

УДК: 574.5

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151

Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях

*А.А. Дуленин,
П.А. Дуленина,
Д.В. Коцюк,
В.В. Свиридов*

Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(«ХабаровскНИРО»), г. Хабаровск

E-mail: dulenin@mail.ru

На основании результатов собственных работ и анализа опубликованных сведений показано, что малые БПЛА могут эффективно использоваться для экономического учёта рыб, млекопитающих, донной растительности, ННН-вылова и ландшафтного картирования. Эти устройства позволяют выполнять точечные, выборочные и тотальные обследования морских участков. БПЛА хорошо вписываются в комплексные прибрежные НИР, использующие разнообразные методы. Использование малых беспилотников позволяет значительно сократить как время, необходимое для проведения исследований, так и их стоимость. Для максимальной отдачи от применения беспилотников необходимо учитывать их технические возможности, ограничения и уязвимости. Важным способом повышения эффективности БПЛА является оптимизация способов доставки к месту работ. Применение программ для автоматического выполнения полётных миссий позволяет расширить область работ, снизить их аварийность. Использование программного обеспечения для автоматизированной фотограмметрической обработки отснятых материалов позволяет создавать ортофотопланы, которые служат основой для оценки распределения и численности гидробионтов, визуализации в ГИС. Небольшая стоимость и высокие функциональные характеристики современных потребительских БПЛА позволяют им уже в настоящий момент занять одно из ключевых мест в морских прибрежных биологических исследованиях. Их значимость как инструмента для подобных НИР будет расширяться в ближайшем будущем по мере неизбежного роста их технических возможностей и снижения стоимости.

Ключевые слова: морские прибрежные биологические исследования, БПЛА, аэрофотосъёмка, ортофотоплан, картирование, ГИС.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в различных хозяйственных отраслях (сельское хозяйство, строительство, энергетика, геодезия, нефтегазовая отрасль и т. п.) всё более широко используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [Коротаяев, Новопашин, 2015; Бузмаков и др., 2016; Мещанинова, Нилюкина, 2018; и др.]. Обрисованы общие перспективы использования БПЛА в экологических исследованиях [Whitehead et al., 2014, Christie et al., 2016]. Кроме того, БПЛА применяют для решения частных задач в рыбохозяйственной науке [Maselko, Connor, 2016; Запорожец, Запорожец, 2017; Бизиков и др., 2019; Запорожец и др., 2020]. В целом, как следует из этих и других публикаций, использование БПЛА в экологических и рыбохозяйственных исследованиях находится на стадии тестирования и внедрения, тогда как в инженерно-производственной сфере они уже закрепились как эффективный и широко применяемый инструмент.

Одной из областей, в которых использование малых БПЛА представляет значительные перспективы, являются морские прибрежные биологические исследования. Они могут иметь различные направления: ресурсные, прикладные, экологические и т. п. Прибрежные биологические экспедиции часто бывают комплексными, направленными на учёт целого ряда объектов: морских макрофитов, рыб, млекопитающих и т. п. В то же время прибрежные исследования обычно являются малобюджетными: выполняются с маломерных судов, с использованием относительно простых и дешёвых технических средств небольшим числом специалистов. Эти особенности диктуют необходимость разработки методов и подбора инструментов, обеспечивающих необходимую комплексность прибрежных исследований и повышающих их эффективность при одновременном снижении стоимости и трудозатрат. Очевидно, БПЛА постепенно становятся одним из таких инструментов [Merrill et al., 2013;

Goebel et al., 2015; Moreland et al., 2015; Joyce et al., 2018; Xu et al., 2018].

Однако, комплексный подход к использованию БПЛА в морских прибрежных рыбохозяйственных исследованиях, по-видимому, до сих пор не разработан. Широкому внедрению БПЛА в этой области препятствует, помимо объективных причин, ряд предубеждений, широко распространённых в среде специалистов в области рыбохозяйственной науки. Авторы встречали мнения о том, что области применения малых беспилотников (БПЛА) слишком узки, чтобы получить значимые результаты, а их автономность чрезмерно мала. Высказывались соображения о том, что программное обеспечение для полётов и обработки полученных материалов слишком сложно, выработка необходимых полётных навыков требует долгого обучения и поэтому такие инструменты вряд ли доступны для широкого освоения биологами. Озвучивались опасения по поводу высокой вероятности крушения беспилотника при потере связи, сильном ветре и в разнообразных нештатных ситуациях. Кроме того, ещё несколько лет назад стоимость БПЛА была слишком высока, чтобы рассчитывать на их широкое внедрение. В целом, по мнению авторов, в настоящее время назрел вопрос популяризации использования малых БПЛА среди морских биологов различных специальностей. В связи с этим, цели настоящей работы – обобщить полученный авторами опыт и обрисовать наиболее очевидные перспективы использования малых БПЛА в прибрежных исследованиях.

Поэтому мы поставили перед собой следующие задачи:

- 1) Показать основные направления использования БПЛА для рыбохозяйственных исследований в прибрежной зоне.
- 2) Оценить технические возможности и ограничения использования малых БПЛА при их проведении.
- 3) Оценить возможности освоения БПЛА и технологий работы с ними рядовыми научными и инженерно-техническими сотрудниками.
- 4) Показать экономическую эффективность использования беспилотных технологий.
- 5) Выбрать конкретные модели, присутствующие на рынке, наиболее подходящие для прибрежных исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работы выполняли в прибрежной зоне северо-западной части Татарского пролива в границах Хабаровского края (бух. Фальшивая, Датта, о. Токи, участок от м. Травяной до м. Бычий) осенью 2020 г. Аэрофотосъёмку проводили с использованием БПЛА DJI Mavic 2

Zoom. Некоторые полёты были выполнены на DJI Mavic Mini. Фотографии делали в максимальном для указанных аппаратов разрешении в 12 мегапикселей. Фотосъёмку выполняли в надир (камера наклонена под углом – 90°, перпендикулярно поверхности). Высота полётов составляла от 4 до 500 м, протяжённость от 100 м до 10 км, удаление от оператора от 0 до 4 км. Продолжительность полётов была от 1 до 25 минут. Во время каждого полёта расходовалось от 5 до 95% заряда батареи. На одном заряде батареи выполняли от 1 до 5 полётов. В течение дня делали от 2 до 24 полётов, в зависимости от задач и режима съёмки.

Для тотальной аэрофотосъёмки отдельных бухт либо длинных участков прибрежной зоны выполняли протяжённые полёты (0,5–10 км) на высоте от 150 до 500 м. Во время таких полётов вели интервальную фотосъёмку. Интервал устанавливали по времени (2–20 секунд) или по расстоянию (через каждые 30–100 м), в зависимости от высоты и скорости движения. Для последующей фотограмметрической обработки снимков и построения ортофотопланов обследованных участков побережий, интервалы планировали таким образом, чтобы обеспечить необходимое для этого 80% перекрытие смежных снимков. Фотосъёмку выполняли так, чтобы в каждом кадре была видна часть берега.

Для выборочной фотосъёмки выполняли протяжённые полёты (3–5 км) на высоте 10 м с интервалом в 20 м. В отдельных случаях интервал был сокращён до 2 м. Для точечной рекогносцировочной съёмки БПЛА поднимали над оператором на высоту от 10 до 500 м, выполняя несколько дублирующих снимков.

Полёты проводились в режиме ручного управления либо в режиме заранее подготовленной автономной миссии. Автономные миссии строили с использованием специализированного программного пакета Litchi [2021]. Маршрут миссий, параметры полётов и фотосъёмки задавали в интернет-сервисе Litchi Mission Hub через ПК (рис. 1). Спутниковые карты локаций без сотового интернет-покрытия заранее кэшировали на мобильные устройства (смартфон, планшет), с которых управляли полётами. Непосредственное управление полётами осуществляли при помощи мобильного полётного приложения Litchi для ОС Android. До начала полётов построенные миссии и закэшированные спутниковые карты локаций, на которых планировалось выполнять полёты, загружали через интернет в мобильную версию Litchi. Параметры миссий при необходимости корректировались непосредственно перед началом полётов на месте, с мобильного устройства. После старта автономной миссии БПЛА самостоятельно осуществлял выход на на-

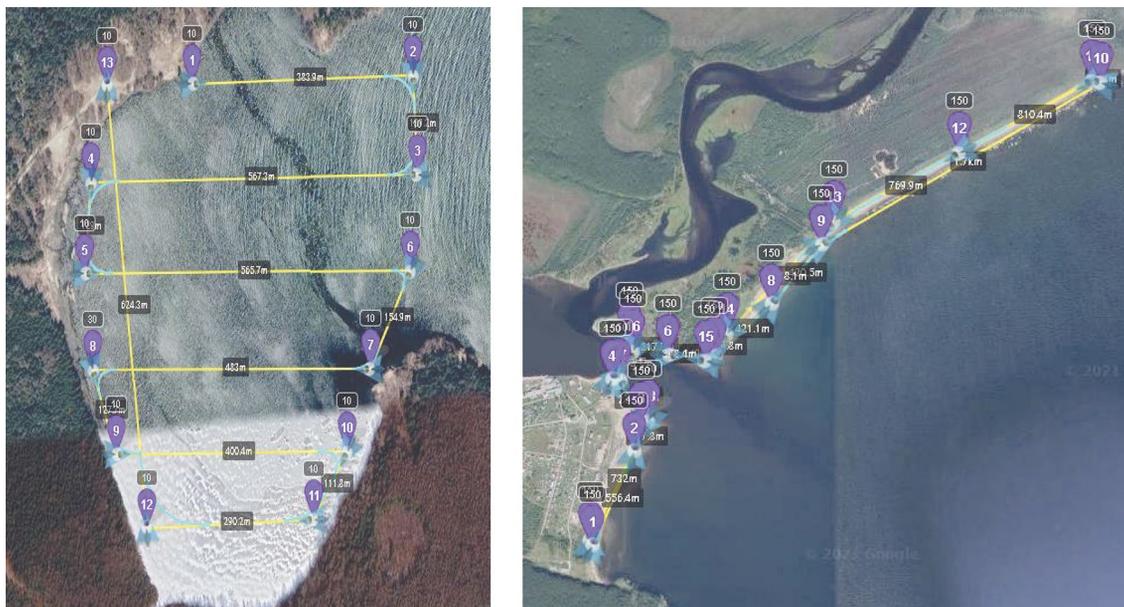


Рис. 1. Примеры планирования автономных миссий для выборочной фотосъёмки в бухте Фальшивая (слева) и тотальной фотосъёмки в бухте Датта (справа) в сентябре 2020 г. Числа обозначают номер путевой точки (в сиреновом значке), высоту полёта на данном участке миссии (в чёрном значке) и длину сегмента между смежными путевыми точками (в чёрном значке с окончанием «m») в метрах

чальную точку маршрута и после её окончания возвращался в домашнюю точку либо оставался в режиме ожидания в конечной точке миссии. Полёты выполняли как на участках с сотовым интернет-покрытием, так и в местах, где оно отсутствовало. Миссии выполнялись как при наличии связи с пультом управления, так и при её отсутствии. После выполнения полётов, полученные фотоматериалы загружали с карты памяти БПЛА на ПК для дальнейшей обработки. Всего выполнено около 70 полётов. Подробные характеристики полётов приводятся при обсуждении специфических особенностей съёмки отдельных объектов в прибрежной зоне.

