

Научная статья

УДК 597.552.511:57.087.3

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721

EDN: SJRXIS



## ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ И СПОСОБЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО УЧЕТА ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В ОХОТСКОМ РАЙОНЕ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

Д.В. Коцюк, В.В. Свиридов, А.Ю. Поваров\*  
Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),  
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

**Аннотация.** Описан опыт беспилотного учета тихоокеанских лососей в реках Охотского района Хабаровского края в 2021–2023 гг. Приведены оценки плотности нерестовых бугров и производителей на контрольных участках и рассмотрены перспективы использования данных показателей в целях информационного обеспечения задач прогнозирования. Проанализирована специфика беспилотного учета тихоокеанских лососей, предложены варианты дальнейшего развития методики. Учитывая, что описанный вариант беспилотного учета подходит лишь для информационного обеспечения задач прогнозирования, даны рекомендации по его модификации в целях применимости для сопровождения путины и инвентаризации нерестилищ. На основе полученного опыта и литературных сведений рассмотрены способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей. Предлагаемые подходы к автоматизации структурированы для ключевых этапов: планирования пространственного покрытия, аэрофотосъемки, фотограмметрической обработки, векторизации, расчета численности. Показаны особенности автоматизации в зависимости от целей учета: информационного обеспечения задач прогнозирования, сопровождения путины или инвентаризации нерестилищ. Автоматизация учета должна основываться на стыкуемости и взаимной сбалансированности применяемых подходов на разных этапах учета.

**Ключевые слова:** тихоокеанские лососи, БПЛА, фотограмметрия, ГИС, векторизация, автоматизация, искусственный интеллект

**Для цитирования:** Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Опыт реализации и способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Охотском районе Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 705–721. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

\* Коцюк Денис Владимирович, кандидат биологических наук, руководитель филиала, [kotsyuk@khabarovsk.vniro.ru](mailto:kotsyuk@khabarovsk.vniro.ru), ORCID 0000-0002-7123-1792; Свиридов Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, [vladimir.sviridov.1974@yandex.ru](mailto:vladimir.sviridov.1974@yandex.ru), ORCID 0000-0002-6060-1532; Поваров Андрей Юрьевич, старший специалист, [povarov@khabarovsk.vniro.ru](mailto:povarov@khabarovsk.vniro.ru), ORCID 0009-0000-7664-7458.

© Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю., 2024

## Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region

Denis V. Kotsyuk\*, Vladimir V. Sviridov\*\*, Andrey Yu. Povarov\*\*\*

\*–\*\*\* Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),

13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

\* Ph.D., head, kotsyuk@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0002-7123-1792

\*\* Ph.D., leading researcher, vladimir.sviridov.1974@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6060-1532

\*\*\* senior specialist, povarov@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7664-7458

**Abstract.** Unmanned aerial counting of pacific salmon in the rivers of the Okhotsk district (Khabarovsk Region) in 2021–2023 is analyzed. Estimates of the spawning redds number and the spawners abundance are presented for the monitoring sites. Prospects for using these indices for forecasting the stocks are discussed. Specifics of unmanned counting are considered, and options for further development of the methodology are proposed. The method of unmanned counting is suitable for information support of the stock forecasts only, but can be modified for application in fishery management and spawning grounds inventory. Possibilities for further automation in the unmanned counting of pacific salmon are considered on the base of the authors' experience and literature information. Proposed approaches to automation are outlined for key stages of unmanned counting, as spatial coverage planning, aerial photography acquisition, photogrammetric processing, vectorization, and abundance estimation. Features of the automation implementation depend on purposes of the counting and are different for the stock forecasting, fishery management, and spawning grounds inventory. Adequate automation should be based on ensuring consistency and mutual balance of approaches used at different stages of the counting.

**Keywords:** pacific salmon, unmanned aerial vehicle (UAV), photogrammetry, geoinformation system (GIS), vectorization, automation, artificial intelligence

**For citation:** Kotsyuk D.V., Sviridov V.V., Povarov A.Yu. Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 705–721. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

### Введение

Беспилотные технологии ввиду своей эффективности все активнее применяются рыбохозяйственными учеными для изучения водных биоресурсов (ВБР) в целом и тихоокеанских лососей в частности [Запорожец и др., 2020; Raoult et al., 2020; Дуленин и др., 2021]. Для тихоокеанских лососей описаны различные подходы к беспилотному учету и их результаты [Запорожец, Запорожец, 2017; McKenna et al., 2019; Свиридов и др., 2022а, б; Auerbach, Fremier, 2023]. Своевременная публикация подобных сведений важна для дальнейшего совершенствования технологии беспилотного учета тихоокеанских лососей, ее ускоренного внедрения.

Технологическая многовариантность беспилотного учета тихоокеанских лососей, необходимость его удешевления, упрощения и ускорения обуславливают актуальность дальнейшего совершенствования применяемых подходов, в том числе посредством автоматизации, т.е. уменьшения ручной (неавтоматизированной) работы за счет увеличения применения технических и программных средств. Определенная степень автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Хабаровском крае была достигнута ранее посредством программного обеспечения (ПО) для автоматической (с минимальным участием оператора) съемки и фотограмметрической обработки снимков, а также применения геоинформационных систем (ГИС) для векторизации, анализа и представления результатов [Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022а, б].

Настоящая работа ставила целью описание опыта реализации беспилотного учета тихоокеанских лососей в реках Охотского района Хабаровского края, рассмотрение

перспектив использования полученных сведений в целях информационного обеспечения задач прогнозирования и выработку рекомендаций по дальнейшей автоматизации беспилотного учета этих видов рыб методами фотограмметрии, технологий ГИС и искусственного интеллекта (ИИ).

### Материалы и методы

Работы по беспилотному учету тихоокеанских лососей в реках Охотского района в 2021–2023 гг. проводили на основе опубликованных методических подходов [Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022а, б]. Съемку с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) выполняли в период с августа по октябрь 2021–2023 гг. в бассейне рек Американ, Андыч, Кухтуй, Охота, Толмот, Улья, Урак и Чильчикан. По сложившейся практике для информационного обеспечения задач прогнозирования запасов тихоокеанских лососей и сопровождения путины нередко используются оценки численности производителей не по всему нерестовому водоему, а на контрольных участках в его границах [Irvine et al., 1992; Gallagher, Gallagher, 2005; Шевляков и др., 2019]. Данный подход был применен нами для учета производителей в реках Охотского района на контрольных участках — отобранных сегментах водотока, включавших одно и более нерестилищ. В качестве контрольных отбирались участки, на которых регулярно, согласно имеющимся архивным и опросным сведениям, отмечается нерест кеты и горбуши, составляющих подавляющую часть вылова тихоокеанских лососей в Охотском районе (рис. 1).



