

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 597.541–116:57.087.3

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-234-248

EDN: QUOANR

**СРАВНЕНИЕ ДВУХ РАЗНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
ПОПУЛЯЦИОННОЙ ПЛОДОВИТОСТИ ОХОТСКОЙ СЕЛЬДИ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАНДАРТНОЙ ИКОРНОЙ СЪЕМКИ**

А.А. Дуленин, П.А. Дуленина, В.В. Свиридов*
Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. С 3 по 21 июня 2022 г. в северо-западной части Охотского моря, в пределах основной части нерестового ареала охотской популяции сельди, от зал. Аян до Ейринейской губы, была проведена стандартная икорная водолазная съемка. В целях рационализации методики проведения съемок сравнили результаты расчета популяционной плодовитости (ППл) охотской популяции сельди, выполненные двумя способами. Первый — стандартный, через площадь нерестилищ и плотность обикрения (ПлО), второй — по выявленной зависимости между площадью нерестилищ и ППл. Условия нереста охотской сельди в 2022 г. были аномальными. Перед началом массового нереста в районе сильным штормом была уничтожена большая часть нерестовых субстратов, а нерестовые косяки сельди в прибрежной зоне были перераспределены. Поэтому средняя ПлО была крайне низкой (1075318 икр./м² при среднемноголетней величине 4170320 икр./м²), однако при этом, помимо многолетних участков нереста, сельдь отложила икру на площадях, где ранее нереста не наблюдалось. Общая площадь обследованных нерестилищ — 38,68 км². Популяционные показатели охотской сельди, рассчитанные по площади нерестилищ (ППл — 182 трлн икр., численность нерестового запаса (ЧНЗ) — 6,513 млрд рыб массой 1,823 млн т), соответствуют состоянию запаса в последние годы. Расчет ППл по площади нерестилищ методически прост, а при использовании телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем он обеспечивается полным программно-аппаратным документированием материалов съемки с возможностью верификации результатов сторонними экспертами. В то же время популяционные показатели, рассчитанные через ПлО на ежегодно обследуемых нерестилищах (ППл — 51 млрд икр., ЧНЗ — 1,936 млрд рыб массой 0,542 млн т), сильно занижены вследствие уничтожения нерестовых субстратов, не дают адекватного представления о состоянии популяции и не могут использоваться до восстановления водорослевого пояса (2–3 года). Стандартный метод проведения икорных водолажных съемок и обработки их данных основан на ряде неформализованных субъективных оценок и допущений и не может обеспечить верифицируемость результатов

* Дуленин Александр Алексеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, dulenin@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-6805; Дуленина Полина Александровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, duleniina.polina@mail.ru, ORCID 0000-0002-2147-6230; Свиридов Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, vladimir.sviridov@gmail.com, ORCID 0000-0002-6060-1532.

съемок без значительного увеличения трудозатрат на их проведение. В связи с этим мы рекомендуем внедрение расчета ИПл охотской сельди по площади локальных нерестилищ в качестве основного метода оценки ее ЧНЗ.

Ключевые слова: северо-западная часть Охотского моря, охотская сельдь, икорная съемка, ТНПА, БПЛА, площадь нерестилищ, плотность обкрения, популяционная плодовитость, численность нерестового запаса

Для цитирования: Дуленин А.А., Дуленина П.А., Свиридов В.В. Сравнение двух разных методов расчета популяционной плодовитости охотской сельди по результатам стандартной икорной съемки // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 234–248. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-234-248. EDN: QUOANR.

Original article

Comparison on two different methods for evaluation of population fertility for Okhotsk herring on the data of standard roe survey

Alexander A. Dulenin*, Polina A. Dulenina**, Vladimir V. Sviridov***

*_*** Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),

13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

* Ph.D., leading researcher, dulenin@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-6805

