

УДК 597.553.2:59.087

DOI: 10.15853/2072-8212.2017.47.77-90

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТО- И ВИДЕОФИКСАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ НА НЕРЕСТИЛИЩАХ И ПУТЯХ ИХ МИГРАЦИЙ: НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

О.М. Запорожец, Г.В. Запорожец



Вед. н. с., д. б. н.; вед. н. с., к. б. н.; Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18
Тел.: (4152) 41-27-07. E-mail: zaporozhets.o.m@kamniro.ru; zaporozhets.g.v@kamniro.ru

ТИХООКЕАНСКИЕ ЛОСОСИ, УЧЕТ ЧИСЛЕННОСТИ, МЕТОДЫ, ФОТОСЪЕМКА, НЕРЕСТИЛИЩА, КАМЧАТКА, ОЗЕРО НАЧИКИНСКОЕ

В связи с уменьшением объема и детальности авиаучетов на Камчатке, была возобновлена фотосъемка нерестилищ в виде двух модификаций — наземной и воздушной (с помощью квадрокоптера) — и предложена методика расчета количества производителей лососей путем статистического анализа данных, получаемых с фотоснимков выборочных участков нерестилищ, а также путей миграции. Суть ее — определение численности рыб через получение средних значений для каждого из локусов и их интерполяция с использованием GPS-треков. Для обоснования данной методики в 2017 г. в бассейне оз. Начикинского, где нерестует нерка ранней и поздней рас, было проведено сравнение инструментальных методов с экспертной оценкой; показано, что ошибка последней (недооценка) составляла на разных участках от 4 до 77%. На основе учетных данных рассчитаны заходы нерки. Обсуждаются детали методики, варианты ее применения и обработки данных.

USING THE PHOTO- AND VIDEO RECORDS FOR ASSESSMENT OF PACIFIC SALMON ESCAPEMENT ON MIGRATION ROUTES AND SPAWNING GROUNDS: SOME OF METHODOLOGICAL APPROACHES

Oleg M. Zaporozhets, Galina V. Zaporozhets

Leading Scientist, Dr. Sc. (Biology); Leading Scientist, Ph. D. (Biology);
Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18
Tel.: (4152) 41-27-07. E-mail: zaporozhets.o.m@kamniro.ru; zaporozhets.g.v@kamniro.ru

PACIFIC SALMON, STOCK ASSESSMENT, METHODS, PHOTOGRAPHY, SPAWNING GROUNDS, KAMCHATKA, NACHIKINSKOYE LAKE

As checking salmon escapement from the air (helicopter) is getting less extensive and detailed in Kamchatka, making photographs of spawning grounds has been resumed in two versions – from the shores and from the air (quadrocopter), and method of assessment of salmon escapement via statistical analysis of the photo-data was proposed based on obtained photographs of spawning grounds and migration routes. The essence is to figure out the number of the fish on calculated average values for each of loci and interpolating with the use of GPS-tracks. To legalize the method there was a comparison provided in 2017 between expert and methodical estimations for sockeye salmon in the basin of Nachikinskoye Lake, where early and late races spawned. It is demonstrated that the error (underestimation) for the late race was from 4 to 77%. Sockeye salmon escapement was evaluated based on the data. Discussion of the details of the method and versions of application and processing the data is provided.

В течение многих лет сотрудники КамчатНИРО проводят учет нерестовых запасов тихоокеанских лососей, преимущественно с вертолетов. Начиная эти обследования в 1950 г. Ф.В. Крогиус (1955), продолжил А.Г. Остроумов (1962, 1964). Аналогичные исследования с 1930 г. выполняют на Аляске (Eicher, 1953).

Помимо полетов, для этих целей на Камчатке и в других регионах Дальнего Востока используют водные и пешие маршруты (Бараненкова, Семко, 1934; Крохин, Крогиус, 1937; Абрамов, 1942; Запорожец, Запорожец, 2005, 2008, 2015; Золотухин, 2009; Золотухин, Махинов, 2010; Голубь, Голубь, 2012), но территории, охваченные ими, сравнитель-

но невелики. Характерно, что почти все применяемые у нас до настоящего времени методы оценки численности лососей имеют значительную долю субъективности и во многом зависят от опытности наблюдателя. Об этом же сообщали и американские исследователи: например, точность учета нерестовых бугров чавычи непосредственно авианаблюдателями в бассейне р. Колумбии была в 2–3 раза ниже, по сравнению с дешифровкой их аэрофотографий (Visser et al., 2002).

Инструментальные методы учета лососей на нерестилищах (аэрофотосъемку) на Камчатке начали применять в 1957 г. Съемка проводилась ап-

паратом для топографических работ с телеобъективом, имеющим фокусное расстояние 500 мм с самолета АН-2 на высоте 250 м при скорости не менее 150 км/ч. При этом крупные меандры русла обычно не попадали в поле зрения; снять ключевые нерестилища, частично закрытые растительностью, тоже было невозможно, как и определить вид рыб на черно-белых снимках. К сожалению, уровень развития техники в те годы не позволил внедрить аэрофотосъемку в качестве регулярного метода, поэтому ее использовали только на отдельных площадках, экстраполируя эти данные на всю площадь водоемов (Крогиус, Остроумов, 1961; Остроумов, 1962).

Фотография и видеосъемка и сейчас в авиачетах лососей на Камчатке играют лишь вспомогательную роль, отчасти потому что в последнее время КамчатНИРО арендует в основном небольшие вертолеты, на которых нет штатных камер для аэрофотосъемки, и возможности устанавливать свою фототехнику тоже нет. К тому же для качественной съемки нужна хорошая стабилизация изображения.

В то же время сравнительно недавно появились новые инструменты, позволяющие осуществить количественную оценку нерестовых запасов и рыб на путях миграции с помощью фото- и видеотехники с высоким разрешением, в том числе установленной на беспилотные летательные аппараты (БЛА) (Kudo et al., 2012; Whitehead et al., 2014; Christie et al., 2016; Groves et al., 2016; Maselko, Connor, 2016). Стало возможно решать различные задачи в рамках этой темы на доступных с наземного транспорта нерестилищах в бассейнах рек, имеющих большую практическую значимость, например, р. Большой, а также ряда рек, впадающих в Авачинский залив.

В последние годы объем финансирования авиачетов в КамчатНИРО (а значит, и объем обследований) сократился в несколько раз. Поэтому с 2015 г. мы стали регулярно проводить обследования нерестилищ на оз. Начикинском, расположенном в верховьях р. Плотникова, одного из двух основных истоков р. Большой (рис. 1), пешком и с лодки, а с 2017 г. — еще и с помощью квадрокоптера.



