



Научная статья / Original article

УДК 623.746-519:597.552.511(282.257.21)

doi:10.15853/2072-8212.2025.79.57-67

EDN: UHVRTD



АЭРОФОТОВИЗУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ БПЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ НЕРКИ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА АЗАБАЧЬЕГО

Фадеев Евгений Сергеевич, Потапов Александр Сергеевич

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, e.fadeev@kamniro.vniro.ru, a.potapov@kamniro.vniro.ru

Аннотация. В работе представлен опыт применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа для аэрофотовизуального учета производителей нерки (*Oncorhynchus nerka*) в бассейне озера Азабачьего (Камчатский край). Целью исследований являлась оценка эффективности дистанционного мониторинга в условиях различной прозрачности воды и пространственной разобщенности нерестовых участков ранней и поздней форм нерки. Учет ранней формы нерки проводился в два этапа: в конце июня — для оценки скоплений нерки в устьевых зонах малых притоков, и в середине июля — на основных нерестилищах крупного притока озера, р. Бушуйки, при оптимальной прозрачности воды. Для поздней формы нерки аэрофотосъемка проведена в третьей декаде августа по акватории озера и руслу р. Бушуйки. Полученные данные сопоставлены с результатами гидроакустического мониторинга. Анализ показал высокую согласованность методов и подтвердил практическую пригодность БПЛА для точного учета нерестовых группировок даже в сложных гидрологических условиях. Технология продемонстрировала высокую оперативность, репрезентативность и потенциал для дальнейшего внедрения в систему мониторинга тихоокеанских лососей.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, производители, нерка, БПЛА, озеро Азабачье, нерест

Благодарности: автор выражает благодарность заведующему лаборатории лососевых рыб, к. б. н. Ольге Владимировне Зикуновой за ценные советы и помощь в редакции публикации, а также ведущему научному сотруднику лаборатории лососевых рыб, к. б. н. Сергею Викторовичу Шубкину за составление карты озера с основными притоками.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Фадеев Е.С., Потапов А.С. Аэрофотовизуальные исследования с помощью БПЛА для оценки численности нерки в бассейне озера Азабачьего в 2025 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 79. С. 57–67. EDN: UHVRTD. doi:10.15853/2072-8212.2025.79.57-67

AERIAL PHOTOVISUAL SURVEYS USING UAVS TO ASSESS SOCKEYE SALMON STOCK ABUNDANCE IN THE BASIN OF AZABACHYE LAKE

Evgeny S. Fadeev, Alexander S. Potapov

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e.fadeev@kamniro.vniro.ru, a.potapov@kamniro.vniro.ru

Abstract. Experience of the use of different unmanned aerial vehicles (UAVs) in the aerial assessment of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* spawners in the basin of the Azabachye Lake, Kamchatka Territory, is described in this article. The purpose of the research was to assess efficiency of remote monitoring in case of changing water transparency and spatial disunity of spawning grounds for early and late spawning sockeye salmon morphs. Assessment of the early morph was carried out in two stages: in late June to assess sockeye salmon aggregations in the outlet zones of small tributaries and in mid July to assess them in major spawning grounds of the Bushuyka, large tributary of the lake, in terms of optimal water transparency. Assessment of the late morph was carried out in the third decade of August in the waters of the lake and in the main body of the Bushuyka. Obtained results were compared to results of hydroacoustic monitoring. The analysis has demonstrated a high consistency of the methods used and confirmed practical suitability of the UAVs to assess spawning aggregations accurately even in case of hard hydrological conditions. The use technology has demonstrated high efficiency, representativeness, and potential for further implementation in the Pacific salmon monitoring system.

Keywords: Pacific salmon, spawners, sockeye salmon, UAVs, Azabachye Lake, spawning

Acknowledgements: authors express their gratitude to Dr. Olga V. Zikunova, a head of Salmon fish laboratory, for her highly appreciable advices and editorial help, and to Dr. Sergey V. Shubkin, leading researcher of the laboratory, for his map of the lake with the major tributaries.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Fadeev E.S, Potapov A.S. Aerial photovisual surveys using UAVs to assess sockeye salmon stock abundance in the basin of Azabachye Lake // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 79. P. 57–67. (In Russ.) EDN: UHVRTD. doi:10.15853/2072-8212.2025.79.57-67

Озеро Азабачье, расположенное в нижней части бассейна р. Камчатки, является одним из ключевых нагульно-нерестовых водоемов нерки (*Oncorhynchus nerka*) (Бугаев, 1995). В последние десятилетия, наряду с еще одним крупным притоком р. Камчатки — р. Еловка, озеро стабильно занимает лидирующее положение по численности заходящих производителей этого вида. В связи с этим акватория озера представляет собой важнейший объект для мониторинга состояния популяции и оценки эффективности мер по ее воспроизводству.

Традиционная оценка численности производителей в оз. Азабачьем аэровизуальным методом проводится, начиная с 1950-х гг., с борта пилотируемых воздушных судов (Крогус, 1955). Развитие технологий дистанционного зондирования привело к внедрению новых подходов. С 2013 г. для контроля пропуска производителей на нерестилища озера используется гидроакустический метод, обеспечивающий высокую точность количественных оценок (Фадеев и др., 2016, 2019). В 2017 г. началось регулярное применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультироторного типа для обследования удаленных и труднодоступных нерестилищ, что существенно расширило возможности наблюдений (Фадеев и др., 2019).

БПЛА стали одним из наиболее перспективных инструментов мониторинга тихоокеанских лососей благодаря высокой оперативности, детальности данных и относительно низкой стоимости по сравнению с пилотируемыми воздушными судами, хотя и уступают последним по площади охвата за один вылет (Visser et al., 2002). Кроме того, благодаря получению детальных съемок и возможности дальнейшего их анализа, беспилотный метод рассматривается как более точный по сравнению с оценкой с пилотируемых воздушных судов (Groves et al., 2016). Сейчас БПЛА успешно применяются в небольших масштабах для обследования нерестилищ лососевых (Свиридов и др., 2022; Groves et al., 2016; Roncoroni, Lane, 2019; Harrison et al., 2020).

