

ОТРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ УЧЁТА ПЛОЩАДИ НЕРЕСТИЛИЩ СЕЛЬДИ В ОХОТСКОМ МОРЕ

© 2022 г. А.А. Дуленин, В.В. Свиридов

*Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (ХабаровскНИРО), Хабаровск, 6800028
E-mail: dulenin@mail.ru*

Поступила в редакцию 17.02.2022 г.

Отработаны методики учёта площади нерестилищ сельди с использованием потребительских подводных роботов и беспилотников. Такие аппараты перспективны для применения благодаря относительной дешевизне, лёгкости освоения и использования. Экспериментальные работы проведены с 11 мая по 9 июня в бухтах Круглая и Тунгусская (северная часть Охотского моря) в период подходов сельди на нерест. При помощи подводных роботов нерестилища необходимо обследовать методами точечных погружений и коротких трансект с записью скриншотов участков дна на смартфон и последующим автоматическим геореферированием полученных снимков. Работы следует сопровождать записью треков, координат станций и их атрибутивных данных в мобильной геоинформационной системе (ГИС). Беспилотные облёты нерестилищ необходимо выполнять в режиме автоматических линейных и полигональных миссий или ручного управления. Для сборки ортофотопланов оптимальна высота 150 м с продольным перекрытием снимков не менее 80% и поперечным – не менее 50% (не менее 20% при очень хорошей видимости дна). В тяжёлых условиях съёмки целесообразны зигзагообразные облёты нерестилищ на высоте 50 м со съёмкой серий фотографий без пересечения и дальнейшей сборки ортофотопланов. Материалы подводной и беспилотной съёмок, интегрированные в настольной ГИС, обеспечивают высокую точность и оперативность оценки площади нерестилищ, максимальную степень документированности и проверяемости получаемых материалов.

Ключевые слова: Охотское море, сельдь, нерестилища, учёт, ТНПА, БПЛА, ортофотоплан, методы.

ВВЕДЕНИЕ

Основой расчёта численности нерестового запаса охотской популяции сельди является оценка количества икры, отложенной ею на нерестилищах в северо-западной части Охотского моря (Тюрнин, 1967, 1973). Основными параметрами, определяемыми во время учётных работ, являются площадь нерестилищ и плотность обикрения на них; основными методами учёта являются водолазные икорные съёмки (Фархутдинов, 2005; Пономарев, 2012) и авианаблюдения (Фархутдинов, 2007). В на-

стоящее время количество отложенной икры тесно ($R^2 = 0,87$) обусловлено площадью локальных нерестилищ (Дуленин, Диденко, 2021). Из этого следует, что первоочередной задачей учётных работ должно быть как можно более точное определение площади нерестилищ. Для этого (помимо традиционных водолазных работ) целесообразно использовать современные технические средства, такие как телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА, подводные роботы), беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и

геоинформационные системы (ГИС). Общие возможности использования ТНПА в прибрежных гидробиологических исследованиях уже были показаны (Дуленин, Кудревский, 2019; Жариков, Лысенко, 2016; Buscher, et al. 2020; Rasunski, et al., 2008; и т. д.). Обрисованы и общие перспективы использования БПЛА в этом направлении (Дуленин и др., 2021a; Raoult et al., 2020; Harris et al., 2019; и т. д.). ГИС для обобщения и анализа разнообразных данных рыбохозяйственных исследований применяют давно и успешно (Макрофауна ..., 2014; Нектон ..., 2003; Meaden, Aguilar-Manjarrez, 2013; Geographic ..., 2004; и т.д.). Существенный резон использования потребительских беспилотников и подводных роботов состоит в их относительной дешевизне: цена квадрокоптера сопоставима со стоимостью одного лётного часа пилотируемых авиаучётных работ, а подводного дрона – с одним комплектом водолазного снаряжения. Кроме того, такая потребительская техника удобна в использовании, относительно легка в освоении и не требует для своего применения привлечения дополнительного высококвалифицированного персонала. Учитывая возможность попутного использования таких аппаратов во время стандартных икорных съёмок, без значительных затрат времени и средств, целесообразно их внедрение в практику.

Однако применение указанных инструментов и методов требует серьёзной адаптации к специфике икорных съёмок в суровых климатических условиях северо-западной части Охотского моря. В связи с этим, было решено отработать технику их использования в стационарном режиме, на одном из локальных участков расположения нерестилищ сельди близ поселка Охотск.

Цель исследования состояла в том, чтобы выработать целостную техноло-

гию обследования нерестилищ сельди при помощи современных технических и программных средств. Перед авторами стояли следующие основные задачи:

Выбрать оптимальные технические и программные средства учётных работ.

Выявить и учесть особенности использования исследовательских инструментов в конкретных условиях Охотского моря.

Сформулировать конкретные алгоритмы проведения учётных работ посредством ТНПА и БПЛА.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Наблюдения проводили с 11 мая по 9 июня в районе бухт Круглая и Тунгусская, расположенных непосредственно к востоку от поселка Охотск (рис. 1).

ТНПА. Использована классификация ТНПА по ГОСТ Р 56960–2016 (доступно через <https://docs.cntd.ru/document/1200136057>, дата обращения 06.02.2022). Работы выполняли при помощи микро–ТНПА Chasing M2 (рис. 2) со следующими наиболее важными характеристиками: вес аппарата 4,5 кг, вес комплекта оборудования 10 кг, фото 12 мП, видео 4К, подсветка – 2 осветителя по 2000 лм каждый, кабель 100 м, съёмная батарея ёмкостью 97 ватт/час.

Съёмки проводили с моторной лодки в соответствии с подходами, изложенными ранее (Блинова и др., 2005; Дуленин, Кудревский, 2019). Ориентируясь по расположению станций прежних икорных съёмок 2010–2020 гг., перпендикулярно берегу через каждые 0,5 км выполняли серии разрезов. На разрезах делали серии погружений ТНПА (станций) от верхней до нижней границ растительности, т.е. на глубинах от 3 до 12 м. Расстояние между погружениями составляло от 50 до 150 м. Было выполнено 42 станции на 10 разрезах. На спокойной воде аппарат использо-



Рис. 1. Участок выполнения экспериментальных работ у побережья Охотского моря в 2021 г.



Рис. 2. Оператор с микро-ТНПА и сопутствующим оборудованием.