Рис. 1. Озеро Начикинское. Красными линиями показаны треки вдоль трех групп нерестилищ: I — в устьях р. Гришкиной (1), II — от м. Перст (2) до Старых Егерей (3), III — в реках Табуретка (4), Верхняя (5), Бабыя (6) и ручье Медвежьем (7)
Fig. 1. Nachikinskoye Lake. Red lines mark the tracks along three groups of spawning grounds: I – in the mouth of Grishkina River (1), II – from the Cape Perst (2) to Stariye Yegerya (3), III – in the Taburetka R. (4), Verkhnyaya R. (5), Babya R. (6) and Medvezhiy Brook (7)

Одна из целей нашей работы — разработка и внедрение в практику «инструментальной» методики расчета количества производителей лососей на реках и озерах путем статистического анализа данных, получаемых с фотоснимков выборочных участков нерестилищ, а также, по возможности, путей миграции лососей. Вторая цель — сравнение инструментальных методов с экспертной оценкой, обязательным элементом которой является просчет рыб.

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи:

- провести одновременные обследования ряда нерестилищ (желательно, речных и озерных), оценивая их заполнение двумя методами;
- получить количественные оценки заполнения производителями для разнохарактерных участков;
- сравнить результаты, полученные разными методами;
- выявить эффективность предложенной методики, конкретизировав условия ее применения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В соответствии с поставленными целями и задачами, в 2017 г. каждые две недели выполняли марш-

рутные съемки в бассейне оз. Начикинского. На подходе к нерестилищам делали выборки производителей (по ~50 экз. каждой из рас) и определяли их среднюю длину АС. В июне–июле обследовали на лодке верховья р. Плотникова, периметр оз. Начикинского, потом (на лодке и пешком) — озерные притоки: реки Озерная, Ягодная, Табуретка, Верхняя, Бабья и ручей Медвежий (рис. 1). Каждый раз оценивали количество производителей ранней расы нерки (*Oncorhynchus nerka* Walb.), готовящихся к нересту, а затем нерестующих (в притоках и ключах), — экспертным методом подсчитывали скопления рыб десятками, сотнями, тысячами, в зависимости от их объема. Параллельно фотографировали рыб с воды и с берега (примерно раз в 5–10 мин).

В августе–октябре обследовали на лодке периметр оз. Начикинского, каждую поездку оценивая количество производителей поздней расы нерки, готовящихся к нересту и нерестующих на разных участках. В сентябре, одновременно с этими стандартными учетами, провели частичную маршрутную съемку озерных нерестилищ с помощью квадрокоптера Phantom-4 (рис. 2), собрав фото (~200 экз.) и видеоматериалы. Камера снимала кадры короткой стороной (ось *У*) ~ параллельно берегу.



Рис. 2. Квадрокоптер Phantom-4 с трехосной видеокамерой
Fig. 2. The quadcopter Phantom-4 with 3-axis videocamera

Фотографии и кадры, взятые из видеоряда, отбирали, по-возможности, непересекающиеся и обрабатывали в свободно распространяемой программе ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/>): на каждом фото последовательно проставляли нумерованные маркеры: первая пара — по краям условной («референтной») линии на площадке, длину которой необходимо определить, и, с целью калибровки, по паре маркеров — на концах любых нескольких рыб, находящихся вблизи референтной линии (рис. 3, верхний).

Выдаваемую программой ImageJ таблицу координат маркированных точек сохраняли в файле программы Excel, вставляя в итоговые ячейки

формулы расчета расстояний (длины рыб и участка съемки):

$$L_{1-2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2},$$

где L_{1-2} — длина отрезка, а x_1 и y_1 — координаты его концов.

Зная среднюю длину рыб AC , численность которых определяли, вычисляли длину участка съемки пропорционально размерам объектов в экранных единицах (пикс.). Затем в программе ImageJ подсчитывали количество рыб на каждом отобранном фото (рис. 3, нижний) и, исходя из рассчитанной длины участка съемки в метрах,



Рис. 3. Фотография ключа с зашедшей на нерест неркой: вверху маркерами отмечены крайние точки «референтной линии» площадки и 5 рыб в центре; внизу — все рыбы, попавшие в кадр (24 экз.)
 Fig. 3. The photo of the brook with sockeye salmon spawners: upper markers demonstrate terminal points of the “reference line” square and 5 fishes in the center; lower markers demonstrate all fishes grasped by the shot (24 fishes there)

вычисляли плотность их скоплений в экз./км на реках.

На озере определяли размер площади снимка на местности, рассчитывая длину сторон прямоугольника (при ортогональной проекции съемки), также пропорционально размерам производителей, расположенным вблизи центра.

Далее определяли среднюю плотность скопленных рыб на некотором участке водного объекта (отрезке реки или озера), например, от одного притока до другого, и, умножая ее на длину GPS-трека (рис. 4), получали количество рыб на данном нерестилище или группе нерестилищ. Если на маршруте приходилось срезать меандры русла или река имела несколько протоков, в каждой из которых шел нерест, включали в расчеты пропущенные станции, используя измерения расстояний по карте или спутниковым снимкам в свободно распространяемой программе «SAS – Планета» (<http://www.sasgis.org/>).

В итоге суммировали численность рыб на отдельных нерестилищах и получали их общую численность на обследованной территории в день съемок.

В анализе использованы данные авиаучетов нерки наблюдателями КамчатНИРО в оз. Начикинском в 1998–2016 гг. Результаты исследований



Рис. 4. GPS-треки маршрутов по притокам оз. Начикинского (р. Верхняя и руч. Медвежий) показаны на спутниковом снимке в программе «SAS – Планета»
Fig. 4. The GPS-tracks of the routes along the tributaries of Nachikinskoye Lake (Verkhnyaya R. and Medvezhiy Brook) demonstrated on the satellite image in the program “SAS – Planet”

математически обработаны с помощью программ Excel и Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статистическая обработка полученных данных позволила не только оценить количество рыб, нерестующих в день съемки, в соответствии с вышеприведенной методикой, но и сравнить плотность распределения производителей (ПРП) на разных участках рек (для ранней расы) и периметра озера (для поздней), а также экспертную и инструментальную оценки.

Так, результаты расчетов по фотографиям, сделанным в пешем маршруте при движении вверх по р. Табуретке, а затем по р. Верхней (одному из двух ее истоков), показывают, что ПРП на осмотренном в тот день участке р. Табуретки в целом убывает (при этом имеют место колебания значений ПРП от точки к точке), а выше впадения р. Верхней — растет, также при колебаниях значений ПРП (рис. 5). Средние ПРП на этих двух участках близки: 4022 ± 501 и 4162 ± 436 экз./км соответственно. С учетом длины участков количество производителей на первом ~ 7840 экз., на втором — 11 240 экз. Экспертная оценка дала заниженные по сравнению с этими результаты — соответственно 6300 и 10 800 экз. на первом и втором участках.