В последние годы накоплен существенный опыт использования БПЛА для мониторинга нерестовых скоплений в бассейне оз. Азабачье-

го. Однако вопросы оптимизации сроков съемки, особенностей интерпретации данных, а также сопоставимость результатов учетов с помощью БПЛА с другими методами учета остаются актуальными.

Целью работы является оценка эффективности применения БПЛА для аэрофотовизуального мониторинга нерки в бассейне оз. Азабачьего на основе данных многолетних наблюдений и результатов работ в 2025 г., а также формулирование практических рекомендаций по оптимизации метода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для оценки численности производителей нерки использовали данные, полученные с применением беспилотных летательных аппаратов. Аэрофотосъемку осуществляли с помощью мультироторного дрона (квадрокоптера) DJI Mavic 3 Mini Pro (Dajiang Innovation Technology Co., КНР). Съемка нерестилищ и скоплений рыб в озере проводилась с высоты 20–30 м. В 2025 г. для оценки численности производителей на нерестилищах и получения данных об их распределении дополнительно применяли беспилотное воздушное судно самолетного типа (БВС) «Геоскан 201М» (рис. 1).

Технические характеристики БВС следующие:

- тип БВС — летающее крыло;
- максимальная взлетная масса — 8,5 кг;
- максимальная масса полезной нагрузки — 1,5 кг;
- размах крыла — 2,22 м;
- максимальная скорость полета — 110 км/ч;
- минимальная безопасная высота полета — 100 м;
- максимальная высота полета — 4000 м;
- максимальное время полета с полезной нагрузкой — до 3 ч;
- максимальная протяженность маршрута — 210 км;
- максимально допустимая скорость ветра — 12 м/с;
- двигатель — электрический, бесколлекторный;
- способ запуска — с катапульты.



Рис. 1. Внешний вид БВС «Геоскан 201М»
Fig. 1. External view of the UAV Geoskan 201M

При проведении аэрофотосъемки целевая высота полета составляла 100–120 м. Продольное перекрытие снимков достигало 85%, поперечное — 50%, что обеспечивало достаточное перекрытие территории и позволяло выполнять точную фотограмметрическую обработку данных, включая построение ортофотопланов. Пространственное разрешение снимков достигало 1 см/пиксель, что обеспечивало возможность уверенной идентификации особей нерки на нерестилищах.

Построение ортофотопланов из снимков, полученных с БПЛА, выполняли в программе Agisoft Metashape (v. 2.2.1), которая также использовалась для коррекции изображений и ручного подсчета рыб.

В качестве рыбоучетной системы в протоке Азабачья применяли гидроакустический комплекс «DT-X» (BioSonics Inc.). Программное обеспечение комплекса включало штатную программу управления и сбора данных в реальном времени Visual Acquisition (BioSonics Inc., США) и программу камеральной обработки данных в отложенном режиме Echoview (Echoview Software Pty Ltd, Австралия).

Местом проведения работ является оз. Азабачье. Одно из крупнейших озер Камчатки, которое относится к сточно-проточным водоемам. В озеро впадают 15 основных притоков (Коновалов, 1980). Крупнейшим из них является р. Бушуйка, длина которой составляет около 40 км, тогда как длина остальных водотоков, по данным Николаева и Николаевой (1991), не превышает 10 км. Из озера вытекает протока длиной около 11 км, соединяющая его с руслом р. Камчатки. Оз. Азабачье является одним из ключевых нерковых водоемов региона, обеспечивая стабильные условия для воспроизводства нерки и играя важную роль в поддержании численности ее мигрирующих группировок в бассейне р. Камчатки (Бугаев, 1995).

Распределение нерестовых площадей ранней и поздней форм нерки в акватории озера существенно различается. Для ранней формы соотношение нерестовых площадей составляет: речные — 72%, ключевые — 13%, озерные — 15%. Поздняя форма нерестится преимущественно в озерной литорали: озерные нерестилища — 69%, речные — 28%, ключевые — 3% (Бугаев, Остроумов, 1990). Таким образом, ранняя форма нерки использует преимущественно речные притоки для нереста, включая системы лимнокренов, а поздняя — в основном озерную литораль.

Среди притоков озера основным нерестовым водотоком как для ранней, так и для поздней формы нерки является р. Бушуйка. В верхнем течении р. Бушуйка формируется из двух водотоков — Правой Бушуйки илевой Бушуйки, берущих свое начало с хребта Кумроч. В среднем течении реки также расположены лимнокрены (например, ключ Широкий), обеспечивающие стабильные гидрологические условия и значительную долю нерестовых площадей для нереста ранней нерки.

Доля ранней формы нерки, нерестящейся в р. Бушуйке, ежегодно изменяется, однако остается высокой: по нашим последним наблюдениям — до 50%, а по оценкам В.Ф. Бугаева (1995) — может достигать свыше 70% от всего подхода ранней формы в озеро. Остальные же производители, не считая их незначительной части, нерестящейся в литорали озера, размножаются в остальных значимых притоках (Лотная, Ламутка, Култучная, Сновидихин, Пономарская, Аришкин (Орышкин)), а также ручьях, связанных с ключевыми системами (Рыбоводный, Атхол) и Тимофеевскими и Заводскими чашами, — суммарно обеспечивающих еще одну важную часть нерестовых площадей ранней формы нерки (рис. 2).

