Известия ТИНРО

2019 **Том 197**

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

УДК 597.552.511(282.257.21)

Е.С. Фадеев[1], Е.А. Шевляков[2], М.Г. Фельдман[1]*

[1] Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18;
[2] Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОПУСКА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ Р. КАМЧАТКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

По результатам комплексного мониторинга пропуска, включающего в себя данные авиаучетных наблюдений, гидроакустических работ, контрольных сплавов, а также биологических характеристик производителей тихоокеанских лососей разработаны метод оперативной количественной оценки пропуска тихоокеанских лососей в бассейне р. Камчатка и математические модели оценки пропуска производителей тихоокеанских лососей на нерестилища через сечение реки. На основании полученных данных ретроспективно количественно и качественно оценен уровень пропуска производителей нерки, кеты, кижуча на нерестилища реки, проведена оценка эффективности действующего режима промысла. Пропуск нерки оценен на уровне средней эффективности ее воспроизводства. Для достижения условий, позволяющих обеспечить функционирование популяций камчатской нерки на наивысшем уровне воспроизводства, при регулировании промысла следует ориентироваться на уровень пропуска около 850 тыс. производителей. Такой уровень достижим при условии систематического переполнения действующих центров воспроизводства и вовлечения в процесс популяций, ранее утративших свое значение. Уровень пропуска производителей кеты и кижуча в рассматриваемый период можно оценить как средний и высокий. Разработана и внедрена методика проведения контрольного лова чавычи до начала промысла с целью получения общих оценок пропуска этого вида.

Ключевые слова: бассейн реки Камчатка, тихоокеанские лососи, гидроакустический комплекс, авиаучетные наблюдения, математическая модель.

DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20.

Fadeev E.S., Shevlyakov E.A., Feldman M.G. Complex monitoring of salmon spawners escapement to the Kamchatka River in real time regime // Izv. TINRO. — 2019. — Vol. 197. — P. 3–20.

Complex method of quick quantitative evaluation of the spawners escapement to the Kamchatka River is developed for pacific salmons on the base of analysis of their passing dynamics through certain parts of the river (main stream, tributaries, spawning grounds).

** Фадеев Евгений Сергеевич, научный сотрудник, e-mail: fadeev.m.g@kamniro.ru; Шевляков Евгений Александрович, кандидат биологических наук, заведующий отделом, e-mail: evgeniy.shevlyakov@tinro-center.ru; Фельдман Марк Геннадьевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: feldman.m.g@kamniro.ru.*

Fadeev Evgeny S., researcher, e-mail: fadeev.m.g@kamniro.ru; Shevlyakov Evgeny A., Ph.D., head of department, e-mail: evgeniy.shevlyakov@tinro-center.ru; Feldman Mark G., Ph.D., leading researcher, e-mail: feldman.m.g@kamniro.ru.

The runs of different temporal forms of anadromous salmons were separated taking into account their biological parameters using the data of biological analysis of commercial catches in Ust-Kamchatsky district. The spawners abundance was evaluated from CPUE value for the main stream where control catches of spawners were made in the periods predetermined for escapement, and directly using two duplicate hydroacoustic complexes for the tributary important for salmons reproduction or visually from ashore, boats, or flying vehicles for other tributaries. These data were coupled with general assessments of the escapement values in the river basin from helicopters. Numeral model was developed to evaluate the salmons escapement to the spawning grounds. The escapement dynamics was simulated retrospectively for sockeye, chum and coho salmon in 2016 and 2017. The method was successfully used for fishery management in the fishery campaign of 2018. Efficiency of the fishery regime was estimated using this approach. The value of sockeye salmon escapement was determined as enough for medium reproduction, and the values of chum and coho salmons escapement — as enough for medium or high reproduction. For chinook salmon, the model was not tested, but the method of control catches was developed and applied as a part of integrated methodology for quantitative operational assessment of escapement.

Key words: Kamchatka River, pacific salmon, hydroacoustic complex, aerial survey, numeral model.

Введение

Мониторинг пропуска производителей тихоокеанских лососей на нерестилища нерестовых рек является важной рыбохозяйственной задачей, с одной стороны, как информационной основы для обеспечения требуемого уровня воспроизводства популяций через оперативное регулирование их промысла, с другой — численность производителей и эффективность их нереста являются базовым компонентом разработки перспективных прогнозов подходов и уловов лососей в будущем. До сих пор объективно лучшим и предпочтительным методом учета численности лососей на нерестилищах являются авиаучетные наблюдения. В условиях обширных территорий и отсутствия транспортной инфраструктуры авиаучет — наилучший способ для получения тотальных прямых оценок производителей разных видов и сезонных форм в сжатые сроки.

В последние годы в связи с ростом стоимости летного часа, а также на фоне низкого уровня или и вовсе отсутствия целевого финансирования авиаучетных работ оперативные вылеты в период промысла с целью уточнения величины прохода рыб на нерестилища не осуществляются. Вылеты планируются в период наблюдения максимальных концентраций производителей на нерестилищах, как правило, в отношении стратегически важных запасов лососей. В этой связи в качестве критериев оценки обилия пропускаемых на нерест производителей для выработки решений в целях оперативного регулирования промысла могут использоваться не прямые наблюдения, а косвенные, такие, например, как плотность рыб на ограниченных участках рек или нерестилищ, величина уловов на усилие и т.д.

Поскольку пропуск производителей и его качество есть и остаются основным критерием регулирования, а во многих случаях и собственно продолжения промысла, то получение оценок пропуска и его мониторинг в динамике — важная задача лососевого хозяйства.

По этим причинам в последнее десятилетие на полуострове, и в частности в бассейне р. Камчатка, внедряется новый способ учета — гидроакустический. В настоящее время на путях миграции производителей нерки в оз. Азабачье, являющееся вторым по значимости нерестовым водоемом в бассейне р. Камчатка, используется два гидроакустических комплекса, различающихся по техническому исполнению и способам решения поставленных задач. Кроме того, в бассейне этой реки осуществляется сбор дополнительной оперативной научно-промысловой информации, такой как динамика промысловых и контрольных уловов, качественных характеристик производителей, прямые учеты производителей. Совокупность получаемых данных в результате комплексного анализа позволяет сформировать объективное представление о пропуске производителей разных видов тихоокеанских лососей в динамике. Как следствие, данная информация является оперативной и надежной основой для принятия сбалансированных управленческих решений в отношении выбора стратегии промысла.

Основной целью данного исследования являются разработка и проверка методики комплексного мониторинга подходов тихоокеанских лососей к устью р. Камчатка, позволяющей получать оценки пропуска производителей в бассейн реки в режиме реального времени на основе данных промышленных и контрольных уловов лососей.

Материалы и методы

В 2013 г. впервые в бассейне р. Камчатка для подсчета производителей был установлен отечественный гидроакустический комплекс «NetCor», позволивший получать данные по пропуску производителей в режиме реального времени, а с учетом временного лага, требующегося лососям для преодоления расстояния от устья реки до рыбоучетного створа, соотносить с прикладываемыми промысловыми усилиями [Дегтев и др., 2012; Фадеев, 2014]. Работы проводятся на рыбоучетном створе в протоке Азабачьей, соединяющей озеро с основным руслом р. Камчатка, в 3 км от ее впадения в реку, в непосредственной близости от биостанции «Радуга» (структурное подразделение ФГБУН «Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского» ДВО РАН) начиная с 2014 г.

В 2018 г. был внедрен еще один гидроакустический комплекс для учета производителей — «DT-X» от производителя BioSonics Inc (США). С целью проведения калибровочных работ комплекс годом ранее был впервые апробирован в бассейне р. Озерной [Малых и др., 2017], в истоке которой оборудован постоянный рыбоучетный створ, а учет производителей на рыбоучетном заграждении (РУЗ) осуществляется визуально.

Гидроакустические комплексы «NetCor» и «DT-X» были установлены на гидроакустическом створе в протоке Азабачьей в непосредственной близости друг от друга (рис. 1). При этом датчики гидроакустического комплекса «NetCor» устанавливались на две оригинальные плавучие платформы и каждый зондировал сектор сечения протоки, в то время как датчик комплекса «DT-X» был установлен на платформе рыбацкой лодки со стороны отмелой части протоки и зондировал все ее сечение. Обработка информации осуществлялась независимо, в соответствии с индивидуальным программным обеспечением.