Рис. 1. Расположение контрольных участков, обследованных с помощью БПЛА в 2021–2023 гг. в Охотском районе Хабаровского края

Fig. 1. Location of monitoring sites surveyed using UAV in 2021–2023 in the Okhotsk district of Khabarovsk Region

Объем беспилотных учетных работ на контрольных участках представлен в табл. 1. Ввиду материально-технических ограничений учет проводили разово, по возможности на завершающих этапах нереста соответствующего вида в реках Охотского района: в конце августа — начале сентября по горбуше, конце сентября — начале октября по кете. В 2021 г. беспилотный учет не получилось приурочить к завершающим этапам нереста, поэтому плотности на контрольных участках для этого года не рассматриваются.

Таблица 1

Объем беспилотных учетных работ на контрольных участках в реках Охотского района Хабаровского края в 2021–2023 гг.

Table 1

Volume of unmanned aerial surveys at monitoring sites in the rivers of the Okhotsk district of Khabarovsk Region in 2021–2023

Год	Река	Количество обследований контрольных участков	Количество обследований контрольных участков за год	Протяженность водотоков, качественно визуализированных на аэрофотоснимках, км	Протяженность качественно визуализированных водотоков за год, км
2021	Кухтуй	18	41	33,3	99,8
	Охота	21		62,5	
	Урак	2		4,0	
2022	Американ	1	34	2,1	54,6
	Кухтуй	11		14,2	
	Охота	13		18,4	
	Улья	5		4,9	
	Урак	4		15,0	
2023	Американ	1	45	8,7	130,4
	Андыч	1		8,1	
	Кухтуй	15		36,2	
	Охота	19		41,6	
	Толмот	1		4,3	
	Улья	3		10,6	
	Урак	4		16,3	
	Чильчикан	1		4,6	

Для учета использовали беспилотные летательные аппараты потребительского класса от компании DJI, мобильные устройства для работы с полетным ПО и полевыми ГИС, высокопроизводительные ПК и ноутбуки для фотограмметрической обработки результатов аэросъемки, их векторизации, геоинформационного анализа и картографического представления. Для автоматического выполнения полетных миссий применяли преимущественно полетное ПО Map Pilot Pro. В целях фотограмметрической обработки аэрофотоснимков при создании ортофотопланов и цифровых моделей рельефа (ЦМР) применяли ПО Agisoft Metashape Professional. Геоинформационное ПО Global Mapper и NextGIS QGIS использовали для ортотрансформирования — преобразования отдельных фотографий в ортофотоснимки (грубый аналог ортофотоплана), а также для векторизации ортофотопланов и ЦМР (оцифровки оператором растров путем создания векторных объектов).

Нерестовые бугры (далее — бугры), производителей и сненку оцифровывали на ортофотопланах точечными векторными объектами с учетом видовой принадлежности. Векторизацию бугров производили на основе одновременного визуального анализа ортофотопланов и ЦМР. По производителям и сненке на ортофотоплане проще уточнить видовую принадлежность бугров, тогда как сами бугры обычно лучше визуализируются на ЦМР [Свиридов и др., 2022а]. Для каждого контрольного участка рассчитывали плотности бугров и производителей, выраженные в штуках на километр протяженности водотока. Аналогичный подход к расчету плотности бугров лососевых присутствует в ряде исследований [Ballard, Krueger, 2005; Kazakov et al., 2022]. Вычисление плотности через протяженность, а не через площадь контрольных участков обусловлено тем, что межгодовые различия в водности делают значения относительного обилия, рассчитанные через площадь водотока, менее показательными, чем через его протяженность.

Учет производителей на контрольных участках в силу выборочного характера дает не абсолютные, а индексные оценки обилия. Последующая экстраполяция для получения тотальных величин пропуска основана на сведениях о распределении производителей в речном бассейне и зачастую носит экспертный характер [Neilson, Geen,

1981; Johnson et al., 2007; Шевляков, Маслов, 2011; Шевляков, Шубкин, 2020]. В североамериканских рыбохозяйственных НИИ присутствует практика расчета тотальных величин пропуска тихоокеанских лососей через плотности бугров на контрольных участках, также вычисляемых посредством экстраполяции на весь речной бассейн [Dauble, Watson, 1997; Gallagher, Gallagher, 2005].

Экстраполяционные (пересчетные) коэффициенты как для производителей, так и для бугров основаны на представлениях о доле объектов учета на контрольных участках от общей численности в нерестовом водоеме. Соответственно, для перехода от относительного обилия на контрольных участках к общей численности необходимы сведения о нерестовом фонде. К сожалению, данные сведения зачастую неточны или отсутствуют. В таком случае предлагается рассчитывать экстраполяционные коэффициенты опосредованно, например как отношение общей численности, определенной альтернативными методами, к средней плотности на контрольных участках по данным беспилотного учета [Свиридов и др., 2022a]. Сходный подход реализуется в североамериканских рыбохозяйственных НИИ: экстраполяционные коэффициенты в ряде работ вычисляются по взаимосвязи между пропуском, рассчитанным альтернативным методом, и числом бугров на контрольных участках, учтенных в ходе маршрутных обследований [Johnson et al., 2007; Nugent, Lindsey, 2020]. При этом альтернативный метод должен быть достаточно точным (гидроакустический, аэровизуальный, РУЗ и т.п.), напрямую учитывающим общую численность в бассейне. К сожалению, для 2021–2022 гг. подобные оценки для рек Охотского района отсутствуют, равно как и точные сведения о нерестовом фонде. Это сделало невозможным вычисление экстраполяционных коэффициентов для перехода от полученных плотностей на контрольных участках к тотальным оценкам величины репродуктивной части запаса.

## **Результаты и их обсуждение**

### *Оценки плотности на контрольных участках и перспективы использования данных показателей в целях информационного обеспечения задач прогнозирования*

Оценки плотности бугров и производителей кеты и горбуши на контрольных участках рек Охотского района по данным беспилотного учета приведены в табл. 2.

Как видно из приведенных в табл. 2 данных, для ряда рек отмечены нулевые плотности бугров на всех контрольных участках (Американ, Андыч, Толмот, Улья, Чильчикан — для кеты, Кухтуй, Толмот — для горбуши). Для некоторых из перечисленных водотоков плотности производителей также были нулевыми, однако мигрирующие особи фиксировались беспилотником в ходе разведывательных полетов за пределами контрольных участков. Это свидетельствует о необходимости пересмотра схемы расположения контрольных участков в данных реках. Основой для такого пересмотра может стать инвентаризация нерестилищ соответствующих рек посредством БПЛА промышленного класса со значительным (сотни километров) радиусом автономных работ. К сожалению, беспилотники потребительского класса, доступные для выполнения настоящей работы, ввиду технических ограничений не способны обеспечить тотальный учет нерестовых водотоков [Свиридов и др., 2022a], что и привело к описанным проблемам с показательностью отобранных контрольных участков по ряду рек.