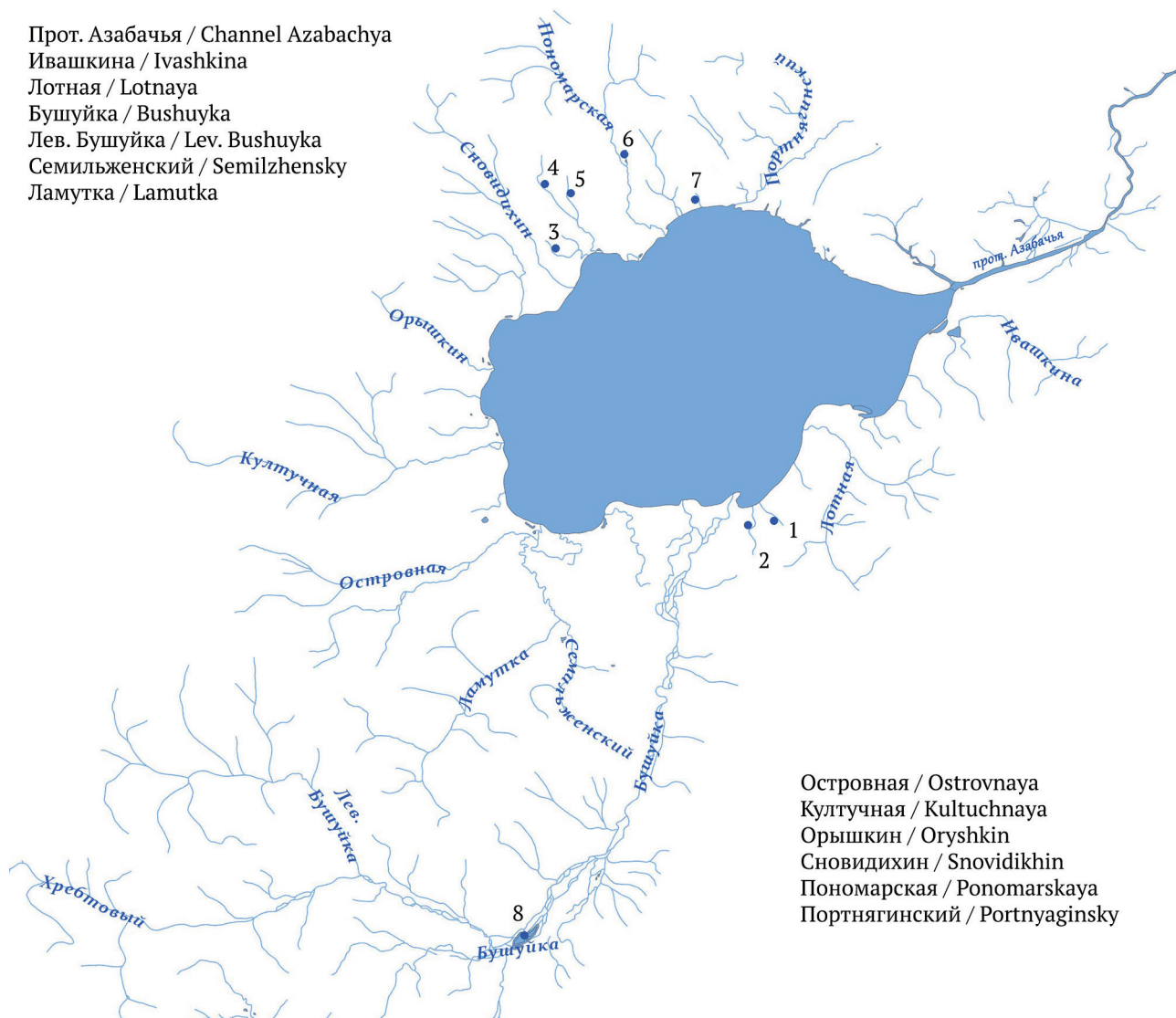


Рис. 2. Бассейн оз. Азабачье. Точками обозначены: 1 — Рыбоводный ключ 1; 2 — Рыбоводный ключ 2; 3 — Тимофеевская чаша 3; 4 — Тимофеевская чаша 2; 5 — Тимофеевская чаша 1; 6 — Пономарские чаши; 7 — ключ Атхол; 8 — ключ Широкий
Fig. 2. The basin of Azabachye Lake. The dots mark: 1 — Rybovodny Creek 1; 2 — Rybovodny Creek 2; 3 — Timofeevskaya Bowl 3; 4 — Timofeevskaya Bowl 2; 5 — Timofeevskaya Bowl 1; 6 — Ponomarskie Bowls; 7 — Atkhol Creek; 8 — Shirokiy Creek

Основная сложность аэрофотовизуального учета *ранней* формы нерки связана с особенностями нерестовых притоков озера. Почти все они, за исключением р. Бушуйки, представляют собой малые водотоки с узкими руслами, прикрытыми нависающей древесно-кустарниковой растительностью. Эти условия существенно ограничивают возможности наблюдения с воздуха, вследствие чего значительная часть производителей ранней формы может оставаться неучтенной при использовании как пилотируемых судов, так и БПЛА.

Для решения этой проблемы и повышения точности аэровизуальных оценок необходимо проводить двухэтапный учет. **Первый этап** следует выполнять в последней пятидневке

июня. Согласно недавним исследованиям, в этот период рыба, нагуливающаяся в озере, формирует плотные скопления в устьях притоков, куда позже поднимается на нерест (Потапов, Фадеев, 2024). Наблюдение этих скоплений значительно упрощает процесс учета: достаточно провести единоразовый облет периметра озера с пилотируемого судна или БВС самолетного типа большой дальности либо осуществить обход основных притоков на лодке и выполнить съемку их устьевых зон с помощью квадрокоптера малой дальности. В это время вода в озере, как правило, обладает хорошей прозрачностью, а скопления рыбы хорошо различимы как визуально с высоты, так и на фотографиях, полученных с квадрокоптера.

