

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДХОДОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ГОРБУШИ
ONCORHYNCHUS GORBUSCHA С ПОМОЩЬЮ БПЛА В НЕРЕСТОВЫХ РЕКАХ
ОСТРОВА САХАЛИН В 2022 ГОДУ

А.И. Никифоров¹, И.И. Гордеев^{1,2}, А.В. Ридигер^{1*}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19;

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119234, г. Москва, Ленинские горы, 1

Аннотация. В течение летнего сезона 2022 г. был проведен мониторинг подходов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в устьевых участках и на нерестилищах рек юго-восточного и юго-западного побережий о. Сахалин, а также впадающих в зал. Анива. Мониторинг проводился с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в целях формирования научных основ повышения эффективности управления промыслом лососевых рыб Дальнего Востока России. В ходе проведенных работ были выявлены возможности, преимущества и недостатки применения БПЛА при осуществлении мониторинговых исследований анадромной миграции тихоокеанских лососей.

Ключевые слова: Сахалин, тихоокеанские лососи, БПЛА, горбуша, *Oncorhynchus gorbuscha*, аэрофотосъемка, нерест

Для цитирования: Никифоров А.И., Гордеев И.И., Ридигер А.В. Мониторинговые исследования подходов производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* с помощью БПЛА в нерестовых реках острова Сахалин в 2022 году // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2023. — С. 115–121. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-115-121. EDN: TEKRFK.

Original article

Monitoring survey on run of spawners of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* by means of UAV
in the spawning rivers of Sakhalin Island in 2022

Andrei I. Nikiforov^{*}, Ilya I. Gordeev^{**}, Anna V. Ridiger^{***}

^{*,***} Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

^{**} Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskiye Gory, Moscow, 119234, Russia

^{*} Ph.D., associate professor, head of department, nai@vniro.ru, ORCID 0000-0003-3112-5378

^{**} Ph.D., senior researcher, gordeev@vniro.ru, ORCID 0000-0002-6650-9120

^{***} Ph.D., senior researcher, ridiger@vniro.ru, ORCID 0000-0002-7341-6424

Abstract. Monitoring of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) migration to the estuaries and spawning grounds in the rivers of southeastern and southwestern Sakhalin, including the Aniva Bay, was conducted in summer 2022 using a no-tipping technique with unmanned aerial vehicles (UAV). Abilities, advantages and disadvantages of UAV use for such surveys are discussed to provide a scientific basis for improved management of salmon fishery in the Far East of Russia.

Keywords: Sakhalin, pacific salmon, unmanned aerial vehicle (UAV), pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, aerial photography, spawning

^{*} Никифоров Андрей Игоревич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, начальник отдела, nai@vniro.ru, ORCID 0000-0003-3112-5378; Гордеев Илья Иванович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, gordeev@vniro.ru, ORCID 0000-0002-6650-9120; Ридигер Анна Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ridiger@vniro.ru, ORCID 0000-0002-7341-6424.

For citation: Nikiforov A.I., Gordeev I.I., Ridiger A.V. Monitoring survey on run of spawners of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* by means of UAV in the spawning rivers of Sakhalin Island in 2022, in *Bull. N 17 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 17 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2023, pp. 115–121. (In Russ.). DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-115-121. EDN: TEKRFK.

Введение

Проведение мониторинга подходов тихоокеанских лососей в нерестовые реки Дальнего Востока является необходимым элементом ежегодных комплексных исследований, результаты которых используются в ходе подготовки прогнозов объемов добычи (вылова) отдельных видов лососей, а также для оперативного управления путиной. К тому же это важно для развития методической базы исследований в целях недопущения отставания от применения современных технических возможностей и для совершенствования научных основ прикладных исследований [Антонов, 2007; Шевляков и др., 2013].