Как следует из данных табл. 2, в межгодовом аспекте в пределах одной реки плотности как бугров, так и производителей не характеризовались резкими различиями. Однако для р. Улья отмечены существенные различия относительной численности производителей — 378,4 шт./км в 2022 г. и 1073,4 в 2023 г. Подобного рода выбросы значений объяснимы, так как учет ввиду материально-технических ограничений проводился разово, на завершающих этапах нереста, что делает его менее показательным по плотности производителей, чем по относительной численности бугров. Плотность бугров на контрольных участках является кумулятой нерестовой активности (с ого-

Оценки плотности бугров и производителей кеты и горбуши на контрольных участках рек Охотского района в 2022 и 2023 гг. по данным беспилотного учета, шт./км

Table 2

The spawning redds number and abundance of chum and pink salmon runs (ind./km) to the rivers of the Okhotsk district in 2022 and 2023, on the data of unmanned aerial surveys

Вид	Река	Средняя плотность бугров на контрольных участках		Средняя плотность производителей на контрольных участках	
		2022	2023	2022	2023
Кета	Американ	0	0	1,4	0
	Андыч	–	0	–	0
	Кухтуй	64,5	93,2	193,8	149,2
	Охота	189,6	176,6	897,5	1012,6
	Толмот	–	0	–	0
	Улья	0	0	7,9	46,0
	Урак	35,5	35,3	398,7	465,1
	Чильчикан	–	0	–	0
Горбуша	Американ	9,1	0	54,9	0
	Андыч	–	34,1	–	408,6
	Кухтуй	0	0	0	0
	Охота	0	25,5	0	0
	Толмот	–	0	–	37,1
	Улья	204,8	262,9	378,4	1073,4
	Урак	97,4	73,2	177,2	173,4
	Чильчикан	–	23,2	–	127,6

воркой на возможное перекапывание гнезд), поэтому данный показатель в случае разовой оценки на завершающих этапах нереста более показателен и лучше соотносится с репродуктивной частью запаса, чем относительная численность производителей [Johnson et al., 2007].

Ранее указывалось, что значения плотности на контрольных участках, полученные беспилотниками, могут служить индексом численности подходов в речной бассейн и применяться для межгодовых сравнений в целях информационного обеспечения задач прогнозирования [Свиридов и др., 2022а]. Именно в таком ключе целесообразно использование оценок плотностей на контрольных участках рек Охотского района. Приемлемость применения плотностей бугров и производителей лососей на контрольных нерестилищах просто в качестве индексов обилия как показателей межгодовой динамики численности, без каких-либо пересчетов на тотальный пропуск в соответствующую реку, показана ранее [Maxell, 1999; Isaak et al., 2003].

Беспилотный учет для получения индексов обилия в целях информационного обеспечения задач прогнозирования важен даже в случае параллельного учета альтернативным методом, так как он позволяет получить вспомогательные индексы динамики численности вида и объективизировать учетные работы благодаря архивируемым инструментальным сборам. Вышеописанная невозможность экстраполяции плотностей на весь бассейн в перспективе устранима посредством получения достоверных сведений о нерестовом фонде или проведения параллельного тотального прямого учета по рекам Охотского района. Это позволит получить пересчетные коэффициенты и применить их к накопленным рядам наблюдений по контрольным участкам.

#### *Актуальность автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей*

Автоматизация беспилотного учета насущна для всех целей мониторинга производителей тихоокеанских лососей: информационного обеспечения задач прогнозиро-

вания, сопровождения путины, инвентаризации нерестилиц. При этом она наиболее значима для оценки пропуска производителей в реки в целях сопровождения путины, так как способна повысить оперативность таких работ. Повышение темпов беспилотного учета, достижимое в первую очередь за счет автоматизации, чрезвычайно важно для оперативного принятия своевременных управленческих решений по приведению нагрузки в соответствие с подходами. Автоматизация беспилотного учета необходима также ввиду предельной загруженности профильных специалистов в период массового хода лососей. Она не просто позволит ускорить учет, но и при достаточной простоте реализации даст возможность делегировать часть работ (этапы съемки, фотограмметрической обработки и подсчета объектов методами ИИ) сторонним контрактируемым исполнителям для максимальной разгрузки сотрудников ВНИРО.

Приведенные ниже способы автоматизации отталкиваются от специфики технологической цепочки беспилотного учета и основаны на его ключевых составляющих — планирование пространственного покрытия, аэрофотосъемка, фотограмметрическая обработка аэрофотоснимков, векторизация фотограмметрических продуктов, расчет численности объектов учета [Свиридов и др., 2022a]. Разберем особенности автоматизации каждой из этих составляющих при различных целях мониторинга лососей.

#### *Планирование пространственного покрытия учетных работ*

Вследствие ограниченных технических возможностей БПЛА потребительского класса, использованных в Охотском районе, учет был приурочен к компактным (протяженностью до нескольких километров) контрольным участкам. Однако в крупных речных системах такой подход по очевидным причинам неприемлем ввиду нерепрезентативного пространственного покрытия. Здесь учет должен охватывать обширные площади, по которым распределены производители в ходе нерестовой миграции и нереста. Соответственно, для этого требуются БПЛА промышленного класса со значительным (сотни километров) радиусом автономных работ и высокой суточной производительностью.

Использование промышленных беспилотников не позволит обеспечить полное покрытие аэрофотосъемкой всех участков присутствия производителей, так как объем сопряженных работ и глубина анализа собираемой информации на единицу обследуемой площади при беспилотном учете значительно больше, чем при аэровизуальном. Это обусловлено тем, что при беспилотном учете производится не приблизительная экспресс-оценка численности в реальном времени по траектории облета, как при аэровизуальном, а последовательно выполняется ряд ресурсоемких работ (аэрофотосъемка, фотограмметрическая обработка, векторизация).

Проистекающее из выборочности беспилотного учета его существенно меньшее пространственное покрытие компенсируется объективностью, получением конкретных и перепроверяемых сведений в формате отчетных фотоматериалов, адекватно покрывающих обширную область учета. Переход от выборочных оценок численности к тотальным возможен на основании расчета соотношения общей площади акватории с объектами учета к площади акватории, покрытой съемкой, а также анализа нерестового фонда. Данный выборочный характер учета приемлем, так как традиционно применяется для ВБР из-за невозможности тотального покрытия обширных акваторий их распределения [Шунтов, Волвенко, 2016].