Следовательно, на нижнем участке ошибка составила -20% , на верхнем -4% , а средневзвешенная ошибка экспертной оценки, по сравнению с инструментальной, по сумме этих двух участков была -10% .

Как отмечено выше, в середине сентября 2017 г. мы провели обследование озерных нерестилищ также двумя методами (экспертный подсчет с лодки и «инструментальный» — по фото с квадрокоптера). Не все удалось отснять из-за резкого ухудшения погоды, поэтому сравним то, что удалось.

На рис. 6 можно видеть, как по-разному изменяется ПРП на этих двух участках нерестилищ. На первом из них (восточном, слева) две зоны (с максимальными значениями ПРП, превышающими 260 экз./ 1000 м²), соответствующие устью 2-й протоки р. Гришкиной и месту выхода грунтовых вод в 300 м к востоку от нее. Среднее значение ПРП на этой территории площадью $\sim 49\,500$ м² — 112 ± 14 экз./ 1000 м², а расчетное количество производителей — 5544 экз.

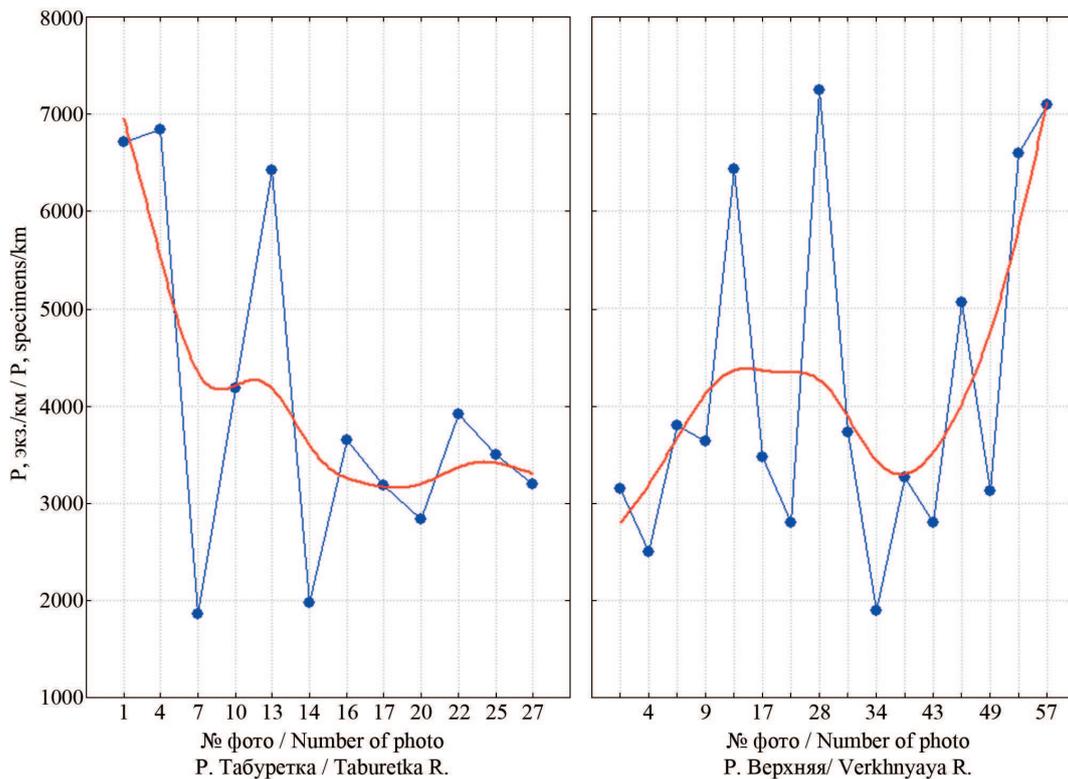


Рис. 5. Плотность распределения производителей ранней нерки на участках рек Табуретка и Верхняя, определенная по фотографиям, сделанным 24.06.2017. Красным показана линия аппроксимации методом наименьших квадратов
 Fig. 5. The density of the distribution of early spawning sockeye salmon individuals in the plots of Taburetka and Verkhnyaya Rivers, evaluated from shots, made on 24.06.2017. The line of approximation by method of the least squares is in red

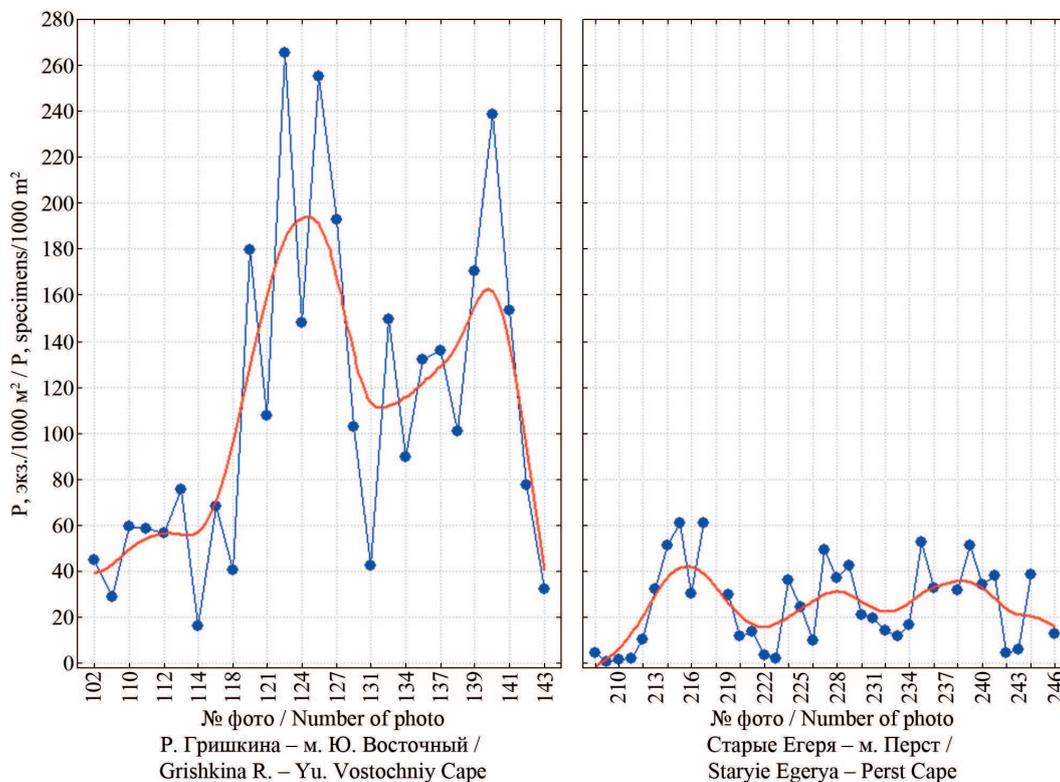


Рис. 6. Плотность распределения производителей поздней нерки на двух участках озерных нерестилищ, определенная по фото, сделанным 15.09.2017. Красным показана линия аппроксимации методом наименьших квадратов
 Fig. 6. The density of the distribution of late spawning sockeye salmon individuals in two plots of the lake spawning grounds, evaluated from shots, made on 15.09.2017. The line of approximation by method of the least squares is in red

На втором участке (северо-западном, рис. 6 справа) можно выделить три места с повышенной концентрацией нерки (>40 экз./1000 м²), относительно средней (25 ± 3 экз./1000 м²): у Старых Егерей, в 200 м севернее руч. Мю и у м. Перст. Общее количество производителей на этой территории площадью $\sim 87\,000$ м² по нашим расчетам — 2175 экз.