вали в режиме ТНПА (с активным перемещением при помощи движителей). На течении погружения выполняли в режиме привязной подводной видеокамеры (с заблокированными движителями). В этом случае к носовой части аппарата на расстоянии 0,5 м от камеры при помощи лески прикрепляли свинцовый груз весом 2 кг. Благодаря такому решению добивались относительно неподвижного положения аппарата на течении и волнах при посадке грузом

на дно. В западной части участка (станции 1–34) аппарат погружали и стабилизировали в пространстве при помощи движителей, в восточной части (станции 34–42) работали в пассивном режиме. Дополнительно, у м. Марекан, выполняли обследования дна в виде сплошных трансект, запуская ТНПА непосредственно с берега.

Изображения, полученные ТНПА, передавались с пульта управления на смартфон оператора через Wi-Fi посредством специализированного мобильного приложения Chasing GO1 (рис. 3, справа) и сопровождалась выводимыми на экран данными телеметрии (курс, глубина, угол наклона ТНПА, температура воды). Роботом управляли 2 человека – один погружал и доставал из воды аппарат, другой вел съёмку при помощи пульта управления и смартфона. Оператор делал скриншоты (снимки экрана) выводимых на смартфон изображений. Ежедневно после использования аппарат выдерживали не менее часа в пресной воде, запуская движители на 10 мин для их опреснения. Все снятые материалы ежедневно сохраняли на рабочем ПК для дальнейшей обработки и анализа.

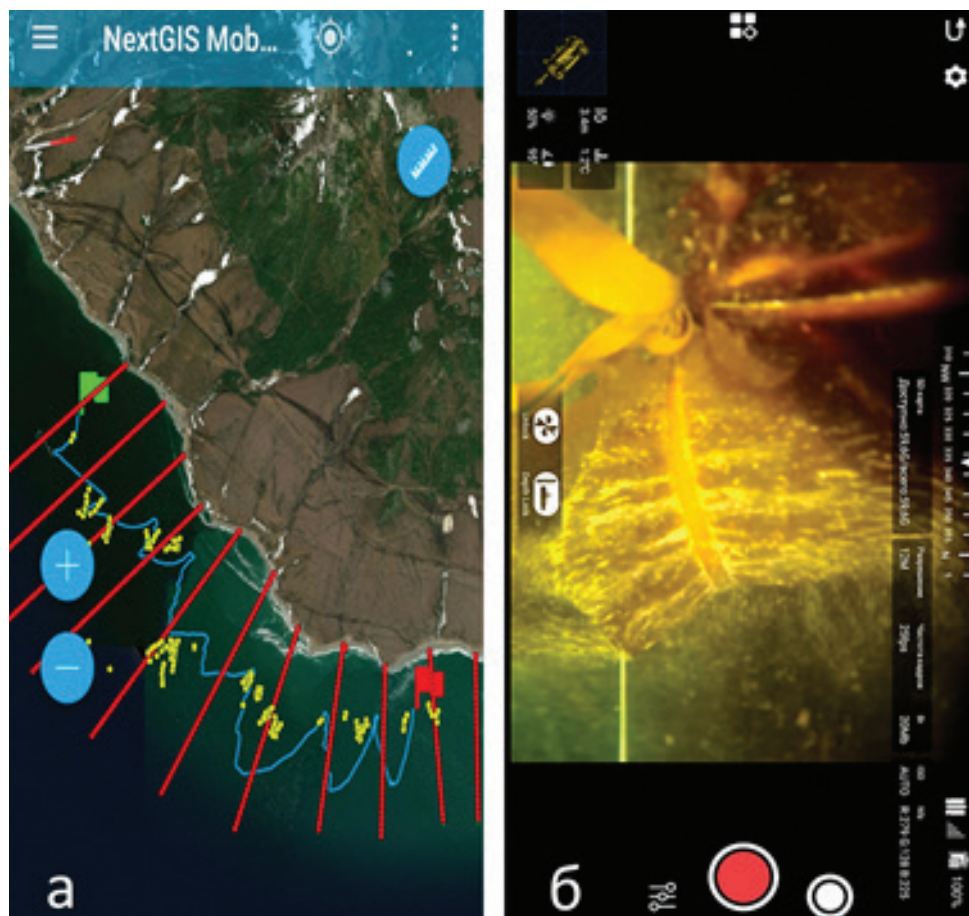


Рис. 3. Интерфейс мобильных приложений NextGIS Mobile (а) и Chasing GO1 (б).

Для ориентирования на местности использовали мобильное приложение NextGIS Mobile (рис. 3, слева). Для удобства пользования и экономии заряда батареи, этим приложением пользовались с отдельного, второго смартфона. В приложение были заранее загружены космоснимки и топокарты местности, станции ранее выполнявшихся икорных съёмок (группы точек) и заранее отрисованные сектора выполнения разрезов (ряды точек). В этом приложении автоматически записывали треки передвижения лодки (сплошная линия). Номера станций в приложении вносили вручную, а их атрибутивные данные (координаты, дата, время) записывались автоматически.

Для аппаратов под водой недоступны сигналы спутниковых навигацион-

ных систем (ГЛОНАСС, GPS и т.п.), а микро-ТНПА потребительского класса не оснащаются дорогостоящими системами подводного позиционирования (USBL), работающими на принципах эхолокации. В связи с этим пространственную привязку сделанных скриншотов выполняли по GPX-трекам, записанным в NextGIS Mobile. Для этого при помощи специализированной свободно распространяемой программы GeoSetter по записанному в метаданных скриншотов времени съёмки, они синхронизировались с данными треков о координатах в момент выполнения снимка. Эти координаты автоматически прописывались в метаданных снимков. Далее треки и скриншоты выгружали в настольную ГИС NextGIS QGIS. По снимкам и их атрибутивным данным заполняли стан-

дартные электронные таблицы данных икорных съёмок, содержащие сведения о датах, координатах, глубинах, температуре воды, грунтах, наличии и составе водорослевого пояса, наличии обыкрения на станциях и его мощности по пятибалльной шкале (0 – обыкрения нет, 1 – обыкрение крайне слабое, 2 – обыкрение слабое, 3 – обыкрение умеренное, 4 – обыкрение обильное, 5 – обыкрение весьма обильное). Площадь водорослевого пояса и нерестилищ определяли в настольной ГИС NextGIS QGIS посредством инструментов оцифровки и расчёта пространственных атрибутов.