** Ph.D., senior researcher, dulenina.polina@mail.ru, ORCID 0000-0002-2147-6230

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

Abstract. The main part of the spawning grounds of herring in the northwestern Okhotsk Sea, from the Ayan Bay to the Eirineiskaya Bay, was surveyed on June 3–21, 2022 using standard methods of the roe diving survey. In order to rationalize the survey methodology, the herring population fertility (PF) was evaluated using two different approaches. The first is a standard method (described by Farkhutdinov, 2005) with calculation of the spawning ground areas and the roe density (RD) for each of them. The second method is based on the relationship between the total area of spawning grounds and PF detected previously by Dulenin and Didenko (2021). The spawning conditions for Okhotsk herring were abnormal in 2022. Just before the mass spawning, a strong storm had destroyed many spawning substrates and redistributed the spawning shoals of herring in the coastal zone. As the result, mean RD was extremely low — 1075318 eggs/m² (long-term average value was 4170320 eggs/m²), but herring spawned in new areas, additionally to usual spawning grounds, so the total area of surveyed spawning grounds was rather large, as 38.68 km². The population fertility calculated for this total area using the relationship between these indices was $182 \cdot 10^{12}$ eggs that corresponded to the spawning stock number (SSN) of $6.513 \cdot 10^9$ ind. and the spawning stock biomass (SSB) of $1.823 \cdot 10^6$ t. These estimates match well with results of the stock assessment by other methods. On the contrary, unrealistic low assessments were provided using the routine method with calculation of RD on the annually surveyed spawning grounds (PF $51 \cdot 10^{12}$ eggs, SSN $1.936 \cdot 10^9$ ind., SSB $0.542 \cdot 10^6$ t), because the spawning on destructed substrate could not represent adequately the state of the herring population during 2–3 years, until restoration of the algae belt. Besides, the standard method for data processing of the roe diving surveys is based on a number of non-formalized subjective assessments and assumptions that cannot ensure verification of the survey results. In opposite to this disadvantage, the calculation of PF by the area of spawning grounds is methodologically simple and allows to use remotely operated underwater vehicles, unmanned aerial vehicles and geographic information systems, with complete hardware and software documentation of survey materials. Thus, the PF evaluation using its relationship with the total area of spawning grounds is recommended for introduction as the main method of the Okhotsk herring stock assessment.

Keywords: northwestern Okhotsk Sea, Okhotsk herring, roe survey, remotely operated underwater vehicle (ROV), unmanned aerial vehicle (UAV), spawning area, roe density, population fertility, spawning stock

For citation: Dulenin A.A., Dulenina P.A., Sviridov V.V. Comparison on two different methods for evaluation of population fertility of the Okhotsk herring on the data of standard roe survey, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 234–248. (In Russ.) DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-234-248. EDN: QUOANR.

Введение

Охотская популяция сельди *Clupea pallasii* — крупнейший наряду с минтаем объект промысла в Охотском море. В северо-западной части моря она во время нереста откладывает икру на прибрежную морскую донную растительность [Суховеева, 1976; Дуленин, 2015]: преимущественно на бурые водоросли *Saccharina gurjanovae*, *Alaria esculenta*, *Sargassum miyabei*, *Pseudolessonia laminarioides*, красные водоросли *Neoptilota asplenioides*, *Odonthalia corymbifera*, *Tichocarpus crinitus*, *Chondrus platynus*, *Neohypophyllum middendorffii*, *Hymenena ruthenica*, зеленую водоросль *Ulva lactuca* и морскую траву *Zostera marina*. Нерестовый ареал охотской сельди простирается более чем на 1000 км, от Удской до Тауйской губы [Тюрнин, 1973]. Основные нерестовые площади располагаются в районе от зал. Аян до Ейриной губы. Численность нерестового запаса (ЧНЗ) охотской сельди в предыдущем десятилетии росла, составляя от 4 до 9 млрд экз. в разные годы [Панфилов, Смирнов, 2022]. Для оценки ЧНЗ можно использовать данные траловых съемок [Шунтов, 2016]. Однако наиболее надежным способом оценки ЧНЗ стал ее расчет по популяционной плодовитости (ППл), определяемой по количеству отложенной на нерестилищах икры [Качина, 1967; Фархутдинов, 2005; Булгакова, Смирнов, 2016]. В середине прошлого века количество отложенной сельдью икры учитывали на литорали [Галкина, 1960]. Несколько позднее учетные работы переместились в сублитораль, где пробы нерестового субстрата отбирали с помощью драг [Тюрнин, 1967]. Классическими методами оценки ППл за последние полвека стали авиаучетные работы совместно с водолазными съемками. Подобными же методами пользуются и за рубежом [Biggs, Funk, 1988; Šaškov et al., 2014; McGowan et al., 2021]. Во время таких работ определяли площади локальных нерестилищ и плотность кладок отложенной на них икры [Фархутдинов, 2007; Пономарев, 2012]. Однако оценки площади нерестилищ посредством классического авиаучета, не предусматривающего геореферирования (пространственной привязки к реальному местоположению) результатов наблюдений, весьма приблизительны. Применяемый же во время съемок упрощенный метод водолазного количественного учета, особенно при проведении икорных съемок в крайне суровых условиях Охотского моря, неизбежно связан с большим количеством ошибок точности и типичности [Дуленин, 2017].