В целях наглядного представления планирования пространственного покрытия беспилотного учета приведем диаграмму связей, описывающую его составляющие и этапы, от постановки цели учета до полетных миссий (рис. 2). Для эффективного планирования необходимо отталкиваться от конкретных целей учета и ресурсов для их реализации. Анализ сведений о типичном пространственном распределении объектов учета в конкретном водотоке, технических и кадровых ресурсах, требуемых сроках предоставления отчетности позволяет оценить объем необходимых беспилотных ра-

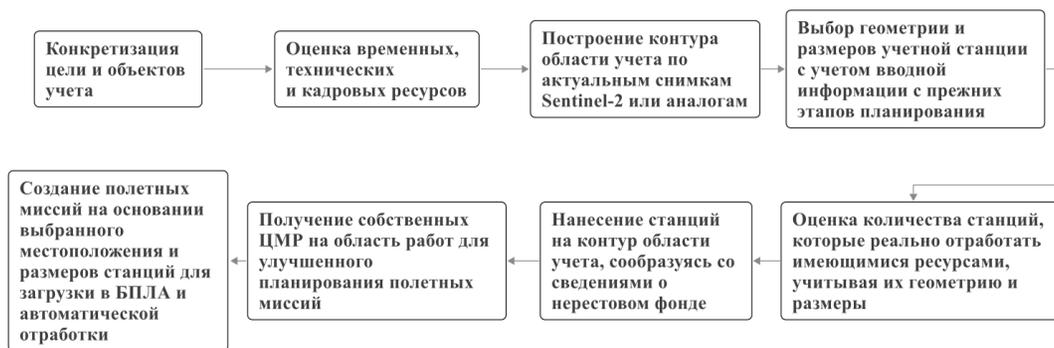


Рис. 2. Этапы планирования пространственного покрытия беспилотных учетных работ  
 Fig. 2. Stages of planning the spatial coverage for UAV counting surveys

бот и построить схему станций, адекватно покрывающих область учета. Необходима сбалансированность между пространственным охватом, геометрией и плотностью учетных станций, определяющих объем получаемых фотоматериалов, с одной стороны, и ресурсами для обработки этих сведений в требуемые сроки — с другой.

Анализ пространственного распределения объектов, необходимый при планировании схемы станций, должен быть основан на сведениях о нерестовом фонде, локализации и емкости нерестилищ в бассейне. При недостаточности таковых упреждающая тотальная беспилотная съемка нерестового фонда целевых бассейнов представляется эффективным решением. Сведения данного предваряющего тотального учета позволят качественнее планировать пространственную выборочность последующих работ, проводить пересчет их результатов на общие оценки численности с учетом сведений о доле отснятых участков от всего нерестового фонда.

Другим важным элементом создания схемы станций являются актуальные сведения о береговой линии обследуемой акватории для правильного планирования местоположения и геометрии учетных станций и минимизации присутствия суши на аэрофотоснимках. Находящиеся в открытом доступе космоснимки сверхвысокого разрешения на российские межселенные территории от Mapbox, Google и других провайдеров обновляются редко и потому не могут использоваться для планирования схемы станций при изменчивой морфологии водотоков. Заказ актуальной коммерческой космосъемки дорогостоящ и проблематичен.

Решением может быть самостоятельная или заказная упреждающая беспилотная съемка низкого пространственного разрешения на район работ с целью получения актуальных ортофотопланов для планирования расположения станций. Дополнительным преимуществом такого подхода является возможность получения ЦМР по материалам упреждающей съемки для улучшенного выполнения полетных миссий в будущем — обеспечения нужной высоты полета в целях выдерживания разрешения снимков на местности и повышения безаварийности полетов. ЦМР, в отличие от береговой линии, обычно стабильны в межгодовом плане, что в сочетании с наличием на территории России в открытом доступе лишь низкоточных ЦМР (разрешением не выше 30 м) делает разовое проведение подобной рекогносцировочной беспилотной съемки на район работ весьма актуальной.

Учитывая затратность беспилотной съемки на обширной территории даже в низком разрешении, для ежегодной корректировки схемы станций целесообразнее применять свободно распространяемые космические снимки низкого разрешения (10 м/пикс) семейства спутников Sentinel-2 Европейского космического агентства. Их можно загрузить с сайта проекта Copernicus посредством плагина Semi-Automatic Classification Plugin для настольной ГИС NextGIS QGIS и преобразовать в геопроецированный растр в целях планирования схемы станций. На рис. 3 проиллюстрирована



Рис. 3. Геометрия береговой линии фрагмента нижнего течения р. Урак по ортофотоплану от 01.09.2023 (а), космоснимку Sentinel-2 от 06.08.2023 в псевдонатуральной NRG (б) и натуральной RGB комбинации каналов (в), космоснимку Google в открытом доступе (г). Для наглядности контур береговой линии, векторизованный по ортофотоплану, продублирован на космоснимке (*пунктирная линия*)

Fig. 3. Shoreline geometry in the Urak lower reaches on orthomosaic image September 1, 2023 (а), on Sentinel-2 satellite image on August 8, 2023 presented in pseudo-natural NRG (б) and natural RGB combination of channels (в), and on the same satellite image publicly accessible in Google (г). For clarity, the shoreline vectorized using the orthomosaic image is duplicated on satellite images (*dashed line*)

высокая сходимость геометрии береговой линии по ортофотоплану фрагмента нижнего течения р. Урак с космоснимком Sentinel-2, тогда как космоснимком сверхвысокого разрешения от Google характеризуется геометрией береговой линии, весьма отличной от таковой на ортофотоплане. Таким образом, актуальные (близкие по срокам к беспилотному учету) космоснимки Sentinel-2 подходят для оконтуривания области учета в целях планирования схемы станций, чего нельзя сказать о космоснимках сверхвысокого разрешения в открытом доступе.

Космоснимки Sentinel-2 или ортофотопланы низкого разрешения используются в настольной ГИС для создания точечного векторного слоя схемы станций. Полученный векторный слой импортируется в полетное ПО для дополнительной настройки параметров миссии (настройки камеры, высота и скорость беспилотника в момент фотографирования и т.д.). Созданная миссия загружается в беспилотник и автоматически обрабатывается им при минимальном участии оператора. Практически полная автоматизация выполнения полетной миссии ускоряет процесс съемки и разгружает оператора БПЛА, тогда как ручное пилотирование в большинстве случаев не способно обеспечить качественное выполнение сложных полетных миссий.

#### *Автоматизация аэрофотосъемки*

При планировании аэрофотосъемки следует отталкиваться от конкретных целей беспилотного учета и ресурсов для их реализации. Схема подбора параметров аэрофотосъемки под различные цели представлена в табл. 3. Цель учета выдвигает требования к материалам аэрофотосъемки, используемым для расчета численности, их пространственно-временному распределению, взаимному перекрытию снимков на учетной станции. Характеристики материалов аэрофотосъемки в свою очередь определяют наиболее подходящий тип БПЛА. На выбор оптимального типа беспилотника могут влиять дополнительные требования к учету, например что в приоритете — оперативность или точность.