По суше доставку БПЛА к обследуемым участкам выполняли пешком и на автомобиле. В качестве средства доставки по морю использовали маломерный пластиковый катер Yamaha Fish 22 длиной 6,5 м. В течение 2 дней были выполнены обследования прибрежной зоны в окрестностях залива Советская Гавань протяжённостью 150 км.

Из полученных снимков строили ортофотопланы обследованных участков при помощи пакета фотограмметрического ПО Agisoft Metashape Professional [Руководство, 2019]. Ортофотопланы и одиночные фото располагали в виде слоёв на картах местности в ГИС-пакете NextGIS QGIS [Команда NextGIS, 2019]. В этом же пакете выполняли промеры, подсчёты, создание площадных и точечных объектов. Построенные объекты экспортировали в Веб-ГИС Хабаровск-НИРО на базе NextGIS Web.

По необходимости, частные методические особенности отдельных обследований приводятся в разделе «Результаты и обсуждение».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во время исследований были получены результаты по обозначенным ниже направлениям.

Оценка объёма ННН. К настоящему времени уже имеются работы, в которых обсуждается использование беспилотников для предотвращения браконьерства как на суше [Mulero-Pázmán et al., 2014], так и в рыбном хозяйстве [Тоопен, Bush, 2018]. Традиционные промысловые объекты на Дальнем Востоке – лосося. Однако при определении общего объёма их изъятия наибольшее затруднение вызывает учёт ННН-вылова. Достоверно оценить объёмы ННН-вылова тихоокеанских лососей обычно не представляется возможным. Все оценки в силу объективных причин носят экспертный характер [Дронова, Спиридонов, 2008].

Для отработки возможности определения объёмов нелегального вылова с помощью БПЛА нами были проведены экспериментальные аэровизуальные облёты бухты Датта и устья реки Тумнин в период нерестового хода кеты. Коптер в режиме заранее спланированной автономной миссии поднимали на высоту 150 м и совершали облёт внутренней части бухты (рис. 2). При ветре 8–12 м/с протяжённость миссии составила 8,5 км, продолжительность полёта – 17 мин. За это время заряд аккумулятора был исполь-

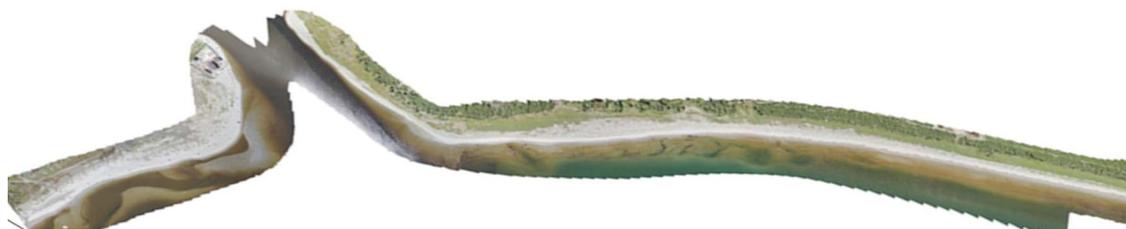


Рис. 2. Ортофотоплан внутренней части бухты Датта, западное побережье Татарского пролива, сентябрь 2020 г.

зован на 60 %. Разрешение снимков составило 5 см/пикс. В настоящее время на рынке бюджетных потребительских беспилотников представлены аппараты с разрешением матрицы от 12 до 20 мегапикселей. Поэтому, если съёмка с высоты 150 м у нас давала разрешение 5 см в пикселе, то при использовании БПЛА с разрешением матрицы в 20 мегапикселей оно составит 3,8–4,1 см в пикселе в зависимости от модели. Такое разрешение позволяет учитывать рыб средних размеров, крупные бурые водоросли и т. п. даже с большой высоты.

В результате облётов на фотоснимках бухты было зафиксировано 8 сетей (рис. 3). Допустив, что количество сетей в бухте находится на среднем уровне и исходя из величины среднемесячного вылова на усилие по данным НИР был рассчитан ННН-вылов в течение месяца: 8 сетей*0,3 экз. кеты на сеть в час*12 часов*30 дней = 864 экземпляра в месяц или, при средней индивидуальной массе рыбы 4,1 кг, 3,5 тонны. При двухмесячной продолжительности хода общий вылов в этой бухте следует оценить в 7 т.

Помимо сетей, на снимках хорошо видны люди, лодки, автомобили, палатки и прочие объекты (рис. 3), что позволяет при регулярных наблюдениях собирать весьма полную статистику об ННН-промысле. При проведении штатных НИР подобные облёты можно делать ежедневно или даже несколько раз в день (например, утром, в обед и вечером), что позволит собрать данные о среднем ежедневном количестве людей, транспорта и орудий добычи на лову, о продолжительности лова, о вывозе рыбы и другие подобные сведения.

Небеспопченны опасения о том, что браконьеры могут препятствовать наблюдениям, или даже сбить БПЛА из стрелкового оружия. Однако, полученный опыт показал, что использованный БПЛА уже на высоте 150 м был незаметен и не слышен для присутствующих на берегу людей. Ясно, что порог заметности у разных моделей будет отличаться: например, более крупные аппараты серии DJI Phantom придется поднимать на высоту порядка 250 м, (что, впрочем, не приведёт к ухудшению качества съёмки благодаря до-

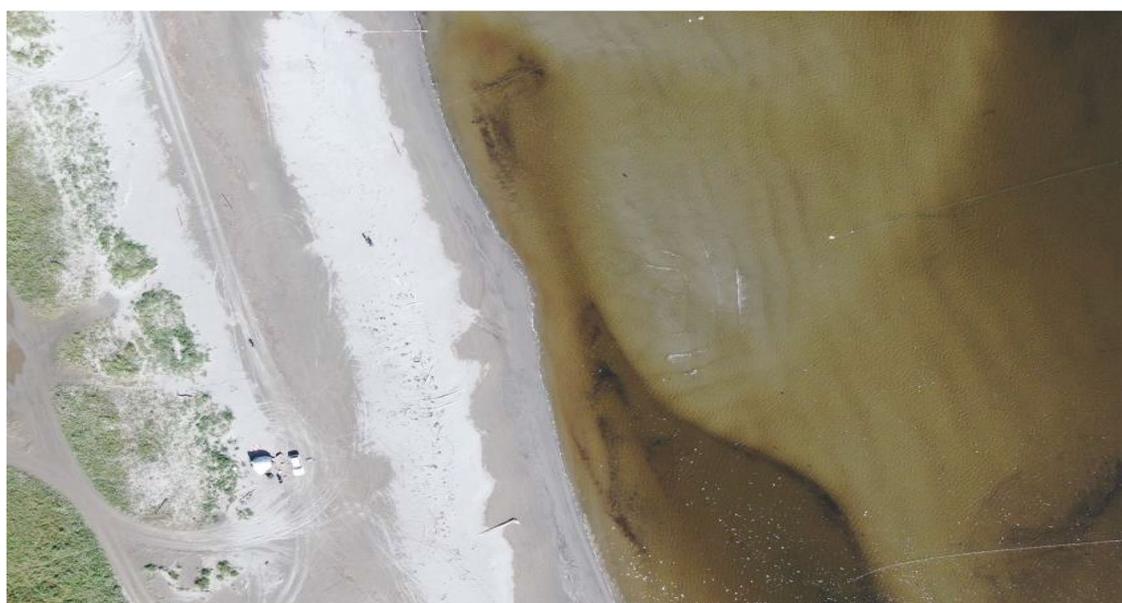


Рис. 3. Лов кеты в бухте Датта (западная часть Татарского пролива). Видны выставленные в море сети, автомобиль, палатка

статочному разрешению матрицы), в то время как аппараты серии DJI Mini, по нашему опыту, перестают обнаруживаться уже на высоте 70–100 м. Прицельный огонь по беспилотникам в таких условиях невозможен.

Также высказывались опасения о том, что беспилотники не могут безопасно эксплуатироваться в сложных погодных условиях [Weissensteiner et al., 2015]. Однако практика показала, что запуски аппаратов на значительную высоту при свежем ветре (8–10 м) не приводят к каким-либо отрицательным последствиям — БПЛА уверенно держит курс, не снижая скорости. Впрочем, следует заметить, что запуски с маломерных судов не следует выполнять при скорости ветра более 6 м/с. Что касается других неблагоприятных погодных условий, ясно, что регулярные запуски серийных модификаций малых БПЛА в дождь и туман приведут к скорому выходу оборудования из строя. Однако, такие мероприятия лишены практического смысла, поскольку качество получаемых в дождливую и туманную погоду фотоматериалов будет заведомо неудовлетворительным.

Учёт численности морских млекопитающих. Традиционно ластоногие учитываются наблюдателем визуально: на лежбищах — с берега либо с лодок, используя бинокли, видео-, фотоаппаратуру; в открытом море — с борта судна либо с вертолётов [Грачев, 2000; Челинцев и др., 2017 и др.]. При этом уже накоплен существенный опыт учёта морских млекопитающих при помощи БПЛА [Koski et al., 2015; Moreland et al., 2015; Pomeroy et al., 2015].

Мы провели аэровизуальный учёт численности дальневосточной нерпы (ларги) *Phoca largha* Pallas, 1811 на самом большом её лежбище в Хабаровском крае у о. Токи (рис. 4).