БПЛА. Для аэрофотосъёмки использовали потребительские квадрокоптеры DJI Phantom 4 Pro v2 (заявленное время полёта до 30 мин., высота до 500 м, скорость до 72 км/ч, радиосигнал до 6000 м, камера с диагональю матрицы 1', 20 мП). Применяли 2 беспилотника (второй – страховочный). Для управления полётами использовали планшет iPad 2019 либо смартфон iPhone 7. Для скоростной записи больших объёмов данных использовали карты памяти MicroSD класса UHS-3 ёмкостью 128 Гб. Для размагничивания компаса БПЛА использовали специализированный размагничиватель Sfixer. Для зарядки аккумуляторов БПЛА в полевых условиях от аккумуляторов автомобилей или подвесных моторов маломерных плавсредств использовали портативный инвертор электрического тока. Для защиты оборудования от влаги использовали гермомешки, а для БПЛА – специальные герметичные рюкзаки.

Для фотограмметрической обработки данных беспилотной съёмки использовали высокопроизводительные ноутбуки (ОЗУ от 24 гБ, процессор от 6 физических ядер, видеокарта 8 гБ) – 2 шт., второй страховочный. Для построения и выполнения автоматических полётов

миссий (заранее спланированных полётов по необходимому маршруту с заданными параметрами: высотой, скоростью, режимами съёмки и т.п.) применяли специализированное ПО Map Pilot Pro для iOS. Для полётов в режиме ручного управления использовали штатное ПО DJI GO 4. Для фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, а именно для сборки ортофотопланов, использовали программный пакет Agisoft Metashape Professional для Windows. Выходными данными стали ортофотоснимки, ортофотопланы. При проведении работ приоритетными были следующие показатели:

- качество (разрешение на местности, минимальный смаз);
- производительность (темпы съёмки – площадь и протяжённость за единицу времени, продолжительность работ, минимум задействованных лиц);
- безопасность (соответствие погодных условий возможностям аппарата, применение автоматических миссий, остаточный страховочный заряд батареи и т.д.);
- простота (невысокие требования к квалификации исполнителей).

Помимо съёмок на нерестилищах, БПЛА использовали для фото- и видеосъёмки на добыче сельди при помощи кошельковых и ставных неводов.

В сумме проведено более 60 полётных миссий продолжительностью 7–23 мин. каждая, отснято 13,5 тыс. аэрофотоснимков, с последующим созданием ортофотопланов.

Все материалы, отснятые с помощью ТНПА и БПЛА, были помещены в настольную ГИС NextGIS QGIS «ХабаровскНИРО».

РЕЗУЛЬТАТЫ

С 11 мая по 5 июня включительно бухты Круглая и Тунгусская были по-

крыты плавающими льдами. С 6 по 8 июня была штормовая погода с высотой волны 1,5–3 м. Эти обстоятельства препятствовали регулярному проведению наблюдений. Работы были проведены в периоды временного освобождения ото льда и образования полыньи на обследуемых участках. Средняя температура воды в придонном слое за период наблюдений составила 0,4°C. Между тем, по данным многолетних наблюдений, массовые подходы и нерест сельди наблюдаются при температуре не менее 2–3°C (Фархутдинов, 2007). Вследствие этого на обследуемом участке кратковременный подход сельди был отмечен только в 1 день – 28 мая.

Работа с ТНПА. По выполненным наблюдениям, поселения водорослей на дне формировали *Saccharina gurjanovae* (A.D. Zinova) Selivanova, Zhigadlova & G.I. Hansen, 2007, aff. *Laminaria appressirhiza* J.E. Petrov & V.B. Vozzhinskaya, 1970, aff. *Laminaria inclinatorhiza* J.E. Petrov & V.B. Vozzhinskaya, 1970, *Alaria esculenta* (L.) Greville, 1830, *Stephanocystis crassipes* (Mertens ex Turner) Draisma, Ballesteros, F. Rousseau & T. Thibaut, 2010, а также представители Rhodophyta, местами aff. *Hymenena ruthenica* (Postels & Ruprecht) A.D. Zinova, 1965. Поскольку в воде присутствовало значительное количество взвеси, не удалось однозначно определить видовую принадлежность представителей *Laminaria* и большинства мелких Rhodophyta. Однако, учитывая задачи исследования, этот недостаток не имел критического значения. Площадь водорослевого пояса (рис. 1) на обследованных участках оценена в 1,6 км². Вероятно, эта площадь оказалась занижена из-за невозможности обследовать весь участок в сложной ледовой обстановке, хотя возможно как уничтожение водорослей льдами и штормами, так и замывание твердых грунтов, пригодных

для поселения макрофитов. В бух. Круглой и на м. Марекан по данным обследования штормовых выбросов водорослей следов нереста отмечено не было. Слабый нерест был отмечен только в бух. Тунгусской. Всего из 42 выполненных ТНПА станций следы нереста были обнаружены только на 7 на глубинах от 3 до 4,2 м. Обыкрение было местами отмечено только на гофрированных слоевищах водорослей *Alaria esculenta* (рис. 3, справа). Интенсивность обыкрения слоевищ оценена в 1 или 2 балла. Несмотря на плохие условия съёмки из-за мутности и течений, наличие обыкрения и его степень были легко определены (рис. 3б). Общая площадь нерестилищ (рис. 1) оценена в 0,5 км². Для сравнения, в 2020 г. площадь нерестилищ в бухтах Круглой и Тунгусской составила 2,9 км², т.е. почти в 6 раз больше.

Для организации аналогичных исследований, целесообразно изложить полученные методические наработки. Если нерестилища узкие (менее 100 м) и располагаются от уреза воды, их можно обследовать непосредственно с берега. В этом случае ширина обследованного участка соответствует длине вытравленного кабеля. В иных случаях следует работать с быстроходных и мореходных маломерных лодок или катеров. Когда работа выполняется в экспедиционном режиме, маломерное судно должно базироваться на материнском НИС. Желательно, чтобы маломерные плавсредства имели тенты или кубрики для защиты от дождя и брызг. Однако, если смартфоны, используемые во время съёмки, имеют влагозащищенное исполнение или защищены специальными чехлами, вполне можно работать и при сырой погоде. Практика показала, что оптимальный состав рабочей группы – 3 человека: моторист, оператор ТНПА и кабеля, оператор пульта дистанционного управ-

ления. Такой состав обеспечивает наибольшую скорость и эффективность работы. Кроме того, практика экспедиционной водолазной съёмки в Татарском проливе (Дуленин и др., 2021б) показала, что одновременные и параллельные погружения микро-ТНПА и водолаза с отбором проб в точке погружения ТНПА весьма удобны, позволяют визуально контролировать водолазные сборы и дают возможность избавиться от ряда артефактов водолазных учётных работ (Дуленин, 2017). При параллельной работе с водолазом на течении, во избежание взаимного сноса, на каждой станции следует становиться на якорь. Для максимальной точности позиционирования, при любом сценарии работ, подводный робот следует погружать непосредственно под лодкой.

