

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 639.211:629.735
EDN ZDODCP

DOI: 10.36038/0234-2774-2025-26-4-85-102

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ЦЕЛЯХ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ
ЗАПАСАМИ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ

© 2025 г. Д.В. Коцюк (spin: 7469-1108), В.В. Свиридов (spin: 6871-3547),
А.Ю. Поваров (spin: 3507-9374)

Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Россия, Хабаровск, 680038
E-mail: kotsyuk@habarovsk.vniro.ru

Поступила в редакцию 5.10.2025 г.

Оценки пропуска производителей тихоокеанских лососей в нерестовые водоёмы являются главным элементом в оперативном регулировании лососевой птицы и управлении запасами этих видов. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для учёта пропуска производителей в реки Дальнего Востока, начавшееся в середине 2010-х гг., показывает перспективность этого метода и набирает всё большие обороты. На примере Хабаровского края для моделей беспилотников потребительского класса разработаны подходы к учёту с применением разнообразных информационных технологий: ИИ (искусственного интеллекта), фотограмметрии и ГИС (геоинформационных систем). Продолжающееся с 2024 г. в рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы» оснащение дальневосточных филиалов ВНИРО парком БПЛА промышленного класса и вычислительным оборудованием для работы с материалами беспилотного учёта открывает возможности для масштабирования, существенного укрупнения охвата беспилотного учёта. Открывающиеся возможности создают вызовы для адекватной организации работ, применения оборудования и стратегического развития. Ввиду отсутствия в мировой практике крупномасштабных проектов по беспилотному учёту проходных видов рыб посредством БПЛА промышленного класса, данные работы дальневосточных филиалов ВНИРО являются по сути новаторскими и потому требующими глубокой методической проработки для адекватной реализации. Настоящая работа отчасти закрывает данный пробел, описывая текущий статус беспилотного учёта тихоокеанских лососей в дальневосточных филиалах и представляя дорожную карту по его развитию с учётом обновленного парка оборудования и планов по масштабированию. Предлагается двухэтапное развитие проекта: первая фаза предусматривает оптимизацию текущих составляющих внедренного технологического конвейера, вторая – интеграцию дополнительных элементов и включение смежных направлений беспилотного мониторинга. Показано, что полная реализация потенциала беспилотного учёта лососей для рационального управления запасами тихоокеанских лососей достижима лишь в случае его комплексного применения с дополняющими информационными технологиями: подготовительная и фотограмметрическая обработка изображений, детектирование объектов учёта разработанными искусственными нейросетями, геоинформационные методы планирования учёта и анализа его результатов, системы поддержки принятия решений (СППР) для удалённого распределённого иерархического доступа экспертного сообщества к аналитике материалов учёта с целью рыбохозяйственного регулирования.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, БПЛА, информационные технологии, фотограмметрия, искусственный интеллект, ГИС, СППР.

ВВЕДЕНИЕ

Получение количественных оценок величины захода производителей тихоокеанс-

ких лососей в нерестовые реки имеет ключевое значение для оперативного регулирования промысловой нагрузки и прогнозиро-

вания запасов. Обширность акваторий рек, по которым рассредотачиваются производители в ходе нерестовой миграции, а также всё возрастающая стоимость лётного часа пилотируемых авиасредств, создают значительные материальные сложности для основного инструментального способа оценки пропуска данных видов – аэровизуального (Шевляков, Маслов, 2011).

Перспективность применения беспилотной аэрофотосъёмки для эффективной оценки численности и распределения различных видов ВБР убедительно продемонстрирована в ряде работ (Harris et al., 2019; Raoult et al., 2020; Бизиков и др., 2021; Дуленин и др., 2021; Дуленин, Свиридов, 2022; Дуленин и др., 2023). Повышенные экономичность беспилотного учёта и его доказательность за счёт собираемых фотоматериалов привели к нарастающему внедрению беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для учёта пропуска производителей тихоокеанских лососей в нерестовых водоёмах Дальнего Востока, начиная с середины 2010-х гг. (Запорожец, Запорожец, 2017; Фадеев и др., 2019; Запорожец и др., 2020; Свиридов и др., 2022а, 2022б, 2025; Коцюк и др., 2024; Свиридов, Поваров, 2024).

Синергетический эффект от комплексного применения беспилотных и информационных технологий для мониторинга численности различных видов животных отмечен в ряде работ (Ditria, 2022; Aliane, 2025). Принимая во внимание повышенную эффективность использования БПЛА в комбинации с различными вспомогательными информационными технологиями, для оценки пропуска производителей тихоокеанских лососей в реки Хабаровского края были разработаны методики беспилотного учёта тихоокеанских лососей с применением фотограмметрии, ИИ (искусственного интеллекта), геоинформационных систем (ГИС) и систем поддержки принятия решений (СППР) (Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022а, 2022б, 2025; Коцюк и др., 2024; Свиридов, Поваров, 2024). В этих публикациях мето-

дически обоснована реализация беспилотного учёта тихоокеанских лососей в Хабаровском крае, основанная на технологической интеграции аэрофотосъёмки беспилотниками потребительского класса, фотограмметрической обработки отснятых материалов, детектирования (выявления) объектов посредством разработанных искусственных нейронных сетей (далее – нейросетей), геоинформационного анализа и представления результатов посредством серверной веб-ГИС.

В 2024 г. беспилотный учёт тихоокеанских лососей в дальневосточных филиалах ВНИРО получил дополнительное ускорение благодаря старту национального проекта «Беспилотные авиационные системы» (БАС), направленному на создание самостоятельной отрасли экономики, связанной с производством и использованием отечественных гражданских БПЛА. В рамках его составляющей – «Стимулирование спроса на отечественные БАС», направленной на создание рынка сбыта для российских беспилотных систем – в 2024–2025 гг. в дальневосточные филиалы ВНИРО было поставлено более десятка беспилотников промышленного класса самолётного и мультироторного типа от ведущих российских производителей (Группы компаний «Геоскан» и «Беспилотные системы»), а также разнообразное сопутствующее оборудование и программное обеспечение (ПО), профинансировано обучение специалистов филиалов на курсах операторов БПЛА. Данная государственная поддержка запланирована к продолжению в ближайшие годы, что создаёт беспрецедентную материальную возможность для оснащения филиалов ВНИРО передовой беспилотной техникой промышленного класса и вспомогательным оборудованием и ПО.

БПЛА промышленного класса, поставляемые в рамках национального проекта «БАС» в филиалы ВНИРО, при правильной организации работ способны существенно увеличить масштаб и качество инструментального учёта тихоокеанских лососей и других видов ВБР. Достигается это в первую очередь за счёт

многократно увеличенного радиуса работ беспилотника от точки взлёта: до 100 км на одном энергоресурсе (в перспективе – до 500 км) благодаря существенно удлинённому времени полета (до 3 ч), тогда как применявшиеся ранее зарубежные БПЛА потребительского класса могли проводить съёмку не далее чем в 5 км от оператора ввиду ограниченного полётного времени. Эти существенно большие технические возможности поставленных БПЛА промышленного класса дают возможность перейти от учёта производителей на сравнительно небольших (несколько километров) по протяжённости контрольных участках и основанных на нём относительных (индексных) оценок к равномерному выборочному покрытию основного течения рек аэрофотосъёмкой и абсолютным оценкам пропуска. Поставленные БПЛА промышленного класса благодаря способности нести сенсоры увеличенной массы оборудованы более крупными профессиональными фотокамерами с улучшенными характеристиками, позволяющими получать качественные фотоизображения, что позволяет уверенно опознавать и подсчитывать на них объекты учёта.