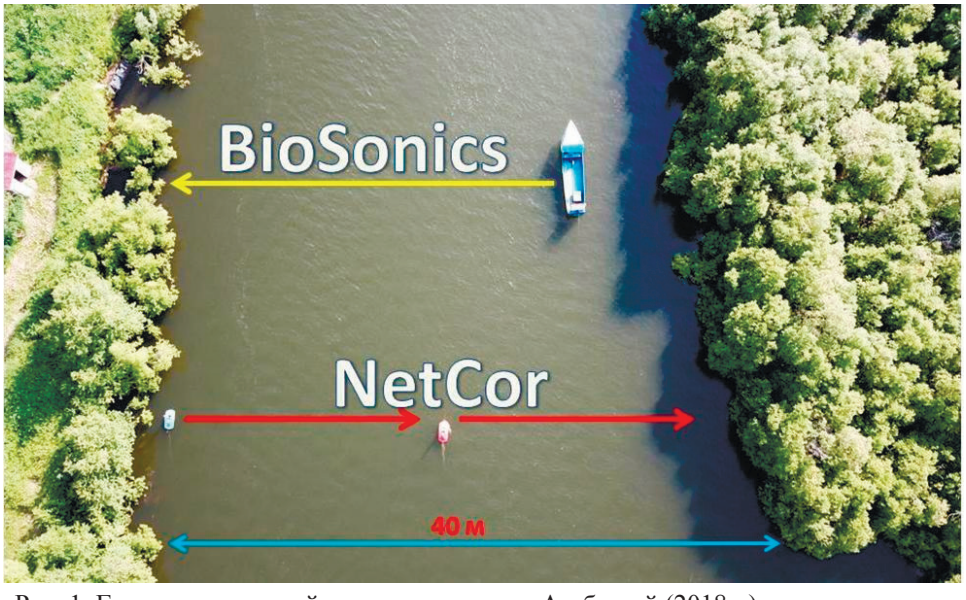

Рис. 1. Гидроакустический полигон в протоке Азабачьей (2018 г.)
Fig. 1. Scheme of hydroacoustic observations in the Azabachya channel in 2018

В качестве сравнительной информации использовали результаты выборочных и сплошных учетов — пеших, с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и вертолетов. Для проведения авиаучетов применяли вертолеты МИ-8, Ми-2, AS350 B2, BELL 429 [Шевляков и др., 2017].

Наряду с гидроакустическими работами осуществлялся также контрольный лов на рыбопромысловом участке (РПУ) промышленного лова № 832 «Хваленка» в бассейне р. Камчатка. В периоды, определенные Комиссией по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб в Камчатском крае как проходные, производилось до двух контрольных сплавов в день сетью длиной 450 м и высотой 6 м с размером ячеи 65–70 мм. В 2017 г. по решению Комиссии разрешено проводить до четырех контрольных сплавов. В 2018 г. количество контрольных сплавов решением Комиссии увеличили до шести. Сплав проводился силами и средствами представителей промысловой бригады и представлял собой стандартное промысловое усилие. Интервал между сплавами составлял 2 ч. Данные обловов усреднялись и в расчетах принимались как средний показатель улова на усилие за день. В промысловые дни статистика уловов собиралась из отчетов промысловых журналов, периодически осуществлялся оперативный контроль. Параметры тони РПУ № 832 «Хваленка» позволяют осуществлять эффективное рыболовство в едином русле. Створ реки в пространстве тони относительно узок, не имеет ветвлений и позволяет исключить обход объектами лова сетей даже в период паводка. Участок располагается в 8 км от места слияния протоки Азабачьей с р. Камчатка и ниже его по течению, является наиболее эффективным и удаленным от устья РПУ. Удаление контрольного створа на 30 км от устья реки исключает временную привязку хода рыбы к морским приливным циклам [Фадеев и др., 2016].

В процессе работы привлекали данные биологических характеристик рыб из промысловых уловов предприятий Усть-Камчатского района.

В 2018 г. в режиме получения оперативных оценок по заполнению нерестилищ был также использован БПЛА. Аэрофотосъемку осуществляли с помощью квадрокоптера «Mavic PRO» от производителя «DJI». За весь период нереста нерки было проведено 3 обследования озера и его притоков.

Математическое моделирование оценки ежесуточного пропуска производителей лососей на нерест в бассейне р. Камчатка основано на высокой корреляции данных средних промысловых усилий на контрольном РПУ № 832 «Хваленка» с данными по пропуску нерки в оз. Азабачье, полученными с использованием гидроакустического комплекса «NetCor» в период с 01 по 16 июня 2016 г. С большой долей вероятности подавляющая часть производителей, осуществляющая в этот период проход створа контрольного РПУ, принадлежала к стаду нерки оз. Азабачьего (рис. 2). Этот период

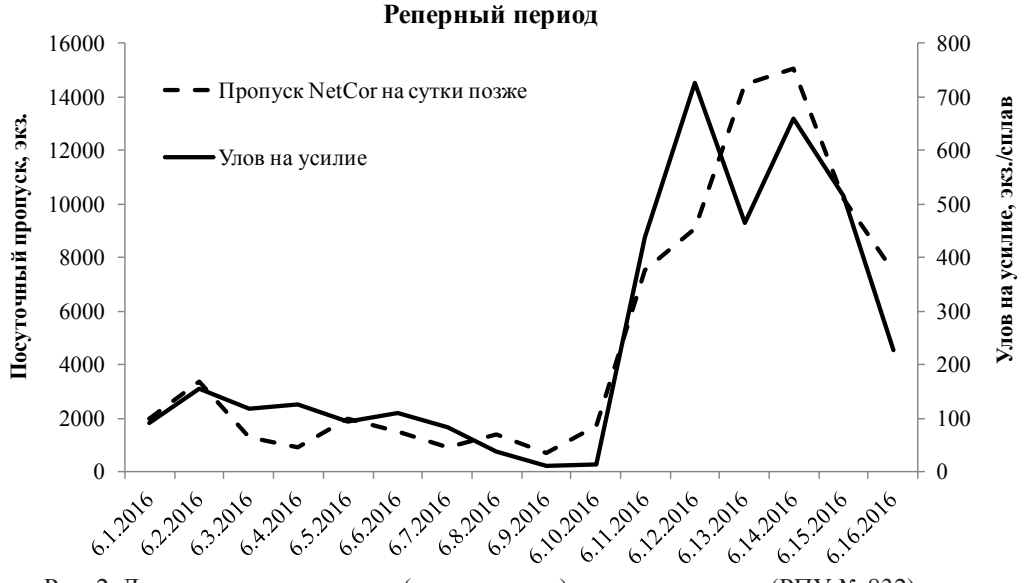

Рис. 2. Динамика промысловых (контрольных) уловов на усилие (РПУ № 832) и пропуска производителей в оз. Азабачье в период 01–16.06.2016 г. (по данным «NetCor», лаг 1 сут)

Fig. 2. Dynamics of control commercial catches per unit effort (fishery plot № 832) and spawners escapement to Azabachye Lake for June 1–16, 2016 with 1 day lag (NetCor data)

был принят за эталонный, что впоследствии позволило разработать модели для дискретной оценки пропуска лососей через контрольный створ в зависимости от величины промысловых и контрольных уловов. В дальнейшем подобных значимых корреляций не наблюдалось, на РПУ облавливалась рыба из комплекса различных стад и видов лососей, мигрирующих в разноудаленные от устья притоки реки.

Всего было разработано три модели, несколько по-иному оценивающие пропуск, но основывающиеся на одних и тех же входных данных.

Модель № 1 основана на оценке коэффициентов изъятия в проходные и рабочие дни в реперный период, снятии с них трендов зависимости доли изъятия от показателя улова на усилие и далее — расчете коэффициентов изъятия в каждые промысловые сутки, а также в проходные дни (рис. 3). В качестве моделей трендов использованы полиномы 2-й степени, предполагающие при росте улова на усилие одновременный рост коэффициента изъятия вплоть до некоего максимума, после которого корреляция между этими величинами становится отрицательной, так как улов используемых сетей ограничен максимумом в 1200–1300 экз. за сплав.