Специфика икорных съёмок такова, что в отличие от обычных гидробиологических исследований (Дуленин, Кудревский, 2019), для оценки наличия и степени обикрения оптимальны точечные погружения (при относительно прозрачной и спокойной воде) или короткие – 10–20 м трансекты в дрейфе (на течении и в мутной воде). Станции следует выполнять через каждые 30–100 м, в зависимости от ширины нерестилища, разрезы – через 0,2–1 км, в зависимости от его длины. Сплошные протяжённые трансекты в движении (до нижней границы обикрения) возможны только на очень малой скорости (до 1–1,5 км/ч), иначе картинка размывается и качественные снимки получить невозможно. Такие сплошные трансекты целесообразно выполнять, если пояс растительности заведомо узок, порядка нескольких десятков метров (например, как во внешней части зал. Алдома), или когда обследуются небольшие районы (например, Тауйская губа), съёмка не ограничена во времени, а её условия

близки к идеальным. Если же выполняется сжатая по времени съёмка больших районов, выполнение сплошных трансект приведёт к неоправданному затягиванию работ.

Для получения качественных снимков ключевое значение имеет свет. В прозрачной воде, для получения максимально детализированной картинки, осветители следует включать на полную мощность даже на мелководьях. При повышенной мутности подсвечивание взвеси сильно портит картинку, поэтому осветители необходимо выключать. На каждой станции, в зависимости от условий съёмки, необходимо делать несколько скриншотов (3–10), добиваясь наиболее чёткой картинки. Параллельно скриншотам следует делать видеозаписи всех погружений, включая запись в момент достижения нужной глубины и выключая при начале подъёма. В прозрачной воде съёмку следует вести в разрешении 4K, при высокой мутности – в FullHD или HD.

Поскольку съёмки выполняются преимущественно в осложнённых условиях, с течениями и волнением, микро-ТНПА в таких случаях целесообразно использовать в пассивном режиме, с заблокированными движителями, используя для погружений и стабилизации в пространстве груз, как описано в разделе «Материал и методика». Продолжительность разового выезда с микро-ТНПА лимитируется ёмкостью его батареи. Продолжительность работы аппарата от батареи зависит прежде всего от температуры воды. В нашем случае, при перемещении с помощью движителей и температуре воды около 0°C, одного заряда оказалось достаточно для выполнения 34 станций с точечными погружениями и короткими трансектами, выполненных в течение 3,5 ч. При этом суммарное время работы под водой со-

ставило около 45 мин. Следует отметить, что водолазное обследование такого количества станций потребовало бы около одного дня работы.

Таким образом, работы с микро-ТНПА продемонстрировали высокую оперативность: для практических задач их производительность вполне удовлетворительна. Если же аппарат используется преимущественно или полностью с заблокированными движителями, его стандартной батареей достаточно для целого дня работы и выполнения 50–60 станций. При необходимости повышения производительности, можно использовать сменные или более ёмкие батареи. Однако при организации съёмки следует принимать во внимание, что последние (ёмкостью свыше 100 Вт/ч) запрещены к авиаперевозкам.

Наиболее существенным недостатком использовавшейся модели микро-ТНПА оказалась малая надёжность движителей. Необходимо избегать посадок аппарата в ил и песок, иначе они быстро выходят из строя. Движители таких аппаратов рассматриваются пользователями в качестве расходного материала, благо, что для обсуждаемой модели их можно докупать отдельно и заменять в рабочем порядке. Официальный представитель производителя в России сообщает о работах над усовершенствованием движителей. Степень их надёжности покажет практика. В связи с этим, кратко обсудим альтернативы обсуждаемому классу аппаратуры. Упрощённой заменой микро-ТНПА могли бы служить подводные привязные видеокамеры. Однако, их многочисленные дешёвые модели имеют низкое качество, а дорогие профессиональные (доступно через <https://www.rovbuilder.com/vodolaznye-televizionnye-kompleksy/>; <https://gnomrov.ru/products/dcam/>, дата обращения 07.02.2020), будучи сопоста-

вимы с микро-ТНПА по цене, не имеют их функционала. Пульты управления таких камер не защищены от влаги. Далее, на рынке присутствует ряд моделей мини-ТНПА отечественного производства (доступно через <https://www.rovbuilder.com/rb-150/>; <https://gnomrov.ru/products/gnom-standard/>, дата обращения 07.02.2020). Они весьма надёжны, но довольно громоздки, что может представлять проблему при авиаперевозках и работе с малых плавсредств. Их пульты управления также не защищены от влаги и при сырой погоде могут эксплуатироваться только в закрытой рубке. Работа на открытой палубе в условиях реальной икорной съёмки приведёт к быстрому выходу оборудования из строя. Что касается легких, средних и тяжёлых ТНПА, то хотя они вполне успешно используются в гидробиологических исследованиях (Жариков, Лысенко, 2016), однако дороги, имеют большой вес, высокое энергопотребление, требуют для управления специально обученного персонала или даже специально оборудованных судов. Очевидно, что для задач икорной съёмки использование таких аппаратов нецелесообразно. Исходя из опыта применения различных инструментов: привязных камер, мини-ТНПА (Дуленин, Кудревский, 2019) и микро-ТНПА, последний класс аппаратов авторы считают оптимальным для обследования нерестилищ сельди.

Работа с БПЛА. Тяжёлая ледовая и погодная обстановка на протяжении всего периода работ представляла собой идеальные тестовые условия для отработки методик беспилотной аэрофотосъёмки. Большую часть времени на собираемых ортофотопланах наблюдались льды (рис. 4). Ветер сильнее 10 м/с наблюдался редко, однако даже при наиболее сильном ветре (до 14 м/с) БПЛА работали в штатном режиме.