Протяжённость миссии составила 4,3 км, скорость — 40 км/ч, продолжительность — 9 минут, высота — 200 м, разрешение полученных снимков — 7 см в пикселе. В течение одного полёта была охвачена вся площадь лежбищ вокруг острова и на близлежащей валунной косе. При увеличении полученных фотографий с коптера особи ларги хорошо видны и легко поддаются учёту (рис. 5, слева). Было учтено 714 голов вокруг острова и 513 особей на косе к юго-юго-западу от него, всего 1227 голов. После этого были выполнены облёты залежек на высоте 10 м со съёмкой видео и интервальным фотографированием. Эти съёмки позволили установить, что порядка 20% особей находятся в воде, их учёт с большой высоты невозможен или сильно затруднён. Итоговая численность была оценена на уровне около 1,5 тыс. голов, что в 2–3 раза превышает ранее дававшиеся оценки по данным визуального учёта с маломерных судов. При среднем весе ларги 85 кг, общая биомасса животных оценена в 130 т. Серии фотоснимков, сделанные с высоты 10 м (рис. 5, справа) через каждые 20 м и имеющие площадь охвата около 100 м² позволили провести выборочное исследование плотности ларги на залежках, которая составила $5,4 \pm 1,8$ (1–21) экз/100 м². Далее, облёт залежек на высоте 10 м с видеосъёмкой позволил провести наблюдения за поведением животных. При скорости 40 км/ч животные не проявляют беспокойства. Однако, при зависании беспилотника над животными, они пугаются, покидают залежки и уходят в воду. Безопасное расстояние, на котором животные не проявляют признаков беспокойства — порядка 50 м, причём, наблюдения можно вести как в надир, так и под любым удобным для наблюдателя углом.

При запуске БПЛА с борта судов, в т. ч. маломерных, подобные учётные работы в ближайшем буду-

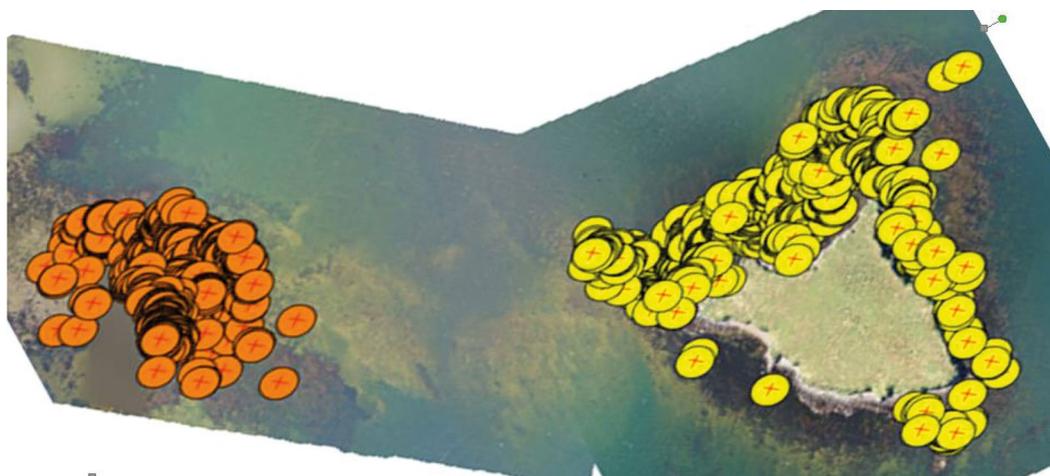


Рис. 4. Ортофотоплан о. Токи с окрестностями. Кружками обозначены отдельные экземпляры нерпы, жёлтыми — у острова, оранжевыми — на прилегающей каменистой косе



Рис. 5. Фрагменты фото залежек ларги у о. Токи. Слева – с высоты 200 м, увеличено, справа – с высоты 10 м

щем можно провести у протяжённых морских побережий. Кроме того, представляется весьма перспективным проведение таких работ в Охотском море на скоплениях белухи (*Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776)). Визуальные наблюдения показывают, что только в одном заливе Алдома во время нереста тихоокеанской сельди её отмечается до сотни голов.

Учет численности рыб. Во время облётов о. Токи были зафиксированы скопления кефали-лобана (*Mugil cephalus* L. 1758) среди зарослей zostеры (рис. 6). Исходя из известной площади в кадре, были получены данные о его плотности – $7 \pm 2,6$ (1–14) экз/100 м². Интересно, что лобан находился в воде в непосредственной близости от ларги – порой на расстоянии порядка 5–10 м, не проявляя при этом признаков тревоги. При съёмке с высоты 10 м рыбы также не проявляют признаков беспокойства. Изображения рыб относительно мало контрастны, однако это не препятствует их подсчёту. Ясно, что использование аппаратов с большим разрешением матрицы послужит улучшению качества изображения при учёте рыб.

Очевидно, на мелководьях в прибрежной зоне вполне возможен беспилотный учёт различных видов рыб. Вполне возможен выборочный либо тотальный учёт относительно крупных рыб (прежде всего лососей), аналогично тому, как беспилотный учёт лососей проводится на реках и озёрах [Maselko, Connor, 2016; Запорожец, Запорожец, 2017]. В то же время количественный учёт относительно мелких рыб (корюшек, сельди) на крупных скоплениях, вероятнее всего будет затруднён или вовсе невозможен. Однако, при помощи аэроучёта можно, во всяком случае, определять площадь скоплений и направление их миграций. Поскольку на мелководьях прибрежной зоны сосредоточен береговой рыбный промысел (добыча при помощи ставных сетей, закидных и ставных неводов, вентерей, и т. п.), малые БПЛА могут вполне успешно служить для целей промразведки – определения локализации и сроков подхода косяков рыб, степени заполнения ставных неводов и т. п.

Картирование донной растительности. Наиболее доступно картирование донной растительности ло-



Рис. 6. Лобан на мелководьях у о. Токи

кальных прибрежных участков, например, небольших мелководных бухт. Задача по их картированию существенно облегчается, если доступен подъезд к ним на автотранспорте, а запуск БПЛА возможен непосредственно с берега. Для отработки практических навыков картирования донной растительности нами был выбран один из таких участков – бухта Фальшивая, расположенная близ г. Советская Гавань. Доставка БПЛА к месту полётов осуществлялась пешком. Обследования были выполнены в режиме автономных миссий на высоте 500 м. Протяжённость маршрута съёмки составила 3 км, время съёмки – 8–10 минут, выполнение миссий требовало 35% заряда аккумулятора, при ветре 10–12 м/с.

Рассмотрение снимков, выполненных с высоты 500 м показало, что при разрешении 20 см в пикселе, на фото при увеличении видны элементы мезорельефа дна, валуны, бревна, пятна растительности и т. п. (рис. 7, вверху слева). Однако, на отдельных снимках существенные помехи создают блики от облаков и тени близ берега (рис. 7, вверху справа). Видно, что отдельный снимок (прямоугольник в центре рисунка) имеет существенно худшее качество, чем готовый ор-

тофотоплан. Фотограмметрическая обработка, благодаря 80%-ному перекрытию исходных снимков, позволяет существенно улучшить качество итогового изображения (рис. 7, внизу слева). Некоторые наблюдаемые артефакты (например, серия диагональных тёмных пятен в юго-западной части бухты) не критичны и не мешают дальнейшей обработке данных. Последующая векторизация ортофотоплана в ГИС позволяет оконтурить отдельные пояса растительности, вычислить их площади и по известной средней удельной биомассе оценить общую фитомассу в пределах каждого пояса растительности (рис. 7, внизу справа).

Для опознания ценоотических поясов, видимых с большой высоты, и для сбора данных о проективном покрытии дна растительностью (ПП), были сделаны серии снимков с высоты 10 м с интервалом 20 м. Однако, в зависимости от погоды, состояния водной поверхности и наличия посторонних предметов в кадре фотографии на этой высоте получаются весьма различного качества. При получении хороших снимков на всей их площади визуально определяются доминирующий вид растительности, её проективное по-

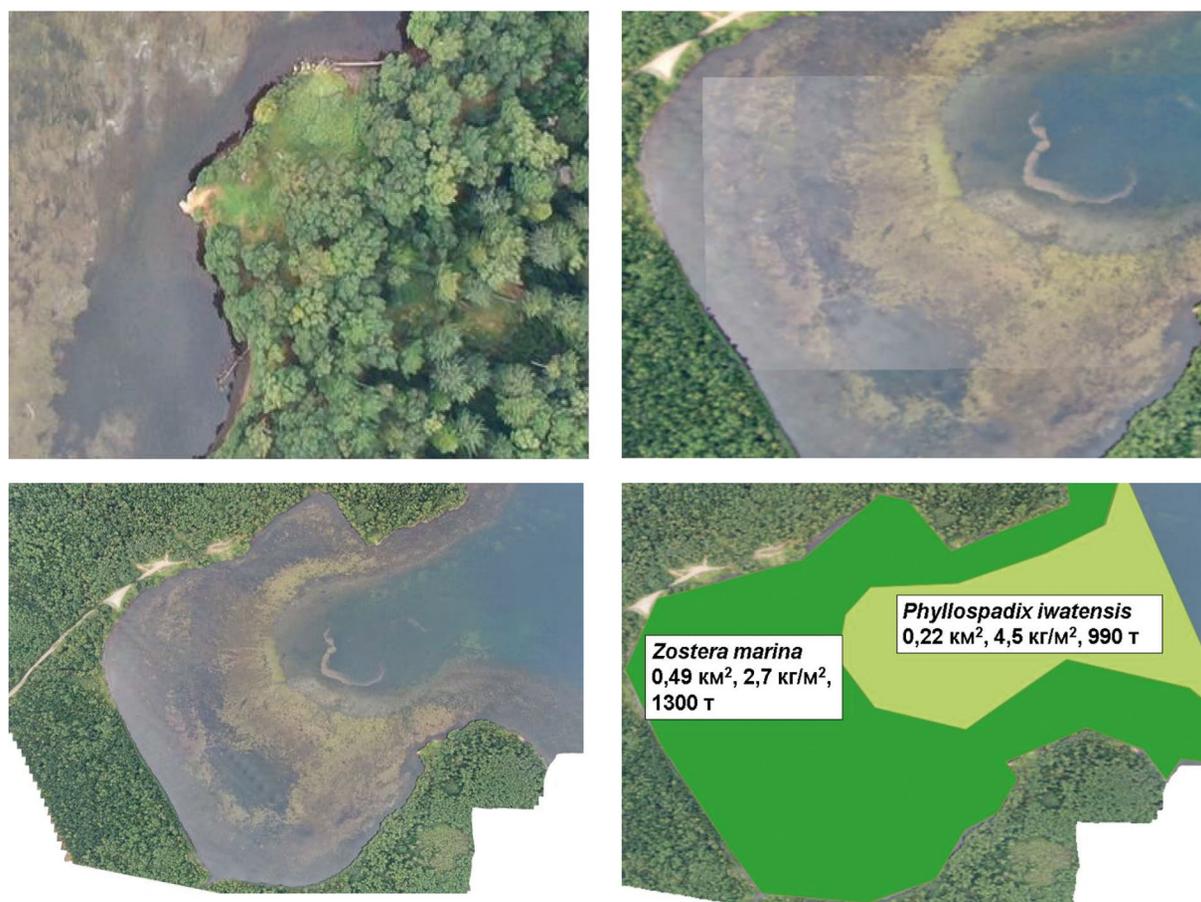


Рис. 7. Результаты аэрофотосъёмки бухты Фальшивой (северо-западная часть Татарского пролива) с высоты 500 м