Дополнительным стимулом для масштабирования, существенного укрупнения охвата беспилотным учётом является создание в 2025 г. на базе Хабаровского филиала ВНИРО «Центра коллективного пользования «Инновационные методы рыбохозяйственных исследований», укомплектованного специализированным серверным оборудованием с видеокартами промышленного класса NVIDIA A100 для разработки и эксплуатации нейросетей, а также для ускоренной фотограмметрической обработки получаемых данных.

Возможности для масштабирования, существенного укрупнения пространственного охвата беспилотным учётом, открывающиеся благодаря поставке БПЛА промышленного класса и комплектующего оборудования, требуют новой организации мониторинговых работ, разработки методов эффективного использования оборудования и стратеги-

ческого планирования дальнейшего развития проекта. Данные работы дальневосточных филиалов ВНИРО, ввиду отсутствия в мировой практике опубликованных крупномасштабных проектов по беспилотному учёту проходных видов рыб посредством БПЛА промышленного класса, по сути, являются новаторскими и потому требуют глубокой методической проработки для адекватной реализации.

Целью настоящей работы является стратегический анализ текущего статуса беспилотного учёта тихоокеанских лососей в дальневосточных филиалах и представление дорожной карты по его развитию с учётом обновленного парка оборудования и планов по масштабированию. Соответственно цели ставилась задача описать текущее состояние беспилотного учёта тихоокеанских лососей в дальневосточных филиалах ВНИРО и дать структурированный взгляд на возможные пути его поэтапного усиления и развития, фокусируясь на синergии беспилотных и информационных технологий для достижения максимальной эффективности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Развитие технологии беспилотного учёта предполагает в том числе анализ результатов собственных работ на тестируемом для внедрения оборудовании – БПЛА промышленного класса. С этой целью в 2025 г. были проведены авиационные учёты как потребительскими моделями БПЛА, так и промышленными. Работы в реках Охотского района Хабаровского края в 2025 гг. выполняли посредством БПЛА потребительского класса мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro V2.0 (рис. 1). Их проводили на основе методических подходов собственной разработки (Свиридов и др., 2022а, 2022б, 2025; Коцюк и др., 2024; Свиридов, Поваров, 2024). Для учёта лососей в реках Охотского района Хабаровского края посредством БПЛА промышленного класса самолётного типа (Геоскан 201) вышеупомянутые методиче-

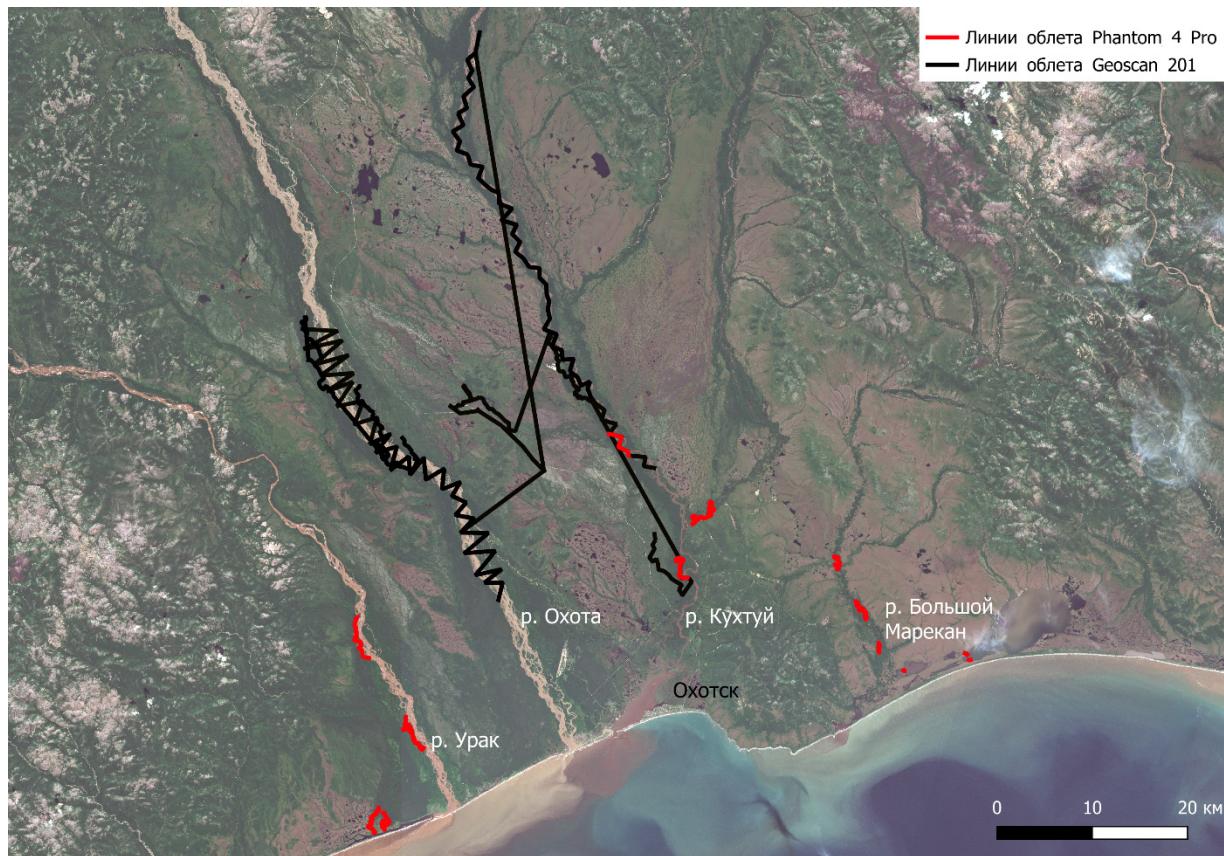


Рис. 1. Расположение участков рек Охотского района Хабаровского края, обследованных с помощью БПЛА DJI Phantom 4 Pro V2.0 и Геоскан 201 в августе-сентябре 2025 г.

ские подходы модифицировали с учётом особенностей эксплуатации и технических характеристик беспилотников данного класса. Данные модификации коснулись практически всех этапов технологической цепочки, опубликованной ранее (Свиридов и др., 2022а), опишем их.