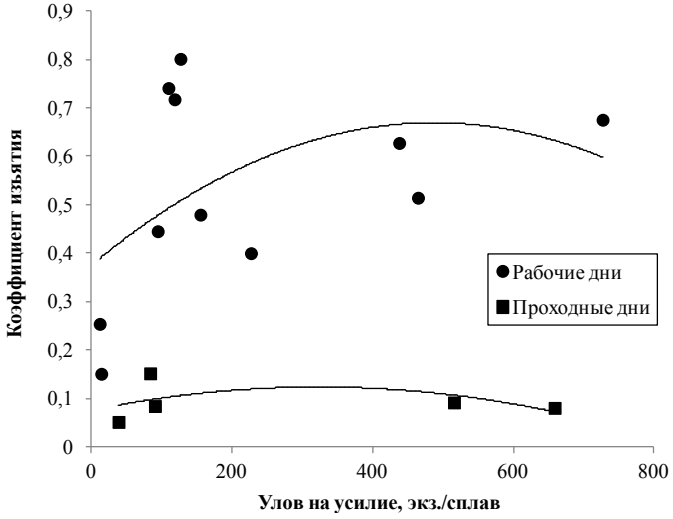

Рис. 3. Моделирование коэффициентов изъятия в проходные и рабочие дни

Fig. 3. Modeling of the catch portion for the days of escapement and fishing

Модель № 2 наиболее проста и основана на корреляции между уловом на усилие и пропуском рыбы на нерест в реперный период. Согласно модели пропуск примерно в 20 раз больше, чем показатель улова на усилие, вне зависимости от того, в какой день (рабочий или проходной) производились сплавы (рис. 4).

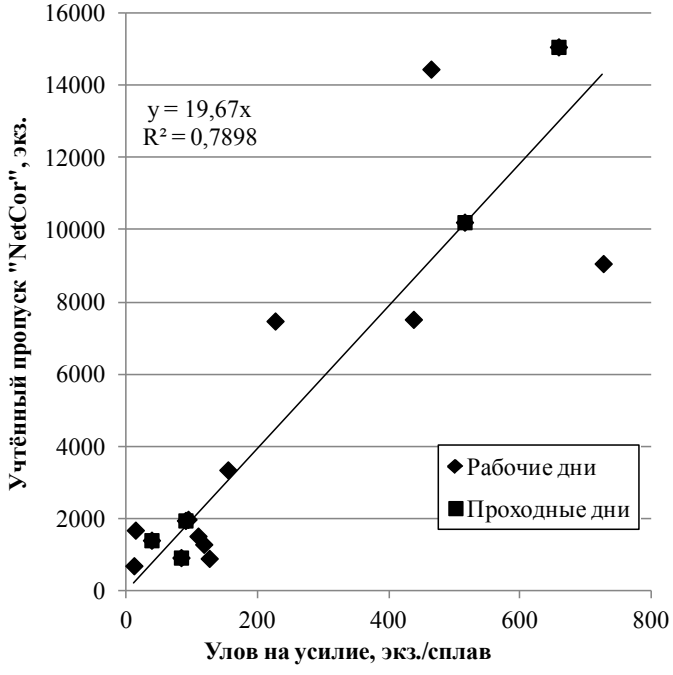

Рис. 4. Корреляция между показателем улова на усилие (РПУ № 832) и учтенным с помощью гидроакустического комплекса «NetCor» числом лососей, пропущенных на нерестилища

Fig. 4. Correlation between CPUE at the fishery plot № 832 and number of salmons passing to the spawning grounds counted by hydroacoustic complex NetCor

Модель № 3 также основана на линейной регрессии, однако отличается от предыдущей тем, что линейные тренды проведены не для данных по пропуску, а для данных по вылову в рабочие и проходные дни по отдельности. Соответственно, пропуск вычислялся как разница между подходом рыбы к РПУ и промышленным выловом в рабочие дни (или уловами контрольных сплавов в проходные дни). Подход рыбы к РПУ, оцененный в реперный период, представляет собой сумму вылова на участке в отдельно взятый день и учтеннного пропуска в протоке Азабачьей на день позже. Между полученными оценками подхода и данными улова на усилие, в свою очередь, также наблюдается линейная зависимость. В итоге общий подход к РПУ, вылов на контрольном участке в рабочие и проходные дни можно отобразить графически (рис. 5).

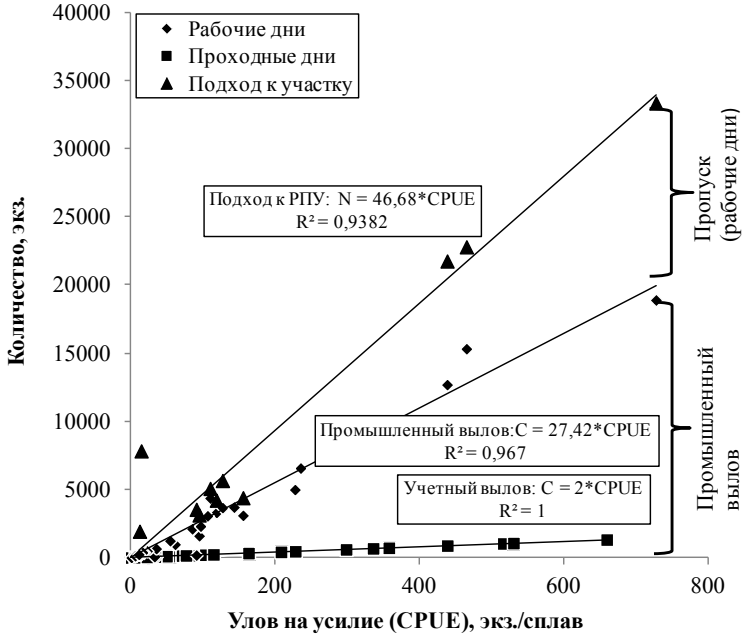

Рис. 5. Оценка пропуска производителей как разности между смоделированной величиной подхода и фактическим выловом

Fig. 5. Escapement evaluation as the difference between simulated run and factual catch

В 2018 г. наряду с контрольным участком № 832 также проводили мониторинг на РПУ № 820 «Госпромхоз», а также на максимально удаленном от устья вверх по течению новом РПУ № 1136 «Верхние Щеки».

Результаты и их обсуждение

Результаты прямых учетов. Результаты гидроакустических исследований, впервые проведенных в 2013 г. в протоке Азабачьей с помощью комплекса «NetCor», показали хорошую сопряженность с результатами авиаучетных работ. Вплоть до настоящего времени комплекс используется для учета производителей нерки на пути их миграции в оз. Азабачье.

В 2018 г. с целью калибровки на используемом створе протоки был использован новый комплекс «DT-X» (BioSonics Inc, США). В результате параллельных исследований было установлено, что в условиях оптимальной гидрологической обстановки ранее внедренный комплекс «NetCor» дает сопоставимые с новым комплексом «DT-X» данные (рис. 6).

Комплекс «DT-X» был установлен в первой декаде июня, однако из-за препятствующего счету выноса льда первые данные стали получать 14 июня. Первые данные с комплекса «NetCor» получили 17 июня. В эту же дату на контрольном участке отмечен первый подход нерки. Из чего было сделано заключение, что вынос льда из озера (не типичный для этих дат) не мог повлиять на результат счета.

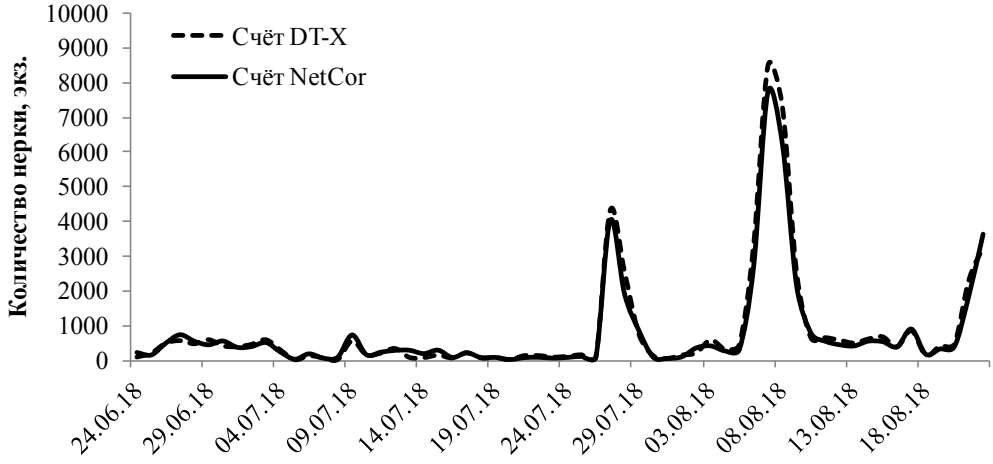

Рис. 6. Динамика пропуска производителей нерки в протоке Азабачьей гидроакустическими комплексами «NetCor» и «DT-X» в условиях оптимальной гидрологической обстановки

Fig. 6. Dynamics of sockeye salmon escapement to the Azabachya channel in case of optimal hydrological conditions, by hydroacoustic data (NetCor and DT-X)

В период с 24.06 по 23.08.2018 г. в условиях отсутствия влияния внешних помех счет составил 47 тыс. экз., учтенных комплексом «NetCor», и 50 тыс. экз. производителей нерки, учтенных комплексом «DT-X». Наблюдения показали, что внедренный комплекс «DT-X», испытанный годом ранее в бассейне р. Озерной, вполне соответствует задачам учета производителей нерки в протоке Азабачьей.