Сравнив «инструментальные» оценки заполнения этих двух участков с экспертными (3500 и 500 экз. соответственно), мы определили ошибки последних: -37 и -77% соответственно. Здесь прослеживается некая тенденция: чем меньше реальная плотность скоплений рыб, тем больше экспертная недооценка их общего количества.

Весьма интересно было сравнить не только разные типы данных (инструментальные и экспертные), но и разные «инструментальные» подходы — фотосъемку с лодки или берега с кадрами, полученными с беспилотника.

Наша практика показала, что на озерах, где нерестилища занимают сотни тысяч квадратных метров, съемка с поверхности воды малоэффективна, — значительную часть рыб невозможно зафиксировать, а ошибки экспертного определения, по сравнению с подсчетом по фотографиям, в таких условиях еще больше.

В качестве доказательства приведем два фотоснимка нерестилища в устье второй протоки р. Гришкиной: первый сделан с отмели (рис. 7, верхний), второй — с квадрокоптера с высоты 20 м (рис. 7, центр). Хорошо видно, как разнится количество рыб на фото: на верхнем — от силы три десятка, а там их, на самом деле, более 300 экз., как показал результат подсчета особей в программе ImageJ (рис. 7, нижний) (ПРП — см. рис. 6, точка 127 на левом графике).

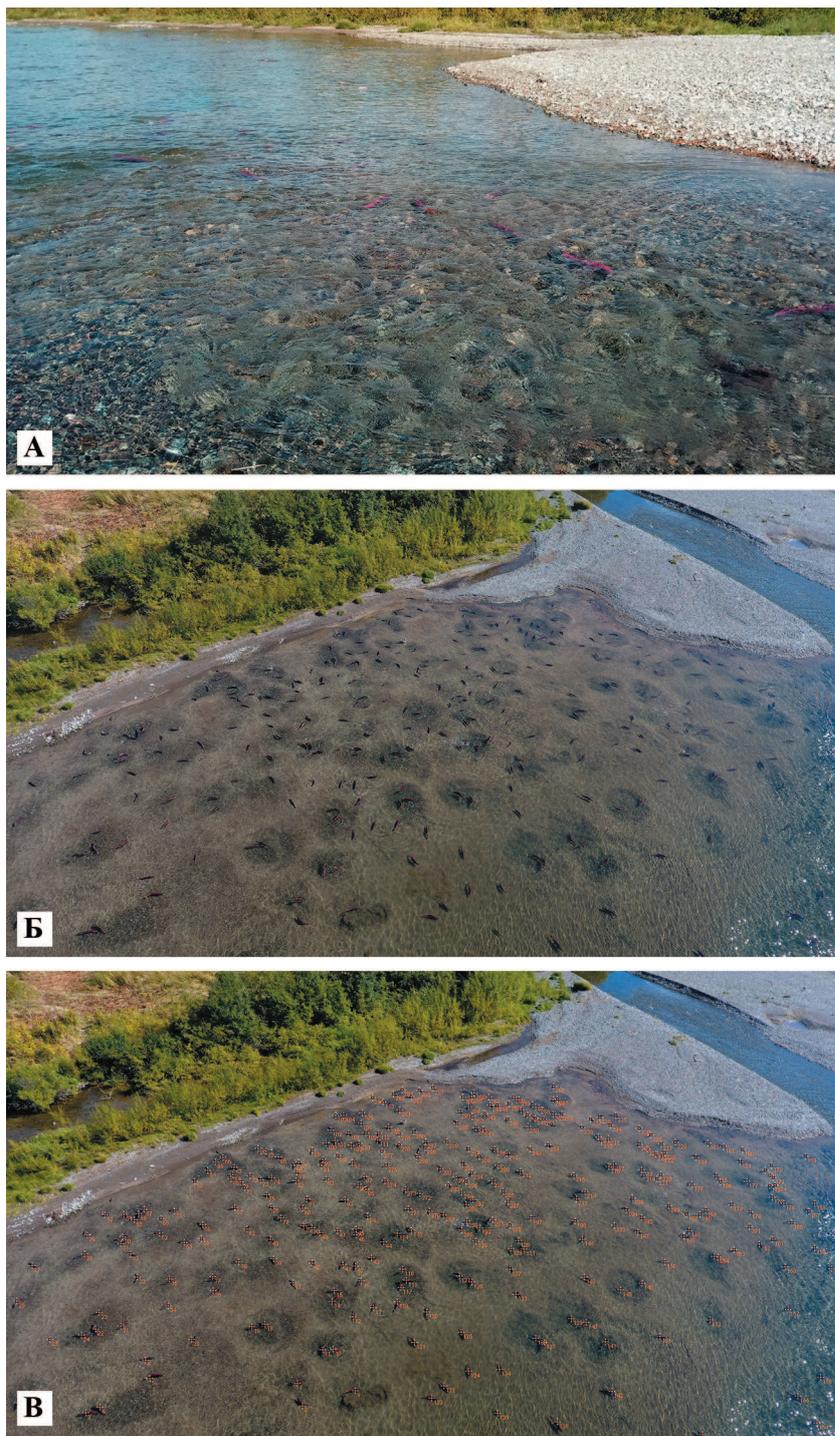


Рис. 7. Нерестилище нерки на оз. Начикинском в устье второй протоки р. Гришкиной, снятое: а) с берега, б) с беспилотника; в) то же, но с номерами маркеров

Fig. 7. The spawning grounds of sockeye salmon in the mouth of Grishkina River, photographed from: а) the shore, б) the drone; в) the same, but with numbers of markers

Стоит также отметить, что в условиях плохой видимости сквозь воду (из-за волнения, поднимаемой им мути и отблесков солнца) (рис. 8) подсчет по фото может давать почти вдвое большую, чем экспертная, оценку заполнения нерестилищ.