Остров Сахалин и Сахалинская область в настоящее время обладают высоким репродуктивным потенциалом тихоокеанских лососей и могут рассматриваться как один из основных центров их воспроизводства. В 2022 г. их было добыто более 83 тыс. т, что составило не менее 32 % общего вылова тихоокеанских лососей в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне. При этом протяжённые русла многих нерестовых рек и ручьев о. Сахалин относятся к сильно меандрирующим, берега их зачастую покрыты труднопроходимой растительностью, что затрудняет проведение оценки подходов лососей и заполнения нерестилищ традиционными методами пешего обхода. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различных конструкций в настоящий момент рассматривается как один из вариантов повышения эффективности лососевого мониторинга [Whitehead et al., 2014; Свиридов и др., 2022].

Вместе с тем технические особенности БПЛА накладывают ряд существенных ограничений на возможность их применения в работах, связанных с мониторинговыми исследованиями тихоокеанских лососей [Свиридов и др., 2022].

Цель данной статьи — показать преимущества и недостатки применения БПЛА для мониторинговых исследований анадромных миграций горбуши.

Материалы и методы

Работы с применением БПЛА осуществлялись силами сотрудников ВНИРО, а также СахНИРО в период с 21 июля по 15 сентября 2022 г. в южной и юго-восточной частях о. Сахалин. Исследование проводилось на реках, входящих в основной нерестовый фонд и являющихся реперными водоемами СахНИРО для получения данных, необходимых для подготовки материалов, обосновывающих объёмы прогнозируемых уловов. Так, были обследованы реки: Лазовая, Пугачёвка, Фирсовка, Жуковка, Долинка, Вознесенка, Таранай, Урюм, Кура, Баченская, Игривая, Островка (рис. 1).

Экспедиционные работы включали проведение аэрофотосъемки, которую выполняли над руслами нерестовых рек с помощью БПЛА различных конструкций на высоте 50–250 м, обеспечивающей оптимальное ($\leq 1,5$ см/пикс) разрешение снимков, под углами, минимизирующими визуальные помехи на поверхности воды (отражение, блики и т.д.). Для осуществления аэрофотосъемки ВНИРО привлекало специалистов-операторов БПЛА подрядных организаций (АО «Юнайтед Телеком» и ООО «Аршин»). В работах были задействованы БПЛА квадрокоптерного типа: DJI Inspire 2, DJI Mavic 2 Pro, DJI Mavic 3 с разрешением матрицы 20 Мп.

Аэрофотосъемка проводилась в дневное время в отсутствие низкой облачности, осадков, тумана, штормового ветра и иных атмосферных явлений, способных негативно повлиять на качество фотоснимков. Получаемые в итоге цифровые фотоматериалы содержали метаданные, включающие сведения о географических координатах, а также сопутствующую информацию о высоте, скорости движения и навигационных параметрах используемого БПЛА (рысканье, тангаж, крен и т.д.).

В ходе проведения работ полеты осуществлялись как вдоль линейных объектов (русла рек), так и над площадными объектами (широкие устья рек, морские предустьевые участки). Маршруты

обследований для съемки участков обследуемых рек или береговых линий составлялись в зависимости от транспортной или пешей доступности точек старта БПЛА. Для площадных обследований составлялись маршруты сплошного или избирательного обследования учетными галсами (прямолинейными параллельными трансектами) с равной дистанцией между ними. Для обеспечения более точной идентификации искомых объектов (производителей лососевых, совершающих анадромную миграцию в реке), а также для последующего ортотрансформирования отснятого материала (т.е. его геометрической коррекции в ортогональную проекцию) при съёмке обеспечивалось частичное перекрытие фотоснимков (рис. 2).