Таблица 3

Схема подбора параметров аэрофотосъемки под различные цели беспилотного учета тихоокеанских лососей

Table 3

Scheme for selecting the aerial photography parameters for certain purposes of the pacific salmon UAV counting

Параметр	Цель беспилотного учета			
	Обеспечение прогнозирования через плотности на контрольных участках	Инвентаризация нерестилищ	Обеспечение прогнозирования или сопровождение промысла (в приоритете оперативность учета)	Обеспечение прогнозирования или сопровождение промысла (в приоритете точность учета)
Фотограмметрический продукт, получаемый из снимков на учетной станции	Ортофотоплан, ЦМР	Ортофотоплан, ЦМР	Ортофотоснимки (несколько или единичный)	Ортофотоснимки (несколько или единичный)
Геометрия учетной станции	Серия снимков с высоким пересечением	Серия снимков с высоким пересечением	Серия снимков с низким пересечением или единичный снимок	Серия снимков с низким пересечением или единичный снимок
Наиболее подходящий тип БПЛА	Электрический мультироторный потребительского класса	Бензиновый мультироторный промышленного класса	Электрический самолетный промышленного класса	Бензиновый мультироторный промышленного класса
Смаз	Приемлемый (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Приемлемый (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Избыточный, ухудшающий качество снимков	Приемлемый (при условии снижения скорости в момент фотографирования)
Возможные способы повышения качества снимков для улучшения распознаваемости на них объектов учета	Экспобрекетинг, съемка в формате RAW	Длиннофокусный объектив, экспобрекетинг, съемка в формате RAW	Съемка в формате RAW	Длиннофокусный объектив, экспобрекетинг, съемка в формате RAW
Приемлемость качества снимков для подсчета объектов учета методами ИИ	Да (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Да (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Под вопросом	Да (при условии снижения скорости в момент фотографирования)
Отработка сложной геометрии станции	Да	Да	Нет	Да
Квалификационные требования к оператору БПЛА	Минимальные	Максимальные	Промежуточные	Максимальные
Затраты времени	Минимальные	Максимальные	Промежуточные	Промежуточные. Максимальные при снижении скорости в момент фотографирования

Как видно по данным табл. 3, электрический самолетный БПЛА промышленного класса оптимален для информационного обеспечения задач прогнозирования или сопровождения путины, если в приоритете оперативность учета. Если важнее точность учета, то для этих целей лучше подойдет бензиновый мультироторный беспилотник

промышленного класса. Заметим, что аналогичный подход возможен при инвентаризации нерестилищ: если в приоритете оперативность учета, то может быть использован электрический самолетный БПЛА, а не бензиновый мультироторный беспилотник. Таким образом, предлагаемая схема подбора параметров аэрофотосъемки является вводной, а выбор типа и модели беспилотника можно совершенствовать далее путем учета дополнительной вводной информации. Мотивация при выборе типа БПЛА основана на параметрах его съемки, перечисленных в нижней части табл. 3: величина смаза на снимке, способы повышения качества снимков, возможность применения ИИ для автоматизации подсчета и т.д.

Поясним взаимосвязь между некоторыми параметрами съемки и их влияние на особенности проводимого учета. Если целью является информационное обеспечение задач прогнозирования через оценку плотности бугров на компактных контрольных участках, рассмотренное в настоящей работе на примере учета в Охотском районе, то необходимо высокое пересечение снимков. В противном случае будет невозможно построение ЦМР, полезной для улучшенного учета бугров [Свиридов и др., 2022a]. Получение ЦМР по этим же причинам желательно при инвентаризации нерестилищ с вытекающими требованиями по высокому пересечению снимков на учетной станции.

При информационном обеспечении задач прогнозирования или сопровождении путины, требующих покрытия аэрофотосъемкой обширных площадей, построение ЦМР малоактуально, поэтому в целях ускорения работ целесообразен переход на низкое пересечение снимков на учетной станции или даже на единичное фотографирование. Низкое пересечение фотографий вынуждает отказаться от ортофотопланов в пользу их грубого аналога — ортофотоснимков, вполне достаточных для целей обеспечения задач прогнозирования и сопровождения путины. Отказ от съемки с высоким пересечением снимков существенно повышает суточное покрытие аэрофотосъемки и сокращает сроки фотограмметрической обработки отснятых материалов.

Обеспечение достаточного для создания ЦМР пересечения снимков при целевом разрешении снимков на местности не грубее 1,5 см/пикс, рекомендуемом при беспилотном учете лососей [Свиридов и др., 2022a], зачастую достижимо лишь при помощи БПЛА мультироторного типа, способного вести съемку в широком диапазоне скоростей, в том числе на сниженной скорости, позволяющей обеспечить достаточное пересечение фотографий. Также мультироторный тип беспилотников выгодно отличается от самолетного рядом дополнительных преимуществ (эффективное регулирование величины смаза благодаря широкому диапазону рабочих скоростей, увеличение при необходимости разрешения снимка на местности с помощью длиннофокусного объектива, отработка в один пролет сложной геометрии станции при извилистости водотока и т.д.), повышающих приемлемость качества фотографий для подсчета объектов учета методами ИИ. Учет тихоокеанских лососей мультироторными БПЛА на обширных акваториях возможен лишь при большом суточном пространственном покрытии съемкой, которое на данный момент возможно лишь бензиновыми моделями с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и радиусом работ в сотни километров. Следует принимать во внимание, что техническое обслуживание ДВС мультироторного беспилотника и управление таким типом БПЛА выдвигают максимальные квалификационные требования к операторам.

*Автоматизация работы с материалами аэрофотосъемки: фотограмметрической обработки, векторизации, расчета численности объектов учета*

Ускорение беспилотного учета, в том числе посредством автоматизации обработки отснятых материалов, является основой повышения его эффективности. На рис. 4 представлены различные подходы к ускорению обработки материалов беспилотной аэрофотосъемки. Условно их можно разделить на 5 вариантов, основываясь на логике реализации: увеличение технологичности работ, привлечение дополнительных ресур-