Есть еще одна коллизия в подобных исследованиях, которую невозможно адекватно разре-

шить без специальной техники — обсчет преднерестовых скоплений рыб, движущихся на глубинах до нескольких метров. Фото (рис. 9), сделанное с высоты около 20 м, демонстрирует головную часть такой стаи (533 экз.), которая с поверхности вообще не была нами замечена. К тому же сфотографировать с лодки всю эту быстро двига-

ющуюся массу рыб, растянувшуюся на сотни метров, довольно затруднительно.

Другое дело, что обсчет рыб в таких стаях требует разграничения отдельных частей стаи во избежание повторного учета. В программе ImageJ это решается просто: с помощью нанесения границы в виде свободной линии — “freehand line”.

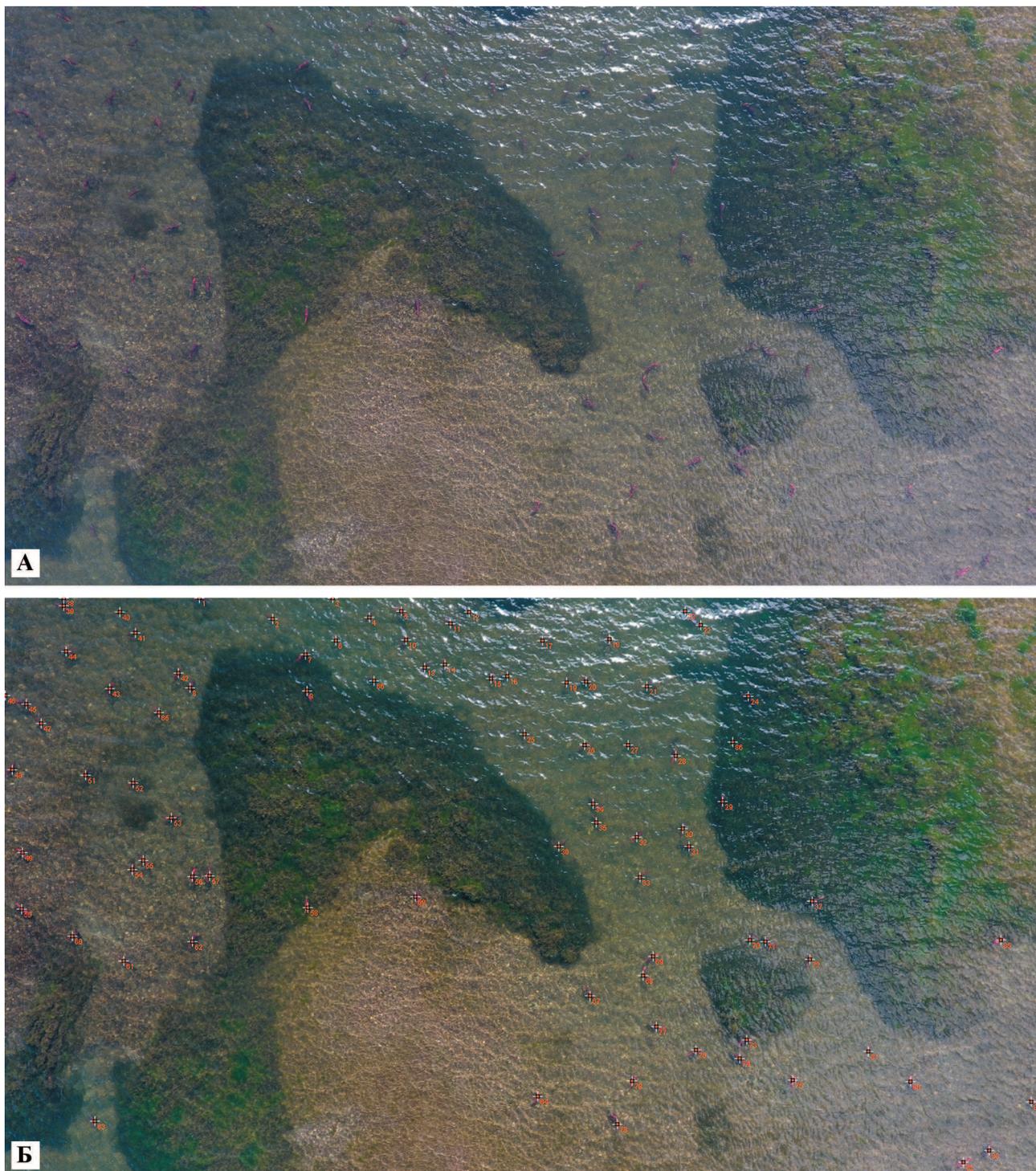


Рис. 8. Нерест нерки на оз. Начикинском у м. Перст, снятый с беспилотника: сверху — фото до обработки в программе ImageJ, внизу — после, с номерами маркеров
 Fig. 8. The spawn of sockeye salmon in the Nachikinskoye Lake near the Perst Cape, photographed from drone: upper – the shot before processing in the program ImageJ, lower – after, with the numbers of markers



Рис. 9. Головная часть стаи нерки в устье р. Табуретки на этапе преднерестовой миграции (кадр из видеоряда)
Fig. 9. The avant-garde part of sockeye salmon shoal in the mouth of Taburetka River, stage of prespawning migration (a shot from the video)

Особо отметим важность получения подобной информации. Дело в том, что обсчет преднерестовых скоплений весенней нерки в озерах и русле главных рек бассейнов позволяет оценить численность рыб, которые потом, когда они созреют, распределятся по множеству мелких рек, их проток, ручьев и ключей (см. рис. 1), где учесть их гораздо сложнее. А съемка преднерестовых скоплений летней нерки позволяет понять, какое примерно количество этих рыб еще не приступило к нересту, и на этой основе прогнозировать сроки его окончания.

Вообще же, не вызывает сомнений факт, что нерест лососей, обычно длящийся от месяца до трех и более, происходит с регулярной сменой групп производителей на каждом из нерестилищ. Это подтверждают не только публикации других исследователей (Кузнецов, 1928; Бараненкова, Семко, 1934; Крохин, Крогиус, 1937; Семко, 1939), где они сообщают о 3–4 сменах самок, но и наши наблюдения. В частности, при прижизненном биологическом анализе производителей, который мы нередко выполняем в районах нерестилищ, отловленных рыб быстро измеряют, визуально определяют пол, аккуратно отбирают чешую, путем срезания небольшого тонкого сегмента кожи в области средней линии ниже конца спинного плавника, и отпускают со всеми предосторожностями живых обратно в воду. После этой процедуры на теле плавающих рыб хорошо видна четкая белая

отметина на фоне ярко-красного тела у нерки (рис. 10) и кижуча, да и у кеты с чавычей — неплохо. И таких рыб можно наблюдать на этом месте еще дней 7–10, но через две недели «меченых» уже нет среди нерестящихся производителей, поскольку их заменила следующая смена.