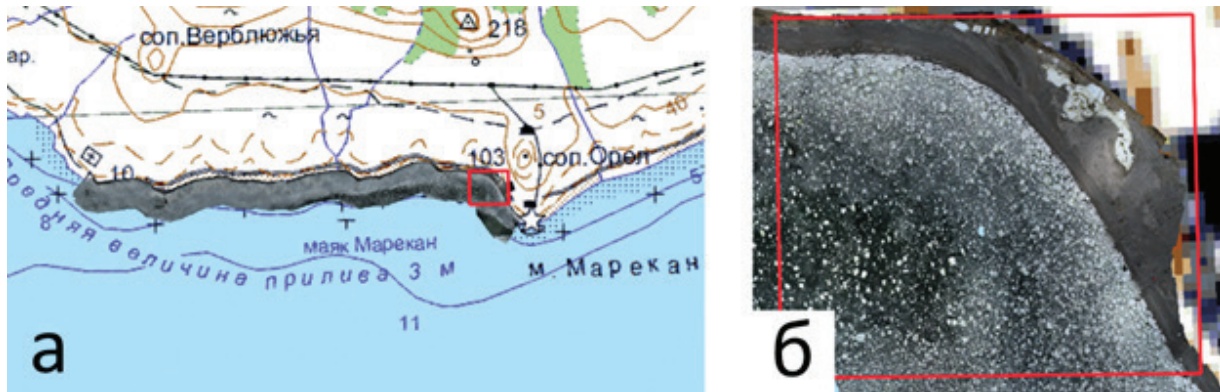


Рис. 4. Сложная ледовая обстановка. Ортофотоплан бух. Круглая (а) и его увеличенный фрагмент (б).

Поскольку нерестилища на обследованном участке расположены на глубине не менее 3 м и удалении от берега не менее 0,5 км, материалы беспилотной аэрофотосъёмки не позволили оценить площадь водорослевого пояса или подтвердить факты нереста, отмеченного по снимкам ТНПА. Однако авторы (Дуленин и др., 2021а) уже показали, что беспилотная аэрофотосъёмка с дронов потребительского класса – эффективный способ картирования донной растительности прибрежных мелководий в условиях Дальнего Востока России. Хорошие результаты беспилотной съёмки нереста и нерестилищ сельди в 2021 г. получены А.М. Панфиловым («МагаданНИРО») в Ольском лимане (Магаданская область). Неопубликованные результаты этих работ были доложены на научно-консультационном совете по сельди в июне 2021 г. Далее, в сети Интернет есть видеозаписи беспилотных съёмок нереста сельди, выполненные у берегов Северной Америки (доступно через <https://www.youtube.com/watch?v=sopq3lu9ow>, https://www.youtube.com/watch?v=PJvxW_rG7h0, дата обращения 07.02.2022). Однако, все эти материалы имеют обзорно-иллюстративный характер. Возможности и ограничения работы в тяжёлых условиях до сих пор не были обозначены.

Кроме того, не были выработаны конкретные приёмы и алгоритмы работ в зависимости от полётной обстановки. Между тем, опыт показывает, что подъём беспилотника в воздух и даже прохождение нужного маршрута в тяжёлых условиях низких температур, высокой влажности, низкой облачности, далеко не гарантирует удовлетворительных результатов съёмки. В связи с этим, для выработки необходимых методических приёмов, нами была выполнена серия тестовых полётов с различными настройками БПЛА. Принципиальная возможность аэрофотосъёмок при помощи потребительских беспилотников в тяжёлых условиях северной части Охотского моря до проведения тестовых работ была под вопросом, однако испытания показали возможность уверенных регулярных съёмок до 5 км побережья в течение одной миссии и на одной батарее даже при относительно неблагоприятной погодной обстановке.

Подробные методические рекомендации по морской беспилотной съёмке неизбежно будут иметь большой объём, поэтому здесь кратко обрисованы лишь основные её особенности. Полёты необходимо выполнять только в радиусе устойчивого радиосигнала. Не следует летать близ скоплений птиц, особенно хищных. В туман не следует летать даже

на малой высоте: оптика и детали беспилотника покрываются каплями воды, что может привести к выходу из строя его электроники и двигателей (рис. 5а). Снимки в туман получаются заведомо плохого качества, поэтому полёты в такую погоду не имеют практического смысла даже при использовании влагозащищенных БПЛА с гидрофобным покрытием оптики. Также не следует летать при сочетании высокой влажности и низкой температуры воздуха (ниже +3°C на поверхности): это может привести к обмерзанию пропеллеров (рис. 5б) и падению аппарата.

Летая при умеренной влажности, следует учитывать снижение ёмкости батареи на холоде: при низких температурах расчётную продолжительность полёта нужно устанавливать в 50% времени, заявленного производителем (т.е. 15 мин. для применяемого нами аппарата). Все полёты необходимо планировать так, чтобы остаточный заряд батареи при посадке составлял не менее 30%. При низкой облачности аппарат следует поднимать в воздух ниже слоя облаков. Облака снижают освещённость, поэтому при полётах в таких условиях следует увеличивать выдержку камеры в той степени, чтобы нужные объекты были качественно видны на снимках. Соответственно, потребуется пропорциональное снижение скорости полёта для минимизации

смаза. Для обеспечения максимальной скорости полёта при минимальных выдержке и смазе, целесообразно использовать аппараты с наибольшим физическим размером матрицы (например, из моделей DJI: Mini 2 с матрицей 2/3" и Phantom IV v.2 – 1", предпочтителен последний). Лёд, рябь, блики, мутность воды, слабая выраженность различных элементов дна приводят к снижению качества ортофотопланов, уменьшению их пространственного покрытия и точности. Тем не менее, характеристики ортофотопланов остаются вполне приемлемыми для работы (рис. 6).

Пространственное разрешение ортофотопланов составило 4,1 см в пикселе при съёмке с высоты 150 м и 1,4 см/пикс. – с 50 м. Такой детализации достаточно для опознания как мелких деталей рельефа, так и отдельных слоевищ водорослей, рыб и т.п. (Дуленин и др., 2021б). Оптимальна для работы высота 150 м: она позволяет снимать прибрежную зону шириной около 225 м, чего достаточно для обследования мелководной части нерестилищ. При необходимости для съёмки более широкой прибрежной полосы, следует планировать автоматические миссии в 2 пролёта: туда, на расстоянии от берега около 100 м, и обратно, на расстоянии от берега 200–250 м (в зависимости от выбранного поперечного пересечения).



Рис. 5. Воздействие высокой влажности и низких температур на беспилотную технику. Видны капли влаги на камере (а) и кромка льда на пропеллерах (б).