крытие и характер сложения растительного покрова. На фото (рис. 8, слева) это *Zostera marina* со средним ПП 90%, поселения которой представляют собой луга с отдельными прогалинами. Различимы отдельные листья. На некачественных снимках видны поваленные деревья, тени от наземной растительности, отражения облаков, рябь. Тем не менее, картинка остаётся читаемой, вид растительности и ПП определимы. Это возможно, если хотя бы 1% фото (1 м^2) свободен от помех (рис. 8, справа).

Таким образом, полученные результаты показали возможность работы как в солнечную, так и в пасмурную погоду без критического ухудшения качества получаемых на мелководьях материалов. Однако съёмки при плотной облачности и/или низком положении солнца будут иметь сниженную продуктивность. Дело в том, что для минимизации смаза изображения на фотоматериалах в условиях слабой освещённости требуется соответствующее уменьшение скорости полёта. Это приведёт к меньшему площадному покрытию аэрофотосъёмки за единицу времени. Аэрофотосъёмки отдельных участков материкового побережья позволяют картировать расположение грунтов, ландшафтов, ценоотических поясов донной растительности. Следующим шагом было усложнение условий исследования для проверки возможности использования БПЛА для выборочных съёмок протяжённых морских побережий с борта маломерного судна.

Нами получен как положительный, так и отрицательный опыт беспилотной аэрофотосъёмки отдельных участков материкового побережья Татарского пролива в условиях экспедиции большой протяжённости с борта маломерного катера. За 1 день обследовано 60 км побережья. Через каждые 5 км выполняли полётные станции и трансекты. Всего было выполнено

12 полётов на высоте 300–500 м (в зависимости от просматриваемой ширины водорослевого пояса) и 12 полётов на высоте 10 м. Для того, чтобы обеспечить выполнение 24 полётов в течение дня, использовали 5 сменных батарей, которые заряжали от переносной бензиновой электростанции. Управление такими полётами осуществляли в ручном режиме, ориентируясь на видео, передаваемое пультом управления на мобильное устройство в реальном времени. На максимальной высоте полёта делали небольшие серии фотографий с интервалом 30–50 м, в зависимости от высоты. В лучших случаях такие съёмки позволили получить данные об общей ширине пояса растительности, сведения о его характере, прерывистости, общем проективном покрытии дна растительностью (рис. 9, вверху справа). При неблагоприятных условиях съёмки получаемые материалы позволяли, во всяком случае, оценить видимую ширину пояса растительности.

Далее, как в режиме автономных миссий, так и в режиме ручного управления выполняли трансекты протяжённостью 100–200 м на высоте 10 м, делая фотографии с интервалом 2 м. Выяснилось, что в отличие от мелководных бухт, качество съёмки у открытых побережий на малой высоте сильно зависит от крайне изменчивых факторов – состояния локальных участков моря, положения солнца, уклона дна и т. п. Для съёмки крайне желательно выбирать время и локальные участки с максимально спокойной водой. Следует избегать расположения камеры против солнца; желательно выполнять съёмки при положении солнца под углом 30–60° к горизонту или при любой его позиции в случае рассеянного освещения при равномерной облачности. Выполнение съёмок с малой высоты – весьма творческий процесс. Рассчитывать на получение



Рис. 8. Луга зостеры морской в бухте Фальшивая (северо-западная часть Татарского пролива) с высоты 10 м. Слева – фото без оптических помех, справа – с помехами (отражения облаков, рябь, тени, поваленное дерево)

ние хороших результатов в режиме автономной миссии можно только при условиях съёмки, близких к идеальным. В этом случае получение на трансекте серии снимков хорошего качества займёт 1–2 минуты. На хороших снимках видны отдельные растения, рельеф, участки грунта и т. п. (рис. 9, слева сверху). При осложнённых условиях съёмку следует проводить в ручном режиме, корректируя направление трансекты, беспилотника и его камеры, и выбирая наиболее подходящие для съёмки участки. Время полёта может составлять до 10 минут. Следует быть готовым к тому, что доля отбракованных кадров может быть весьма велика. Тем не менее, на плохих снимках порой можно опознать только наличие растительности на дне. В районе исследования с БПЛА позволяют с высоты просматривать глубины до 6 м, иногда несколько больше. Задачи съёмки и промысловой разведки облегчает тот факт, что в западной части Татарского пролива 2/3 промысловых поселений основного объекта добычи среди макрофитов – сахарины японской (*Saccharina japonica*) расположены на глубинах не бо-

лее 6 м [Дуленин, 2016], на эти же глубины приходится ядро растительности района, где сосредоточены поселения большей части доминирующих видов донной растительности [Дуленин, 2019].

На глубинах более 6 м, а также при плохой видимости, в комплексе с БПЛА для опознавания ценологических поясов, а также для сбора количественных данных целесообразно применение подводной привязной видеотехники [Sheehan et al., 2014; Дуленин, Кудревский, 2019]. Следует понимать, что в связи с высокой дискретностью биоты и изменчивостью условий исследования в прибрежной зоне, её изучение по необходимости должно носить комплексный характер, который подразумевает комплементарное использование различных инструментов и подходов в зависимости от задач и конкретных характеристик обследуемых объектов. При плохих условиях съёмки БПЛА могут служить лишь дополнительным инструментом получения данных. В таких случаях основными источниками данных должны быть подходящие инструменты подводных видеосъёмок.

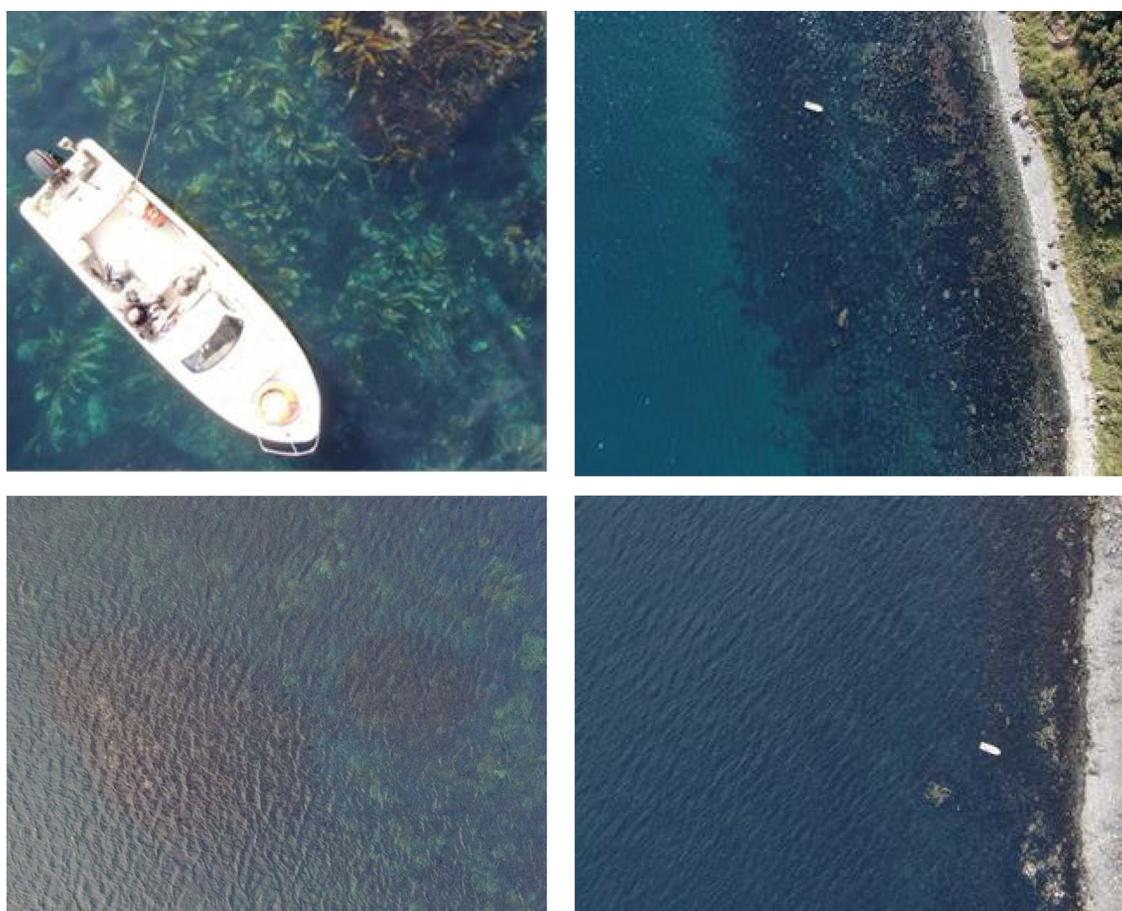


Рис. 9. Поселения сахарины японской у северо-западных побережий Татарского пролива. Фрагменты одиночных снимков. Слева – с высоты 10 м, глубины 1–4 м, справа – с высоты 300 м, глубины 1–6 м, сверху – снимки, сделанные при хороших условиях, снизу – при плохих

Как и в локальных мелководных акваториях бухт, при работе вдоль протяжённых открытых морских побережий значительного улучшения качества съёмки помогает добиться сборка ортофотопланов отснятого побережья. Поэтому, после отработки необходимых полетных навыков, была предпринята тотальная съёмка участка побережья в режиме преследования катера. Управление осуществлялось в ручном режиме. В течение одного полёта (за 25 минут) на одной батарее был обследован участок побережья протяжённостью 10 км и площадью 5 км² (рис. 10) при скорости ветра от 4 до 10 м/сек. В результате при высоте 500 м и скорости 0–52 км/ч были получены снимки с разрешением 18 см в пикселе. Дно на снимках просматривается на расстоянии 50–800 м от берега, в зависимости от уклона. Хорошо виден характер грунтов, отдельные пояса растительности, участки её отсутствия. Вдоль открытого побережья при благоприятных условиях полётов и невысоких требованиях к качеству съёмки протяжённость полётов на одной батарее может быть даже большей. При аэрофотосъёмке протяжённых побережий преследование может быть максимально эффективным режимом с точки зрения отношения обследованной площади к затраченному времени. Поскольку беспилотнику в таком режиме нет нужды возвращаться в исходную точку, преследование позволяет добиться максимальной рабочей протяжённости полёта. Однако следует понимать, что съёмки в режиме преследования возможны только при наличии хорошего полётного опыта. Прибегать к более сложным съёмкам с воды следует только тогда, когда съёмки с суши технически невозможны.