При планировании схемы пространственного покрытия аэрофотосъёмкой перешли от компактных контрольных участков к равномерному выборочному покрытию основного течения обследуемой реки аэрофотосъёмкой. Для этого с помощью инструментов настольной ГИС ArcGIS Pro создали схему зигзагообразных трансект, пересекающих центральную линию учётного водотока с шагом 1 км. Созданный таким образом векторный линейный объект загружали в полётное ПО Геоскан 201 для выполнения аэрофотосъёмки вдоль данной линии.

Другим важным изменением стало то, что в случае применения БПЛА промышленного класса согласование полётов требуется во всех без исключения случаях. В случае применения беспилотников потребительского класса мультироторного типа для обследования компактных контрольных участков прохождение данных процедур зачастую не требовалось, так как российское законодательство не требует согласования полётов БПЛА при условии проведения в пределах прямой видимости, в светлое время суток, на высоте до 150 м, вне бесполётных зон (Постановление правительства..., 2019, 2022).

Проведение научных исследований с использованием БПЛА в Российской Федерации представляет собой задачу, лежащую на стыке нескольких областей государственного регулирования. Учёт водных биологических ресурсов с помощью аэрофотосъёмки

и последующего создания ортофотопланов затрагивает не одну, а три ключевые сферы законодательства:

1. воздушное законодательство, регулирующее порядок использования воздушного пространства и безопасность полетов;
2. законодательство о геодезии и картографии, устанавливающее требования к созданию картографических материалов, к которым относятся и ортофотопланы;
3. законодательство о государственной безопасности и обороне, контролирующее сбор пространственных данных с воздуха.

Понимание структуры этого регулирования важно для выполнения беспилотных аэрофотосъёмочных работ в соответствии с действующим отечественным законодательством. В основе всей системы лежит фундаментальный принцип, который можно охарактеризовать как «Двойной контроль». Суть его в том, что авиационные власти (Росавиация, Единая система организации воздушного движения) контролируют безопасность самого полёта – то, как выполняется полёт, не создавая при этом угрозы другим воздушным судам и объектам на земле (Памятка..., 2025). Одновременно с этим силовые ведомства контролируют процесс сбора данных – то, какую информацию собирают камеры и другие сенсоры на борту беспилотника, не получая при этом доступ к сведениям, составляющим государственную тайну (Информационно-справочный материал..., 2025).

Эти два контура контроля не являются параллельными, они выстроены в строгую иерархию. Разрешение на использование воздушного пространства для выполнения аэрофотосъёмки невозможно получить без предварительного одобрения этой съёмки со стороны силовых ведомств. Данный принцип объясняет многоэтапность и разнообразие процедур регистрации, лицензирования, согласования и других мер, необходимых для соблюдения действующего российского законодательства при проведении беспилотной аэрофотосъёмки.

Схема фотограмметрической обработки в случае применения беспилотников промышленного класса была изменена со стандартной, предусматривающей выравнивание снимков по общим связующим точкам, на упрощённую, результатом которой является фотомозаика ортофотоснимков, подвергнутых единичной ортотрансформации по параметрам внешнего ориентирования снимков. Данная фотомозаика является приблизительным аналогом ортофотоплана и, несмотря на небольшие геометрические искажения, подходит для оперативного подсчёта объектов учёта в полевых условиях. Её получение занимает существенно меньше времени и может использоваться для экспресс-обработки больших объёмов фотоматериалов, получаемых промышленными БПЛА.

Большой пространственный охват отснятых промышленными БПЛА фотоматериалов принудил изменить подход не только к их фотограмметрической обработке, но и к нейросетевой (то есть к подсчёту объектов учёта на снимках). Вместо ручной векторизации в настольной ГИС или автоматического детектирования с помощью нейросети в целях экономии времени использовалась визуальная экспресс-оценка числа объектов на полученной фотомозаике. Использование данных экспресс-подходов было связано со сжатостью сроков предоставления отчётности и дефицитом вычислительных мощностей. В процессе выполнения всех этапов беспилотного учёта фиксировались особенности выполнения работ, ключевые показатели их эффективности: безопасность полётов, отказоустойчивость техники, производительность фотосъёмки, качество визуализации объектов учёта на снимках, скорость обработки фотоматериалов, логистические и кадровые вопросы и т.д.

В качестве эмпирической базы исследования для получения общей для всего дальневосточного региона оценки по статусу, тенденциям и перспективам развития беспилотного учёта тихоокеанских лососей, помимо

анализа собственных работ по Хабаровскому краю анализировали публикации в открытой литературе специалистов дальневосточных филиалов ВНИРО, имеющиеся к настоящему времени (Запорожец, Запорожец, 2017; Фадеев и др., 2019; Запорожец и др., 2020; Свиридов и др., 2022б; Никифоров и др., 2023; Метелев и др., 2024, 2025). Также анализировались другие открытые отечественные и зарубежные публикации по применению беспилотной техники для количественной оценки обилия тихоокеанских лососей и ВБР в целом (Бизиков и др., 2021; Дуленин и др., 2021; Дуленин, Свиридов, 2022; Дуленин и др., 2023; Коцюк, Колпаков, 2024; Harris et al., 2019; Raoult et al., 2020; Ditría, 2022; Aliane, 2025). В ходе анализа данных публикаций использовались общенаучные методы (анализ, обобщение и сравнение) и качественные методы (экспертные оценки).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статус проекта

Анализ текущего состояния беспилотного учёта производителей тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке показывает, что он имеет все признаки прогрессивной системы мониторинга, активно развивающейся на переднем крае науки. Это достигается синергией комплекса инновационных методов: аэрофотосъёмка с беспилотников фотокамерами промышленного класса, фотограмметрическая и нейросетевая обработка снимков с применением специализированного серверного оборудования, ГИС для углублённого анализа результатов и СППР для организации удалённого многоролевого доступа к полученным сведениям и принятия управлеченческих решений. Процесс работы представляет собой интегрированный конвейер, где каждый этап усиливает последующий, обеспечивая переход от сбора сырых данных к принятию обоснованных управлеченческих решений.

Текущая реализация проекта соответствует современному тренду на глубокую интеграцию информационных технологий

во все этапы беспилотного учёта, отмеченному в ряде публикаций (Ditría, 2022; Aliane, 2025). Несмотря на то, что в настоящее время все дальневосточные филиалы применяют фотограмметрические и геоинформационные технологии для обработки аэрофотоснимков с БПЛА, а с 2025 г. уже начали использовать беспилотники промышленного класса, применение ими автоматизации учёта посредством нейросетей, а также представление результатов в виде веб-ГИС или СППР находятся на начальных этапах внедрения или не используются вовсе.

Соответственно, первым этапом дальнейшего развития беспилотного учёта тихоокеанских лососей в дальневосточных филиалах представляется оптимизация всех текущих элементов технологической цепочки учёта, в том числе полномасштабное применение нейросетей и СППР для достижения еще большей точности, скорости и эффективности учёта. На втором этапе, отталкиваясь от выработанной основы, целесообразно интегрировать в технологическую цепочку новые элементы, максимизирующие отдачу от беспилотного учёта. Рассмотрим последовательно эти два этапа.