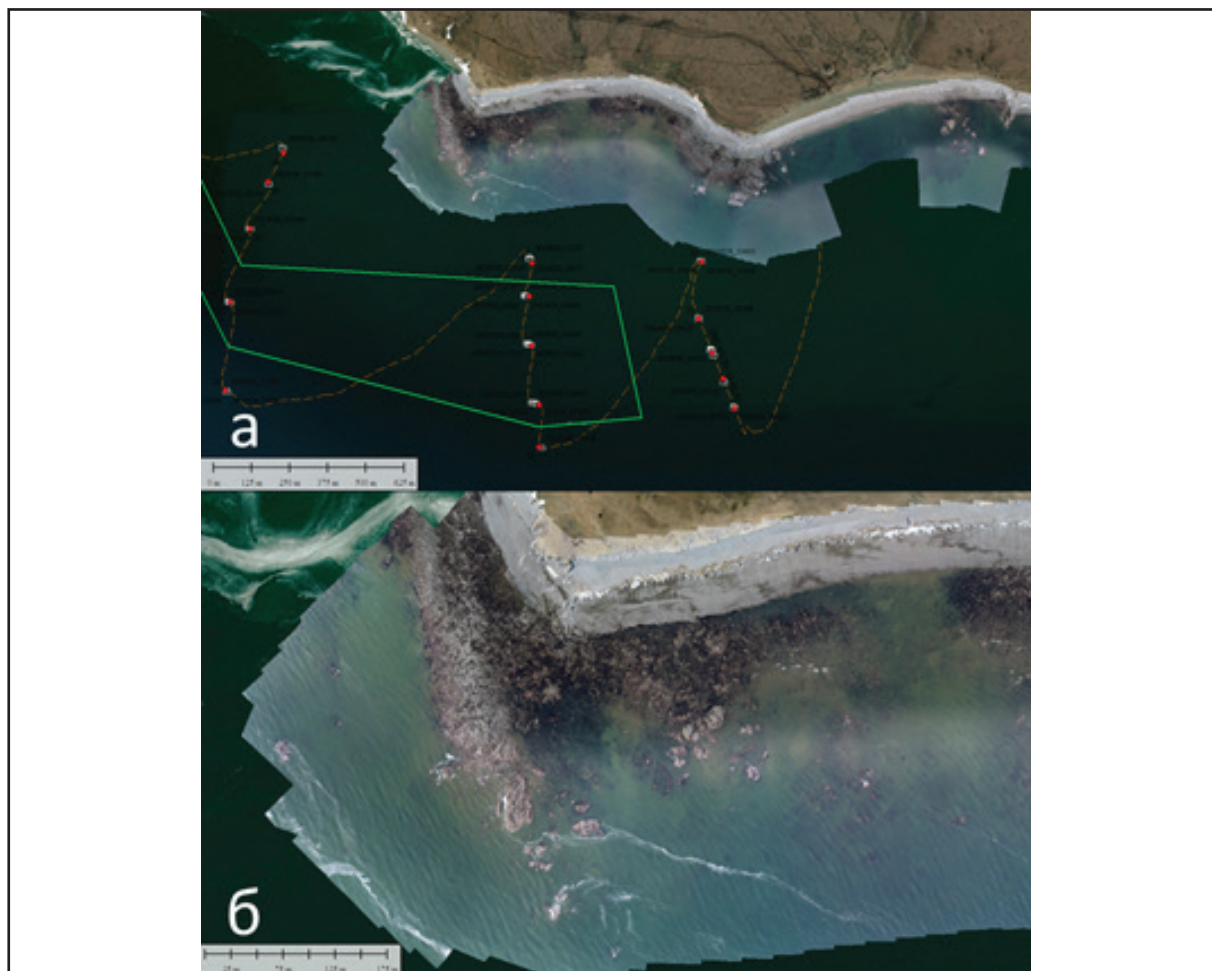


Рис. 6. Пример ортофотоплана при съёмке в пасмурную погоду при мутности воды (а) и его увеличенный фрагмент (б). Пунктир – трек маломерного плавсредства, точки – станции ТНПА, пиктограммы с изображением фотоаппарата – сделанные на станциях подводные фотографии, контур – водорослевый пояс по данным ТНПА.

Для качественной сборки ортофотопланов съёмки моря необходимо выполнять так, чтобы всегда захватывать в кадр не менее 10–30 м берега. Вновь обследуемые участки целесообразно снимать в ручном режиме с высоты 150 м, ведя серийную фотосъёмку (через каждые 2 сек.) в максимальном разрешении, с места или в преследовании, сопровождая БПЛА на маломерном судне. Для облегчения труда оператора, уже известные участки бывает удобно обследовать в режиме автоматических полётных миссий. Для их прокладывания разработаны следующие оптимальные параметры:

А) Для обследования протяжённых открытых участков побережья при хорошей погоде оптимальны линейные миссии в один или два пролёта (высота 150 м, продольное перекрытие снимков 80%, при необходимости, поперечное – 20–50%, скорость до 15 м/с в зависимости от условий съёмки).

Б) Для съёмки небольших бухт наиболее подходят полигональные миссии (высота 150 м, продольное перекрытие 80%, поперечное – 20–50%, скорость до 15 м/с, в зависимости от условий съёмки).

В) В сложных условиях съёмки (низкая облачность, рябь) следует огра-

ничиться зигзагообразными (рис. 1) выборочными миссиями без пересечения снимков (высота 50 м, доля площади, покрываемой снимком – около 50%, расстояние между соседними разрезами приблизительно равно длине самого разреза, скорость – 7,5 м/с). Материалы такой съёмки недостаточны для сборки ортофотоплана, однако они позволяют, во всяком случае, задокументировать видимые границы нерестилища. Возможно преобразование полученных снимков в ортофотоснимки, однако для этого необходимо использование коммерческого ПО Global Mapper. Ортофотоснимки, подобно ортофотопланам, геореферированы, по ним возможны измерения, хоть и с меньшей точностью.

Оптимальны следующие сценарии обследования нерестилищ:

1. Умеренный ветер, хорошая погода и освещение: 5-км полёты, высота 150 м, скорость до 15 м/с, тотальные ортофотопланы побережья.

2. Сильный ветер, хорошая погода и освещение: сокращённые полёты, высота 150 м, скорость до 15 м/с, ортофотопланы отдельных отрезков побережья.