Проведённые экспериментальные съёмки вдоль открытого побережья и оконтуривания пояса растительности при помощи малых БПЛА позволяют говорить о перспективах проведения подобным способом

учёта нерестовых площадей тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii* Valenciennes, 1847) в Охотском море для оценки её нерестового запаса. Кроме того, очевидны весьма широкие перспективы проведения прибрежных ландшафтных исследований. В случае использования быстроходных маломерных судов необходимой мореходности и автономности в качестве средств доставки БПЛА к участкам выполнения облётов, проведение таких работ будет значительно дешевле аналогичных аэрофотосъёмок с помощью пилотируемой авиации.

Эффективность НИР. Обобщение полученного опыта позволило оценить эффективность работ с использованием малых БПЛА с точки зрения трудозатрат, потребных для получения необходимых результатов и стоимости исследований. Планирование любых малобюджетных экспедиций в прибрежье — это всегда вопрос выбора оптимальных с точки зрения соотношения цены и качества исследовательских инструментов. В этом смысле современные потребительские БПЛА, присутствующие на рынке, представляются оптимальными. Несмотря на то, что их стоимость сравнима со стоимостью персонального компьютера или фотокамеры (от десятков до первых сотен тысяч рублей, в зависимости от модели и навесного оборудования), их возможности уже позволяют получать результаты профессионального уровня. Даже использование дешёвых потребительских аппаратов (например, DJI Mini 2 [2020]), позволяет получать описанные настоящей работе результаты и делать фотосъёмки поверхности с разрешением до сантиметров в пикселе, в то время как наиболее качественные спутниковые снимки имеют разрешение не более 0,3 м в пикселе. Далее, ещё 5 лет назад БПЛА стоимостью в 25 тыс. долл. обеспечивали максимальное полётное время 16 минут при удалении

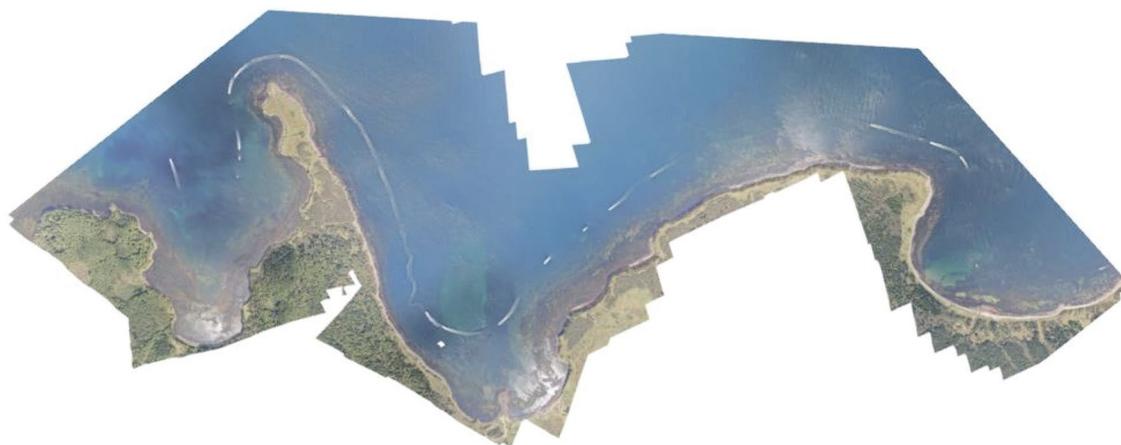


Рис. 10. Ортофотоплан участка побережья Татарского пролива, сентябрь 2020 г.

от точки базирования до 600 м [Christie et al., 2016]. Современные потребительские беспилотники, будучи на 1–2 порядка дешевле, имеют полётное время до 30–40 минут и летают в радиусе 6–9 км от точки базирования [Mavic 2 ..., 2018; User manual ..., 2020]. При этом современные БПЛА более высокого класса имеют стоимость в миллионы и десятки миллионов рублей, что фактически исключает возможность их применения в низкобюджетных прибрежных морских исследованиях. В связи с этим, следует понимать, что в ближайшие годы только потребительские беспилотники способны обеспечить широкое внедрение аэрофотосъёмки в бюджетные прибрежные исследования.

Выполненные с борта маломерного катера работы показали принципиальную возможность съёмок морских побережий большой протяжённости при помощи малых БПЛА. Общие подходы к использованию маломерных судов для проведения комплексных экспедиций у морских побережий большой протяжённости были обоснованы ранее [Дуленин, 2017]. В благоприятных условиях в течение светового дня может быть отснято до 100 км протяжённости прибрежной зоны. При переменной погоде, частой для морских побережий, когда в работе в течение дня делаются перерывы (обычно ветреное время приблизительно с 11 до 16–17 часов), протяжённость съёмки в течение дня может сократиться до 30–50 км или еще менее. Таким образом, относительно небольшое время и протяжённость полёта малых БПЛА по сравнению со средними и тяжёлыми, в значительной мере компенсируется наличием средств доставки, поскольку автомобили и маломерные суда много дешевле как «большой» беспилотной, так и пилотируемой авиации.

Кроме того, использование малых БПЛА совместно со средствами доставки обеспечивает весьма гибкий режим проведения исследований. В отличие от пилотируемой малой авиации, которая порой ожидает лётной погоды днями, а время подготовки к полёту составляет часы, применение малых БПЛА отличается гибкостью и ситуативностью. Для последних время подготовки к полёту измеряется несколькими минутами. Кроме того, оператор может воспользоваться даже получасом благоприятной погоды для обследования необходимого участка. При ухудшении погодных условий время посадки с максимальной рабочей высоты в 500 м составляет около 3 минут, при этом взлётные полосы и специальные посадочные площадки не требуются, поскольку аппарат такого класса в штатном режиме выполняет посадку в руку оператора или на участок ровной поверхности площадью около четверти квадратного метра.

Следует констатировать, что использование потребительских беспилотников обеспечивает наилучшую ценовую эффективность при проведении прибрежных исследований. Например, текущие расходы на обследование 60 км прибрежной зоны в течение дня при полётах с борта маломерного катера составили в 2020 г. 6 тыс. руб. (5 тыс. руб. — стоимость 100 л бензина, 1000 руб. — командировочные судоводителя и оператора беспилотника).

Благодаря внедрению малых БПЛА целый ряд съёмочной площади от сотен квадратных метров и до 5 км² за один полет может проводиться с максимальной оперативностью. Это позволяет весьма быстро получать материалы о вновь обнаруженных скоплениях растений и животных, человеческой деятельности в прибрежной зоне и т. п. Разумеется, между отснятой площадью и разрешением отснятых материалов на местности существует обратная зависимость: для получения ортофотоплана с сантиметровым разрешением на участок в квадратный километр потребуется отлетать беспилотником несколько десятков часов на высоте около 50 м. Однако ортофотоплан такой же площади можно получить за несколько минут полёта, если снизить требования к разрешению на местности до 14 см в пикселе и производить съёмку с высоты 500 м. Повышение целевого разрешения ортофотоплана не только приведёт к существенному увеличению времени на аэрофотосъёмку, но и значительно замедлит фотограмметрическую обработку отснятых фотоматериалов. Поэтому важнейшим элементом рационализации работ является выбор разрешения аэрофотоснимков на местности исходя из задач исследования.

Кроме того, только малые БПЛА могут обеспечить проведение регулярных мониторинговых облётов вплоть до нескольких раз в день для контроля промысловой обстановки, ННН-промысла, скоплений млекопитающих, птиц, рыб и т. п. Все эти съёмки могут выполняться попутно при осуществлении любой деятельности на побережье. Дополнительное преимущество таких съёмок состоит в том, что они незаметны и неинвазивны, то есть не требуют изъятия ВБР из среды обитания. Подобного рода работы практически невозможны при помощи пилотируемой авиации и больших БПЛА. При этом трудозатраты на выполнение таких съёмок минимальны, затраты времени составляют от нескольких минут до получаса на каждый полет, а необходимые человеческие ресурсы ограничиваются одним оператором. Помимо этого, при выполнении попутной аэрофотосъёмки при проведении НИР или иной основной деятельности, эти съёмки не требуют дополнительных финансовых затрат.

Предварительное планирование миссий в полётном ПО и точность навигации вплоть до нескольких метров обеспечивает повторяемость исследований.

