей системы охраны и использования лососей // *Лососевые рыбохозяйственные заповедные зоны на Дальнем Востоке России*. М.: Изд-во ВНИРО. С. 18–27.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А. 2008. К проблеме соотношения анадромии и резидентности у лососевых рыб (Salmonidae) // *Вопр. ихтиологии*. Т. 48. № 6. С. 810–821.
- Павлов Д.С., Скоробогатов М.А. 2014. Миграции рыб в зарегулированных реках. М.: Т-во науч. изд. КМК, 413 с.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузищин К.В. 1999. К проблеме формирования эпигенетических вариаций жизненной стратегии у вида Красной книги — камчатской микижи *Parasalmo mykiss* (Salmonidae, Salmoniformes) // *Докл. РАН*. Т. 367. № 5. С. 709–713.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузищин К.В. и др. 2001. Тихоокеанские благородные лососи и форели Азии. М.: Науч. мир, 200 с.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузищин К.В. и др. 2007. Стратегия сохранения камчатской микижи. М.: Изд-е ИПЭЭ РАН, 32 с.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузищин К.В. и др. 2008. Разнообразие жизненных стратегий и структура популяций камчатской микижи *Parasalmo mykiss* в экосистемах малых лососевых рек разного типа // *Вопр. ихтиологии*. Т. 48. № 1. С. 42–49.
- Павлов Д.С., Борисенко Э.С., Мочек А.Д., Дегтев А.И. 2009а. Исследования нерестовых миграций ценных видов рыб с помощью гидроакустических систем // *Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского севера*. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН. С. 391–398.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузищин К.В. и др. 2009б. Состояние и мониторинг биоразнообразия лососевых рыб и среды их обитания на Камчатке (на примере территории заказника “Река Коль”). М.: Т-во науч. изд. КМК, 156 с.
- Павлов Д.С., Борисенко Э.С., Мочек А.Д., Дегтев Е.А. 2011. Гидроакустические исследования миграции *Salmo salar* в реке Шуя (бассейн Онежского озера) // *Вопр. ихтиологии*. Т. 51. № 5. С. 670–676.
- Павлов Д.С., Кириллов П.И., Кириллова Е.А. и др. 2016. Состояние и мониторинг биоразнообразия рыб, рыбообразных и среды их обитания в бассейне реки Утхолок. М.: Т-во науч. изд. КМК, 197 с.
- Поддубный А.Г. 1971. Экологическая топография популяций рыб в водохранилищах. Л.: Наука, 312 с.
- Савваитова К.А. 2001. Микижа *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) (проходная форма — камчатская семга и популяция Шантарских островов) // *Красная книга Российской Федерации*. Животные. М.: АСТ; Астрель. С. 273–275.
- Савваитова К.А., Максимов В.А., Мина М.В. и др. 1973. Камчатские благородные лососи (систематика, экология, перспективы использования как объекта форелеводства и акклиматизации). Воронеж: Изд-во ВГУ, 120 с.
- Савваитова К.А., Тутуков М.А., Кузищин К.В., Павлов Д.С. 2002. Изменения структуры популяции камчатской микижи *Parasalmo mykiss* из реки Утхолок на фоне колебаний её численности // *Вопр. ихтиологии*. Т. 42. № 2. С. 184–188.
- Чернявский В.П. 1981. Циркуляционные системы Охотского моря // *Изв. ТИНРО*. Т. 105. С. 13–19.
- Юданов К.И., Калихман И.Л., Теслер В.Д. 1984. Руководство по проведению гидроакустических съемок // М.: Изд-во ВНИРО, 124 с.
- Braithwaite H. 1971. A sonar fish counter // *J. Fish Biol.* V. 3. № 1. P. 73–82.  
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1971.tb05906.x>
- Braithwaite H. 1975. Sonar fish counting // *EIFAC Techn. Pap.* № 23. Suppl. 1/1. P. 369–380.
- Cheng P., Levy D.A., Neilson P.A. 1991. Hydroacoustic estimation of Fraser River pink salmon abundance and distribution at Mission, B.C., in 1987 // *Pacific Salmon Comm. Techn. Rep.* № 3. 35 p.
- Conrad B., Dufault A., Hawkshaw M. et al. 2019. Hydroacoustics review technical summary // *Ibid.* № 41. 369 p.
- Kristinsson B., Alexandersdottir M. 1978. Design and calibration of a salmon counter // *J. Agricult. Res. Iceland.* V. 10. № 2. P. 57–66.
- Kubecka J., Duncan A. 1998. Acoustic size vs. real size relationships for common species of riverine fish // *Fish. Res.* V. 35. № 1–2. 115–125.  
[https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(98\)00066-6](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(98)00066-6)
- Levy D.A., Ransom B., Buczynski J. 1991. Hydroacoustic estimation of sockeye salmon abundance and distribution in strait of Georgia, 1986 // *Pacific Salmon Comm. Techn. Rep.* № 2. 45 p.
- Pavlov D.S. 1989. Structure assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR // *FAO Fish. Tech. Pap.* № 308. Rome: FAO, 97 p.
- Pavlov D.S., Borisenko E.S., Pashin V.M. 2009. Investigations of spawning migration and assessment of abundance of the Kamchatka steelhead (*Parasalmo mykiss*) from the Utkholok river by means of Didson dual frequency identification sonar // *J. Ichthyol.* V. 49. № 11. P. 1021–1031.  
<https://doi.org/10.1134/S0032945209110046>
- Simmonds J., MacLennan D. 2005. *Fisheries Acoustics. Theory and Practice*. New Jersey: Blackwell Publishing Ltd., 437 p.  
<https://doi.org/10.1002/9780470995303>
- Tesch F.W. 1964. Echographenaufzeichnungen in Fischpässen zur Untersuchung der Wanderungsaktivität von Fischen // *Arch. Fischereiwiss.* V. 15. № 3. P. 186–193.