Такой подход позволяет учитывать производителей, нерестящихся в мелких притоках, еще до их захода в русла, где проведение аэровизуальных работ сильно затруднено.

Однако в это время определение численности ранней нерки в устьевой зоне р. Бушуйки остается проблематичным. Учет там осложнен значительной сезонной мутностью воды, вызванной активным таянием ледников. Кроме того, рыба может формировать в устьевой зоне реки высокочисленные плотные скопления и располагаться в несколько вертикальных слоев, что требует экспертной интерпретации численности и снижает точность количественных оценок (рис. 3).

Следовательно, для уточнения оценок численности в р. Бушуйке необходимо проводить **второй этап** учета ранней нерки непосредственно на нерестилищах реки ориентировочно 15–20 июля. В это время, как правило, про-

изводители массово приступают к нересту, распределяясь в русле реки и в ключевых нерестилищах. Активное таяние ледников прекращается, и вода становится прозрачной. Это все способствует качественному визуальному учету производителей с воздуха как при помощи БПЛА самолетного типа, так и при учете наблюдателями с пилотируемых воздушных судов. При этом необходимо ежегодно корректировать сроки. Активный нерест ранней формы нерки в озере и его притоках наступает примерно через пять недель после начала ее захода в реку (Потапов, Фадеев, 2024).

Аэровизуальный учет *поздней* формы нерки оказывается значительно более информативным, поскольку ее нерестилища располагаются на открытых участках озерной литорали и в р. Бушуйке, а малые притоки к этому времени сильно мелеют или пересыхают, и нерест там не проходит.



Рис. 3. Фото устья р. Бушуйки (26 июня 2025 г.)
Fig. 3. The photography of the Bushuyka River outlet (June 26, 2025)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходя из полученного опыта аэровизуальных исследований и представленного выше двух-этапного учета ранней формы нерки, летом 2025 г. мониторинг ее численности проведен с помощью БПЛА мультироторного и самолетного типа.

Учет ранней формы нерки

Первый этап учета производителей ранней формы нерки был проведен 26 июня 2025 г. с использованием беспилотного воздушного судна самолетного типа «Геоскан 201М». Маршрут съемки был проложен вдоль береговой линии озера и охватывал устья всех основных притоков. Общая протяженность маршрута составила 72 км, из которых 31 км приходился на участки, представлявшие интерес для учета. При этом суммарное время полета составило 77 минут. Рабочая высота 120 м обеспечила необходимое качество снимков, позволяющее различать рыб вплоть до отдельных особей и уверенно оценивать плотность скоплений. На основе полученных материалов был построен ортофотоплан, использованный далее для учета и анализа распределения производителей нерки в прибрежной зоне.

Для уточнения полученных результатов спустя четыре дня (30.06.2025) был проведен повторный объезд устьевых участков основных притоков озера на лодке. Съемка осуществлялась с помощью квадрокоптера. Комбинация данных, полученных самолетным БВС и квадрокоптером, позволила повысить точность подсчетов, а также сопоставить данные, полученные в разные сроки и при разных углах обзора.

В ходе работ был выполнен учет нерки во всех основных притоках, за исключением р. Бушуйки (табл. 1). В устьевой зоне этой реки наблюдалась выраженная мутность воды, которая полностью исключала возможность визу-

ального обнаружения рыб как на ортофотопланах, полученных с БВС «Геоскан 201М», так и на снимках, полученных квадрокоптером (рис. 3). В остальных притоках гидрологические условия были благоприятными — вода отличалась высокой прозрачностью. Учет рыб проводился вручную на основе анализа фотоматериалов, что по-прежнему остается наиболее точным методом при учете производителей в период нерестовой миграции.

Всего за время обследования было учтено 16 165 экз. нерки. Наибольшее количество производителей зарегистрировано в устье р. Лотной — 4978 экз. (рис. 4).

Второй этап учета для оценки численности производителей ранней формы нерки в р. Бушуйке был проведен 8 июля. Аэрофотосъемка выполнялась с использованием БВС самолетного типа «Геоскан 201М». Маршрут составлял 47 км, из которых 19 км приходилось на полезную съемку. Полет продолжался 40 минут. Рабочая высота 106 м обеспечила достаточное качество изображений и площадь охвата, необходимую для корректного визуального учета.

По ортофотоплану, полученному в результате обработки материалов съемки, в р. Бушуйке было визуально идентифицировано 3498 экз. нерки. Более 70% особей отмечено в ключе Широком, остальные — в основном русле в верхнем течении реки. При анализе материалов выявлено, что в основном русле мог иметь место недоучет части производителей. Это связано с сохранявшейся мутностью воды, обусловленной продолжающимся таянием ледников, в то время как в лимнокренах вода оставалась прозрачной и позволяла выполнять точный визуальный учет. Таким образом, проведение съемки несколько раньше оптимальных сроков негативно сказалось на качестве данных для р. Бушуйки. Этот результат подтверждает выводы, полученные в предыдущие годы, о необходимости выполнения аэрофотовизуально-

Таблица 1. Численность производителей ранней формы нерки, учтенных аэровизуальным методом 26.06.2025 и 30.06.2025
Table 1. Abundance of spawners of the early morph of sockeye salmon on the data of aerial visual assessment on 26.06.2025 and 30.06.2025

Притоки оз. Азабачье Tributaries of Azabachye Lake	Численность ранней формы нерки, экз. Abundance of the early sockeye salmon morph, specs
Атхол / Atkhol	980
Пономарская / Ponomarskaya	4120
Сновидихин / Snovidikhin	1350
Тимофеевский / Timofeevsky	715
Култучная / Kultuchnaya	2150
Ламутка / Lamutka	1560
Рыбоводный / Rybovodny	312
Лотная / Lotnaya	4978
Итого / Total	16 165