Эти обстоятельства потребовали проанализировать материалы прежних съемок на предмет поиска возможностей их рационализации. В результате такого анализа выяснилось, что межгодовые различия плотности обикрения на нерестилищах, как правило, статистически незначимы, тогда как количество отложенной икры тесно ($R^2 = 0,87$) связано с площадью локальных нерестилищ. Корреляция результатов расчета ППл классическим методом и через выявленную зависимость от площади нерестилищ составила 94 %, что показало возможность использовать оценки площади для расчета ЧНЗ [Дуленин, Диденко, 2021].

Для проверки работоспособности предложенного подхода его необходимо было применить во время икорной съемки параллельно стандартным водолазным сборам, что и было сделано в июне 2022 г. Основной задачей настоящей работы было сравнение расчетов прогнозных показателей охотской сельди — ППл, ЧНЗ и биомассы нерестового запаса, — выполненных стандартным методом [Фархутдинов, 2005] и через зависимость от площади локальных нерестилищ.

Материалы и методы

Икорная съемка была выполнена в период с 3 по 21 июня 2022 г. в северо-западной части Охотского моря от зал. Аян до Ейриной губы включительно на НИС «Убежденный», принадлежащем Базе исследовательского флота ВНИРО (БИФ ВНИРО). Обнаружено и обследовано 25 локальных нерестилищ общей протяженностью 204 км. Во время съемки на 139 разрезах произведено 439 водолазных спусков и 429 погружений телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Выполнена беспилотная аэрофотосъемка 196 км в течение 101 полета (рис. 1).

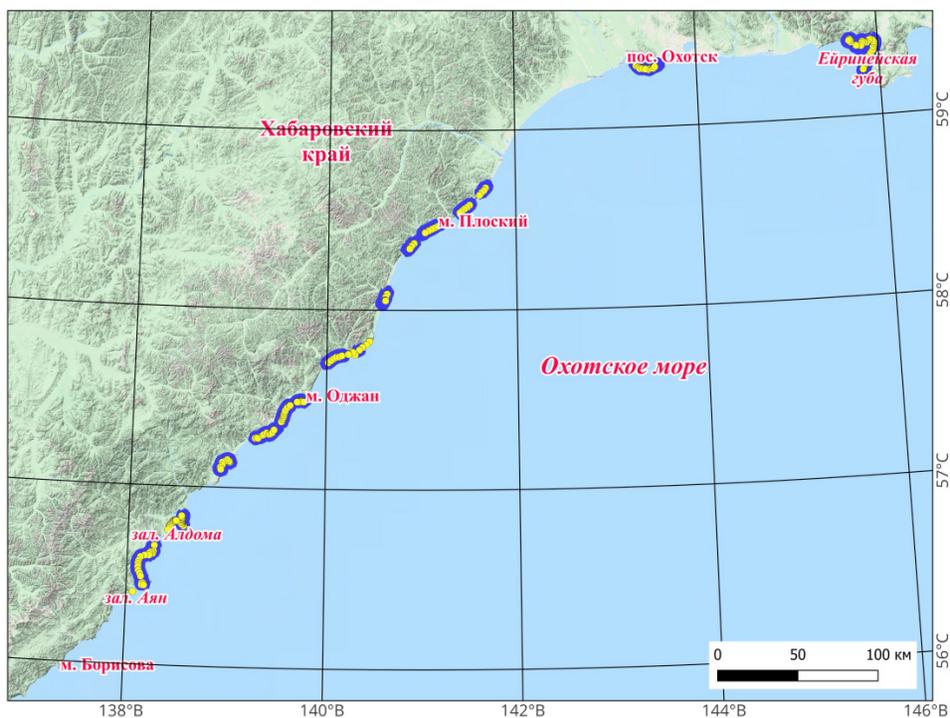


Рис. 1. Расположение участков, обследованных в ходе икорной съемки охотской сельди в 2022 г. Станции — желтые точки; области беспилотной аэрофотосъемки — синие полигоны