3. Пасмурная погода, плохое освещение: по необходимости – сокращённые полёты, высота 150 м, скорость до 7 м/с, ортофотопланы отдельных отрезков побережья.

4. При нецелесообразности работы со стартовой точки на суше или с материнского судна: линейные полёты с борта маломерного судна в режиме преследования, высота 150 м, переменная скорость, тотальные ортофотопланы побережья.

5. Низкая облачность: зигзагообразные полёты с автоматической съёмкой серий отдельных снимков побережья, высота 50 м, скорость 15 м/с с полной остановкой для каждого снимка.

Планируя работу, следует принимать во внимание, что миссии на высоте не более 150 м в пределах прямой видимости, в светлое время суток, вне зон ограничений полётов не требуют согласования с Росавиацией (Постановление..., 2019).

Помимо обследования участков нерестилищ, успешно отработано применение БПЛА для сопровождения промысловых операций: контроля постановки ставного невода, наблюдения за ловом сельди кошельковыми неводами и т.п. Представители промышленности использовали свои БПЛА для прокладки маршрутов судов и выбора оптимальных участков замёта кошельковых неводов во льдах. При массовых подходах сельди, отслеживание перемещений косяков, контроль заполнения ловушек ставных неводов и подобные операции при помощи беспилотников, обещают быть столь же успешными.

Следует понимать, что после очистки от льдов полётная обстановка в прибрежной зоне существенно улучшается. Так, в период работ по нерестовой сельди с конца 60-х годов прошлого века по 2005 г. ежегодно выполнялось не менее 6 авиаоблётов нерестилищ с аэрофотосъёмкой (Фархутдинов, 2007), что предполагает наличие достаточного количества дней с хорошей съёмочной погодой. Наш опыт показывает, что в течение одного погожего дня средствами беспилотников потребительского класса можно обследовать не менее 60 км морского побережья (Дуленин и др., 2021a). Протяжённость отдельных нерестилищ по архивным данным икорных съёмок «ХабаровскНИРО» составляет от 0,5 км для небольших до 20–30 км для двух крупнейших, в зал. Алдома и Ейринейской губе. Полученный опыт показывает, что на обследование каждого из локальных нерестилищ потребуется, при

правильной организации съёмки, от 1 до 4–10 вылетов, на которые потребуется от 10 мин. до нескольких часов. Для обследования большинства нерестилищ достаточно одного вылета. При планировании работ следует учитывать описанные ограничения аппаратов, связанные с погодными условиями и протяжённостью полётов. Время на обследования следует выделять с существенным запасом, сообразуясь с прогнозами погоды. Благоприятные погодные условия следует использовать в полной мере, обследуя максимальное возможное количество нерестилищ в течение каждого дня. В качестве средств доставки оптимальны высокомореходные и быстроходные маломерные суда, позволяющие быстро передвигаться между нерестилищами, обходя максимальную протяжённость побережья в сутки. Из-за переменчивости погоды и ситуативного характера беспилотной съёмки, результаты некоторых облётов могут оказаться неудовлетворительными, поэтому отдельные нерестилища могут потребовать повторных обследований в более благоприятных съёмочных условиях. Специфика беспилотной съёмки такова, что её планирование и организация должны быть максимально гибкими и оперативными.

Ранее пилотируемых полётов на высоте 700 м при удалении от берега до 2 км (Фархутдинов, 2005) было вполне достаточно для картирования нереста и нерестилищ сельди. Беспилотная съёмка с меньшей высоты обеспечивает заведомо более детальные и, что важно, документально подтвержденные ортофотопланами результаты. Ошибка определения границ нерестилищ при классической пилотируемой аэрофотосъёмке, не предусматривающей геореферирования снимков, составляет сотни метров, тогда, как геореферирование результа-

тов беспилотной съёмки даёт ошибку около нескольких метров, т.е. на 2 порядка меньше. Очевидно, что от повышения точности обследований следует ожидать и улучшения прогнозных показателей (Дуленин, Диденко, 2021).

Применение ГИС. Общая функция ГИС заключается в систематизации и интеграции получаемых результатов. Мобильные ГИС служат для записи атрибутивных данных каждой станции на смартфон или планшет непосредственно в полевых условиях, что весьма полезно. Кроме автоматически записываемых треков передвижений, даты, времени и географических координат на станциях, легко вести запись прочих, необходимых при выполнении икорной съёмки данных: сведений о глубине, характере грунта, наличии и степени обикрения, наличии и проективном покрытии доминирующих видов растительности. При необходимости, атрибутивные таблицы снабжаются выпадающими списками значений, что ускоряет заполнение таблиц в полевых условиях. После каждого выезда полученные данные экспортируются в настольные ГИС или электронные таблицы. Далее, в одном проекте настольной ГИС, на любой подходящей картооснове (спутниковые снимки, растровые или векторные карты) объединяются треки перемещений, сведения о расположении и атрибутах станций, фотоматериалы, ортофотопланы, ортофотоснимки (рис. 1, рис. 6). Такая организация данных обеспечивает максимальную степень документирования, проверяемости и повторяемости результатов съёмки.

ВЫВОДЫ

Из-за тяжёлой ледовой обстановки и низкой температуры прибрежных вод, массовых подходов и массового нереста сельди на обследованном участке не

было. Слабый нерест отмечен только на $\frac{1}{4}$ площади водорослевого пояса в бух. Тунгусской. Нерестилища на участке работ оконтурены на площади 0,5 км², водорослевый пояс – на площади 1,6 км².

Потребительские микро-ТНПА пригодны для оперативного обследования нерестилищ как с берега, так и с борта маломерных судов. Они позволяют устанавливать наличие обикрения, давать балльные оценки его обилия, определять границы нерестилищ и документировать полученные данные посредством пространственной привязки фотографий. Выработаны приёмы работы с микро-ТНПА во время икорных съёмок.

Потребительские БПЛА пригодны для аэрофотосъёмки локальных нерестилищ в тяжёлых условиях Охотского моря, способны обследовать до 5 км прибрежной полосы в течение одного полёта. Разрешение снимков составляет от 1,4 до 4,1 см/пикс. и позволяет опознавать мелкие детали рельефа, растительность и рыб в прибрежной зоне. Определены конкретные параметры полётных миссий и сценарии полётов для обследования нерестилищ.

БПЛА и ТНПА при обследовании нерестилищ взаимно дополняют друг друга: первые пригодны для максимально быстрого обследования их мелководных частей, вторые – для оконтуривания недоступных для наблюдения с воздуха их глубоко расположенных внешних границ.