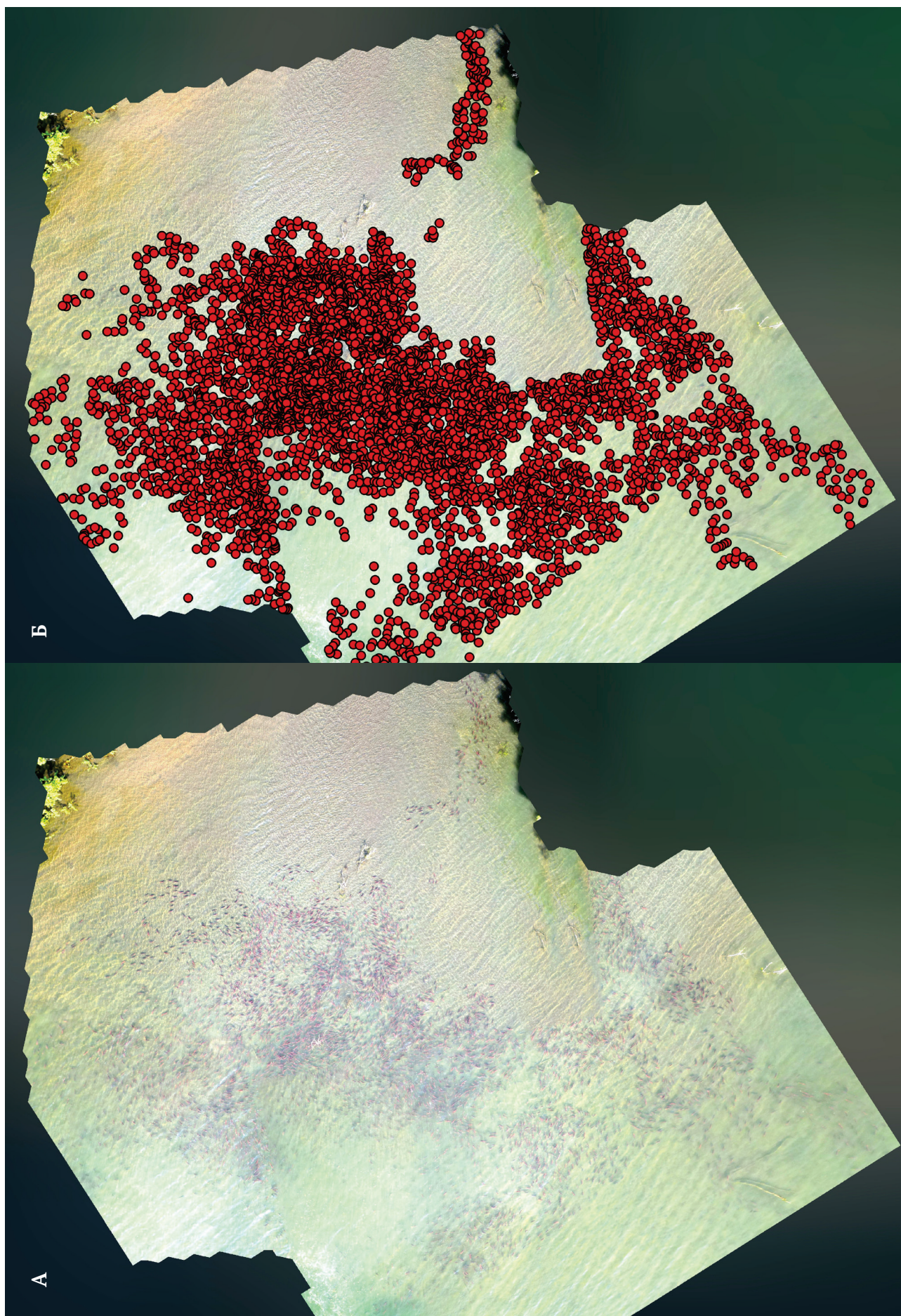


Рис. 4. Фрагмент ортофотоплана устья р. Лотной (26 июня 2025 г.) (А) и отмеченные на нем красными маркерами производители нерки при ручном счете (Б)
Fig. 4. Fragment of the ortho photo map of the Lotnaya outlet (June 26, 2025) (A) and sockeye salmon from visual counting marked in red (B)

го мониторинга в середине второй – начале третьей декады июля, когда условия прозрачности воды наиболее благоприятны.

По итогам двухэтапного учета ранней формы нерки, проведенного с применением БПЛА самолетного и мультироторного типа, суммарно было зарегистрировано 19 663 экз. вида. Для сравнения: гидроакустический учет показал пропуск 23 564 экз. (табл. 2). Сопоставление данных двух методов свидетельствует об адекватности выполненного аэрофотовизуального учета. Вероятный недоучет части производителей в р. Бушуйке оценивается как незначительный, однако результаты подчеркивают не-

обходимость строгого соблюдения рекомендованных сроков проведения аэрофотосъемки.

Учет поздней формы нерки

Аэрофотонаблюдение поздней формы нерки было проведено 20 августа. Полет БВС осуществлялся над акваторией озера по его периметру и по руслу р. Бушуйки.