Оптимизация текущих элементов технологической цепочки учёта (первый этап)

Планирование пространственного покрытия учётных работ. Адекватное выборочное покрытие беспилотной фотосъёмкой площади распределения производителей лососей важно для корректности оценок их обилия (Коцюк и др., 2024). Корректная экстраполяция выборочно отснятых материалов на весь учётный водоток требует методически правильно спланированного пространственного покрытия аэрофотосъёмкой. Также требуется учитывать как технические возможности применяемых моделей БПЛА, так и условия работ (плановые сроки отчётности, метеообстановка, наличие подходящих для взлёта и посадки мест и т.д.). С учётом многофакторности и сложности планирования схемы покрытия аэрофотосъёмкой

представляется целесообразным использование геоинформационных систем.

Настольные ГИС (например, ArcGIS Pro, NextGIS QGIS) обладают функционалом, необходимым для подобного планирования. Так в ходе организации учёта беспилотником самолётного типа Геоскан 201 по рекам Охотского района для создания схемы покрытия аэрофотосъёмкой применяли различные инструменты геообработки в ArcGIS Pro для создания зигзагообразных трансект, равномерно покрывающих обследуемую акваторию (рис. 2). Настольная ГИС позволяет создать векторный объект, описывающий пространственное покрытие учётных работ (траекторию беспилотника, проводящего фотосъёмку) с учётом требований и условий. Созданный векторный объект загружается в полётное ПО для автоматического создания полётного задания на основе импортированной геометрии.

Так как отработка участков со сложной геометрией проблематична с помощью БПЛА самолётного типа ввиду его меньшей маневренности, то на таких частях схемы покрытия аэрофотосъёмкой целесообразнее применять беспилотники мультироторного типа, обладающие повышенной маневренностью при меньшем полётом времени. Также беспилотники мультироторного типа отличаются от самолётного тем, что благодаря технической возможности проводить съёмку на малых скоростях даже в условиях существенно сниженной освещённости (плотные низкие облака и т.п.) позволяют получать снимки производителей лососей приемлемого качества.

Таким образом комбинированное применение имеющегося парка БПЛА способно повысить качество учёта согласно схемы пространственного покрытия аэрофотосъёмкой.

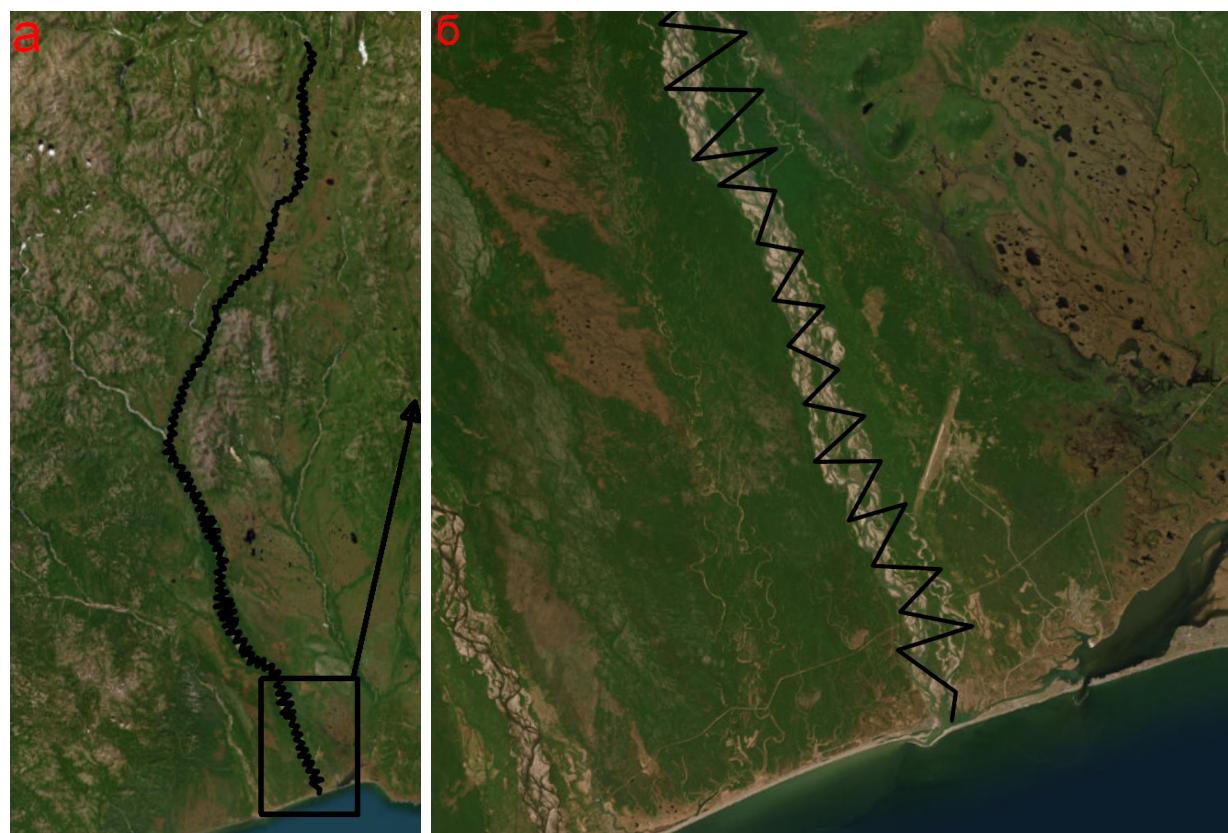


Рис. 2. Спланированная траектория фотосъёмки беспилотником Геоскан 201 основного течения р. Охота в августе-сентябре 2025 г. Справа – увеличенный участок, выделенный рамкой на рисунке слева.

Выбор фотосъёмочного оборудования. БПЛА промышленного класса самолётного типа, пополнившие парк оборудования дальневосточных филиалов ВНИРО, способны нести полезную нагрузку от 1,5 (Геоскан 201) до 2,5 кг (Supercam S350), что позволило оснастить их крупными промышленными RGB-фотокамерами с улучшенными характеристиками по сравнению с камерами на беспилотниках потребительского класса (рис. 3). Благодаря тому, что полезные нагрузки на большинстве БПЛА промышленного класса являются сменными, возможна ротация применяемых камер и других видов сенсоров, что расширяет спектр и повышает точность беспилотного учёта. В связи с этим целесообразно дооснащение имеющихся промышленных БПЛА дополнительными видами камер – мультиспектральными и тепловизионными. Эти виды сенсоров наиболее часто применя-

ются при беспилотном учёте ВБР, позволяя не только лучше детектировать целевые объекты, но собирать данные об их фоновом окружении.

При том, что дополнительные сенсоры могут расширять спектр и повышать точность, их использование имеет далеко идущие последствия для схемы реализации фотограмметрической и нейросетевой обработки на последующих этапах. Так, для фотограмметрической обработки может потребоваться применение информационных технологий с целью слияния данных для объединения материалов тепловизионной и RGB-съёмки в единый набор. Для детектирования объектов на таких наборах данных, полученных несколькими сенсорами, потребуется доработка существующих нейросетей, изначально разработанных для RGB-снимков.