Fig. 1. Location of the sites surveyed during the Okhotsk herring roe survey in 2022. Stations — yellow dots; areas of unmanned aerial photography — blue polygons

Разведку расположения нерестилищ выполняли с воздуха посредством беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) потребительского класса по ранее разработанным методикам [Дуленин и др., 2021; Дуленин, Свиридов, 2022], основываясь на наличии выбросов икры на берегу. Документирование наличия обикрения на нерестилищах выполняли подводной фотосъемкой с помощью ТНПА потребительского класса [Дуленин и др., 2022]. Полученные материалы объединяли в проект ГИС Global Mapper, где далее выполняли оконтуривание нерестилищ посредством встроенных инструментов векторизации.

Водолазные работы. Съемку выполняли по упрощенной методике, которая является стандартной при проведении водолазных икорных съемок [Фархутдинов, 2005; Пономарев, 2012]. Водолазные станции выполняли на разрезах, перпендикулярных береговой линии, через 50 м (на широких нерестилищах через 100 м) от минимально возможной глубины (3 м) до окончания встречаемости икры сельди или растительности (10–13 м). Расстояние между разрезами варьировало от 1 до 3 км в зависимости от протяженности нерестилищ и однородности береговой линии. Сбор выполняли с «квадратного локтя», т.е. визуальное ограниченное квадрата площадью около 0,25 м². Обикренный субстрат собирали в полипропиленовые мешки. Водолаз на каждой станции сообщал сведения о типе грунта, наличии обикрения, доминирующих видах растительности, доле проективного покрытия дна (ПП) каждого из доминирующих видов макрофитов. ПП водолаз оценивал визуально, субъективно, на дне, осматривая пояс растительности в точке погружения.

Камеральная обработка водолазных проб. На судне пробы взвешивали, указывая массу каждого вида макрофитов. Далее из каждой пробы отбирали так называемую мини-пробу массой 30–70 г с характерными для основной пробы показателями: соотношение видов, плотность кладок икры. Отбор выполняли субъективно, на глаз. Мини-пробы взвешивали и помещали в марлевую упаковку с этикеткой (район, дата, номер станции, масса) и фиксировали в 4 %-ном формалине.

Камеральную обработку собранного материала выполняли после окончания рейса. Упаковки с мини-пробами замачивали в пресной воде на 24 ч. Далее их оставляли для стекания воды. Затем мини-пробы разбирали по видам обыкренного субстрата и отделяли от него икру. Растительные субстраты и икру взвешивали для каждой пробы по отдельности на электронных весах с точностью до 0,05 г. В каждой пробе брали навеску икры (около 200 мг). Икру в навеске просчитывали при помощи специализированного мобильного приложения Count things by camera (рис. 2). Коэффициенты элиминации рассчитывались после подсчета мертвой икры в каждой навеске. Всего обработано 25736 икринок из 241 пробы.



Рис. 2. Подсчет количества икры в навеске в приложении Count things by camera
Fig. 2. Counting of roe number in a sample using the application Count things by camera

Определив количество икринок в 1 г и массу икры на каждом виде макрофитов в пробе, вычисляли плотность обыкрения (ПлО) на каждом локальном нерестилище как в весовом, так и в количественном выражении по формулам:

$$Q_0 = \sum M_i \cdot k_i \cdot 4 \cdot \text{ПП}_i / 10000,$$

где Q_0 — ПлО в пробе, г/м²; M_i — масса макрофитов в пробе с 0,25 м, г/м²; k_i — доля икры на макрофитах, %; 4 — переводной коэффициент для пересчета в 1 м²; ПП — проективное покрытие дна макрофитами, %.

$$P_0 = \sum Q_i \cdot n_i,$$

где P_0 — ПлО в пробе, икр./м²; Q_i — ПлО на макрофитах, г/м²; n_i — количество икринок в 1 г на макрофитах.