Обработка данных. Полевые съёмки являются начальной стадией работ с БПЛА. После их выполнения требуется камеральная обработка данных. Прежде всего, это сборка ортофотопланов в специализированном ПО для фотограмметрической обработки снимков. Практика показывает, что хорошие результаты с наименьшим количеством артефактов и искажений даёт использование отечественного пакета Agisoft Metashape Professional [Руководство ..., 2019]. Как явствует из фото, приведённых выше, ортофотопланы фактически являются фотографическими картами местности, выполненными с весьма высоким разрешением. В наших материалах оно составляет 6–20 см в пикселе. Имеющиеся на рынке малые БПЛА позволяют получить разрешение от 0,2 см в пикселе, в зависимости от задач и высоты полёта. Таким образом, ортофотопланы являются более подробными локальными аналогами спутниковых карт, на которых видны элементы рельефа и которые позволяют учитывать ценотические пояса, прежде всего растительные, относительно крупных рыб, млекопитающих и других животных. После сборки ортофотопланы экспортируют в ГИС для дальнейшей обработки. В ГИС могут быть измерены длины и площади протяжённых объектов, выполнен подсчёт точечных, проведена более сложная геостатистическая обработка данных. Все такого рода материалы доступны для последующего объединения и обобщения. Полученные результаты обработки могут служить основой для создания реестров геореферированных рыбохозяйственных данных. Кроме того, в случае использования веб-ГИС и при наличии интернет-соединения создаваемые базы могут оперативно пополняться. При этом доступны также оперативный конфиденциальный обмен картографическими данными с заинтересованными специалистами, государственными органами и т. д. [Свиридов, Золотухин, 2020]. Необходимые данные могут быть направлены заинтересованным лицам в виде ссылок на страницы в интернете, а также на электронную почту или даже на популярные мессенджеры (WhatsApp, Telegram и т. п.). Эти возможности обеспечивают полную проверяемость получаемых результатов.

Подготовка операторов. Отдельное внимание нужно уделить необходимому уровню подготовки, которую должен иметь оператор БПЛА для выполнения научно-исследовательских работ. Прежде всего, нужно отметить, что управление малыми потребительскими БПЛА несравнимо проще, чем управление аппаратами более высокого класса, не говоря уже о пилотируемой авиации. Преимущество потребительских БПЛА в том, что

они изначально разработаны для нужд рядового пользователя-непрофессионала. Это позволяет легко осваивать управление такими БПЛА лицами, не имеющими отношения к авиации, в частности, биологами. Необходимый уровень подготовки может быть совершенно различен, в зависимости от задач НИР.

Минимальная подготовка нужна для выполнения заранее спланированных автономных миссий: для этого необходимо уметь пользоваться полётной программой, создавать и загружать миссию на мобильное устройство и контролировать посадку беспилотника. Для обучения этим навыкам может быть достаточно одного дня. Несколько более сложна техника ручного пилотирования для выполнения коротких обследований в пределах прямой видимости. Для уверенного управления беспилотником в этом случае требуется обучение в течение нескольких дней.

Существенно сложнее и аварийно опаснее выполнение протяжённых полётов над морем, с борта маломерного судна, особенно движущегося. Приобретение необходимой практики таких полётов потребует не менее 2 недель. До выхода в поле оператор в обязательном порядке должен выполнить необходимый объём тренировочных занятий и приобрести необходимые навыки для уверенного решения стоящих перед ним задач. Освоение полётных навыков должно быть последовательным и постепенным. Разумно, если оно будет осуществляться коллективно, небольшой группой заинтересованных лиц. Наконец, наибольшего времени требует освоение полного цикла работ: планирование миссий в полётных программах, полёты, сборка ортофотопланов, первичные навыки обработки материалов в ГИС. При интенсивном обучении, на освоение такого объёма знаний и умений потребуются не менее месяца.

Ограничения и недостатки. Для любого исследовательского инструмента характерны свои возможности и ограничения, достоинства и недостатки. Поэтому, несмотря на то, что малые беспилотники могут использоваться в широком спектре морских прибрежных исследований, у специалиста-биолога должно быть ясное понимание возможностей и ограничений в применении этих инструментов на всех стадиях работы: от планирования экспедиций до размещения материалов в веб-ГИС. Поскольку съёмки протяжённых участков возможны только в сочетании со средствами доставки, исследователь при необходимости должен иметь автомобиль (при наличии дорог) или маломерный катер, обеспечивающий доступ БПЛА в район исследований. Охват съёмками по глубине всегда будет ограничен прозрачностью воды и метеорологическими условиями, которые необходимо принимать во внимание. Учёт отдельных экземпляров животных и растений при по-

мощи БПЛА возможен, скорее всего, только для крупных объектов; что касается мелких, для них будет возможен учёт только площади и расположения их скоплений. Сборка ортофотопланов из малококонтрастных изображений, а также фото неподвижных объектов (рыб, водорослей), сделанных с малой высоты (5–20 м), по-видимому невозможна.

Протяжённость полётов должна быть спланирована так, чтобы их целевая продолжительность расходовала не более $\frac{3}{4}$ заряда аккумулятора. Несмотря на хорошую ветроустойчивость (10–16 м/с у разных моделей) современных малых БПЛА [Mavic 2 ..., 2018; User manual ..., 2020], в любом случае, приоритетом при проведении аэрофотосъёмки должна оставаться безопасность людей и оборудования. При любом существенном усилении ветра, ухудшении погоды, возникновении нештатных ситуаций съёмка должна быть немедленно прекращена, БПЛА посажен, а научная группа и оборудование с максимально возможной скоростью доставлены в заранее запланированное укрытие.

Планируя использование БПЛА, необходимо понимать, что срок эксплуатации аппарата может быть довольно недолгим. Несмотря на относительную лёгкость управления и техническую надёжность, практика показывает, что при его эксплуатации не исключены технические и программные сбои, ошибки пилотирования, нападения птиц и другие обстоятельства, которые могут привести к повреждению или утрате аппарата. Тем

не менее, все более широкое распространение потребительской беспилотной техники в профессиональной среде показывает, что выгоды от её использования многократно превышают ущерб от потерь. Учитывая сказанное, при планировании больших экспедиций с использованием БПЛА необходимо предусматривать наличие дополнительного аппарата, возможно, более дешёвого, который позволил бы завершить НИР в случае повреждения основного.

Оптимальные модели. Несмотря на большое количество потребительских беспилотников, представленных на рынке, оптимальными для картографических и мониторинговых работ в прибрежной зоне можно считать лишь несколько моделей (таблица). Множество прочих вариантов имеют либо неудовлетворительные технические характеристики, либо значительные недостатки программного обеспечения. Подробное обсуждение техники и ПО выходит за рамки настоящей работы, здесь имеет смысл высказать лишь несколько соображений по этому поводу. В случае жёстких бюджетных ограничений безальтернативным является приобретение DJI Mini 2. Разрешение его камеры невелико, доступное полётное ПО не всегда оптимально. Однако, в ряде ситуаций определяющими могут оказаться его преимущества: аппарат крайне малозащитен, имеет буквально карманные размеры.

Использование потребительских беспилотников весом от 250 г до 30 кг регламентируется постановле-

Таблица. Сравнительные характеристики потребительских БПЛА, оптимальных для прибрежных съёмок

Модель	DJI Mini 2	DJI Mavic 2 Pro	DJI Phantom IV v.2	Autel Evo II
Цена, тыс. руб.	45 в стандартной комплектации, 61 в расширенной комплектации с 3 аккумуляторами и кейсом	141–147, требуется покупка дополнительных аккумуляторов и аксессуаров	145–176, требуется покупка дополнительных аккумуляторов и аксессуаров	133 в стандартной комплектации, 179 – в расширенной комплектации с 3 аккумуляторами и кейсом
Камера, мегапикс.	12, электронный затвор, приемлемое качество	20, электронный затвор, неплохое качество	20, механический затвор, наилучшее качество	20, электронный затвор, хорошее качество
Время полета, мин., до	31	31	30	40
Скорость, км/ч, до	58	72	72	72
Ветер, м/с, до	10,5	10,5	10	16
Полётное ПО	Ограниченное количество, местами недоработано	Наибольшее количество и наилучшее качество	Наибольшее количество и наилучшее качество	Ограниченное количество, местами недоработано
Связь, км, до	6	6	6	9
Компактность	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя
Обслуживание и ремонт, возможности	Неплохие	Хорошие	Наилучшие	Возможны затруднения

Примечание: За время подготовки статьи вышли еще две пригодных для исследований модели: DJI Mavic 3 и Swell Pro SplashDrone 4.

нием Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 г. № 658 [Постановление правительства ..., 2019]) и подлежит регистрации в Росавиации. Постановка беспилотников на учёт осуществляется в рабочем порядке и не вызывает каких-либо проблем. Тем не менее, дополнительным преимуществом сверхлегких БПЛА, таких как DJI Mini 2 является то, что благодаря малому весу эти аппараты не требуют регистрации в государственных регулирующих органах.

Хорошие возможности съёмки имеет несколько менее компактный DJI Mavic 2 Pro, для которого доступно наилучшее полётное ПО. Однако, наиболее популярен в профессиональных кругах DJI Phantom IV v. 2. Помимо оптимального ПО, его преимуществом является камера с механическим затвором, что позволяет избежать артефактов на ортофотопланах при съёмке с сложных условиях. При этом он наименее компактен, поэтому его использование может оказаться неудобным на пешеходных маршрутах. Autel Evo II имеет наилучшие полётные характеристики и относительно компактен. Однако, доступное для него полётное ПО не лишено недостатков, а сервисная сеть в России не налажена. При всем том, если не предполагается планирование сложных автономных миссий или фотосъёмки в тяжёлых условиях, этот аппарат может быть приемлемым для прибрежных исследований.