Рис. 3. Работа специалистов Хабаровского филиала ВНИРО с промышленным БПЛА Геоскан 201, оснащённым фотокамерой Riebo R6 (матрица – 61 Мп). В верхнем левом углу – вид БПЛА с нижней стороны; жёлтой стрелкой указана камера.

Постобработка фотоматериалов. Очевидно, что качественная визуализация целевых объектов на отснятых фотоматериалах является основой успеха проводимого беспилотного учёта. Применение высокотехнологичной фототехники на борту БПЛА и правильная настройка её параметров не являются гарантом качественной визуализации производителей лососей на отснятых фотоматериалах. Это обусловлено сравнительно малыми размерами этих погруженных в воду объектов и простирающимися из этого разнообразными оптическими проблемами (солнечные блики, ветровая рябь, скрытие высококонтрастными тенями от береговой растительности и т.д.). Хотя данная проблема заявлена в ряде публикаций, однако методик, предлагающих конкретные процедуры постобработки фотоматериалов с целью устранения данных оптических проблем при учёте лососей, на данный момент нет (Свиридов и др., 2022а; Свиридов и др., 2025). Соответственно, требуется разработка данных методик и внедрение их на практике с целью повышения качества фотоматериалов по лососям.

Фотограмметрическая и нейросетевая обработка фотоматериалов. Информационная технология на некотором этапе технологической цепочки беспилотного учёта лососей может реализовываться посредством одного и того же ПО, но на разном вычислительном оборудовании, что оказывается на производительности работ. Например, фотограмметрическую обработку в ПО Agisoft Metashape Pro можно проводить как на настольном ПК, так и на специализированном серверном оборудовании, позволяющем добиться многократного ускорения создания ортофотопланов и ЦМР. Оснащение Хабаровского филиала ВНИРО специализированным серверным оборудованием с видеокартами промышленного класса позволяет не только применять обучаемые нейросети, но и ускорять фотограмметрическую обработку отснятых материалов. Данное высокопроизводительное серверное оборудование нацелено на обработку

больших объёмов фотоматериалов, получаемых при переходе на БПЛА промышленного класса. Использование серверного оборудования также позволяет организовать доступ к виртуализированным рабочим местам для удалённых пользователей, например из других филиалов, нуждающихся в дополнительных вычислительных ресурсах для фотограмметрической и нейросетевой обработки материалов.

Ранее было отмечено, что по мере удешевления и упрощения использования беспилотных платформ и сенсоров, именно обработка и анализ данных становятся главным ограничивающим фактором и являются самым дорогостоящим и трудоёмким элементом в беспилотном мониторинге ВБР (Harris et al., 2019). Серверная обработка является важнейшим инструментом обеспечения масштабирования и ускорения беспилотного учёта, однако её реализацию крайне затрудняет отсутствие высокоскоростного экономичного интернета в подавляющем большинстве мест проведения беспилотного учёта лососей. Это делает невозможным оперативную выгрузку материалов, отснятых в экспедиции, с целью их оперативной обработки на удалённых северных мощностях.

Ограниченностю фотограмметрической и нейросетевой обработки данных в полевых условиях на потребительских ноутбуках и невозможность выгрузки на сервер ставят под угрозу получение оперативной информации о пропуске производителей в обследованные реки. Решением является применение в экспедиционных условиях упрощённых и существенно ускоренных схем фотограмметрической и нейросетевой обработки: создание фотомозаики ортофотоснимков вместо полноценных ортофотопланов и их визуальный экспресс-анализ с целью подсчёта численности вместо детектирования объектов нейросетью (Свиридов и др., 2022; Коцюк и др., 2024). Это позволяет соблюсти оперативные сроки предоставления отчётности. Позже данные оценки про-

пуска уточняются стандартной фотограмметрической и нейросетевой обработкой с применением серверных ресурсов и могут использоваться в целях информационного обеспечения задач прогнозирования, которое не требует повышенных требований к оперативности, в отличие от информационного сопровождения путинь.

Есть основания полагать, что в среднесрочной перспективе по мере развития технологий ИИ, появления существенно улучшенных нейросетевых архитектур и кардиального наращивания обучающих библиотек удастся создать высокопроизводительные, высокоточные и одновременно сравнительно малотребовательные к вычислительному оборудованию нейросети, позволяющие даже на полевых ноутбуках проводить обработку материалов в сроки, соответствующие требованиям к оперативности по предоставлению оценок пропуска производителей в целях регулирования промысла.

Частичным решением нехватки вычислительных ресурсов в экспедиционных условиях может быть отказ от рекомендуемой в ряде работ сегментации экземпляров с помощью более точных и информативных по выдаче двухэтапных архитектур нейросетей, например Mask-RCNN (Свиридов, Поваров, 2024; Свиридов и др., 2025). Отказ в пользу простого рамочного детектирования посредством нейросетей с одноэтапной архитектурой (например Yolo, SSD), которые менее информативны по выдаче (ограничивающая рамка для детектированного объекта вместо контура) и точны (хуже работают в плотных, перекрывающихся скоплениях), но быстрее и менее требовательны к вычислительным ресурсам, а потому могут применяться для разреженных, качественно визуализированных объектов в условиях нехватки вычислительных мощностей.

Оценка общей численности и пространственного распределения. Привлечение разнообразных геоинформационных технологий (экстраполяция, картограф-

ическая визуализация и т.д.) позволяет перейти от результатов подсчёта объектов на материалах выборочной фотосъёмки к оценке общей численности производителей в обследованных водотоках и картам их пространственного распределения (Свиридов и др., 2022а). Наличие дополнительных сведений о фоновых условиях в обследованных реках позволяет проводить ГИС-анализ влияния различных факторов на численность лососей, давая дополнительные сведения о биологии этих видов.

СППР для систематизации, организации доступа и применения результатов учёта для управления запасами лососей. СППР, часто именуемая в контексте рыбохозяйственных исследований как «цифровая информационно-аналитическая платформа» (ЦИАП), для рыбохозяйственных учёных и управленицев дает неоспоримые преимущества на финальном этапе анализа результатов мониторинговых работ и принятия рыбохозяйственных решений. Однако в настоящее время реализация систем поддержки принятия решений, основанных на оперативном анализе учётных, промысловых и фоновых данных, распределённом иерархическом доступе для удалённых участников рыбохозяйственного регулирования, в российской практике отсутствует. В Хабаровском филиале ВНИРО, где разработка и внедрение технологической цепочки беспилотного учёта лососей идёт с 2020 г., внедрение СППР находится на начальном уровне и ограничено публикацией веб-карт с удалённым доступом авторизованных пользователей к пространственным и табличным сведениям беспилотного учёта лососей и других ВБР (Свиридов и др., 2022а). Прототип СППР реализован на основе серверной ГИС NextGIS Web, установленной на локальном сервере Хабаровского филиала ВНИРО. Данная СППР предоставляет удалённым авторизованным пользователям возможность визуального анализа ортофотопланов, ознакомления с результатами ИИ-детектирования, оценками численности, картами распределения ВБР и промыс-

ловыми сведениями в целях рыбохозяйственного регулирования.