Мобильные ГИС пригодны для автоматической и ручной записи атрибутивных данных съёмки в полевых условиях. Фотоматериалы и атрибутивные данные доступны для геореферирования, систематизации и обработки средствами настольных ГИС. Их использование обеспечивает максимальную сте-

пень документируемости материалов съёмки.

Полученные наработки планирует использовать во время стандартных икорных съёмок основной части ареала охотской сельди.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М. и др. Методические рекомендации по учёту запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. М.: ВНИРО, 2005. 80 с.

Дуленин А.А. Некоторые методические проблемы водолазных гидробиологических учётных съёмок и пути их разрешения // Известия ТИНРО. 2017. Т. 170. С. 231–244. DOI: 10.26428/1606–9919–2017–190–231–244

Дуленин А.А., Диденко Д.С. Количественные закономерности распределения обикрения на естественных нерестилищах охотской сельди // Труды ВНИРО. 2021. Т. 186. № 4. С. 5–20. DOI: 10.36038/2307–3497–2021–186–5–20

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 // Труды ВНИРО. 2021а. Том 185. С. 134–151. DOI: 10.36038/2307–3497–2021–185–134–151

Дуленин А.А., Кудревский О.А. Использование лёгкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестн. КамчатГТУ. 2019. Вып. 48. С. 6–18.

Дуленин А.А., Свиридов В.В. Харитонов А.В. Результаты научно-исследовательских работ по оценке ресурсов макрофитов и беспозвоночных в северо-западной части Татарского пролива, выполненных в период экспедиционных исследований на НИС «Убеждённый» с 26 июня по 11 июля 2021 г. // Рейсовый отчёт. Архив ХабаровскНИРО, № 1940. Хабаровск: ХабаровскНИРО, 2021б. 50 с.

Жариков В.В., Лысенко В.Н. Распределение эпифауны макробентоса в Дальневосточ-

ном морском заповеднике ДВО РАН по материалам дистанционной подводной съёмки // Биология моря. 2016. Т. 42, № 3. С. 231–240.

Нектон Охотского моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-центр, 2003. 643 с.

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, ввезенных в Российскую Федерацию или произведённых в Российской Федерации». 8 с.

Пономарев С.Д. Развитие и выживаемость охотской сельди в период эмбриогенеза // Известия ТИНРО. 2012. Т. 171. С. 85–96.

Тюрнин Б.В. К методике оценки запасов охотской сельди // Труды ВНИРО. 1967. Т. 62. С. 129–139.

Тюрнин Б.В. Нерестовый ареал охотской сельди // Известия ТИНРО. 1973. Т. 86. С. 12–21.

Фархутдинов Р.К. Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди. Дисс. канд. биол. наук. Хабаровск: ХфТИНРО, 2005. 220 с.

Фархутдинов Р.К. Динамика ледовитости и сроки нереста охотской сельди // Известия ТИНРО. 2007. Т. 150. С. 180–188.

Шунтов В.П., Волвенко И.В., Кулик В.В. и др. Макрофауна бентали Охотского моря: таблицы встречаемости, численности и био-

массы. 1977–2010 / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-центр, 2014. 1052 с.

Buscher E., Mathews D.L., Bryce C., et al. Applying a Low Cost, Mini Remotely Operated Vehicle (ROV) to Assess an Ecological Baseline of an Indigenous Seascape in Canada // Frontiers in Marine Science. 2020. V. 7. 12 p. DOI:10.3389/fmars.2020.00669

Geographic Information Systems in Fisheries / Edited by W.L. Fisher and Frank J.R. Bethesda (Maryland): American Fisheries Society, 2004. 275 p.

Harris J. M., Nelson J.A., Rieucan G., Broussard III W.P. Use of Drones in Fishery Science // Transactions of the American Fisheries Society. 2019. 11 p. DOI: 10.1002/tafs.10168

Meaden G.J., Aguilar-Manjarrez J. Advances in geographic information systems and remote sensing for fisheries and aquaculture. Rome: FAO, 2013. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper № 552. 425 p.

Pacunski R., Palsson W., Greene, H. Gunderson D. Conducting Visual Surveys with a Small ROV in Shallow Water Marine Habitat // Mapping Technology for Alaska. Edited by Reynolds J.R. and Greene H.G. Alaska Sea Grant College Program. Fairbanks: University of Alaska, 2008. P. 109–128. DOI:10.4027/mhmta.2008.08

Raoult V., Colefax A.P., Allan B.M., Cagnazzi D., et al. Operational Protocols for the Use of Drones in Marine Animal Research // Drones. 2020. V. 4. 64. 35 p. DOI:10.3390/drones4040064

**DEVELOPMENT OF INSTRUMENTAL METHODS
FOR ACCOUNTING THE SPAWNING GROUNDS
AREA OF HERRING IN THE SEA OF OKHOTSK**

© 2022 г. А.А. Дуленин, В.В. Сviridov

*Khabarovsk branch of the Russian Federal Research Institute of
Fisheries and Oceanography, Khabarovsk, 6800028*

Methods for accounting of herring spawning grounds area using consumer grade underwater robots and UAVs were worked out. Such devices are promising for use due to their relatively low cost, ease of deployment and application. Experimental procedures were carried out from May 11 to June 9 in the Kruglaya and Tungusskaya bays (the northern part of the Okhotsk Sea) during the period of herring spawning. With the help of underwater robots, spawning grounds should be surveyed by short point diving and short transects. Series of screenshots of bottom, recorded on a mobile device, could be georeferenced automatically. The work should be accompanied by the recording of tracks, station coordinates and other attribute data in a mobile geographic information system (GIS). Unmanned flights over spawning grounds must be carried out in the mode of automatic linear and polygon missions or manually. For the orthophotos production, the optimal height is 150 m with a forward overlap of images no less than 80% and a side overlap no less than 50% (no less than 20% in case of very good bottom visibility and survey conditions). During harsh survey conditions, zigzag flights over spawning grounds at a height of 50 m are preferred with shooting a series of photographs without intersection and no orthophotos production. The materials of underwater and unmanned surveys, integrated into the desktop GIS, provide high accuracy and efficiency in estimating the area of spawning grounds, the maximum degree of documentation and verifiability of the obtained materials.

Key words: Sea of Okhotsk, herring, spawning grounds, accounting, ROV, UAV, orthophoto, methods.