В связи с вышесказанным, при регулярных съемках одних и тех же нерестилищ раз в две недели, считаем логичным и вполне обоснованным добавлять количество посчитанных за текущий день производителей к ранее зафиксированным. Так, например, позднюю нерку на озере учитывали в 2015 г. три раза, а в 2016 и 2017 гг. — по четыре раза.

В целом, по данным наших маршрутных съемок и авиаучетов, в бассейне оз. Начикинского в 2017 г. отнерестовало от 30 до 40 тыс. экз. нерки ранней расы и 20–26 тыс. экз. нерки поздней расы. Для сравнения приводим соответствующие данные за 1998–2017 гг. (рис. 11).

Обращает внимание тот факт, что численность нерки, учтенной нами в 2015 и 2017 гг., оказалась максимальной за последние 20 лет. Однако Е.М. Крохин и Ф.В. Крогиус в своей книге (1937) сообщали, что, по подсчетам А.С. Бараненковой, в 1932 г. в озере отнерестовало около 100 тыс. летней нерки, так что данные, полученные нами, далеко не предел.

Уместно упомянуть, что, хотя данных об обследовании нерестилищ с беспилотников в России



Рис. 10. Метка на боку тела самца нерки, отпущенного после прижизненного биологического анализа с отбором пробы чешуи
Fig. 10. The side-mark on the body of male sockeye salmon released after measurements for biological analysis and sampling scales

у нас нет, в других странах они входят в практику уже в течение нескольких лет. Так, в Японии производителей кеты подсчитывали на фотографиях, сделанных с радиоуправляемого вертолета, и после этого отлавливали сетью на заранее перегороженном участке реки (Kudo et al., 2012). Те и другие данные существенно коррелировали между собой. Авторами сделан вывод, что перепись лососей с беспилотника является экономически эффективным методом оценки их численности в реках.

Другое исследование — канадских ученых (Whitehead et al., 2014) — показало, что изображения, получаемые с беспилотников, дают уникальную перспективу распределения рыб в пределах реки, и на них ясно можно различить отдельных лососей, занимающих нерестилища. Обычная аэрофотосъемка не способна обеспечить ни такой уровень разрешения, ни быстроту получения изображений, которая была достигнута с использованием небольших БЛА.

В США в течение трех лет проводили обследования нерестилищ чавычи в р. Снейк — притоке р. Колумбии (Maselko, Connor, 2016), в ходе которого сравнивали результаты учета нерестовых

бугров с вертолета и с беспилотников, а также два метода выборки данных для оценки числа исследуемых объектов («случайная стратифицированная» и «пропорциональная размеру»). Последнее связано с тем, что большинство БЛА пока не могут обеспечить сбор данных на такой же обширной территории, как это доступно самолетам и вертолетам, поэтому для БЛА приходится каким-то образом выбирать конкретные участки для обследования, репрезентативно представляющие всю территорию, а также разрабатывать и программировать на этих участках постоянные маршруты. Авторы, во-первых, показали, что экспертные подсчеты из пилотируемых аппаратов могут быть неточными, когда плотность объектов слишком высока и они накладываются друг на друга; во-вторых, констатировали, что при количественной оценке нереста предпочтителен стратифицированный случайный выбор мест обследований; кроме того, применение БЛА снижает риск, свойственный пилотируемым полетам воздушных судов.

Мы также обратили внимание на проблему выборочных данных и согласны с Е.А. Шевляковым и А.В. Масловым (2011), что выбор мест обследо-

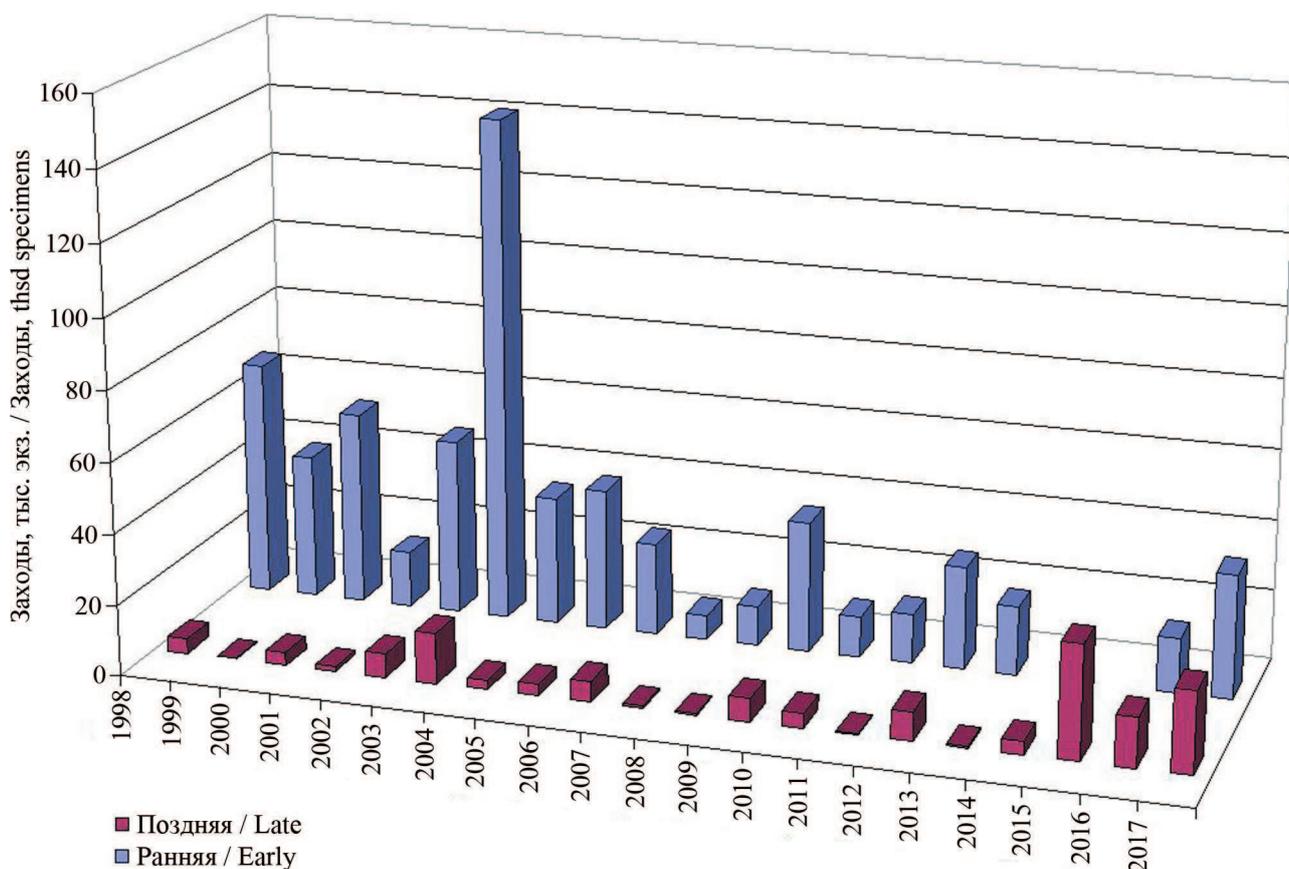


Рис. 11. Заходы производителей ранней и поздней нерки в оз. Начикинское в 1998–2017 гг.