Количество отложенной на каждом нерестилище икры определяли как произведение средней плотности обыкрения на нерестилище на его площадь.

Далее популяционную плодовитость рассчитывали как сумму количества икры на всех локальных нерестилищах.

По ранее выявленной зависимости [Дуленин, Диденко, 2021]

$$\text{ПП}_л = \sum (0,41 \cdot S_i^2 + 3,27 \cdot S_i + 0,46),$$

где ПП_л — популяционная плодовитость; S_i — площадь локального нерестилища.

Если видимость под водой была недостаточна для определения ПП, его указывали на среднем для каждого субстрата уровне по материалам проведенной съемки. На тех участках, где по изображениям с ТНПА присутствовало обыкрение, в то время как водолаз не доставал обыкренных проб, либо где начинался выклев и истинную плотность обыкрения было невозможно установить, указывали среднюю плотность обыкрения на нерестилищах по данным съемки. Ее вычисляли по нерестилищам, где выклева не происходило. Если водолаз сообщал о присутствии отдельных нерестовых субстратов на станции, но их не оказывалось в пробе, массу проб каждого из таких субстратов указывали на среднем по материалам съемки уровне. Массовую долю обыкрения в пробе и количество икринок в 1 г в этих случаях указывали как среднее от соответствующих значений в предыдущей и последующей пробах.

Для сравнения расчетов ППл дополнительно использовали данные предыдущих икорных съемок с 2008 по 2020 г., по которым у нас имеются сведения о площади локальных нерестилищ. Данные об общей площади задействованных нерестилищ и ЧНЗ взяты из прогнозов ОДУ по охотской сельди.

Чтобы вычислить ЧНЗ, ППл делили на среднюю индивидуальную абсолютную плодовитость (ИАП), а полученную величину делили на долю самок. Для расчетов использовали данные биологического анализа 1600 экз. сельди, выполненного сотрудниками ХабаровскНИРО в мае-июне 2022 г. из промышленных уловов в Охотском районе. Чтобы охарактеризовать состояние охотской популяции сельди, дополнительно использовали данные биологического анализа, собранные из промышленных уловов и во время икорных съемок за предшествующие годы, с 2013 по 2021.

Результаты и их обсуждение

Сроки подходов охотской сельди на нерест зависят преимущественно от гидрометеорологической обстановки. Весной 2022 г. прибрежная зона к маю полностью освободилась ото льда, поэтому нерестовый ареал сформировался по I типу [Тюрнин, 1973], т.е. условия нереста были благоприятными. Первые подходы сельди в северо-восточной части ареала (район пос. Охотск) были отмечены 13 мая. Однако в результате прошедшего у берегов Охотского моря шторма (порывы ветра до 35 м/с, высота волн в прибрежной полосе до 6–7 м) в период с 14 по 16 мая нерестовые косяки сельди были разбиты, а значительная часть растительного пояса уничтожена. Вследствие этого средняя масса водолазной пробы с обычным субстратом в 2022 г. была в 4 раза ниже, чем в 2020 г. (соответственно 1116 г против 4565 г), и в 2 раза ниже, чем за период с 2001 по 2020 г. (2559 г). Типичную картину на дне представляли крупные бурые водоросли с оторванными верхними частями слоевищ. Доля обычных проб также снизилась до 41 % против 62 % в 2020 г. и 71 % в 2001–2020 гг. После шторма массовые подходы сельди на нерест в районе пос. Охотск начались только 18 мая, а к концу первой декады июня они полностью прекратились.