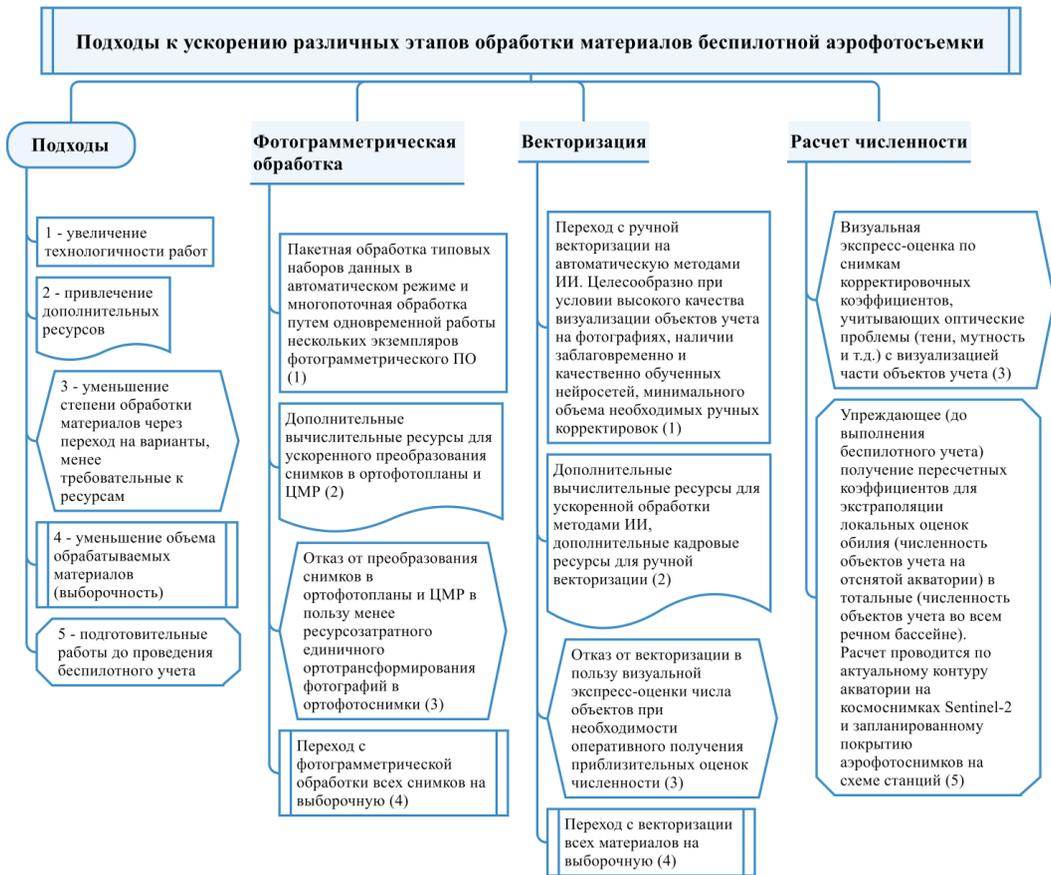


Рис. 4. Варианты реализации ускорения различных этапов обработки материалов беспилотной аэрофотосъемки

Fig. 4. Alternatives for accelerating certain stages of the unmanned aerial photography materials processing

сов и т.д. Реализация варианта зависит от этапа его применения: фотограмметрическая обработка, векторизация, расчет численности.

Первый подход (увеличение технологичности работ) наиболее перспективен, так как нацелен на автоматизацию посредством активно развивающегося в последние годы ПО для фотограмметрии и векторизации методами ИИ с минимальным объемом ручного труда. Наиболее привлекательно в таком подходе то, что он не требует привлечения существенных дополнительных кадровых ресурсов, а также имеется потенциал (при высоком качестве материалов аэрофотосъемки) повышения качества и темпов учета.

Второй подход (привлечение дополнительных ресурсов) позволяет ускорить работы посредством использования повышенных вычислительных и кадровых ресурсов, что не так привлекательно ввиду увеличения затрат. Автоматический подсчет методами ИИ при всей своей перспективности требует дополнительных вычислительных ресурсов вследствие повышенных требований ПО для таких задач в сравнении с настольными ГИС, применяемыми для ручной оцифровки.

Третий подход (уменьшение степени обработки материалов) предлагает компромисс между скоростью учета и его точностью. Это может быть целесообразно, когда оперативность в приоритете над качеством, например при сопровождении путины. Существенное ускорение подсчета объектов учета на материалах аэрофотосъемки возможно посредством замены векторизации (как ручной, так и посредством ИИ) на визуальную (на глаз) экспресс-оценку в настольной ГИС количества объектов учета

на ортофотоснимках, полученных посредством ортотрансформирования фотоматериалов, занимающего существенно меньше времени по сравнению со стандартной фотограмметрической обработкой. Подобная визуальная экспресс-оценка является приемлемым предварительным способом учета, имитирующим аэровизуальный учет с пилотируемых летательных аппаратов [Свиридов и др., 2022a].

Четвертый подход (выборочность при обработке материалов) также является компромиссом между темпами учета и его точностью. Как уже указывалось выше, беспилотный учет из-за технических ограничений носит выборочный характер. Расчет численности объектов учета в речном бассейне производится пересчетом их количества на фотоснимках с помощью экстраполяционного коэффициента, представляющего собой соотношение между площадью отснятой акватории и областью распределения в реке, и анализа нерестового фонда. Поэтому при повышенной потребности в оперативном получении предварительных оценок численности возможно подвергать фотограмметрической обработке и подсчету объектов лишь часть собранных материалов аэрофотосъемки.

Пятый вариант (подготовительные работы до проведения беспилотных сборов информации) реализует упреждающий подход к экономии рабочего времени в период учета. Актуальные космоснимки Sentinel-2 в сочетании с геометрией учетных станций можно до начала экспедиционных работ использовать для измерения как площади области учета, так и площади акватории, планируемой к охвату аэрофотоснимками. Заблаговременный расчет соотношения между данными площадями даст экстраполяционные коэффициенты. Однако для расчета численности потребуются корректировка этих экстраполяционных коэффициентов путем введения поправок, основанных на качестве визуализации объектов учета на отснятых материалах: в ходе съемки неизбежны проблемы с подсчетом объектов на части отснятой акватории по причине блокирования береговой растительностью, недостаточной прозрачности и других проблем.

### **Заключение**

Результаты беспилотного учета тихоокеанских лососей, проведенного в реках Охотского района, свидетельствуют о возможности использования оценок плотностей бугров на контрольных участках в качестве индексов обилия для целей информационного обеспечения задач прогнозирования. Для обеспечения качественных межгодовых сравнений и объективности беспилотного учета его нужно проводить с минимальным отклонением от планируемых сроков аэрофотосъемки и полной отработкой геометрии контрольного участка. Вынужденные, в том числе в связи с неблагоприятной метеобстановкой, сдвиги сроков беспилотной съемки, а также неполное пространственное покрытие съемкой целевых контрольных участков снижают точность получаемых оценок и по возможности должны минимизироваться.

Дальнейшую автоматизацию беспилотного учета необходимо развивать, отталкиваясь от специфики решаемых задач, его этапности. Снижение объема неавтоматизированных работ на каждом этапе беспилотного учета, замена их на автоматически выполняемые имеют ключевое значение для повышения его эффективности и оперативности. Адекватная автоматизация должна основываться на совместимости подходов к ее реализации между разными этапами беспилотного учета, на обеспечении их стыкуемости и взаимной сбалансированности. Например, стремление обеспечить более высокое качество снимка на этапе аэрофотосъемки за счет применения высококачественных, но и более тяжелых, а потому сокращающих полетное время беспилотника камер, должна быть сбалансирована с пространственным охватом схемы станций, имеющимися вычислительными мощностями для обработки снимков и сроками отчетности.