На основе полученного ортофотоплана осуществлен поштучный подсчет рыб. Всего в русле р. Бушуйки учтено 8385 экз. поздней формы нерки. Нерест вида здесь проходил в ключе Широком, а также практически по всему руслу реки, начиная от устья (рис. 5). Распределение

Таблица 2. Сравнительный результат учета аэрофотовизуальным и гидроакустическим методами ранней и поздней нерки в бас. оз. Азабачьего
Table 2. Comparative results of aerial visual and hydroacoustic methods of the assessment of early and late morphs of sockeye salmon in the basin of Azabachye Lake

Форма нерки Sockeye salmon morph	Аэрофотовизуальный учет, экз. Aerial photovisual survey, specs	Гидроакустический учет, экз. Hydroacoustic survey, specs	Δ, %
Ранняя форма нерки / Early	19 663	23 564	16,6
Поздняя форма нерки / Late	18 500	22 074	16,2
Итого / Total	38 163	45 638	16,4

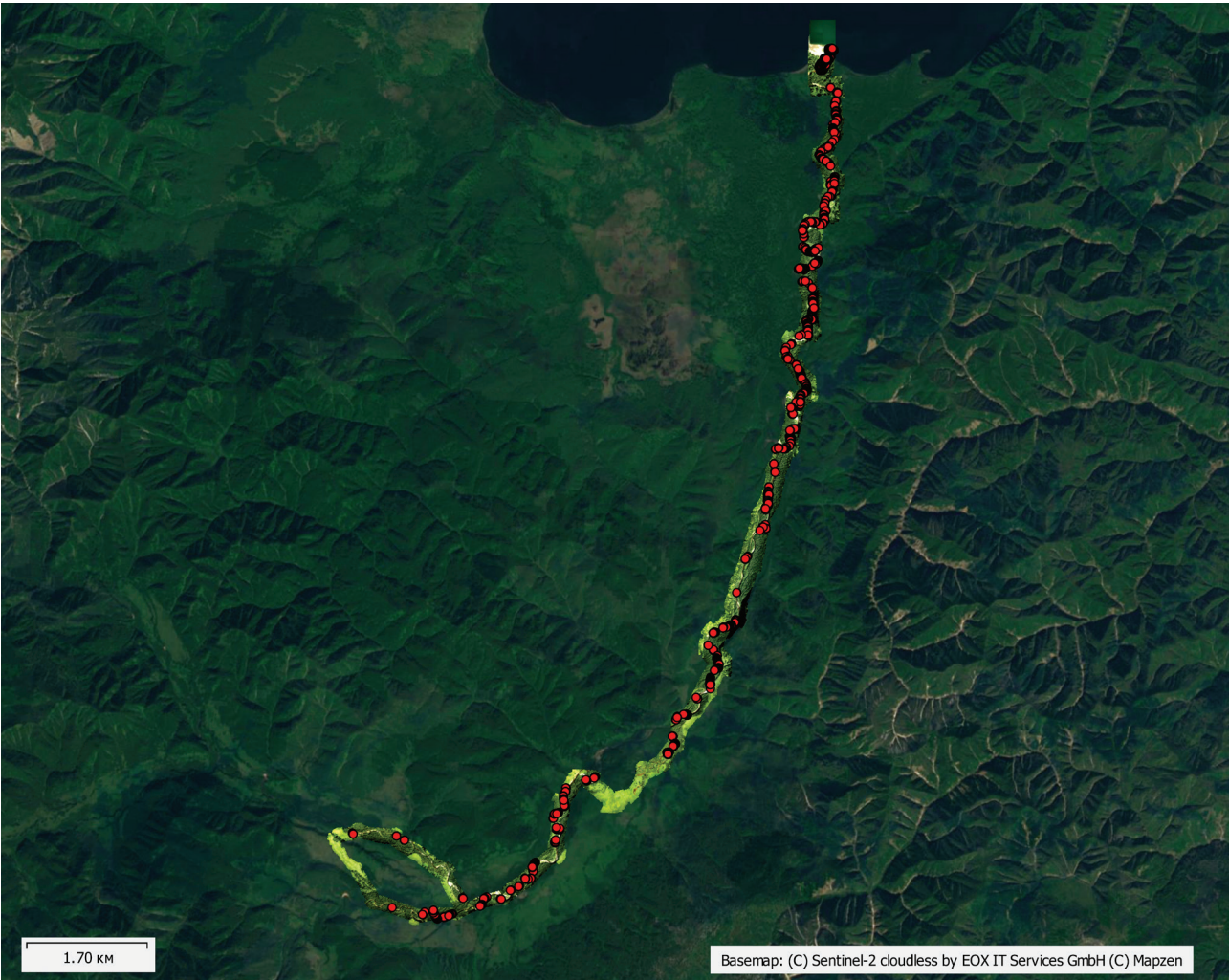


Рис. 5. Ортофотоплан р. Бушуйки (20 августа 2025 г.) и отмеченные на нем красными маркерами производители нерки
Fig. 5. The ortho photo map of the Bushuyka (August 20, 2025) and sockeye salmon spawners marked in red

нерестящихся пар в ключе было равномерным, стрессконтагиатов не наблюдалось (рис. 6).

В литоральной зоне озера основная концентрация производителей отмечена в районе устья р. Култучной, где зафиксировано около 5000 экз. В совокупности, по результатам ручного подсчета, на ортофотоплане зарегистрировано 18,5 тыс. экз. поздней формы нерки.

Учитывая растянутый характер хода поздней нерки — с первой декады июля до момента

проведения аэрофотосъемки (20.08.2025), был сделан вывод, что количественные оценки, полученные гидроакустическим методом (22 074 экз.), и данные, полученные в результате аэровизуальных наблюдений с использованием БВС, являются сопоставимыми (табл. 2). Это свидетельствует о высокой информативности и достоверности обоих методов при оценке численности производителей нерки на нерестилищах бассейна оз. Азабачьего.