Fig. 11. The escapements of early and late spawning sockeye salmon in the Nachikinskoye Lake in 1998–2017

ваний при их ограниченности должен быть остановлен в первую очередь на тех объектах (нерестовых районах), которые вносят максимальные отклонения в динамику численности захода производителей. Однако и внутри таких ареалов остается большая свобода выбора. Особенно это актуально для горных и предгорных участков рек, где и на вертолете невозможно сплошное обследование из-за множества меандров и нависающих деревьев.

На данном этапе наше предложение сводится к проведению непрерывной видеосъемки выбранных локальных маршрутов с квадрокоптера, с одновременной фотосъемкой с периодичностью в 3–10 с (в зависимости от скорости полета аппарата). При оперативной обработке материалов можно прибегнуть к стратифицированному случайному выбору кадров для получения общей картины (с последующим ее уточнением). Видеосъемка служит для подстраховки, в случае потери нужных кадров, но не заменяет фотосъемку, поскольку на видеокадрах нет геометок, а значит, место трудно идентифицировать. Как вариант, при явно дискретном распределении рыб, снимки или видео можно делать только в местах скоплений, а плотность особей в промежуточных точках (вычисляемых по GPS-треку) считать нулевой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снижение финансирования авиаучетов на Камчатке привело к уменьшению количества осматриваемых с воздуха водоемов. Это повлекло необходимость в увеличении площади наземных обследований нерестилищ, что, в свою очередь, стимулировало поиск новых и модификацию старых, относительно недорогих, «инструментальных» методов учета лососей, объективно отражающих реальное количество нерестующих рыб.

В связи с этим была возобновлена фотосъемка нерестилищ (ранее применявшаяся с самолетов и вертолетов) в виде двух модификаций: наземной и воздушной (с помощью квадрокоптера) и предложена методика расчета количества производителей лососей на реках и озерах путем статистического анализа данных, получаемых с фотоснимков выборочных участков нерестилищ, а также путей миграции лососей. Суть ее — определение численности рыб не просто как суммы данных со снимков, а через получение средних значений для

каждой из страт (локальных групп нерестилищ) и их интерполяция с использованием GPS-треков, учитывая, по-возможности, меандры русла и протоки в реках и ручьях.

Для обоснования методики и дальнейшего внедрения ее в практику в 2017 г. было проведено сравнение инструментальных методов с экспертной оценкой (обязательным элементом которых является просчет рыб) в бассейне оз. Начикинского, где нерестует нерка ранней и поздней рас.

В ходе работы выполнены одновременные обследования ряда нерестилищ, речных и озерных, оценено их заполнение двумя методами (инструментальным и экспертным) и проведено сравнение результатов по количественным и относительным (в %) оценкам заполнения производителями разнохарактерных участков. В частности, было показано, что при обследовании нереста нерки в притоках оз. Начикинского средневзвешенная ошибка экспертной оценки, по сравнению с инструментальной, составила –10% (недооценка). На озерных нерестилищах эта недооценка была около 50% (т. е. результат, полученный инструментальным методом, вдвое выше, чем экспертным).

Значительно влияли на экспертную оценку не только плотность распределения производителей, но и скорость движения рыб в преднерестовых стаях и общий размер таких стай, а также условия видимости сквозь воду — волнение, поднимаемая им муть и отблески солнца на поверхности. Другим аспектом работы было сравнение эффективности подсчета рыб с уровня воды и с высоты 15–20 м: результаты могли различаться на порядок.

В итоге, при обследовании нерестилищ с квадрокоптера было предложено: проведение непрерывной видеосъемки по заранее разработанным локальным маршрутам, с одновременной фотосъемкой с периодичностью в 3–10 с, в зависимости от скорости полета аппарата; оперативная обработка материалов с помощью стратифицированного случайного выбора кадров для получения общей картины (с последующим ее уточнением); дешифровки данных в программе ImageJ и интерполяции по средним значениям страт с помощью GPS-трека.

Предложенная методика не требует значительных затрат, что весьма актуально в нынешних условиях ограниченного финансирования научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамов В.В.* 1942. Краткий оперативный отчет о командировке на нерестилища горбуши в бассейне р. Большой летом 1942 г. Архив КамчатНИРО: Петропавловск-Камчатский. 2 с.
- Бараненкова А.С., Семко Р.С.* 1934. Отчет о работе на Начикинском озере весной 1934 г. Архив Камчатского отделения ТИНРО: Петропавловск-Камчатский. 26 с.
- Голубь Е.В., Голубь А.П.* 2012. Методика учета производителем тихоокеанских лососей в нерестовых водоемах Мейныпильгынской озерно-речной системы (Чукотка) // Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 7. С. 143–147.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В.* 2005. Методика учета браконьерского изъятия лососей, заходящих на нерест // Вопр. рыболовства. № 4 (24). С. 791–796.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В.* 2008. Лососи реки Паратунки (Восточная Камчатка): история изучения и современное состояние. Петропавловск-Камчатский: СЭТО-СТ Плюс. 132 с.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В.* 2015. Оценка запасов кеты, нерки и кижуча в бассейне реки Большой (Западная Камчатка) в 2015 г. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 10. С. 62–66.
- Золотухин С.Ф.* 2009. Методические указания по учету тихоокеанских лососей на нерестилищах. Хабаровск: ХоТИНРО. 8 с.
- Золотухин С.Ф., Махинов А.Н.* 2010. Внутривидовые формы кеты и особенности русловых процессов на нерестовых реках бассейна Амура // Изв. ТИНРО. Т. 163. С. 141–157.
- Крогиус Ф.В.* 1955. Опыт применения самолета для обследования состояния и оценки заполнения нерестилищ камчатских лососей // Рыбное хозяйство. № 11. С. 32–34.
- Крогиус Ф.В., Остроумов А.Г.* 1961. Применение аэрометодов для оценки заполнения нерестилищ тихоокеанскими лососями // Тр. Совещ. по применению аэрометодов в ландшафтных исследованиях (Ленинград, 23–25 апреля 1959 г.). Изд-во АН СССР. С. 132–145.
- Крохин Е.М., Крогиус Ф.В.* 1937. Очерк бассейна р. Большой и нерестилищ лососевых, расположенных в нем (из работ Камчатского отделения ТИНРО) // Изв. ТИНРО. Т. 9. 157 с.
- Кузнецов И.И.* 1928. Некоторые наблюдения над размножением амурских и камчатских лососей // Изв. ТИНПС. Т. 2. Вып. 3. 195 с.
- Остроумов А.Г.* 1962. Опыт применения аэрометодов учета тихоокеанских лососей в реках Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Книжн. редакция «Камчатской правды». 45 с.
- Остроумов А.Г.* 1964. Опыт применения аэрометодов для оценки заполнения нерестилищ лососями / Лососевое хозяйство Дальнего Востока. М.: Наука. С. 90–99.
- Семко Р.С.* 1939. Камчатская горбуша (из работ Камчатского отделения ТИНРО) // Изв. ТИНРО. Т. 16. 111 с.
- Шевляков Е.А., Маслов А.В.* 2011. Реки, определяющие воспроизводство тихоокеанских лососей на Камчатке, как реперы для оценки заполнения нерестового фонда // Изв. ТИНРО. Т. 164. С. 114–139.
- Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L.* 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol. 14, Issue 5. P. 241–251. doi: 10.1002/fee.1281
- Eicher G.J.* 1953. Aerial Methods of Assessing Red Salmon Populations in Western Alaska // *The Journal of Wildlife Management*, 17, no. 4, p. 521–528. doi:10.2307/3797060
- Groves P.A., Alcorn B., Wiest M.M., Maselko J.M., Connor W.P.* 2016. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // *FACETS* 1: 187–204. doi:10.1139/facets-2016-0019
- Kudo H., Koshino Y., Eto A., Ichimura M., Kaeriyama M.* 2012. Cost-effective accurate estimates of adult chum salmon, *Oncorhynchus keta*, abundance in a Japanese river using a radio-controlled helicopter // *Fisheries Research*, 119–120: 94–98. doi:10.1016/j.fishres.2011.12.010
- Maselko J.M., Connor W.P.* 2016. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // *Facets* 1: 187–204. doi:10.1139/facets-2016-0019
- Visser R., Dauble D.D., Geist D.R.* 2002. Use of aerial photography to monitor fall Chinook salmon spawning in the Columbia River // *Transactions of the American Fisheries Society*, 131 (6): 1173–1179.
- Whitehead K., Hugenholtz C.H., Myshak S., Brown O., LeClair A., Tamminga A. Barchyn T.E., Moorman B., Eaton B.* 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2:

scientific and commercial applications // Journal of Unmanned Vehicle Systems, 2 (3): 86–102. doi:10.1139/juvs-2014-0007

REFERENCES

- Abramov V.V. *Kratkiy operativnyy otchet o komandirovke na nerestilishcha gorbushi v bassejne reki Bol'shoy letom 1942 g.* [A brief prompt report about visiting spawning grounds in the basin of Bolshaya river in summer of 1942]. Arhiv KamchatNIRO: Petropavlovsk-Kamchatsky, 1942, 2 p.
- Baranenkova A.S., Semko R.S. *Otchet o rabote na Nachikinskom ozere vesnoy 1934 g.* [Report about activities on Nachikinskoye lake in spring of 1934]. Arhiv KamchatNIRO: Petropavlovsk-Kamchatsky, 1936, 26 p.
- Golub' E.V., Golub' A.P. Method of accounting of Pacific salmon in spawning ponds of the Meinypil'gyn Lake-River System, Chukotka. *Bulleten Konceptii Dal'nevostochnoj bassejnovoj programmy izuchenija tihookeanskih lososej* – Bulletin of Pacific salmon studies in Far East, Vladivostok: TINRO-Centr, 2013, vol. 7, pp. 143–147. (In Russian)
- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V. Method of assessment of pouch harvest of Pacific salmon coming to spawn. *Problems of Fisheries*, 2005, No. 4 (24), pp. 791–796. (In Russian)
- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V. *Lososi reki Paratunki (Vostochnaya Kamchatka): istoriya izucheniya i sovremennoe sostoyanie* [Salmon of Paratunka (East Kamchatka): research history and current state]. Petropavlovsk-Kamchatsky: SETO-ST Plus, 2008, 132 p.
- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V. Assessment of chum, sockeye and coho salmon stocks in the basin of Bolshaya river (West Kamchatka) in 2015. *Bulleten Konceptii Dal'nevostochnoj bassejnovoj programmy izuchenija tihookeanskih lososej* – Bulletin of Pacific salmon studies in Far East, Vladivostok: TINRO-Centr, 2015, vol. 10, pp. 62–66. (In Russian)
- Zolotukhin S.F. *Metodicheskie ukazaniya po uchetu tihookeanskikh lososey na nerestilishchakh* [Guidelines for the treatment of Pacific salmon in spawning grounds Khabarovsk]. Khabarovsk : KhfTINRO, 2009. 9 p.
- Zolotukhin S.F., Makhinov A.N. Chum salmon interspecies forms and river-bed activity on the salmon spawning grounds in the Amur basin. *Izvestiya TINRO*, 2010, vol.163, pp. 141–157. (In Russian)
- Krogius F.V. Experience of the use of airplane for assessment of Pacific salmon in the rivers of Kamchatka. *Rybnoe hozyajstvo*, 1955, no11, pp. 32–34. (In Russian)
- Krogius F.V., Ostroumov A.G. Using methods of observation from the air for assessment of Pacific salmon escapement on spawning grounds. *Trudy Soveshchaniya po primeneniyu aerometodov v landshaftnykh issledovaniyakh* [Proceedings of the workshop on the use of the methods of observation from the air for the landscape reseaches, Leningrad, April 23–25, 1959]. Moscow: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1961, pp. 132–145. (In Russian)
- Krokhin E.M., Krogius F.V. A survey of the Bolshaya River system and the salmon – spawning grounds located in it. *Izvestiya TINRO*, 1937, vol. 9, pp.1–157. (In Russian)
- Kuznetsov I.I. Some observations on the spawning of Amur and Kamchatka salmon. *Izvestiya TINRO*, 1928, vol. 2 (3), 195 p. (In Russian)
- Ostroumov A.G. *Opyt primeneniya aerometodov ucheta tihookeanskikh lososey v rekakh Kamchatki* [Experience of the use of airplane for assessment of Pacific salmon in the rivers of Kamchatka]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 1962, 45 p.
- Ostroumov A.G. Experience of the use of airo-methods for assessment of salmon escapement on spawning grounds. *Lososevoe khozyaystvo Dal'nego Vostoka – Salmon farming of Far East*. Moscow: Nauka, 1964, pp. 90–99. (In Russian)
- Semko R.S. Kamchatka pink salmon. *Izvestiya TINRO*, 1939, vol. 16, 111 p. (In Russian)
- Shevlyakov E.A., Maslov A.V. The rivers determining reproduction of pacific salmons in Kamchatka as indicators of spawning grounds filling. *Izvestiya TINRO*, 2011, vol. 164, pp. 114–139. (In Russian)