При учете таких сложных по ряду признаков (малые размеры, слабая освещенность ввиду поглощения водой, неравномерное распределение на обширных площадях и т.д.) объектов, как лососи, и одновременной потребности в автоматизации подсчета

методами ИИ крайне важно делать акцент не на объеме собираемых материалов, а на их пространственной репрезентативности и качестве снимков. Поэтому в приоритете должно быть не получение максимального количества фотографий, а адекватное выборочное покрытие ими площадей распределения целевых объектов, основанное на сведениях о нерестовом фонде, обеспечение приемлемости качества снимков для обработки методами ИИ, соответствие объема сборов техническим мощностям, кадровым ресурсам и срокам отчетности. Автоматизация беспилотного учета тихоокеанских лососей является не только способом ускорения и удешевления данных работ, но и послужит повышению их качества за счет стандартизации выполнения съемок.

### **Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)**

Авторы благодарят сотрудников Хабаровского филиала ВНИРО за участие в сборе материалов.

The authors are grateful to their colleagues from Khabarovsk branch of VNIRO who joined to collection of materials for the study.

### **Финансирование работы (FUNDING)**

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

The study was conducted on budget funding.

### **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 claim that they have no conflict of interests.

### **Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)**

Д.В. Коцюк — планирование работ, анализ результатов, написание статьи; В.В. Свиридов — сбор и обработка данных, анализ результатов, написание статьи; А.Ю. Поваров — сбор и обработка данных, анализ результатов, написание статьи.

D.V. Kotsyuk — surveys planning, results analysis, text writing; V.V. Sviridov — data collection and processing, results analysis, text writing; A.Yu. Povarov — data collection and processing, results analysis, text writing.

### **Список литературы**

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 185. — С. 134–151. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В. Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2017. — Вып. 47. — С. 77–90. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.47.77-90.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В., Фельдман М.Г. Оценка численности производителей нерки и их распределение по нерестовым станциям в бассейне Начикинского озера (Камчатка) в 2019 г. // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 618–634. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634.

Свиридов В.В., Золотухин С.Ф. Методы ГИС для инвентаризации нерестилищ тихоокеанских лососей р. Амур // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 730–746. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746.

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожник Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022а. — 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. ТИПРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 4. — С. 1015–1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

**Шевляков Е.А., Маслов А.В.** Реки, определяющие воспроизводство тихоокеанских лососей на Камчатке, как реперы для оценки заполнения нерестового фонда // Изв. ТИПРО. — 2011. — Т. 164. — С. 114–139.

**Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Островский В.И. и др.** Ориентиры и оперативная оценка пропуска производителей на нерестилища как инструменты перспективного и краткосрочного управления запасами тихоокеанских лососей в реках Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна // Изв. ТИПРО. — 2019. — Т. 196. — С. 23–62. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-23-62.

**Шевляков Е.А., Шубкин С.В.** Современный опыт обследования нерестилищ тихоокеанских лососей в водоемах Чукотки // Изв. ТИПРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 270–291. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291.

**Шунтов В.П., Волвенко И.В.** Сравнительный анализ обилия макрофауны пелагиали и бентали в дальневосточных морях и сопредельных водах Тихого океана // Вопр. рыб-ва. — 2016. — Т. 17, № 2. — С. 133–147.

**Auerbach D.S., Fremier A.K.** Identification of salmon redds using RPV-based imagery produces comparable estimates to ground counts with high inter-observer variability // River Res. Appl. — 2023. — Vol. 39. — P. 35–45. DOI: 10.1002/rra.4065.

**Ballard T., Krueger W.** Cattle and Salmon I: Cattle Distribution and Behavior in a Northeastern Oregon Riparian Ecosystem // Rangel. Ecol. Manag. — 2005. — Vol. 58, № 3. — P. 267–273. DOI: 10.2111/1551-5028(2005)58[267:CASICD]2.0.CO;2.

**Dauble D.D., Watson D.G.** Status of fall Chinook salmon populations in the mid-Columbia River, 1948–1992 // N. Am. J. Fish. Manag. — 1997. — Vol. 17. — P. 283–300. DOI: 10.1577/1548-8675(1997)017<0283:SOFCSF>2.3.CO;2.

**Gallagher S.P., Gallagher C.M.** Discrimination of Chinook Salmon, Coho Salmon, and Steelhead Redds and Evaluation of the Use of Redd Data for Estimating Escapement in Several Unregulated Streams in Northern California // N. Am. J. Fish. Manag. — 2005. — Vol. 25. — P. 284–300. DOI: 10.1577/M04-016.1.

**Irvine J.R., Bocking R.C., English K.K., Labella M.** Estimating coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) spawning escapements by conducting visual surveys in areas selected using stratified random and stratified index sampling designs // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1992. — Vol. 49, № 10. — P. 1972–1981. DOI: 10.1139/f92-219.

**Isaak D.J., Thurow F.R., Rieman B.E., Dunham J.B.** Temporal variation in synchrony among Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) redd counts from a wilderness area in central Idaho // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2003. — Vol. 60(7). — P. 840–848. DOI: 10.1139/f03-073.

**Johnson D.H., Shrier B.M., O'Neal J.S. et al.** Salmonid Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations. — Bethesda : American Fisheries Society, 2007. — 478 p. DOI: 10.47886/9781888569926.

**Kazakov S.A., Stoianova D.S., Nikolova Y.S., Pehlivanov L.Z.** Spawning of Stocked Brown Trout *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 (Actinopterygii: Salmonidae) in Tailwater Section, Downstream Ogosta Reservoir, Bulgaria // Acta Zool. Bulg. — 2022. — Vol. 74, № 1. — P. 111–118.

**Maxell B.A.** A power analysis on the monitoring of bull trout stocks using redd counts // N. Am. J. Fish. Manag. — 1999. — Vol. 19. — P. 860–866.

**McKenna B., Parkyn D., Lecours V. et al.** Drones: a new technique for monitoring salmon spawning escapements // Newsletter of the Alaska Chapter, American Fisheries Society. — 2019. — Vol. 39, № 4. — P. 1–6.

**Neilson J.D., Geen G.H.** Enumeration of spawning salmon from spawner residence time and aerial counts // Trans. Am. Fish. Soc. — 1981. — Vol. 110, Iss. 4. — P. 554–556. DOI: 10.1577/1548-8659(1981)110<554:EOSSFS>2.0.CO;2.