В период с 14 по 24 июня 2018 г. комплекс «NetCor» не использовался из-за высокой вероятности опрокидывания гидроакустических платформ льдом, который выносило из озера вниз по течению. В этот период пользовались данными комплекса «DT-X», который был установлен на каркас рыбацкой лодки, закрепленной на оттяжках. По мере развития водной растительности (с 23 августа) в основном использовали данные, получаемые в результате работы комплекса «NetCor», на работу датчиков которого из-за особенностей конструкции меньшее влияние оказывает водная растительность, в этот период в массе выносимая течением.

В результате, учитывая преимущества каждого из комплексов в отдельные гидрологические периоды, были получены комбинированные оценки пропуска. За весь период гидроакустических исследований, проведенных с 14 июня по 4 сентября 2018 г., гидроакустическими комплексами было учтено 120 тыс. производителей нерки (рис. 7).

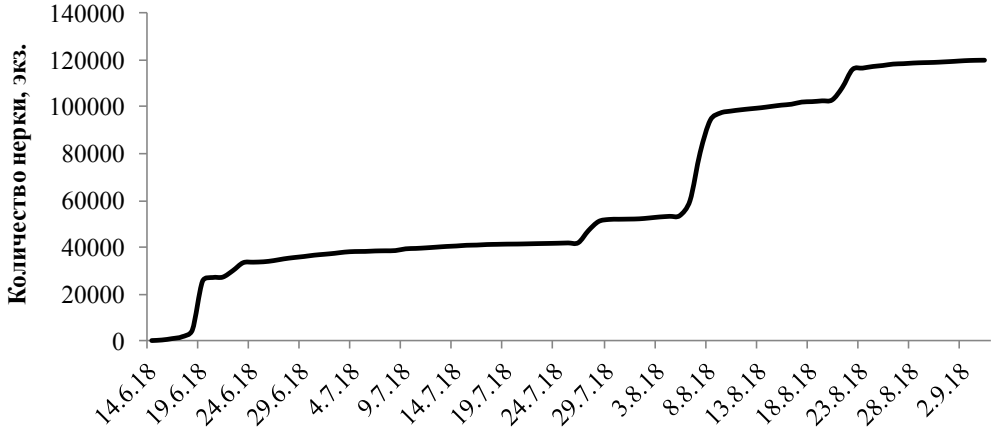

Рис. 7. Пропуск производителей нерки в протоке Азабачьей по результатам комбинированного счета за весь период наблюдений

Fig. 7. Escapement of sockeye salmon to the Azabachya channel, by the data of combined accounting in the whole period of observations

Работа комплексов тестировалась параллельными оценками численности нерестующих производителей альтернативными методами. В 2018 г. состоялось три авиаучетных обследования оз. Азабачьего сотрудниками КамчатНИРО с борта вертолетов (28–30.07, 24–25.08, 11–12.09). Кроме того, проводилась аэрофотосъемка с помощью квадрокоптера (рис. 8). Суммарно для двух сезонных форм по данным авиаучета пропуск нерки в озеро оценили в 136 тыс. экз.

Рис. 8. Производители нерки на нерестилищах Тимофеевской чаши (приток оз. Азабачьего), сфотографированные с помощью квадрокоптера

Fig. 8. Spawners of sockeye salmon on the spawning grounds in the Timofeevskaya Chasha stream entering to Azabachye Lake photographed from quadrocopter

По результатам проведенных в 2018 г. работ заключили, что разница в 12 % между учетом численности разными методами вполне допустима и не превышает ошибки определений каждого из методов.

Результаты моделирования пропуска. В ходе проведения работ в 2016 г. было определено, что средний улов на усилие на верхнем контрольном речном РПУ р. Камчатка в отдельные периоды имеет хорошую сопряженность с пропуском в протоку Азабачью, полученным с помощью гидроакустического комплекса «NetCor» [Шевляков, Фадеев, 2015].

Данное обстоятельство привело к пониманию того, что:

1) совокупность проходящих вверх по течению производителей может быть в отдельные периоды однородна и включать лишь представителей одного стада. Ранее такая точка зрения существовала только в виде предположения, чего было недостаточно для построения каких-либо заключений;

2) накопленный улов на контрольном участке и количество мигрирующих на нерест производителей находятся в прямой пропорциональной зависимости.

Поскольку в случае с неркой основу возвратов составляют 2 сезонные формы, время нерестового хода которых в реке частично перекрывается, то первой задачей стало формирование раздельных для двух форм рядов данных уловов на контрольном рыбопромысловом створе (тонь «Хваленка»). Для этого были привлечены данные биологического анализа нерки из промышленных уловов, в частности использованы коэффициенты зрелости производителей (ГСИ) и масса икринок.

Снижение показателя ГСИ указывает на появление в уловах поздней формы нерки. Соотношение накопленного улова на усилие с данными авиаучетов позволило получить первые индексы соответствия.

Сравнительный анализ накопленного пропуска в реперный период (01–16.06.2016 г.) по трем моделям позволил сделать заключение, что оценки пропуска *моделями № 1* и *2* в среднем ниже оценки пропуска в протоку Азабачью, а оценка пропуска с помощью *модели № 3* выше (табл. 1). Рыбоучетный комплекс «NetCor» учитывал только рыбу, идущую на нерест в оз. Азабачье, между тем как некоторая часть рыбы проходила мимо, в верхнее течение р. Камчатка, следовательно, общий пропуск производителей должен быть выше, чем учтенный на гидроакустическом створе, но ненамного, так как корреляционная связь между уловами на усилие и пропуском в протоку Азабачью в реперный период была достаточно сильная (R = 0,89).

Таблица 1

Оценка пропуска производителей нерки на контрольном участке с результатом гидроакустических наблюдений (01–16.06.2016 г.), тыс. экз.

Table 1

Estimation of sockeye salmon escapement through the control site on June 1–16, 2016 by the data of control catches and hydroacoustic data, 10^3 ind.

Модель	Оцененный пропуск в реперный период	«NetCor»
1	73,38	79,85
2	76,07	
3	109,70	

Ограничения *модели № 1* определяются максимальным числом пойманных сплавной сетью рыб на контрольном РПУ. В дни пиковых подходов производителей при производстве сплава рыбакам зачастую приходилось притоняться без полного прохода стандартной дистанции. В связи с чем существует вероятность занижения данной моделью пропуска, особенно при пиковых заходах производителей.

Результаты оценки пропуска, получаемые с использованием *модели № 2* зависят только от улова на усилие вне зависимости от применяемого режима промысла (проходной, промысловый). Предполагается, что такая модель не может быть достаточно адекватной реальному пропуску, но в данном случае в модели реализуется другое предположение: улов на усилие на последнем речном промысловом створе указывает на обилие производителей, проходящих через него, являясь производной от мощности изначального захода в реку и числа произведенных промысловых усилий.

Модель № 3 достаточно хорошо адаптирована в качестве инструмента оперативного контроля пропуска для целей быстрого реагирования при регулировании промысла. Данная модель учитывает пропуск раздельно для проходных и промысловых дней. В течение всего промыслового периода режим проходных дней непостоянен, кроме того, он может применяться отдельно для морских и речных орудий лова. По результатам работ данная модель, как правило, дает наибольшие оценки, но «чувствительность» к применяемым режимам промысла делает ее востребованной в процессе оперативного управления промыслом.

Пропуск *нерки* по всему бассейну реки, полученный по результатам применения *модели № 3* в 2016 г., составил 300 тыс. особей (табл. 2) [Шевляков и др., 2018]. Результаты авиаучетов показали оценку в 260 тыс. экз. В 2016 г. на контрольном участке проводили до двух контрольных сплавов. В следующие годы количество контрольных сплавов увеличили сначала до четырех (2017 г.), а потом и до шести (2018 г.). Увеличение числа контрольных сплавов, равномерно распределенных в промысловом периоде, позволяет получить более точные оценки CPUE для целей моделирования и уменьшить ошибку.

Модельная оценка пропуска нерки в 2017 г. составила 493 тыс. особей. Фактическая оценка пропуска по результатам авиаучетных работ и гидроакустических исследований была около 340 тыс. экз. При этом стоит отметить, что фактическая оценка пропуска по результатам авиаучета не включала в себя данные по заполнению нерестилищ бассейна реки поздней формой нерки, за исключением нерки оз. Азабачьего.