К сожалению, в силу функциональных ограничений NextGIS Web данная серверная ГИС не поддерживает важнейший элемент полнофункциональной СППР – дашборды (иначе – операционные панели). Данная интерактивная визуальная панель собирает и отображает ключевые данные из разных источников на одном экране в удобном и наглядном формате, используя карты, графики, диаграммы, таблицы и другие элементы разведывательной инфографики, чтобы помочь пользователям быстро анализировать информацию, отслеживать показатели и принимать оптимальные управленические решения. Возможность построения дашбордов, а также другие инструменты обработки, анализа и представления данных для задач СППР реализованы в отечественной серверной ГИС CoGIS (ООО «Дата Ист»), которая может стать основой для построения полнофункциональных рыбохозяйственных систем поддержки принятия решений, в том числе в сфере управления запасами тихоокеанских лососей.

Так как CoGIS принадлежит к тому же семейству ПО, что и NextGIS Web (серверные ГИС), это значительно облегчит миграцию на него и освоение функционала. Немаловажно, что российские рыбохозяйственные специалисты знакомы с геоинформационными системами, что также облегчит использование СППР, построенной на базе серверной ГИС. Еще одним мотивом в пользу выбора серверной ГИС в качестве платформы для реализации рыбохозяйственной СППР является очень сильная пространственная составляющая в рыбохозяйственных исследованиях и управлении промыслом. Платформы для построения систем бизнес-аналитики (например, Yandex DataLens, Microsoft Power BI и другие) тоже могут использоваться для разработки СППР, однако не обладают сильной пространственной аналитической и картографической составляющей, а потому уступают передовым серверным ГИС в перспективности разра-

ботки систем поддержки принятия решений. По этой причине серверные ГИС существенно чаще упоминаются как среда для разработки рыбохозяйственных СППР в отечественных и зарубежных работах (McFerren et al., 2018; Коломейко, Сердобинцев, 2019; Patera et al., 2022).

Дополнительным преимуществом при использовании серверной ГИС CoGIS в качестве СППР является возможность одновременного решения с помощью данного ПО другой актуальной задачи беспилотного учёта лососей. Так на её основе посредством авторизованного удалённого доступа можно организовать взаимодействие филиалов ВНИРО для коллективной подготовки обучающих меток и ведения общего репозитория обучающих библиотек в целях более эффективной реализации беспилотного учёта лососей. Закупленное серверное оборудование Центра коллективного пользования «Инновационные методы рыбохозяйственных исследований» Хабаровского филиала ВНИРО обладает достаточными техническими характеристиками для работ с CoGIS и СППР на её основе.

Интеграция новых элементов в технологическую цепочку учёта (второй этап)

Следующий шаг в развитии беспилотного учёта лососей – интеграция новых элементов в технологическую цепочку для создания еще более комплексной и точной системы инструментального мониторинга данных видов. Для рек, мало подходящих для стандартного беспилотного учёта в силу своих особенностей (повышенная мутность, значительно блокирование вида сверху береговой растительностью и т.д.), целесообразно применение альтернативного подхода к оценке численности производителей тихоокеанских лососей – беспилотной видеосъёмки на створе русла, над контрастным фоном, обоснованной ранее для ряда небольших рек Хабаровского края и Сахалинской области (Свиридов и др., 2022б).

Для беспилотного учёта на створе также актуальна автоматизация технологиями нейросетевой обработки и включение получаемых сведений в разрабатываемую СППР. Это позволит расширить спектр учётных данных, поступающих в СППР для принятия наиболее адекватных рыбохозяйственных решений. Аналогично актуально подключение к СППР других источников информации: аэровизуального учёта с пилотируемым летательным аппаратом, гидроакустического учёта, сведений о пропуске с рыбоучётных заграждений (РУЗ) и т.д. Перспективность комбинированного применения БПЛА с другими способами учёта пропуска была продемонстрирована ранее (Фадеев и др., 2019).

Таким образом использование СППР позволит объединить в технологической цепочке не только комплекс информационных технологий, но и подключить результаты дополнительных методов учёта лососей.

Для отдельных эпизодов беспилотного учёта, когда визуализация производителей затруднена (например при групповом скоплении в ямах), целесообразным может быть применение телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) для уточнения их численности. Целесообразность совместного применения БПЛА и ТНПА для мониторинга ВБР была показана ранее (Дуленин, Свиридов, 2022; Дуленин и др., 2023).

Другим направлением интеграции новых элементов в беспилотный учёт лососей может быть диверсификация объектов наблюдения. Беспилотный учёт пропуска лососей в реки в пространственно-временном аспекте зачастую близок к другим объектам или процессам, мониторинг которых важен для управления запасами данных видов. Соответственно, при наличии окна возможностей возможно проведение параллельного беспилотного мониторинга по ряду направлений: мониторинг работы орудий лова (заполнение ставных неводов, комплиментарность работы орудиями лова правилам рыболовства, вводимым промысловым ограничениям, соблюдение

режима проходных дней и т.д.), оценка ННН-промысла, исследование фоновых условий для оценки выживаемости (численность морских млекопитающих на путях миграций производителей, заморные явления, замывание устьев, маловодность и т.д.).

Ранее отмечалось, что создание базы данных на основе ГИС-технологий, базирующейся на различных сборах по тихоокеанским лососям, включая полученные посредством БПЛА, гидроакустических комплексов, ИИ и ГИС, важно для углубления представлений о биологии данных видов и улучшения управления их запасами (Коцюк, Колпаков, 2024). СППР, как вариант реализации серверной ГИС, в части своего информационного наполнения может стать такой базой лососевых и сопутствующих данных, репозиторием сборов дальневосточных филиалов. Это позволит как унифицировать методические подходы филиалов по сбору, обработке и представлению лососевых материалов, так и обеспечить сохранность этих сведений, на настоящий момент зачастую рассредоточенных по ПК специалистов с вытекающими рисками потери данных.

Организационные аспекты развития беспилотного мониторинга лососей

Организация крупномасштабного беспилотного учёта неизбежно сопряжена с разнообразными организационными аспектами его реализации и развития, что делает уместным рассмотрение данного вопроса в рамках настоящей работы.