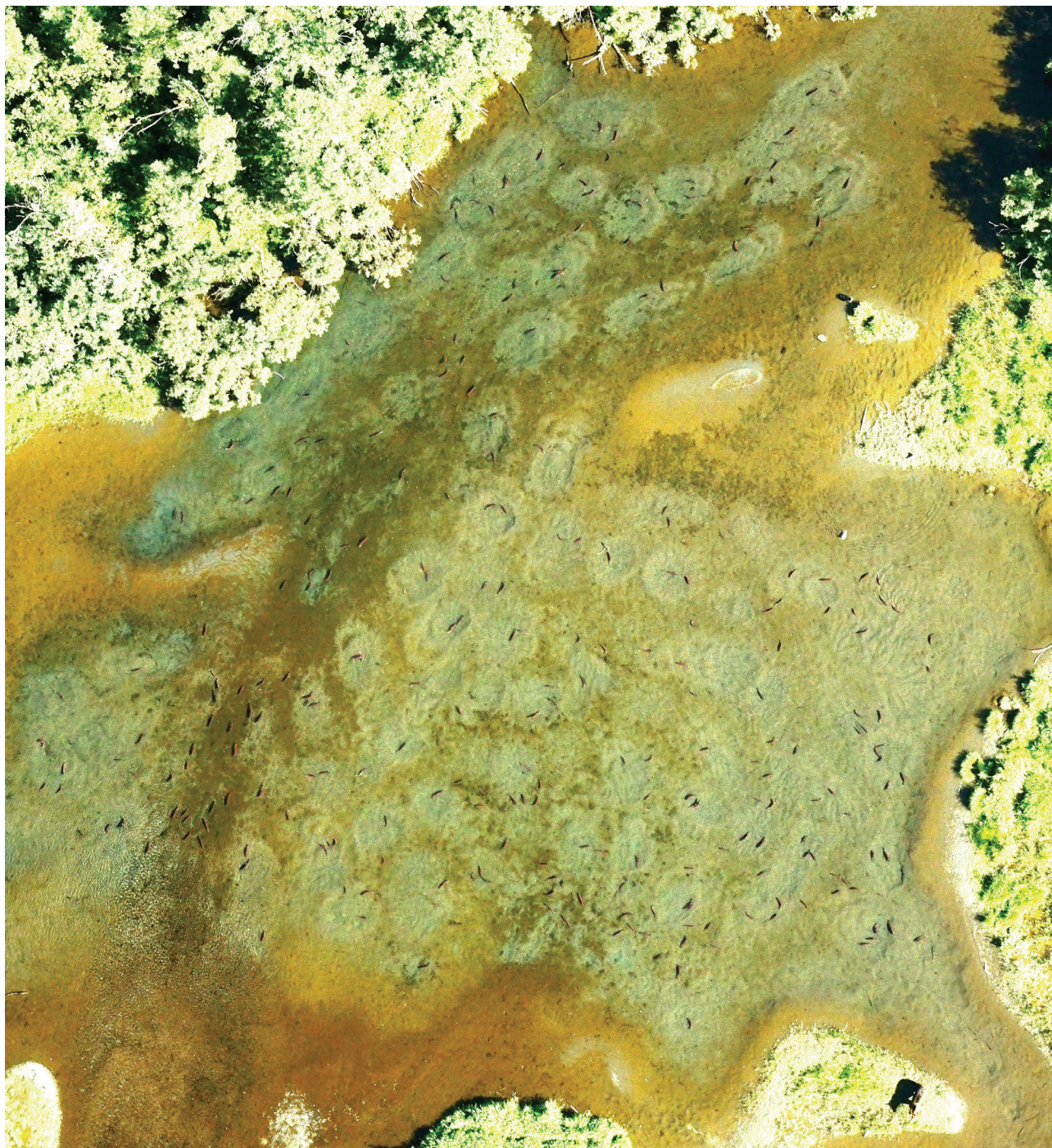


Рис. 6. Фрагмент ортофотоплана р. Бушуйки от 20.08.2025 с нерестящейся поздней формой нерки (ключ Широкий)
Fig. 6. Fragment of the ortho photo map of the Bushuyka (August 20, 2025) with spawning late sockeye salmon (Shirokiy Creek)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность применения БПЛА для аэрофотовизуального мониторинга нерки в бассейне оз. Азабачьего. Двухэтапная схема учета ранней формы нерки — в конце июня и в середине июля — позволяет компенсировать влияние гидрологических факторов, а также невозможность аэровизуальных исследований в притоках малых рек, где может нереститься значимая часть этой формы вида.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами гидроакустических наблюдений и подтверждают достоверность аэрофотовизуального метода как инструмента оценки численности нерестовых группировок тихоокеанских лососей.

Использование БПЛА различного типа повышает точность и оперативность учетных работ, расширяет возможности обследования труднодоступных участков и может рассматриваться как перспективное направление развития методики мониторинга тихоокеанских лососей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бугаев В.Ф. 1995. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М.: Колос. 464 с. EDN: XZHUWD.
- Бугаев В.Ф., Остроумов А.Г. 1990. О типах нерестилищ и размерах тела производителей нерки в бассейне р. Камчатка // *Вопр. географии Камчатки*. № 10. С. 56–66. EDN: DKYXNK.
- Коновалов С.М. 1980. Популяционная биология тихоокеанских лососей. Л.: Наука. 238 с.
- Крогиус Ф.В. 1955. Опыт применения самолета для обследования состояния и оценки заполнения нерестилищ камчатских лососей // *Рыбное хозяйство*. № 11. С. 32–34.
- Николаев А.С., Николаева Е.Т. 1991. Некоторые аспекты лимнологической классификации нерковых озер Камчатки // *Исслед. биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа*: Сб. науч. тр. Вып. 1. С. 3–17.
- Потапов А.С., Фадеев Е.С. 2024. Применение фотолушечек для ведения непрерывного мониторинга и определения сроков нерестовой миграции и нереста ранней формы нерки оз. Азабачьего в 2023 г. // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана*. Вып. 73. С. 53–62. EDN: ONYHLC. doi:10.15853/2072-8212.2024.73.53-62
- Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. 2022. Модификации беспилотного

учета производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // *Изв. ТИНРО*. Т. 202, № 4. С. 1015–1031. EDN: JULFRV. doi:10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Бирюков А.М. 2016. Оценка пропуска производителей нерки в бассейне р. Камчатка с помощью гидроакустического комплекса “NetCor” // *Бюллетень* № 11 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Т. 11. С. 150–157. EDN: VPFLUI.