Таблица 2

Сравнительные (модельные и фактические) оценки пропуска производителей нерки в бассейне р. Камчатка в 2016–2018 гг., тыс. экз.

Table 2

Modeled and factual values of sockeye salmon escapement to the Kamchatka River in 2016–2018, 10^3 ind.

Год	Оценка		Примечание
	Модельная	Авиаучет	
2016	300	260	Авиаучеты в бассейне р. Камчатка, ранняя и поздняя формы, оз. Азабачье (обе формы) — данные по «NetCor»
2017	493	340	300 тыс. — авиаучет ранняя форма + 40 тыс. данные «NetCor» (поздняя форма, оз. Азабачье). Авиаданные по пропуску поздней формы в оставшуюся часть бассейна отсутствуют
2018	275	278	Авиаучет включает раннюю форму всего бассейна р. Камчатка, позднюю — бассейна озер Азабачье, Двухюрточное, данные по пропуску поздней формы в оставшуюся часть бассейна реки фрагментарны

В 2018 г. с помощью авиаучетных работ и гидроакустического комплекса были получены оценки практически по всему бассейну р. Камчатка для ранней и поздней форм нерки. Оценки с помощью вертолета проводились сотрудниками КамчатНИРО регулярно. Как уже упоминалось выше, оценки пропуска в оз. Азабачье получали с помощью двух гидроакустических систем. Трижды обследовалось озеро с помощью квадрокоптера для получения оперативной информации о подходах производителей к нерестилищам. В результате пропуск по всему бассейну р. Камчатка оценили в 278 тыс. особей. При этом пропуск по результатам моделирования составил 275 тыс. экз.

Хорошую результативность примененной модели показывает динамика пропуска производителей на контрольном РПУ № 832 и в протоке Азабачьей. Наиболее выраженное сходство между ними наблюдали в 2018 г., когда на контрольном участке производили от 4 до 6 сплавов, а в протоке Азабачьей учет вели с помощью двух гидроакустических установок, дополняющих друг друга (рис. 9).

Рис. 9. Динамика пропуска производителей на контрольном РПУ № 832 и в протоке Азабачьей (2018 г.)

Fig. 9. Dynamics of salmon escapement through the control fishery plot № 832 and the Azabachya channel in 2018

Уровень пропуска нерки суммарно для двух форм за последние 3 года находился на среднем или близком к среднему уровне воспроизводства [Фельдман и др., 2016] (рис. 10). Так, в 2017 г. пропуск нерки на нерестилища согласно модельным расчетам

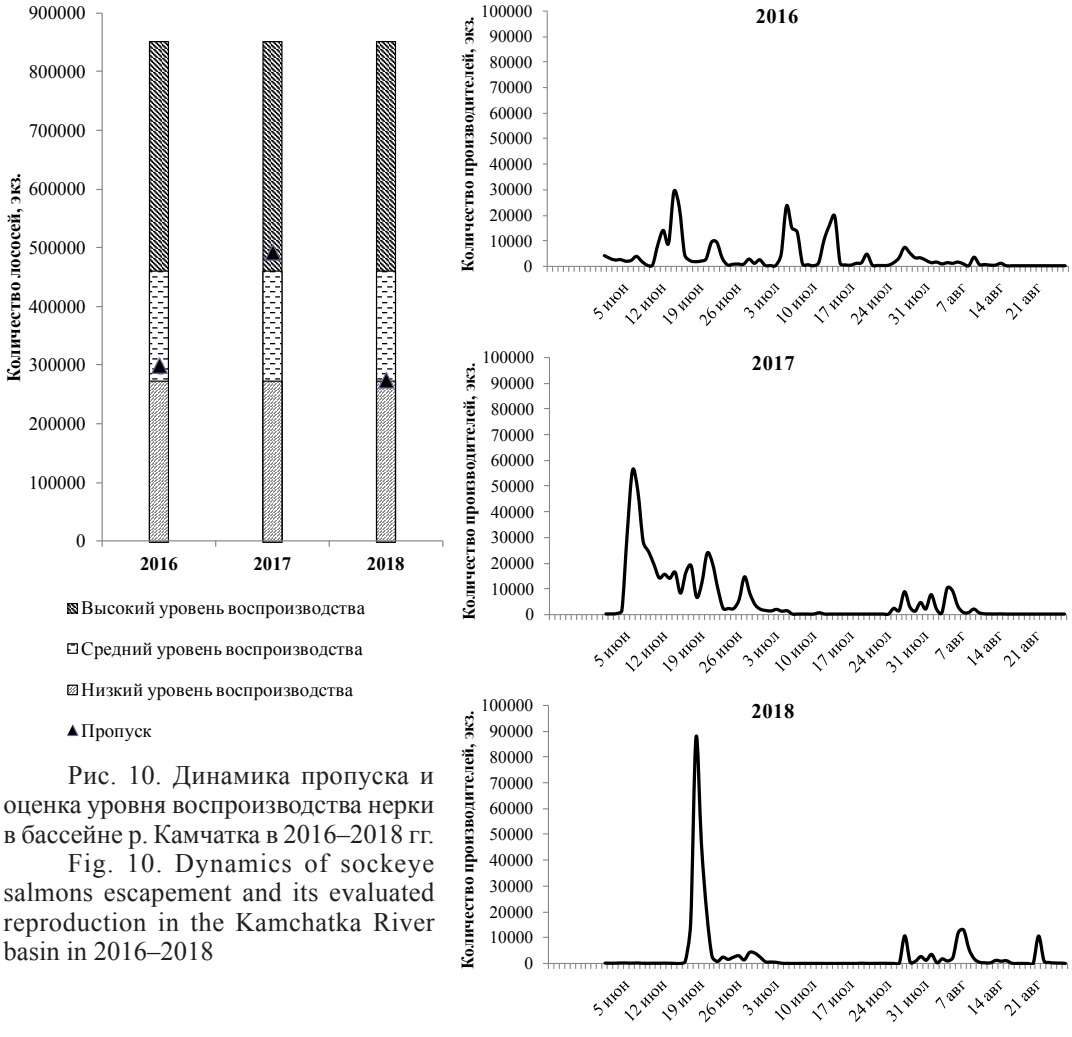

Рис. 10. Динамика пропуска и оценка уровня воспроизводства нерки в бассейне р. Камчатка в 2016–2018 гг.

Fig. 10. Dynamics of sockeye salmons escapement and its evaluated reproduction in the Kamchatka River basin in 2016–2018

составил немногим менее 500 тыс. особей (табл. 2), что является промежуточной величиной между оптимумами для среднего и высокого уровней воспроизводства. В 2018 г., наоборот, пропуск нерки по показателям расчетной модели едва превысил минимальный уровень пропуска, характерный для низкого уровня воспроизводства (275 тыс. экз.). Полученные оценки позволяют заключить, что пропуск нерки в бассейн р. Камчатка в 2018 г. — менее 300 тыс. экз. — значительно уступает величине, рекомендованной в материалах прогноза на текущий год (526 тыс. экз.), причем пропуск состоялся со значительным смещением в сторону поздней формы [Фельдман и др., 2016].

Для достижения наилучшего результата при регулировании промысла следует ориентироваться на уровень 850 тыс. производителей, но такого уровня можно достичь, обеспечивая заполнение всех структурных компонент, слагающих общий нерестовый фонд реки, а не нескольких самых крупных и наиболее продуктивных, как это происходит в настоящее время. Функционирование популяций и их комплексов всех иерархических уровней в бассейне р. Камчатка на наивысшем уровне воспроизводства возможно при систематическом переполнении действующих центров воспроизводства и вовлечении в этот процесс популяций, ранее утративших свое значение.

Применение описанного алгоритма в отношении других видов лососей, численность которых на нерестилищах не подтверждена данными прямых учетов, дает возможность оценить их пропуск (табл. 3).

Таблица 3

Оценка пропуска кеты и кижуча в бассейне р. Камчатка в 2016–2018 гг. по *модели № 3*, тыс. экз.

Table 3

Escapement of chum and coho salmons to the Kamchatka River in 2016–2018 evaluated with the model № 3, 10^3 ind.

Год	Кета	Кижуч
2016	304	93
2017	273	74
2018	103	188

Промысел *кеты* охватывает весь ход этого вида на нерестилища бассейна. Как правило, режим проходных дней в р. Камчатка в последние годы включает остановку промысла на две-три недели в середине июля. Этот период характерен для начала и середины хода производителей кеты на нерестилища. В связи с этим применение используемой модели дает гарантию пропуска оцененного количества производителей этого вида с минимальной вероятностью переоценки.