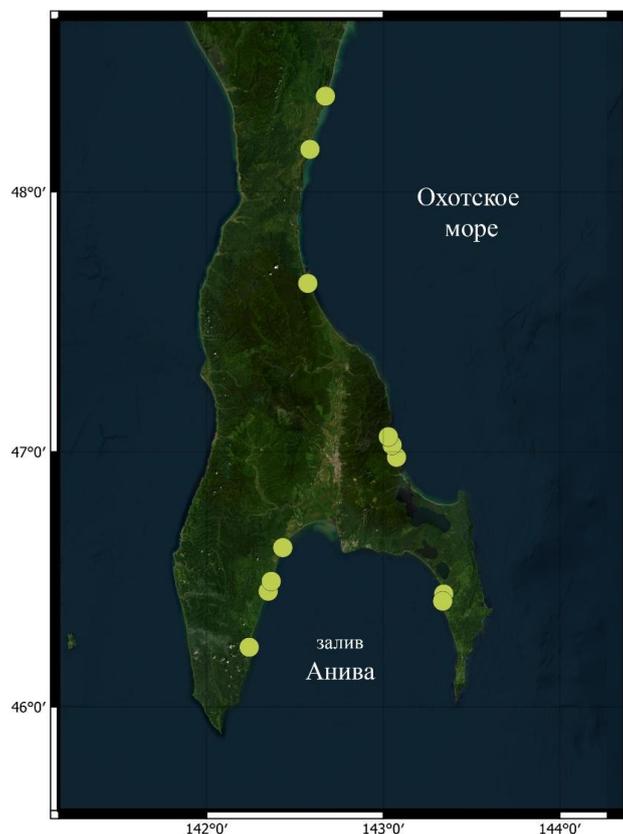


Рис. 1. Места проведения мониторинговых исследований подходов производителей горбуши (отмечены точками)

Fig. 1. Sites of monitoring surveys on run of pink salmon spawners (marked with dots)

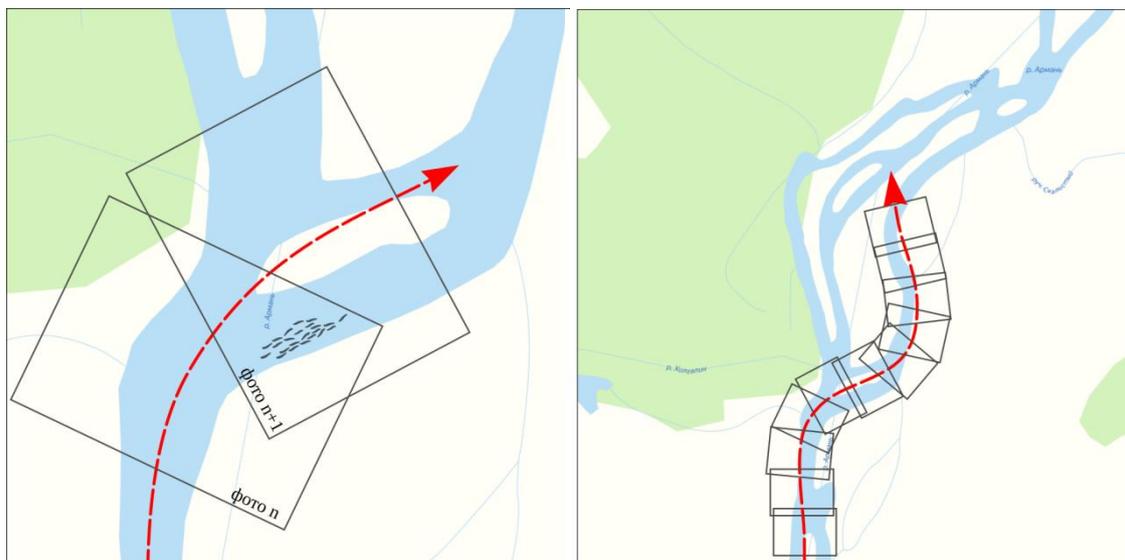


Рис. 2. Схема области перекрытия двух соседних кадров при проведении съемки

Fig. 2. Scheme of overlapping for two adjacent frames in the process of shooting

Помимо аэрофотосъёмки, в ходе мониторинговых работ также проводилась визуальная оценка подходов горбуши в исследуемых нерестовых реках по стандартной методике*.