Подробное описание полётных методик для нужд рыбохозяйственных исследований авторы планируют представить в отдельной публикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, опыт использования малых БПЛА показал, что они пригодны для учёта ННН-вылова, рыб, млекопитающих, донной растительности, ландшафтного картирования, позволяют выполнять точечные, выборочные и тотальные обследования как локальных акваторий, так и протяжённых морских побережий, хорошо сочетаются с другими инструментами и методами НИР и обеспечивают комплексность прибрежных исследований. Очевидно, что список возможных направлений использования БПЛА для морских прибрежных исследований в ближайшее время будет только расширяться, в т. ч. по причине удешевления и улучшения техники и ПО. Малые БПЛА способны к автономным многокилометровым полётам, достаточно ветроустойчивы и на значительной высоте незаметны для окружающих. Доставка БПЛА к местам исследований может осуществляться пешком, автомобильным и водным транспортом. Использование малых беспилотников позволяет значительно сократить как время, необходимое для проведения исследований, так и их стоимость. Малые беспилотники обеспе-

чивают возможность как ситуативных съёмки, так и регулярного мониторинга площадей до 5 км² в течение каждого полёта. Текущая цена потребительских беспилотников обеспечивает их широкое распространение. Наличествующее ПО позволяет обеспечивать планирование полетов, получение ортофотопланов участков съёмки, накопление, обработку и адресное распространение картографических данных. Использование БПЛА в комплексе с ПО для фотограмметрической обработки данных и ГИС обеспечивает получение высокоточных, повторяемых и проверяемых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бизиков В.А., Болтнев Е.А., Петров Е.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И. 2019. Экспериментальная авиасъёмка байкальской нерпы с использованием БПЛА большой дальности // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 226–229.
- Бузмаков А.С., Санников П.Ю., Андреев Д.Н. 2016. Подготовка и применение материалов аэрофотосъёмки для изучения лесов // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 18. № 2 (2). С. 313–316.
- Грачев А.И. 2000. Результаты обследований лежбищ сивуча и моржа в Охотском, Беринговом и Чукотском морях в 1997 году // Мат. Межд. конф.: Морские млекопитающие Голарктики. Архангельск. С. 99–104.
- Дронова Н.А., Спиридонов В.А. 2008. Незаконный, неучтённый и нерегулируемый вылов тихоокеанских лососей на Камчатке. М.: Всемирный фонд дикой природы. 52 с.
- Дуленин А.А. 2016. О применимости визуальных наблюдений для оценки обилия макрофитов на примере сахарины японской северо-западной части Татарского пролива // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Мат. VII Всеросс. науч.-практ. конф. с межд. участием. Часть 1. (22–24 марта 2016 г.). Петропавловск-Камчатский. С. 80–84.
- Дуленин А.А. 2017. Комплексный подход к организации прибрежных рыбохозяйственных исследований в условиях сокращения их финансирования // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление. Сб. мат. Всерос. науч. конф. с межд. участием, посвящённой 85-летию КамчатНИРО (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 112–118.
- Дуленин А.А. 2019. Распределение видов-доминантов макрофитов по глубине в северо-западной части Татарского пролива // Биология моря. Т. 45, № 2. С. 97–107.
- Дуленин А.А., Кудревский О.А. 2019. Использование лёгкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестник КамчатГТУ. № 48. С. 6–17.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В. 2017. Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы // Исследования водных биологических ре-

- сурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 47. С. 77–90.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В., Фельдман М.Г.* 2020. Оценка численности производителей нерки и их распределение по нерестовым станциям в бассейне Начикинского озера (Камчатка) в 2019 г. // Известия ТИНРО. Т. 200. Вып. 3. С. 618–634.
- Команда NextGIS.* 2019. Документация NextGIS QGIS. Выпуск 17.0. 25–10–2019. 227. Доступно через: https://docs.nextgis.ru/_downloads/340c10edc4ee3eb26e18ef9398e87567/NextGISQGIS.pdf. 24.02.2021.
- Кортаев А.А., Новопашин Л.А.* 2015. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга сельскохозяйственных угодий и посевных площадей в аграрном секторе // Аграрный вестник Урала. Т. 12. № 142. С. 38–42.
- Мещанинова Е.Г., Николюкина В.О.* 2018. Перспективы использования БПЛА при осуществлении земельного надзора // Экономика и экология территориальных образований. Т. 2. № 3. С. 122–128.
- Свиридов В.В., Золотухин С.Ф.* 2020. Методы ГИС для инвентаризации нерестилищ тихоокеанских лососей р. Амур // Известия ТИНРО. Т. 200 № 3. С. 730–746.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 № 658 «Об утверждении Правил учёта беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлётной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезённых в Российскую Федерацию или произведённых в Российской Федерации».* 8 с.
- Челинцев Н.Г., Горяев Ю.И., Ежов А.В., Макаревич П.Р., Ишуклов Д.Г.* 2017. Опыт оценки численности тюленей методом судового трансектного учёта с применением секторной экстраполяции по результатам наблюдений в юго-западной части Карского моря в летний период 2015 г. // Труды ВНИРО. Т. 168. С. 117–124.
- Agisoft.* 2019. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5. Agisoft LLC. 169 с. Accessible via: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf. 20.01.2021.
- Autel Robotics.* 2020. User manual for Evo II Series. 74 p. Accessible via: <https://www.autelpilot.com/blogs/support/autel-evo-ii-drone-user-manual>. 15.02.2021.
- Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L.* 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 14. Issue 5. P. 241–251.
- DJI.* 2018. Mavic 2 Pro/Zoom user manual. V. 1.4. 69 p. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf. 15.02.2021.
- DJI.* 2021. DJI Mini 2. Руководство пользователя. Версия 1.2. 2021.02. 51 с. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210222/DJI_Mini_2_User_Manual_RU.pdf. 15.02.2021.
- Goebel M.E., Perryman W.L., Hinke J.T., Krause D.J., Hann N.A., Gardner S., LeRoi D.J.* 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators // *Polar Biology*. V. 38. P. 619–630.
- Joyce K., Duce S., Leahy S., Leon J.X., Maier S.* 2018. Principles and practice of acquiring drone based image data in marine environments // *Mar. Freshw. Res.* V. 70. P. 952–963.
- Koski W.R., Gamage G., Davis A.R., Mathews T., LeBlanc B., Ferguson S.H.* 2015. Evaluation of UAS for photographic re-identification of bowhead whales, *Balaena mysticetus* // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 22–29.
- Litchi.* 2021. User Guide. Accessible via: <https://flylitchi.com/help>. 24.02.2021.
- Maselko J.M., Connor W.P.* 2016. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // *FACETS*. V. 1. P. 187–204.
- Merrill J, Pan Z, Mewes T, Herwitz S.* 2013. Airborne hyperspectral imaging of seagrass and coral reef // *AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 9–13. Abstracts*. V. 1. P. 1741.
- Moreland E.E., Cameron M.F., Angliss R.P., et al.* 2015. Evaluation of a ship-based unoccupied aircraft system (UAS) for surveys of spotted and ribbon seals in the Bering Sea pack ice // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. 114–122.
- Mulero-Pázmány M., Stolper R., van Essen L.D., Negro J.J., Sassen T.* 2014. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa // *PLoS ONE*. V. 9 (1). P. 1–10.
- Pomeroy P., O'Connor L., Davies P.* 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 102–113.
- Sardà-Palomera F., Bota G., Padilla N., Brotos L. Sardà, F.* 2017. Unmanned aircraft systems to unravel spatial and temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds // *J. of Avian Biology*. V. 48. P. 1273–1280.
- Sheehan E., Rodriguez-Rodriguez D., Foster N., Nancollas S., Cousens S., Holmes L., Attrill M., Pettifer E., Jones I., Vaz S., Facq J-V, Germain G.* 2014. A comparative study of towed underwater video methodology to monitor benthic habitats in Marine Protected Areas. Ifremer, Sussex IFCA and Marine Institute for the Protected Area Network Across the Channel Ecosystem (PANACHE) project. INTERREG programme. 46 p.
- Toonen H.M., Bush S.R.* 2018. The digital frontiers of fisheries governance: fish attraction devices, drones and satellites // *J. of Environmental Policy and Planning*. V. 22 (1). P. 125–137.
- Weissensteiner M.H., Poelstra J.W., Wolf J.B.W.* 2015. Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: an effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species // *J. of Avian Biology*. V. 46. P. 001–006.
- Xu F, Gao Z, Jiang X, Shang W, Ning J, et al.* 2018. A UAV and S2A data-based estimation of the initial biomass of green algae in the South Yellow Sea // *Marine Pollution Bulletin*. V. 128. P. 408–414.

Поступила в редакцию 14.05.2021 г.
Принята после рецензии 19.05.2021 г.

Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies

A.A. Dulenin,
P.A. Dulenina,
D.V. Kotsyuk,
V.V. Sviridov

Khabarovsk Branch of VNIRO
(«KhabarovskNIRO»), Khabarovsk, Russia

Based on the results of own work and published research analysis it is shown that small UAVs can be used efficiently for cost-effective evaluation of fishes, mammals, benthic vegetation, IUU catches and landscape mapping. These devices enable point, sample and total surveys of marine areas. UAVs are well suited for integrated research programs utilizing diverse methods. Small UAVs application enables significant savings of research time and expenditures. To achieve peak efficiency of drones it is necessary to account for their technical capabilities, constraints and vulnerabilities. Optimization of UAVs deployment to survey area is an important factor in increasing their efficiency. Software for automatic flight mission execution allows to expand surveyed area and decrease accident rate. Software for automated photogrammetric processing of acquired aerial photography allows to minimize efforts for orthophotos production. Created orthophotos serve as a basis for aquatic species distribution mapping, abundance estimates and GIS visualization. Due to low cost and high functional characteristics modern consumer UAVs already can play a key role in marine coastal biological studies. Their importance as an instrument for such research programs will increase shortly along inevitable growth of their technical characteristics and decrease in price.

Keywords: marine coastal biological research, UAVs, aerial imagery, orthophoto, mapping, GIS.

REFERENCES

- Bizikov V.A., Boltnev E.A., Petrov E.A., Peterfel'd V.A., Chernook V.I.* 2019. Eksperimental'naya avias"yomka bajkal'skoj nerpy s ispol'zovaniem BPLA bol'shoj dal'nosti [Experimental aerial survey of the Baikal seal using long-range UAVs] // Trudy VNIRO. T. 175. S. 226–229.
- Buzmakov A.S., Sannikov P. Yu., Andreev D.N.* 2016. Podgotovka i primeneniye materialov aerofotos"emki dlya izucheniya lesov [Preparation and applying the aerial photography for the forest studying] // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. T. 18. № 2 (2). S. 313–316.
- Grachev A.I.* 2000. Rezul'taty obsledovaniy lezhbishch sivucha i morzha v Ohotskom, Beringovom i Chukotskom moryah v 1997 godu [Results of Steller sea lion and walrus rookeries observations in Okhotsk, Bering and Chukchi Seas in 1997] // Mat. Mezhd. konf: Morskije mlekokopitayushchie Golarktiki. Arhangel'sk. S. 99–104.
- Dronova N.A., Spiridonov V.A.* 2008. Nezakonnij, neuchtennij i nereguliruemyj vylov tihookeanskih lososej na Kamchatke [Illegal, unreported and unregulated catches Pacific salmon in Kamchatka]. M.: Vsemirnyj fond dikoj prirody. 52 s.
- Dulenin A.A.* 2016. O primenimosti vizual'nyh nablyudenij dlya ocenki obiliya makrofitov na primere sahariny yaponskoj severo-zapadnoj chasti Tatarskogo proliva [On applicability of visual observations for macrophyte abundance estimation by example of *Saccharina japonica* at north-western Tatar Strait] // Prirodnye resursy, ih sovremennoe sostoyanie, ohrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie. Mat. VII Vseross. nauch.-prak. konf. s mezhd. uchastiem. Chast' 1. (22–24 marta 2016 g.). Petropavlovsk-Kamchatskij. S. 80–84.
- Dulenin A.A.* 2017. Kompleksnyj podhod k organizacii pribrezhnyh rybohozyajstvennyh issledovaniy v usloviyah sokrashcheniya ih finansirovaniya [Integrated approach to organizing coastal fisheries research in conditions of reduced funding] // Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie. Sb. mat. Vseros. nauch. konf. s mezhd. uchastiem, posvyashchennoj 85-letiyu KamchatNIRO (3–6 oktyabrya 2017 g., Petropavlovsk-Kamchatskij). Petropavlovsk-Kamchatskij: KamchatNIRO. S. 112–118.
- Dulenin A.A.* 2019. Raspredeleniye vidov-dominantov makrofitov po glubine v severo-zapadnoj chasti Tatarskogo proliva [The depth distribution of dominant species of macrophytes in the northwestern part of Tatar Strait] // Biologiya morya. T. 45, № 2. S. 97–107.
- Dulenin A.A., Kudrevskij O.A.* 2019. Ispol'zovanie legkogo teleupravlyаемого neobitaемого podvodnogo apparata dlya morskikh pribrezhnyh gidrobiologicheskikh issledovaniy [The use of lightweight remote operated vehicle for marine coastal hydrobiological investigations] // Vestnik KamchatGTU. № 48. S. 6–17.

- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V.* 2017. Ispol'zovanie foto- i videofiksacii dlya ocenki kolichestva proizvoditelej tihookeanskih lososej na nerestilishchah i putyah ih migracij: nekotorye metodicheskie podhody [Using the photo- and video records for assessment of Pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some methodical approaches] // *Issledovaniya vodnyh biologicheskikh resursov Kamchatki i severozapadnoj chasti Tihogo okeana*. Vyp. 47. S. 77–90.
- Zaporozhec O.M., Zaporozhec G.V., Fel'dman M.G.* 2020. Ocenka chislennosti proizvoditelej nerki i ih raspredelenie po nerestovym stacyam v bassejne Nachikinskogo ozera (Kamchatka) v 2019 g. [Estimation of the number of sockeye salmon adults and their distribution by spawning stations in the basin of Lake Nachikinskoye (Kamchatka) in 2019] // *Izvestiya TINRO*. T. 200. Vyp. 3. S. 618–634.
- Komanda NextGIS.* 2019. Dokumentaciya NextGIS QGIS [NextGIS QGIS documentation]. Vypusk 17.0. 25–10–2019. 227. Accessible via: <https://docs.nextgis.ru/downloads/340c10edc4ee3eb26e18ef9398e87567/NextGISQGIS.pdf>. 24.02.2021.
- Korotaev A.A., Novopashin L.A.* 2015. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya monitorirovaniya sel'skohozyajstvennyh ugodij i posevnyh ploshchadej v agrarnom sektore [Application of unmanned aerial vehicles for monitoring agricultural lands and cultivation areas in agrarian sector] // *Agrarnyj vestnik Urala*. T. 12. № 142. S. 38–42.
- Meshchaninova E.G., Nikolyukina V.O.* 2018. Perspektivy ispol'zovaniya BPLA pri osushchestvlenii zemelnogo nadzora [Prospects for the use of UAVs in the implementation of the land supervision] // *Ekonomika i ekologiya territorial'nyh obrazovanij*. T.2. № 3. S. 122–128.
- Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii* ot 25.05.2019 № 658. 2019. Ob utverzhdenii Pravil ucheta bespilotnykh grazhdanskikh vozдушnykh sudov s maksimal'noj vzletnoj massoj ot 0,25 kilogramma do 30 kilogrammov, vvezennykh v Rossijskuyu Federatsiyu ili proizvedennykh v Rossijskoj Federatsii [The decree of the Government of the Russian Federation. 2019. On approval of the rules for accounting for unmanned civil aircraft with a maximum take-off weight from 0.25 kilograms to 30 kilograms imported into the Russian Federation or produced in the Russian Federation]. 8 s.
- Sviridov V.V., Zolotuhin S.F.* 2020. Metody GIS dlya inventarizacii nerestilishch tihookeanskih lososej r. Amur [GIS methods for inventory of pacific salmon spawning grounds in the Amur River] // *Izvestiya TINRO*. T. 200 № 3. S. 730–746.
- Chelincev N.G., Goryaev Yu.I., Ezhov A.V., Makarevich P.R., Ishkulov D.G.* 2017. Opyt ocenki chislennosti tyulenej metodom sudovogo transektного ucheta s primeneniem sektornoj ekstrapolyacii po rezul'tatam nablyudenij v yugo-zapadnoj chasti Karskogo morya v letnij period 2015 g [Experience abundance estimates by the ship transect accounting with pie extrapolations from observations in the south-western part of the Kara Sea in summer 2015] // *Trudy VNIRO*. T. 168. S. 117–124.
- Agisoft.* 2019. Rukovodstvo pol'zovatelya Agisoft Metashape Professional Edition, versiya 1.5 [User manual for Agisoft Metashape Professional Edition version 1.5]. Accessible via: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf. 20.01.2021.
- Autel Robotics.* 2020. User manual for Evo II Series. 74 p. Accessible via: <https://www.autelpilot.com/blogs/support/autel-evo-ii-drone-user-manual>. 15.02.2021.
- Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L.* 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. V. 14. Issue 5. P. 241–251.
- DJI.* 2018. Mavic 2 Pro/Zoom user manual. V. 1.4. 69 p. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf. 15.02.2021.
- DJI.* 2021. DJI Mini 2. Руководство пользователя. Версия 1.2. 2021.02. 51 с. Accessible via: https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210222/DJI_Mini_2_User_Manual_RU.pdf. 15.02.2021.
- Goebel M.E., Perryman W.L., Hinke J.T., Krause D.J., Hann N.A., Gardner S., LeRoi. D.J.* 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators // *Polar Biology*. V. 38. P. 619–630.
- Joyce K., Duce S., Leahy S., Leon J.X., Maier S.* 2018. Principles and practice of acquiring drone based image data in marine environments // *Mar. Freshw. Res.* V. 70. P. 952–963.
- Koski W.R., Gamage G., Davis A.R., Mathews T., LeBlanc B., Ferguson S.H.* 2015. Evaluation of UAS for photographic re-identification of bowhead whales, *Balaena mysticetus* // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 22–29.
- Litchi.* 2021. User Guide. Accessible via: <https://flylitchi.com/help>. 24.02.2021.
- Maselko J.M., Connor W.P.* 2016. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // *FACETS*. V. 1. P. 187–204.
- Merrill J, Pan Z, Mewes T, Herwitz S.* 2013. Airborne hyperspectral imaging of seagrass and coral reef // *AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec. 9–13. Abstracts*. V. 1. P. 1741.
- Moreland E.E., Cameron M.F., Angliss R.P., et al.* 2015. Evaluation of a ship-based unoccupied aircraft system (UAS) for surveys of spotted and ribbon seals in the Bering Sea pack ice // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. 114–122.
- Mulero-Pázmány M., Stolper R., van Essen L.D., Negro J.J., Sassen T.* 2014. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa // *PLoS ONE*. V. 9 (1). P. 1–10.
- Pomeroy P, O'Connor L., Davies P.* 2015. Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK // *J. of Unmanned Vehicle Systems*. V. 3. P. 102–113.
- Sardà-Palomera F., Bota G., Padilla N., Brotos L. Sardà, F.* 2017. Unmanned aircraft systems to unravel spatial and

temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds // *J. of Avian Biology*. V. 48. P. 1273–1280.

Sheehan E., Rodriguez-Rodriguez D., Foster N. Nancollas S., Cousens S., Holmes L., Attrill M., Pettifer E., Jones I., Vaz S., Facq J.-V., Germain G. 2014. A comparative study of towed underwater video methodology to monitor benthic habitats in Marine Protected Areas. Ifremer, Sussex IFCA and Marine Institute for the Protected Area Network Across the Channel Ecosystem (PANACHE) project. INTERREG programme. 46 p.

Toonen H.M., Bush S.R. 2018. The digital frontiers of fisheries governance: fish attraction devices, drones

and satellites // *J. of Environmental Policy and Planning*. V. 22 (1). P. 125–137.

Weissensteiner M.H., Poelstra J.W., Wolf J.B.W. 2015. Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: an effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species // *J. of Avian Biology*. V. 46. P. 001–006.

Xu F, Gao Z, Jiang X, Shang W, Ning J, et al. 2018. A UAV and S2A data-based estimation of the initial biomass of green algae in the South Yellow Sea // *Marine Pollution Bulletin*. V. 128. P. 408–414.

TABLE CAPTIONS

Table. Comparative characteristics of consumer UAV optimal for coastal aerial surveys

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Examples of autonomous missions planning for sample photographing in Falshivaya Bay (left) and total photographing in Datta Bay (right) during September 2020. Digits designate waypoint number (lilac symbol), flight height at given segment (black symbol) and length of segment between neighboring waypoints (black symbol ending with “m”) in meters

Fig. 2. Orthophoto of Datta Bay inner part, Tatar Strait western coast, September 2020

Fig. 3. Chum salmon fishing in Datta Bay (western part of Tatar Strait). Set nets, car and tent are visible

Fig. 4. Orthophoto of Toki Island and its vicinities. Circles designate spotted seal individuals near Toki Island (yellow) and adjacent stony spit (orange)

Fig. 5. Spotted seal rookery partial photos near Toki Island. Left – taken at 200 m, magnified, right – at 10 m

Fig. 6. Flathead grey mullet in shallow waters nearby Toki Island

Fig. 7. Aerial photography results for Flashivaya Bay (noth-western Tatar Strait) at height of 500 m

Fig. 8. *Zostera marina* fields in Falshivaya Bay (north-western Tatar Strait) at height of 10 m. Left – photo without optical obstacles, right – with optical obstacles (cloud reflections, ripple, shadows, fallen trees)

Fig. 9. *Saccharina japonica* fields at Tatar Strait north-western coastlines. Parts of single photos. Left – at height 10 m, depth 1–4 m, right – at height 300 m, depth 1–6 m. Upper row photos were taken in good conditions, lower row – in poor ones

Fig. 10. Orthophoto of Tatar Strait coastline section, September 2020.