Минимизация квалификационной нагрузки и порога вхождения для исполнителей является ключевым организационным составляющим успеха беспилотного учёта. Кадры являются важнейшим элементом сложных крупномасштабных технических проектов, использующих разнообразные информационные технологии, каким и является беспилотный учёт лососей техникой промышленного класса. Сложность беспилотного учёта для рядовых исполнителей проекта усугубляется тем, что они в подавляющем большин-

стве имеют не техническое, а биологическое образование в силу специфики кадрового состава филиалов ВНИРО. Поэтому должны предприниматься все усилия для облегчения применения исполнителями беспилотного оборудования и сопутствующих информационных технологий. ПО для реализации применяемых информационных технологий должно иметь интуитивно понятный и русифицированный интерфейс, качественную справочную документацию, оперативную техподдержку от разработчика. В идеале минимизирование объёма ручных операций в ПО посредством встроенных средств автоматизации (автоматизирующие скрипты, задания для пакетной обработки и т.д.) для снижения нагрузки на исполнителей.

Разделение на группу полевых работ и группу камеральной обработки при наличии достаточного количества кадров является выраженным трендом в российских организациях, предоставляющих услуги беспилотного мониторинга и съёмки. Это позволяет полевой группе сосредоточиться на применении беспилотной и съёмочной техники, а камеральным работникам – использовании разнообразных информационных технологий для обработки, анализа и представления собранных беспилотных материалов. Информационные технологии применяются и полевой группой, но в значительно меньшем объёме: для создания и выполнения полётных заданий, а также для предварительной фотограмметической обработки с целью контроля качества собранных материалов. Однако разделение исполнителей на эти две группы, позволяет существенно разгрузить полевую группу, на которую ложится наибольшая нагрузка.

Следующим шагом может стать кооперация между филиалами при выполнении отдельных этапов технологической цепочки. Если в отдельных филиалах возникают кадровые или технические сложности с реализацией определённых этапов обработки и анализа материалов беспилотной съёмки, то они могут быть делегированы представи-

телям другого подразделения, при наличии в нём соответствующих кадровых и вычислительных ресурсов. Такая схема регионального разделения обязанностей часто практикуется в крупных организациях, предлагающих услуги беспилотной съёмки по территории всей России. В их головном подразделении работают координаторы проекта и камеральная группа (фотограмметристы, специалисты по ИИ и ГИС), обрабатывающая присылаемые сборы региональных филиалов, представленных преимущественно полевыми работниками (операторами БПЛА). Это позволяет преодолеть отсутствие узкопрофильных ИТ-специалистов в регионах и повысить производительность.

Целесообразно адаптированное заимствование и других лучших практик российских провайдеров услуг беспилотного мониторинга и съёмки. Полезным может быть налаживание взаимовыгодных партнёрских отношений с ними через привлечение в качестве соисполнителей в беспилотном учёте ВНИРО, стажировки специалистов в полевых и камеральных группах этих организаций, технические консультации и т.д.

Важной составляющей эффективности беспилотного учёта является безопасность и безаварийность выполняемой фотосъёмки. Стоимость укомплектованного БПЛА промышленного класса исчисляется миллионами рублей, что выдвигает повышенные требования к обеспечению его сохранности. Одна из серьёзных проблем, с которой зачастую сталкивается беспилотный учёт – атаки хищных птиц, которые в случае попадания БПЛА в водоток могут привести к его полной утрате. Специалисты Хабаровского филиала ВНИРО столкнулись с подобной проблемой при учёте пропуска лососей в Охотском районе: в результате атаки хищной птицы (предположительно белоплечий орлан, многочисленный в этом районе в летне-осенний период) в ходе выполнения фотосъёмки был повреждён Геоскан 201 с аварийным приземлением на берег водотока (рис. 4).



Рис. 4. Место аварийного приземления Геоскан 201. Стрелкой обозначена разрушенная лопасть винта.

Решением может стать применение длиннофокусного объектива, позволяющего вести съёмку с повышенной высоты (например, с 300 м вместо текущих 140), на которой присутствие хищных птиц и происходящие в связи с этим риски существенно меньше. К сожалению, на данный момент это не реализуемо ввиду технических ограничений текущего парка БПЛА дальневосточных филиалов: установка длиннофокусных объективов на беспилотники самолётного типа крайне непрактична. Возможным решением может стать дооснащение моделями БПЛА с вертикальным взлётом и посадкой (VTOL), способными работать фотокамерами, оснащёнными длиннофокусными объективами.

Обеспечение адекватной связи с беспилотником важно для обеспечения его безопасности. В типичных условиях при учёте лососей, проводящемся в местах с крайне малой антропогенной инфраструктурой, единственными технологиями связи с беспилотником являются спутниковые или по-

радиоканалу. Наземное приёмо-передающее устройство в комплектации Геоскан 201 обеспечивает стабильную передачу Full HD-видео на расстоянии до 60 км, телеметрии – до 80 км при условии прямой видимости. При учёте лососей в Охотском районе в 2025 г. радиосвязь с Геоскан 201 была в радиусе до 20 км, при том, что БПЛА удалялся до 60 км от оператора, что приводило к обрыву связи на значительное время. В связи с этим, а также с атакой хищных птиц, представляется крайне важным оснащение всех применяемых экземпляров промышленных БПЛА бортовыми навигационными спутниковыми трекерами, а экспедиционной группы системами спутниковой сотовой связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Масштабирование беспилотного учёта лососей – это не просто вопрос приобретения более производительной беспилотной и вычислительной техники, а комплексная методологическая и организационная

проблема. Анализ, проведённый в настоящей работе, показывает, что полная реализация потенциала беспилотного учёта тихоокеанских лососей для рационального управления их запасами достижима лишь в случае его комплексного применения с дополняющими информационными технологиями. Комплексное применение и аддитивный эффект от синергии различных беспилотных и информационных технологий – ключ к дальнейшему продвижению данного проекта. При том, что информационные технологии позволяют достичь аддитивного эффекта при комплексном применении с беспилотными, это возможно только в случае приемлемого качества материалов, собираемых БПЛА.

Даже в пределах одного этапа технологической цепочки беспилотного учёта применение информационных технологий является многовариантным и ситуативным, зависит от технических возможностей и обстановки. Так возможны существенно различающиеся варианты реализации обработки отснятых материалов в зависимости от наличия или отсутствия доступа к серверным вычислительным мощностям. Данная многовариантность реализации информационных технологий делает беспилотный учёт более гибким и адаптируемым к условиям его проведения.

ЦКП «Инновационные методы рыболовства и рыбоводства» имеет потенциал стать эффективной платформой консолидации методических и мониторинговых усилий филиалов по беспилотному учёту лососей как с технической точки зрения (коллективное использование серверных ресурсов), так и с организационной (привлечение экспертных компетенций другого филиала, разделение функций по реализации учёта). Создание ЦКП демонстрирует понимание важности вложений в собственный парк беспилотного оборудования и вычислительную инфраструктуру как более адекватное решение для реализации долговремен-

ных технических проектов, нежели привлечение сторонних исполнителей. Разрабатываемый подход к комплексному применению беспилотных и информационных технологий в целях учёта лососей может стать основой для аналогичных работ по другим видам ВБР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бизиков В.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И., и др. Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыбохозяйственном бассейне. М.: Изд-во ВНИРО, 2021. 56 с.

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.