Результаты и их обсуждение

В результате проведённых работ были получены массивы цифровых данных, включающих комплекты фотоснимков обследованных фрагментов нерестовых рек, электронные файлы телеметрии, файлы треков маршрутов и ведомость результативных фотоснимков (рис. 3). Также были сформированы схемы обследованных акваторий с нанесенными на них электронными треками маршрутов.

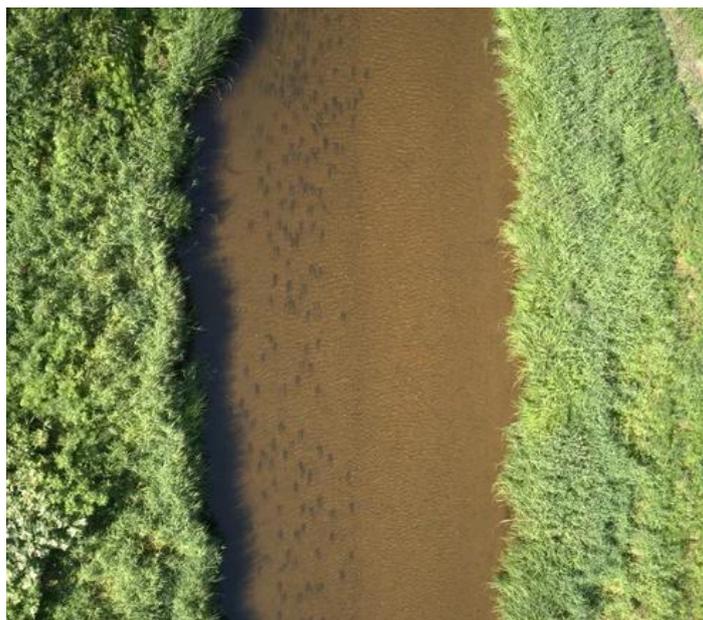


Рис. 3. Мигрирующие производители горбуши в р. Таранай
Fig. 3. Migrating pink salmon spawners in the Taranai River

Применение БПЛА квадрокоптерного типа для изучения динамики анадромной миграции лососевых рыб имеет свои неоспоримые плюсы: нивелирование практически неизбежных индивидуальных ошибок наблюдателя при пешем учете (склонность к завышению или занижению численности); преодоление объективной невозможности тотального учёта рыбы наблюдателем (из-за ширины водотока, а также отсутствия возможности одновременной оценки численности рыб на всём протяжении реки).

В то же время метод учета при помощи БПЛА для указанных целей имеет также целый перечень ограничений метода, оказывающих подчас существенное влияние на конечный результат. К числу таких ограничений относятся: большое количество лимитирующих погодных условий (очень низкая облачность, туман, сильный (более 12–14 м/с) ветер, дождь); мутность воды в реке; сложный для полёта БПЛА характер долины реки (сильное меандрирование русла, высокие берега и т.д.); невозможность проведения качественной съёмки в случае значительного перекрытия поверхности водотока древесно-кустарниковой растительностью (в реках о. Сахалин подобное перекрытие может достигать до 80 % и более от площади поверхности водотока) (рис. 4, 5).

Также следует отметить, что в многослойных скоплениях производителей тихоокеанских лососей на глубоких местах водотока точно оценить по фотографии численность рыб довольно сложно (рис. 6).

* Методические рекомендации по учету численности тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области / СахНИРО; Сахалинрыбвод. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2013. 30 с.