Пропуск кеты по результатам математического моделирования в 2016 и 2017 гг. находился на высоком уровне воспроизводства [Фельдман и др., 2016] (рис. 11). В 2018 г., в связи с высоким морским промысловым прессом и несмотря на практически полный запрет лова на речных РПУ, уровень воспроизводства был определен на среднем уровне [Фельдман и др., 2016]. Оценивая в целом пропуск кеты в бассейн

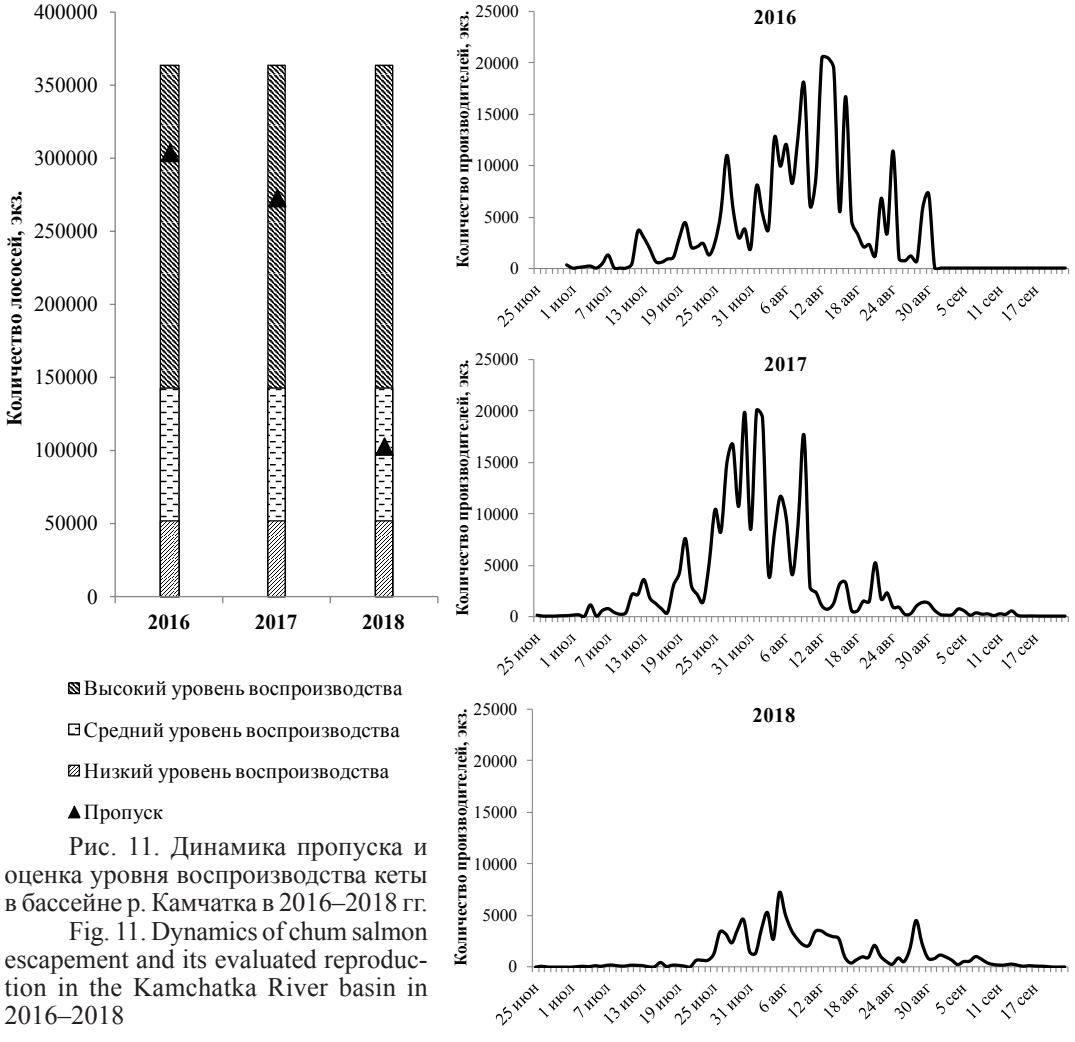

Рис. 11. Динамика пропуска и оценка уровня воспроизводства кеты в бассейне р. Камчатка в 2016–2018 гг.

Fig. 11. Dynamics of chum salmon escapement and its evaluated reproduction in the Kamchatka River basin in 2016–2018

р. Камчатка, можем привести те же аргументы, что и для нерки: на существующем уровне воспроизводства достигнутый показатель достаточен, он может наращиваться по мере подключения к процессу воспроизводства всех группировок кеты.

Пропуск *кижуча* в 2016 и 2017 гг. оценен на уровне 93 и 74 тыс. особей (табл. 3) и соответствует воспроизводству на невысоком уровне [Фельдман и др., 2016] (рис. 12). Тем не менее полагаем, что ситуация не столь трагична, как это может показаться, поскольку промысел всех лососей, и в частности кижуча, заканчивается примерно в середине либо перед последней третью (1/3) его хода. Соответственно, окончание промысла означает и прекращение работ по оценке пропуска, а авиаучетные работы в отношении кижуча в бассейне с такой развитой речной сетью недостаточно информативны, поскольку нерестилищ кижуч достигает зачастую подо льдом. В некоторые годы нерест кижуча в бассейне реки может проходить вплоть до декабря-января [Шевляков и др., 2015]. Руководствуясь этими соображениями, полагаем, что реальный пропуск в эти годы не ниже пределов среднего уровня и может быть вполне достаточен в современный период [Фельдман и др., 2016].

В 2018 г. пропуск находился на высоком уровне воспроизводства (табл. 3, рис. 12). Принимая во внимание, что промысел был завершен раньше окончания хода кижуча, полагаем, что пропуск мог быть еще выше.

Ход производителей *чавычи* на нерестилища, очевидно в связи с общими климатическими трендами на увеличение температурного фона в последние годы, начинается раньше, чем стартует промысел в бассейне р. Камчатка. В 2017 г. впервые были проведены научные контрольные обловы до начала промысла. В процессе проведения работ определено, что первые экземпляры начинают мигрировать в реку сразу после схода льда в начале второй декады мая.