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Фельдман М.Г. 2019. Комплексный мониторинг пропуска производителей тихоокеанских лососей р. Камчатки в режиме реального времени // *Изв. ТИНРО*. Т. 197. С. 3–20. EDN: TUDAPK. doi:10.26428/1606-9919-2019-197-3-20

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 (1), 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>

Harrison L.R., Legleiter C.J., Overstreet B.T., Bell T.W., Hannon J. 2020. Assessing the potential for spectrally based remote sensing of salmon spawning locations // *River Research and Applications*, 36 (8), 1618–1632. <https://doi.org/10.1002/rra.3690>

Roncoroni M., Lane S.N. 2019. A framework for using small unmanned aircraft systems (sUASs) and SfM photogrammetry to detect salmonid redds // *Ecological Informatics*, 53, 100976. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.100976>

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, 1173–1179. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(2002\)131<1173:Uoaptm>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(2002)131<1173:Uoaptm>2.0.Co;2)

REFERENCES

- Bugaev V.F. *Aziatskaya nerka (presnovodnyi period zhizni, struktura localnykh stad, dinamika chislenosti)* [Asian sockeye salmon (freshwater period, structure of local stocks, stock abundance dynamics)]. Moscow: Kolos, 1995, 464 p. EDN: XZHUWD.
- Bugaev V.F., Ostroumov A.G. On the types of spawning grounds and body sizes of sockeye salmon spawners in the Kamchatka River basin. *Voprosy geografii Kamchatki*, 1990, № 10, pp. 56–66. (In Russ.) EDN: DKYXNK.
- Kononov S.M. *Populyatsionnaya biologiya tikhoookeanskikh lososey* [Population biology of Pacific salmon]. Leningrad: Nauka, 1980, 238 p.
- Krogius F.V. *Experience of the use of airplane for evaluation of condition and assessment of salmon density on*

spawning grounds in Kamchatka. *Rybnoe Khozyaistvo*, 1955, № 11, pp. 32–34. (In Russ.)

Nikolaev A.S., Nukolaeva E.T. Some aspects of limnological classification of sockeye salmon lakes of Kamchatka. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 1991, vol. 1, pp. 3–17. (In Russ.)

Potapov A.S., Fadeev E.S. Using the camera traps for permanent monitoring and figuring out the time of spawning migration and spawn of early morph of sockeye salmon in the Azabachye Lake in 2023. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2024, vol. 73, pp. 53–62. (In Russ.) EDN: ONYHLC. doi:10.15853/2072-8212.2024.73.53-62

Sviridov V.V., Podorozhnyuk E.V., Nikitin V.D., Skorik A.V. Modifications of unmanned aerial survey on spawners of Pacific salmon in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions. *Izvestiya TINRO*, 2022, vol. 202 (4), pp. 1015–1031. (In Russ.) EDN: JULFRV. doi:10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031

Fadeev E.S., Shevlyakov E.A., Biryukov A.M. Assessment of adults sockeye salmon escapement in the basin of Kamchatka River using the NetCor hydroacoustic system. *Bulletin of the study of Pacific salmon in the Far East*, 2016, vol. 11, pp. 150–157. (In Russ.)

Fadeev E.S., Shevlyakov E.A., Feldman M.G. Complex monitoring of salmon spawners escapement to the Kamchatka River in real time regime. *Izvestiya TINRO*, 2019, vol. 197, pp. 3–20. (In Russ.) doi:10.26428/1606-9919-197-3-20

Groves P.A., Alcorn B., Wiest M.M., Maselko J.M., Connor W.P. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys. *Facets*, 2016, 1 (1), 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>.

Harrison L.R., Legleiter C.J., Overstreet B.T., Bell T.W., Hannon J. Assessing the potential for spectrally based remote sensing of salmon spawning locations. *River Research and Applications*, 2020, 36 (8), pp. 1618–1632. <https://doi.org/10.1002/rra.3690>

Roncoroni M., Lane S.N. A framework for using small unmanned aircraft systems (sUASs) and SfM photogrammetry to detect salmonid redds. *Ecological Informatics*, 2019, vol. 53, 100976. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.100976>

Visser R., Dauble D.D., Geist D.R. Use of aerial photography to monitor fall Chinook salmon spawning in the Columbia River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2002, vol. 131, pp. 1173–1179. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(2002\)131<1173:Uoaptm>2.0.Co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(2002)131<1173:Uoaptm>2.0.Co;2)

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данное исследование не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки оформлены в соответствии с ГОСТом. The authors declare that this work does not contain their own experimental data obtained using animals or humans. Bibliographic references are formatted in accordance with GOST standards.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

Е.С. Фадеев — организация работ, сбор, обработка и анализ полученных данных, текст статьи. А.С. Потапов — сбор данных.

Evgeny S. Fadeev – organization of the research, collection, processing and analysis of the obtained data, writing text of the article.

Alexander S. Potapov – data collection.

Информация об авторах

Е.С. Фадеев — канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),

e.fadeev@kamniro.vniro.ru.

ORCID: 0000-0001-5469-7382

А.С. Потапов — ст. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),

a.potapov@kamniro.vniro.ru.

ORCID: 0009-0001-2349-0394

Information about the authors

Evgeny S. Fadeev – Ph. D. (Biology), Leading Researcher (KamchatNIRO),

e.fadeev@kamniro.vniro.ru.

ORCID: 0000-0001-5469-7382

Alexander S. Potapov – Senior Specialist (KamchatNIRO),

a.potapov@kamniro.vniro.ru.

ORCID: 0009-0001-2349-0394

Статья поступила в редакцию / Received: 05.12.2025

Одобрена после рецензирования / Revised: 10.12.2025

Статья принята к публикации / Accepted: 10.12.2025