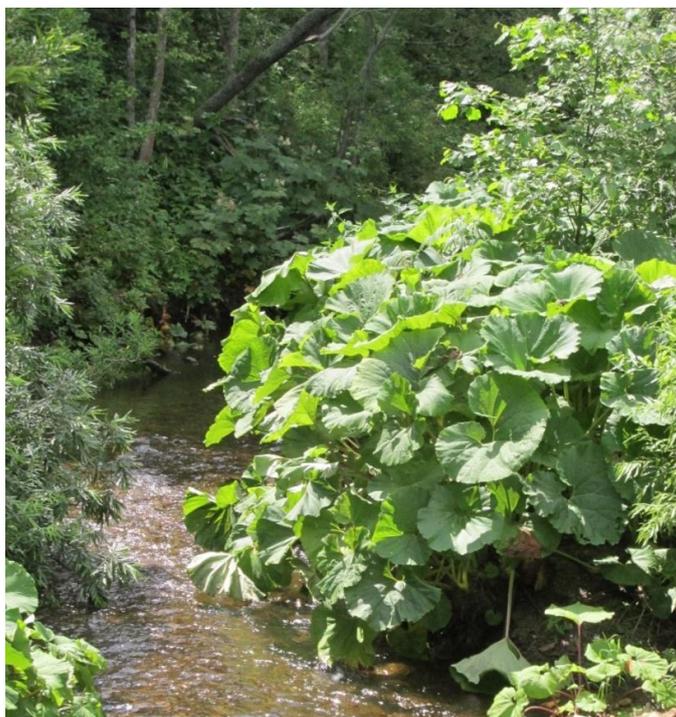


Рис. 4. Высокий уровень зарастания берегов нерестового водоёма прибрежной растительностью (р. Дудинка)
Fig. 4. Case of dense cover of the spawning grounds by vegetation (Dudinka River)

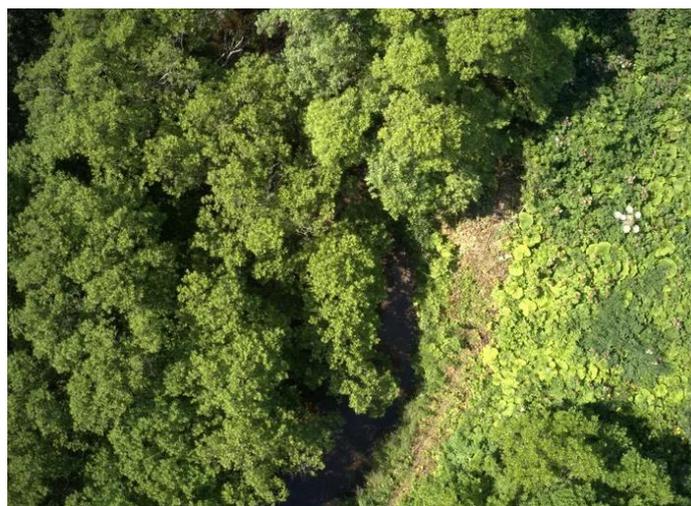


Рис. 5. Сплошная сомкнутость крон деревьев нерестового водоёма (при съёмке с воздуха русло практически не просматривается, р. Бахура)

Fig. 5. Case of complete closing of the spawning grounds by tree crowns (Bakhura River: the water channel is almost invisible when shooting from the air)

Кроме вышеперечисленного, к «минусам» следует отнести и объективно имеющийся риск непредвиденной потери БПЛА по причине неисправности или разрядки аккумулятора, случайного задевания ветки дерева, потери сигнала при экранировании его высокими отвесными берегами и т.д. Однако при наличии квалифицированного оператора этот «минус» можно исключить.

В рамках обсуждаемой проблемы следует отметить, что наблюдатель может проводить учёт рыбы не только в условиях сильной облачности или дождя (что часто исключает применение БПЛА), но и в условиях сильного перекрытия поверхности водотока растительностью. Как правило, наблюдатель может оценить численность производителей, передвигаясь непосредственно по руслу реки пешком или на маломерном судне. Также, поскольку глаз человека лучше фиксирует движение, это позволяет наблюдателю вести некоторый подсчёт даже в мутной воде, тогда как в аналогичных условиях оптика БПЛА оказывается не такой полезной.



Рис. 6. Скопление производителей горбуши (р. Долинка)
Fig. 6. Aggregation of pink salmon spawners (Dolinka River)

Для облегчения визуального учёта производителей лосося применяется метод контрастного фона — путём выстилания участка дна реки светлым однотонным материалом (синтетической тканью, заполненными песком мешками и т.п.). Подобный приём позволяет существенно повысить точность визуального учёта производителей тихоокеанских лососей [Свиридов и др., 2022].