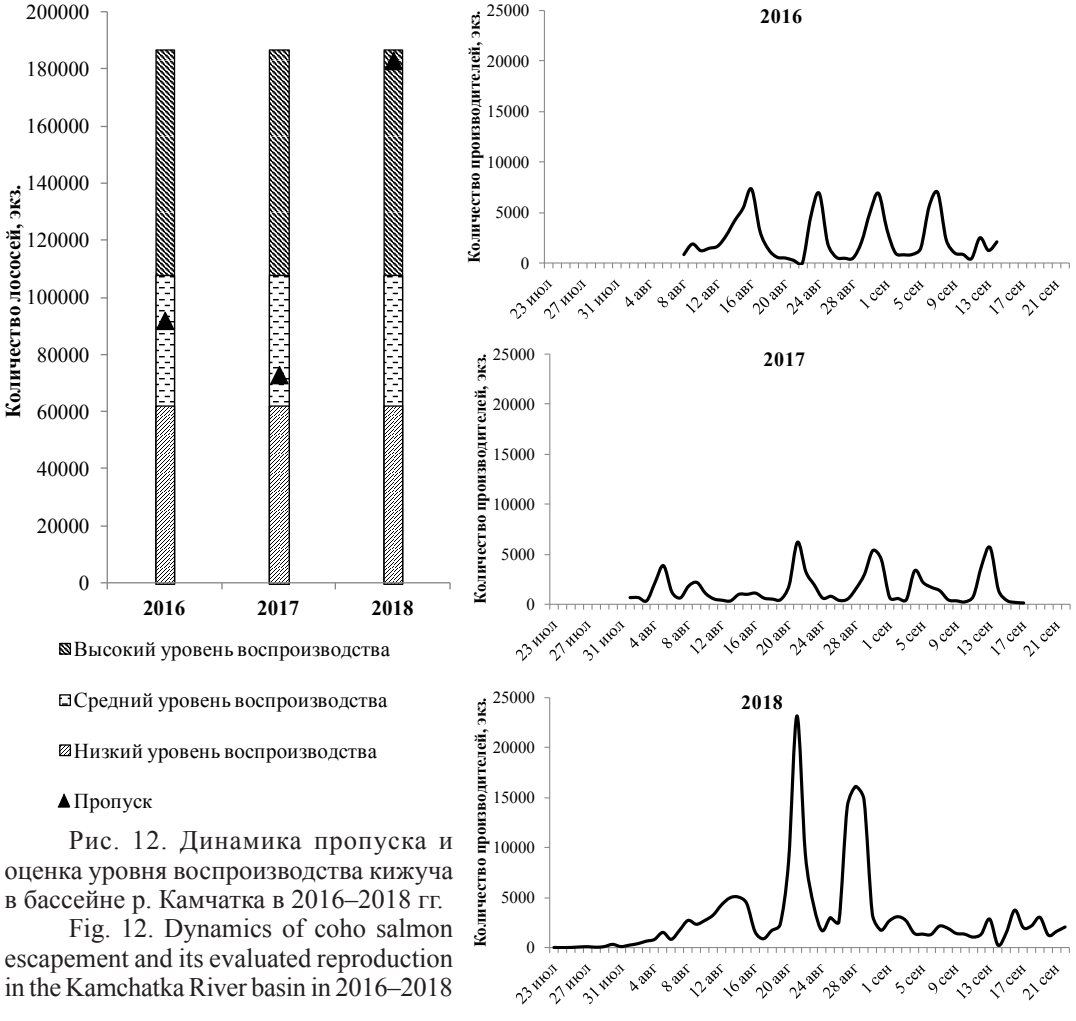

Рис. 12. Динамика пропуска и оценка уровня воспроизводства кижуча в бассейне р. Камчатка в 2016–2018 гг.

Fig. 12. Dynamics of coho salmon escapement and its evaluated reproduction in the Kamchatka River basin in 2016–2018

По результатам проведенных работ в 2018 г. схема выполнения контрольных сплавов до начала промысла была систематизирована, сплавы осуществлены на регулярной основе (рис. 13). В период с 13 мая по 1 июня проводились до двух контрольных сплавов в день на РПУ № 832 «Хваленка» с помощью контрольной сети с размером ячеи, соответствующей промышленной (65–70 мм). Длина сети при этом составляла 100 м и была существенно короче орудий лова, используемых при промысле. По техническим причинам работы по калибровке контрольных и промышленных орудий лова в 2018 г. провести не удалось, поэтому и не были получены коэффициенты соответствия удельной уловистости орудий лова. Тем не менее изменения уловов на усилие позволяют понять динамику хода чавычи в период до начала промысла (рис. 13).

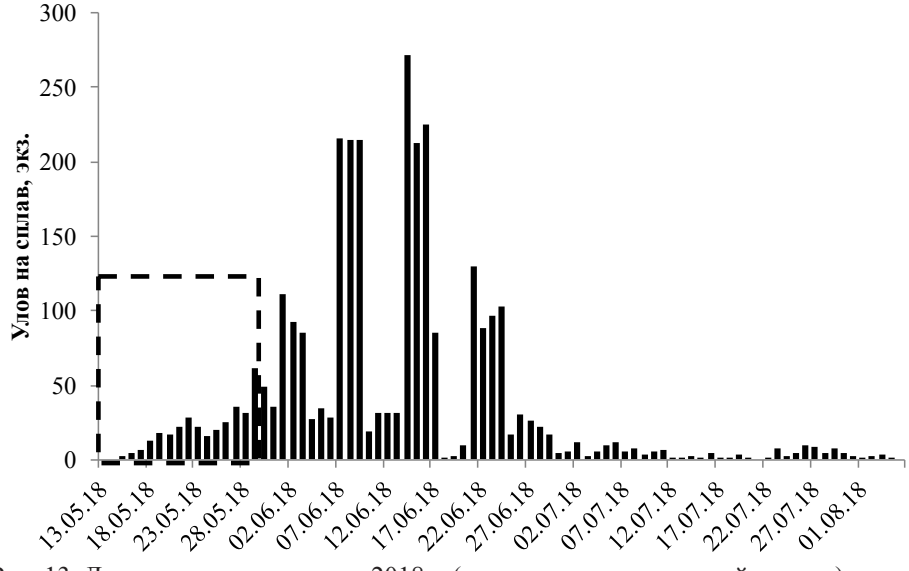

Рис. 13. Динамика хода чавычи в 2018 г. (выделен допромысловый период)

Fig. 13. Dynamics of chinook salmon spawning run in 2018 (period before the start of fishery is marked)

При проведении калибровки орудий лова, используемых в до- и промысловый период, может быть получена и количественная информация о пропуске чавычи на нерестилища.

В 2018 г. в систему мониторинга промысловой обстановки были введены дополнительно два рыбопромысловых участка, на которых осуществлялись сплавы в контрольном режиме. Первый — речной промышленный участок № 820 — расположен вблизи пос. Усть-Камчатск недалеко от устья реки. Результаты уловов на этом участке способны обеспечить максимально оперативное получение информации о начале захода производителей из залива в реку. Второй участок — недавно введенный (в 2018 г.) и с этого времени самый верхний по течению речной РПУ № 1136 (тонь «Верхние Щеки»). Благодаря его расположению стала доступна информация о динамике пропуска (через уловы на усилие) производителей, мигрирующих в верхнее и среднее течение бассейна р. Камчатка, т.е. выше по течению по отношению к значимому в воспроизводстве нерки в бассейне реки оз. Азабачьему и соединяющей его с основным руслом одноименной протоки. Таким образом, в перспективе получение дополнительного звена в системе мониторинга последовательного, популяционно ориентированного пропуска производителей тихоокеанских лососей через весь задействованный промыслом участок нижнего течения реки.

Заключение

Разработан оригинальный комплексный метод контроля пропуска производителей тихоокеанских лососей на нерестилища, включающий в себя в качестве структурных компонентов авиаучетные работы; гидроакустический учет в створе кон-

трольного, значимого в воспроизводстве притока; оценку динамики уловов на усилие в основном речном створе и биологических показателей производителей. Описанный метод позволяет в режиме реального времени получать оперативные оценки обилия лососей, мигрирующих вверх по р. Камчатка. Разработанный комплексный подход в ряду прочих дает возможность решать задачи оперативного контроля достижения ориентиров пропуска производителей и выработки управленческих решений в отношении принимаемых мер оперативного регулирования промысла. Данная методика может найти свое применение на других, преимущественно крупных, водотоках, в обширных бассейнах которых проблематично получать прямые тотальные оценки пропуска производителей.

Прямые количественные учеты нерки, полученные как в контрольном популяционном комплексе отдельной структурной единицы, так и во всем бассейне крупной реки, подтверждают расчетный пропуск, моделируемый на основе данных о промысловых уловах на усилие и результатов гидроакустического учета через сечение контрольного притока с привлечением данных о биологических характеристиках рыб разных сезонных форм.

Стандартные речные промысловые усилия, включая используемый шаг ячеи жаберных речных плавных сетей (65–70 мм), протяженность контрольной промысловой тони и отсутствие селективности промысла морскими орудиями лова (качественные характеристики производителей), позволяют применять разработанную методику и в отношении других массовых объектов лососевого промысла — кеты, кижуча, а в перспективе и чавычи.

Проведенный анализ позволил в ретроспективе накопленных рядов количественно и качественно оценить уровень пропуска производителей на нерестилища р. Камчатка в последние годы (2016–2018 гг.). Так, пропуск наиболее востребованного, валютоемкого, и соответственно, наиболее эксплуатируемого в бассейне объекта промысла — нерки — оценен на уровне средней эффективности воспроизводства. Данный уровень обеспечен сравнительно высоким воспроизводством двух основных популяционных комплексов, слабо обеспечены производителями потенциально значимые популяции верхнего течения реки, а также повсеместно малые популяции низких иерархических уровней. Для достижения условий, позволяющих обеспечить функционирование популяций камчатской нерки всех иерархических уровней на наивысшем уровне воспроизводства, при регулировании промысла следует ориентироваться на уровень пропуска около 850 тыс. производителей. Учитывая современное соотношение вклада отдельных структурных комплексов в общее воспроизводство нерки, такой уровень достижим только при условии систематического переполнения действующих центров воспроизводства и вовлечения в процесс популяций, ранее утративших свое значение.

Уровень пропуска производителей кеты и кижуча в рассматриваемый период можно оценить как средний и высокий. Во многом это связано с активизацией усилий по пропуску производителей (периоды ограничения промысла) сравнительно низкочисленной и уязвимой поздней формы нерки, сроки хода которой совпадают с ходом кеты и кижуча. От четверти до трети продолжительности нерестового хода последнего не охватывается промыслом.

Разработана и внедрена методика проведения контрольного лова чавычи до начала промысла с целью получения общих оценок пропуска этого вида.