**Nugent J.J., Lindsey C.T.** Hanford Reach Fall Chinook Redd Monitoring Report for Calendar Year 2018. — Richland : Mission Support Alliance, 2020. — 29 p.

**Raoult V., Colefax A.P., Allan B.M. et al.** Operational Protocols for the Use of Drones in Marine Animal Research // Drones. — 2020. — Vol. 4, Iss. 4. — P. 1–35. DOI: 10.3390/drones4040064.

## References

- Dulenin, A.A., Dulenina, P.A., Kotsyuk, D.V., and Sviridov, V.V.**, Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol.185, pp. 134–151. doi 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151
- Zaporozhets, O. M. and Zaporozhets, G.V.**, Using the photo- and video records for assessment of pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some of methodical approaches, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2017, no. 47, pp. 77–90. doi 10.15853/2072-8212.2017.47.77-90
- Zaporozhets, O.M., Zaporozhets, G.V., and Feldman, M.G.**, Estimation of the number of sockeye salmon adults and their distribution by spawning stations in the basin of Lake Nachikinskoye (Kamchatka) in 2019, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 618–634. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634
- Sviridov, V.V. and Zolotukhin, S.F.**, Gis methods for inventory of pacific salmons spawning grounds in the Amur River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 730–746. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746
- Sviridov, V.V., Kotsyuk, D.V., and Podorozhnyuk, E.V.**, Photogrammetric counts of pacific salmon by means of unmanned aerial vehicles of consumer grade, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 429–449. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449. EDN: CNQHAF
- Sviridov, V.V., Podorozhnyuk, E.V., Nikitin, V.D., and Skorik, A.V.**, Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmons in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1015–1031. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.
- Shevlyakov, E.A. and Maslov, A.V.**, The rivers determining reproduction of pacific salmons in Kamchatka as indicators of spawning grounds filling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 164, pp. 114–139.
- Shevlyakov, E.A., Feldman, M.G., Ostrovsky, V.I., Volobuev, V.V., Kaev, A.M., Golub, E.V., Barabanshchikov, E.I., Golovanov, I.S.**, Limits and operational evaluation of the spawners escapement to the spawning grounds as tools for prospective and short-term management of the pacific salmon stocks in the rivers of the Far-Eastern fisheries Basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 23–62, doi 10.26428/1606-9919-2019-196-23-62
- Shevlyakov, E.A. and Shubkin, S.V.**, Recent experience of surveying the spawning grounds of pacific salmons in the water bodies of Chukotka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 2, pp. 270–291. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291
- Shuntov, V.P. and Volvenko, I.V.**, Comparative analysis of the abundance of benthic and pelagic macrofauna in the Far East seas and adjacent waters of the Pacific Ocean, *Vopr. Rybolov.*, 2016, vol. 17, no. 2; pp. 133–147.
- Auerbach, D.S. and Fremier, A.K.**, Identification of salmon redds using RPV-based imagery produces comparable estimates to ground counts with high inter-observer variability, *River Res. Appl.*, 2023, vol. 39, pp. 35–45. doi 10.1002/rra.4065
- Ballard, T. and Krueger, W.**, Cattle And Salmon I: Cattle Distribution and Behavior in a Northeastern Oregon Riparian Ecosystem, *Rangel. Ecol. Manag.*, 2005, vol. 58, no. 3, pp. 267–273. doi 10.2111/1551-5028(2005)58[267:CASICD]2.0.CO;2
- Dauble, D.D. and Watson, D.G.**, Status of fall Chinook salmon populations in the mid-Columbia River, 1948–1992, *N. Am. J. Fish. Manag.*, 1997, vol. 17, pp. 283–300. doi 10.1577/1548-8675(1997)017<0283:SOFCSP>2.3.CO;2
- Gallagher, S.P. and Gallagher, C.M.**, Discrimination of Chinook Salmon, Coho Salmon, and Steelhead Redds and Evaluation of the Use of Redd Data for Estimating Escapement in Several Unregulated Streams in Northern California, *N. Am. J. Fish. Manag.*, 2005, vol. 25, pp. 284–300. doi 10.1577/M04-016.1
- Irvine, J.R., Bocking, R.C., English, K.K., and Labella, M.**, Estimating coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) spawning escapements by conducting visual surveys in areas selected using stratified random and stratified index sampling designs, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, vol. 49, no. 10, pp. 1972–1981. doi 10.1139/f92-219
- Isaak, D.J., Thurow, F.R., Rieman, B.E., and Dunham, J.B.**, Temporal variation in synchrony among Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) redd counts from a wilderness area in central Idaho, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2003, vol. 60(7), pp. 840–848. doi 10.1139/f03-073

**Johnson, D.H., Shrier, B.M., O'Neal, J.S., Knutzen, J.A., Augerot, X., O'Neal, T.A., and Pearsons, T.N.**, *Salmonid Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*, Bethesda: American Fisheries Society, 2007. doi 10.47886/9781888569926.

**Kazakov, S.A., Stoianova, D.S., Nikolova, Y.S., and Pehlivanov, L.Z.**, Spawning of Stocked Brown Trout *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 (Actinopterygii: Salmonidae) in Tailwater Section, Downstream Ogosta Reservoir, Bulgaria, *Acta Zool. Bulg.*, 2022, vol. 74, no. 1, pp. 111–118.

**Maxell, B.A.**, A power analysis on the monitoring of bull trout stocks using redd counts, *N. Am. J. Fish. Manag.*, 1999, vol. 19, pp. 860–866.

**McKenna, B., Parkyn, D., Lecours, V., Stark, C., and Lepping, B.**, Drones: a new technique for monitoring salmon spawning escapements, *Newsletter of the Alaska Chapter, American Fisheries Society*, 2019, vol. 39, no. 4, pp. 1–6.

**Neilson, J.D. and Geen, G.H.**, Enumeration of spawning salmon from spawner residence time and aerial counts, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1981, vol. 110, no. 4, pp. 554–556. doi 10.1577/1548-8659(1981)110<554:EOSSFS>2.0.CO;2

**Nugent, J.J. and Lindsey, C.T.**, Hanford Reach Fall Chinook Redd Monitoring Report for Calendar Year 2018, Richland: Mission Support Alliance, 2020.

**Raoult, V., Colefax, A.P., Allan, B.M., Cagnazzi, D., Castelblanco-Martínez, N., Ierodiakonou, D., Johnston, D.W., Landeo-Yauri, S., Lyons, M., Pirota, V., Schofield, G., and Butcher, P.A.**, Operational Protocols for the Use of Drones in Marine Animal Research, *Drones*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 1–35. doi 10.3390/drones4040064

*Поступила в редакцию 3.06.2024 г.*

*После доработки 10.07.2024 г.*

*Принята к публикации 13.09.2024 г.*

*The article was submitted 3.06.2024; approved after reviewing 10.07.2024; accepted for publication 13.09.2024*