Таким образом, ввиду указанных недостатков, съёмка с БПЛА в обозримом будущем, скорее всего, не сможет полностью заменить визуальную оценку численности лососей в нерестовых реках с помощью пеших обходов, но может существенно повысить их эффективность при комбинировании визуальной оценки с БПЛА. При этом следует отметить, что некоторые реки практически полностью непригодны для проведения беспилотного учёта в силу ряда упомянутых выше факторов. Также при планировании работ важно учитывать частоту неблагоприятных для беспилотного учёта метеорологических условий в районах проведения исследований и возможности применения БПЛА в таких условиях.

Заключение

Проведенные в 2022 г. работы с применением аэрофотосъёмки с целью мониторинга подходов производителей горбуши в нерестовых реках о. Сахалин подтвердили возможность успешного применения БПЛА для получения актуальных данных как о сроках и объёмах анадромных миграций тихоокеанских лососей, так и относительно заполнения ими нерестилищ. При этом также был выявлен ряд ограничений метода, которые необходимо учитывать при планировании подобных работ в дальнейшем. Так, на основании полученных данных стала очевидной необходимость составления реестра нерестовых рек по степени пригодности их акваторий для применения БПЛА при оценке численности производителей лососей рода *Oncorhynchus*. В случае невозможности использования БПЛА в качестве альтернативного метода можно рекомендовать использование широко известного метода контрастного фона, обеспечивающего приемлемую визуальную точность определения численности производителей тихоокеанского лосося. В целом заблаговременное планирование графика полевых работ экспедиционных групп, использующих оборудование БПЛА для оценки мощности подходов горбуши и других видов тихоокеанских лососевых рыб, позволит эффективно дополнить традиционные методы мониторинга современными техническими возможностями.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам Сахалинского филиала ВНИРО В.Д. Никитину, А.А. Антонову и А.В. Соколову за помощь, оказанную в процессе выполнения полевых исследований.

The authors are grateful to V.D. Nikitin, A.A. Antonov and A.V. Sokolov from the Sakhalin branch of VNIRO for their assistance during the field research.

Финансирование работы (FUNDING)

Работы выполнены в рамках Подпрограммы «Комплексные исследования лососей на Дальнем Востоке России в 2022–2025 гг.»: «Аэровизуальная оценка численности производителей тихоокеанских лососей с использованием цифрового зрения и методов искусственного интеллекта. Оценка заполнения нерестилищ».

The study is done within the program «Integrated studies of salmon in the Russian Far East in 2022–2025» and funded from the state budget.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable national, institutional and international ethical guidelines are implemented. The authors declare that they have no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.И. Никифоров и И.И. Гордеев участвовали в полевых работах, обсуждении результатов и принимали участие в подготовке рукописи; А.В. Ридигер — в обсуждении результатов и подготовке рукописи.

Andrey I. Nikiforov and Ilia I. Gordeev made the fieldwork, all authors jointly analyzed the data, discussed the results and wrote the manuscript.

Список литературы

Антонов А.А. Динамика численности горбуши зал. Анива (о. Сахалин) на современном этапе // Динамика численности тихоокеанских лососей и прогнозирование их подходов : тез. докл. Междунар. науч. конф. — Южно-Сахалинск, 2007. — С. 3–4.

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 429–449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449. EDN: CNQHAF.

Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 1015–1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Дубынин В.А. и др. Методики учета производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях миграции к ним // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 36–57.

Whitehead K., Hugenholtz C.H., Myshak S., Brown O. et al. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications // J. Unmanned Veh. Syst. — 2014. — Vol. 2, № 3. — P. 86–102. DOI: 10.1139/juvs-2014-0007.

Поступила в редакцию 31.01.2023 г.

После доработки 7.02.2023 г.

Принята к публикации 3.04.2023 г.

The article was submitted 31.01.2023; approved after reviewing 7.02.2023; accepted for publication 3.04.2023 г.