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Свиридов В.В. Сравнение двух разных методов расчёта популяционной плодовитости охотской сельди по результатам стандартной икорной съёмки // Изв. ТИНРО. 2023. Т. 203. Вып. 1. С. 234–248.

Дуленин А.А., Свиридов В.В. Отработка инструментальных методов учёта площади нерестилищ сельди в Охотском море // Вопр. рыболовства. 2022. Т. 23. № 2. С. 216–231.

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. Т. 47. С. 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.

Информационно-справочный материал о порядке учёта, эксплуатации и выполнения полётов с использованием беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлётной массой 30 кг и менее. Режим доступа: <https://favt.gov.ru/public/materials//5/2/e/f/5/52ef54e031ae53ec691642bf8683e5bb.docx>. (дата обращения: 20.10.2025).

Коломейко Ф.В., Сердобинцев С.П. Системы поддержки принятия решений в исследованиях и промысле водных биоресурсов // Известия КГТУ. 2019. № 54. С. 51–60.

Коцюк Д.В., Колпаков Н.В. К истории исследований тихоокеанских лососей в хабаровском филиале ВНИРО // Вопр. рыболовства. 2024. Т. 25. № 4. С. 7–24.

Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Опыт реализации и способы дальнейшей автоматизации беспилотного учёта тихоокеанских лососей в Охотском районе Хабаровского края // Изв. ТИНРО. 2024. Т. 204. Вып. 3. С. 705–721.

Метелёв Е.А., Хованская Л.Л., Смирнов А.А. и др. Новые подходы в организации промышленного лова тихоокеанских лососей в Магаданской области в 2022–2023 годах // Рыбн. хозяйство. 2024. № 1. С. 55–63.

*Метелёв Е.А., Смирнов А.А., Панфилов А.М. и др. Использование малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при учёте нерестилищ тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* в Ольской лагуне Тауйской губы Охотского моря // Рыбн. хозяйство. 2025. № 1. С. 51–54.*

*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. 2023. С. 115–121.*

Памятка по использованию воздушного пространства внешними пилотами беспилотных воздушных судов – Ространснадзор. Режим доступа: <https://rostransnadzor.gov.ru/news/16701>. (дата обращения: 20.10.2025).

Постановление Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 г. № 658 «Об утверждении Правил учёта беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлётной массой от 0,25 кг до 30 кг, ввезённых в Российскую Федерацию или произведённых в Российской Федерации».

Постановление Правительства Российской Федерации от 19.03.2022 г. № 415 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 25 мая 2019 г. № 658». 1 с.

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.

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. Беспилотный фотограмметрический учёт тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. 2022а. Т. 202. Вып. 2. С. 429–449.

Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Применение методов искусственного интеллекта для автоматизации беспилотного учёта отнерестившихся особей кеты в Хабаровском крае // Вопр. рыболовства. 2024. Т. 25. № 4. С. 113–124.

Свиридов В.В., Поваров А.Ю., Коцюк Д.В. Автоматизация беспилотного учёта производителей кеты и кижучка методами искусственного интеллекта // Изв. ТИНРО. 2025. Т. 205. Вып. 3. С. 518–534.

Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учёта производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Изв. ТИНРО. 2022б. Т. 202. Вып. 4. С. 1015–1031.

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Фельдман М.Г. Комплексный мониторинг пропуска производителей тихоокеанских лососей р. Камчатка в режиме реального времени // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 197. С. 3–20.

Шевляков Е.А., Маслов А.В. Реки, определяющие воспроизводство тихоокеанских лососей на Камчатке, как реперы для оценки заполнения

нерестового фонда // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 164.
С. 114–139.

Aliane N. Drones and AI-Driven Solutions for Wildlife Monitoring // Drones. 2025. V. 9. № 7. 23 p.

Ditria E.M., Buelow C.A., Gonzalez-Rivero M., Connolly R.M. Artificial intelligence and automated monitoring for assisting conservation of marine ecosystems: A perspective // Frontiers in Marine Science. 2022. V. 9. 14 p.

Harris J.M., Nelson J.A., Rieucau G., Broussard III W. P. Use of drones in fishery science // Transactions of the American Fisheries Society. 2019. V. 148. № 4. P. 687–697.

McFerren G., Molapo R., McAlister B. Repeatable deployment of an open standards, open source and open data stack for building a federated marine data management and decision support system for South Africa // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2018. V. 42. P. 139–145.

Patera A., Pataki Z., Kitsiou D. Development of a webGIS application to assess conflicting activities in the framework of marine spatial planning // J. of Marine Science and Engineering. 2022. V. 10. № 3. 16 p.

Raoult, V., Colefax A.P., Allan B.M. et al. Operational protocols for the use of drones in marine animal research // Drones. 2020. V. 4. № 4. 35 p.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF FISHERY RESEARCH

**INTEGRATED USE OF UAV AND INFORMATION
TECHNOLOGIES TO IMPROVE PACIFIC
SALMON STOCK MANAGEMENT**

© 2025 y. D.V. Kotsyuk, V.V. Sviridov, A.Yu. Povarov

*Khabarovsk branch of the State Science Center of the «VNIRO»,
Russia, Khabarovsk, 680038*

Assessments of the admission Pacific salmon mature fishes to the spawning grounds is a key element in the operational regulation of salmon runs and the management of these species. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to track salmon spawners admission into Far Eastern rivers, which began in the mid-2010s, demonstrates the potential of this method and is gaining momentum. Using the example of Khabarovsk Region, methods of aerial surveys of running Pacific salmons have been developed for consumer-grade UAV models using a variety of information technologies, including AI (artificial intelligence), photogrammetry, and GIS (geographical information systems). The ongoing reequipment of VNIRO's Far Eastern branches with a fleet of new industrial-grade UAVs and computing equipment for processing UAV survey data, as part of the national «Unmanned Aerial Systems» project, beginning in 2024, opened up opportunities for scaling and significantly expanding the coverage of UAV surveys. These opportunities require appropriate organization of work, the use of equipment, and strategic planning. Given the lack of large-scale projects worldwide involving UAV surveys of migratory fish species using industrial-grade UAVs, these studies by VNIRO's Far Eastern branches are essentially innovative and therefore require in-depth methodological development for adequate implementation. This paper partially addresses this gap by describing the current status of unmanned census of Pacific salmon at the Far Eastern branches and presenting a roadmap for its development, taking into account the updated equipment fleet and scaling plans. A two-phase project is proposed: the first phase involves optimizing the use of current components of the existing UAV survey techniques, while the second phase integrates additional elements and incorporates related areas of unmanned monitoring. It is shown that the full realization of the potential of unmanned salmon census for the rational management of Pacific salmon stocks is achievable only in the case of its integrated use with complementary information technologies: preparatory and photogrammetric image processing, detection of census objects by developed artificial neural networks, geoinformation methods for census planning and analysis of its results, decision support systems (DSS) for remote distributed hierarchical access of the expert community to the analysis of the survey data for the purpose of fish stock management.

Keywords: Pacific salmon, UAV, information technologies, photogrammetry, artificial intelligence, GIS, DSS.