Благодарности

Сотрудникам КамчатНИРО, обеспечивающим регулярное проведение биологических анализов производителей лососей из уловов рыбоперерабатывающих предприятий Усть-Камчатского муниципального района (пос. Усть-Камчатск) и участие в контрольных сплавах, за их труд и оперативное предоставление интересующей информации (О.В. Зикуновой, Г.Н. Лагутиной, А.Н. Кузнецовой, Е.В. Вороновой, Д.С. Швецовой). Сотрудникам, проводящим авиаобследования нерестилищ тихо-

океанских лососей в бассейне р. Камчатка, — И.Н. Киреева, С.В. Шубкину — за ценную информацию, позволяющую получать сравнительные оценки численности производителей. Сотруднику научного стационара КамчатНИРО С.Н. Петрову за неоценимую помощь в работе, обеспечение комфортных условий проживания для проведения полевых исследований.

Сотрудникам биостанции «Радуга» Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения российской Академии наук и лично М.Н. Ковалеву за предоставление на начальном этапе работ помощи в организации условий проживания и осуществлении исследований в протоке Азабачьей.

Рыбодобывающей компании ООО «Дельта-Фиш ЛТД» в лице директора завода С.С. Костенко и лично всему коллективу рыбопромышленного участка № 832 «Хваленка» за искреннюю заинтересованность в сохранении ресурсов, содействие в исследованиях и неоценимую помощь в организации промыслового мониторинга на базе своей организации. Рыбодобывающим организациям ООО «Усть-Камчатскрыба» и «Ничира» за предоставление производственных мощностей и организацию контрольного лова на промысловых створах соответственно РПУ № 1136 (тонь «Верхние Щеки») и РПУ № 820 (тонь «Госпромхоз»).

Финансирование работы

Работы проводились согласно государственному заданию № 076-00009-18-01 на 2018 г. и на плановый период 2019 и 2020 гг. ФГБНУ «КамчатНИРО» в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (подпрограмма 3 «Наука и инновации»).

Соблюдение этических стандартов

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием живых животных в качестве объектов. Материал для получения качественных характеристик производителей тихоокеанских лососей отбирался из промысловых уловов рыбодобывающих предприятий.

Авторы исследования являются представителями отраслевых институтов государственного регулятора (Росрыболовства) в области рыболовства в части сохранения водных биоресурсов и обеспечения их рационального промысла. Лоббирование интересов рыбодобывающих компаний через увеличение промысловых нагрузок на популяции препятствует целям обеспечения оптимального пропуска производителей на нерестилища и противоречит целям устойчивого рыболовства. В результате проведенного исследования предложен инструмент оперативного регулирования промысла для использования в региональных Комиссиях по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб, позволяющий обеспечить получение объективной информации о текущем пропуске производителей в нерестовые водоемы в режиме реального времени для принятия компетентных управленческих решений.

Информация о вкладе авторов

Е.С. Фадеев организовал и обеспечил проведение полевых исследований в бассейне оз. Азабачьего, на контрольном створе р. Камчатка (РПУ № 832), в том числе в период, предшествующий промыслу, являлся оператором двух гидроакустических комплексов и беспилотного летательного аппарата, осуществил написание первой версии статьи. Е.А. Шевляков разработал концепцию исследования, принял участие в планировании и организации работ, критически переработал статью, осуществил редактирование. М.Г. Фельдман провел математическую обработку полученных материалов, разработал алгоритм получения оценок пропуска производителей через сечение реки на основе данных об уловах. Все авторы участвовали в анализе, интерпретации и обсуждении результатов.

Список литературы

Дегтев А.И., Шевляков Е.А., Малых К.М., Дубынин В.А. Опыт оценки численности молоди и производителей тихоокеанских лососей гидроакустическим методом на путях миграции в пресноводных водоемах // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 113–135.

Малых К.М., Демченко Д.В., Кондрашенков Е.Л., Коваленко М.Н. Опыт использования гидроакустических комплексов в качестве средств учета производителей тихоокеанских лососей во внутренних водоемах Камчатского края // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : мат-лы I Нац. заоч. науч.-техн. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2017. — С. 61–67.

Фадеев Е.С. Гидроакустическая оценка численности производителей тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*) бассейнов малых и средних рек // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2014. — Вып. 34. — С. 89–94.

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Бирюков А.М. Оценка пропуска производителей нерки в бассейне р. Камчатка с помощью гидроакустического комплекса «NetCor» // Бюл. № 11 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — С. 150–157.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Артюхина Н.Б. Оценка ориентиров пропуска производителей тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в бассейнах рек восточной и юго-восточной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2016. — Вып. 41. — С. 51–80. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.41.51-80.

Шевляков Е.А., Фадеев Е.С. Проблемы рационального рыболовства тихоокеанских лососей в бас. р. Камчатки и Камчатском заливе, меры управления // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2015. — Вып. 38. — С. 7–28. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.38.5-28.

Шевляков Е.А., Дубынин В.А., Шубкин С.В., Артюхина Н.Б. Предварительные итоги лососевой путины по основным запасам в Камчатском регионе в 2017 г.: проблемы прогнозирования и регулирования промысла // Бюл. № 12 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2017. — С. 15–23.

Шевляков Е.А., Зикунова О.В., Фадеев Е.С., Фельдман М.Г. Промысел нерки р. Камчатка в 2018 г.: мониторинг запасов, ориентиры управления, оперативное регулирование и результаты // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — С. 52–71.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Киреев И.Н., Янченко И.Н. Данные о нересте зимнего кижуча в бассейне р. Камчатки в январе 2015 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2015. — Вып. 36. — С. 67–71. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.67-71.

References

Degtev, A.I., Shevlyakov, E.A., Malykh, K.M., and Dubynin, V.A., Results of quantitative assessment of juveniles and adults of Pacific salmon by hydroacoustic method on their migration routes in freshwater ponds, *Izv. Tikhookean. Nauchno–Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 113–135.

Malykh, K.M., Demchenko, D.V., Kondrashenkov, E.L., and Kovalenko, M.N., Experience in the use of hydroacoustic systems as tools to survey Pacific salmon spawners in inland waterbodies of Kamchatka Krai, in *Mater. I Natsional'noi zaochnoi nauchno–tekhnicheskoi konf. "Innovatsionnoe razvitie rybnoi otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii"* (Proc. I Natl. Extramural Sci. Tech. Conf. "Innovative Development of the Fishery Industry in the Context of Food Security of the Russian Federation"), Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2017, pp. 61–67.

Fadeev, E.S., Hydroacoustic assessment of adult escapement of Pacific salmon (*Oncorhynchus*) in small and mediate river systems, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2014, no. 34, pp. 89–94.

Fadeev, E.S., Shevlyakov, E.A., and Biryukov, A.M., Assessment of escapement of sockeye salmon spawners in the Kamchatka River basin using the "NetCor" hydroacoustic complex, in *Byulleten' N 11 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bulletin No. 11 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, pp. 150–157.

Feldman, M.G., Shevlyakov E.A., and Artukhina, N.B., An assessment of the Pacific salmon *Oncorhynchus* adult escapement parameters for the river basins on east and southeast Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2016, no. 41, pp. 51–80. doi 10.15853/2072-8212.2016.41.51-80

Shevlyakov, E.A. and Fadeev E.S., Problems of rational fishery of Pacific salmon in the basin of the river Kamchatka and Kamchatsky Gulf, measures of management, *Issled. Vodn. Biol.*

Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana, 2015, no. 38, pp. 7–28. doi 10.15853/2072-8212.2015.38.5-28

Shevlyakov, E.A., Dubynin, V.A., Shubkin, S.V., and Artyukhina, N.B., Preliminary results of salmon fishing season based on the main stocks in the Kamchatka region in 2017: Problems of prediction and regulation of fishing, in *Byulleten' N 12 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bulletin No. 12 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2017, pp. 15–23.

Shevlyakov, E.A., Zikunova, O.V., Fadeev, E.S., Fel'dman, M.G., Fishing for sockeye in the Kamchatka River in 2018: Monitoring of the stocks, reference points of management, operational control, and results, in *Byulleten' N 13 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bulletin No. 13 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018, pp. 52–71.

Shevlyakov, E.A., Shubkin, S.V., Kireev, I.N., Yanchenko I.N., Information about spawning of winter coho salmon in the basin of Kamchatka river in January 2015, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2015, no. 36, pp. 67–71. doi 10.15853/2072-8212.2015.36.67-71

Поступила в редакцию 12.12.2018 г.
После доработки 17.12.2018 г.
Принята к публикации 15.05.2019 г.