Несмотря на снижение доли обычных проб, биологические показатели подошедшей на нерест сельди свидетельствовали о хорошем состоянии стада. Сельдь из уловов ставных неводов в Охотском районе в 2022 г. имела длину АС $29,70 \pm 0,06$ (24,0–34,5) см, индивидуальную массу $278,1 \pm 2,0$ (121,0–494,0) г, возраст $8,70 \pm 0,06$ (3,0–13,0) года и ИАП $52,25 \pm 1,14$ (23,71–98,23) тыс. икр. Средние значения биологических показателей были выше, чем за предыдущие 20 лет наблюдений (28,4 см, 243,5 г, 7,68 года и 43 тыс. икр.), что свидетельствует о высокой численности популяции и стабильном ее состоянии [Панфилов, Смирнов, 2022]. О высокой численности популяции косвенно свидетельствует и объем вылова нерестовой сельди в Охотском районе (13,3 тыс. т), который оказался выше среднего значения в течение последнего десятилетия (11,7 тыс. т).

Биологическим показателям вполне соответствуют и данные о площади задействованных нерестилищ. Во время съемки было обнаружено и обследовано 25 локальных нерестилищ. Применение беспилотной разведки и подводной съемки с ТНПА, сопровождающееся геореферированием полученных фотоматериалов и оконтуриванием нерестилищ в ГИС, позволило оценить площадь нерестилищ более полно, чем во время прежних съемок. Учетная площадь нерестилищ составила $38,682 \text{ км}^2$, что выше, чем в предыдущие годы. Большая площадь нерестилищ — $42,980 \text{ км}^2$ — была учтена только в 2015 г. (рис. 3). Общая площадь нерестилищ имеет выраженную зависимость от ЧНЗ: большая их площадь свидетельствует о высокой ЧНЗ [Дуленин, Диденко, 2021].

Весьма вероятно, что фактическая площадь нерестилищ была существенно больше выявленной из-за перераспределения сельди после прошедшего шторма. На это указывали результаты беспилотной аэрофотосъемки: выбросы икры на берегу практически всегда продолжались минимум на 2–3 км за пределы участков выполнения стандартных водолазных разрезов на локальных нерестилищах, где нерест наблюдался из года

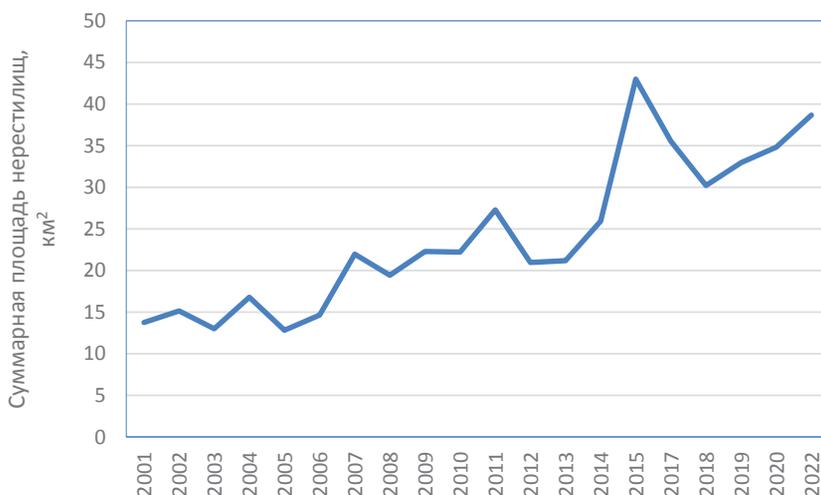


Рис. 3. Суммарная площадь нерестилищ охотской сельди по данным икорных съемок в разные годы

Fig. 3. Total area of the Okhotsk herring spawning grounds on the data of roe surveys in certain years

в год, и не заканчивались даже на максимальной дистанции удаления беспилотника от крайних разрезов обследованных нерестилищ. Так, в районе пос. Охотск всегда были известны только нерестилища в бухтах Круглой и Тунгусской. О нерестилищах у мыса Марекан не было никаких сведений. Благодаря выполненной беспилотной аэрофотосъемке этого участка впервые удалось оконтурить крупное нерестилище площадью 2,416 км² (табл. 1). Однако, несмотря на использование дополнительных инструментов разведки, полное обследование всей протяженности нерестового ареала в течение периода инкубации икры в настоящее время технически невозможно из-за малой скорости судна (7–8 уз) и водолазного бота (5–6 уз), что крайне ограничивает общую производительность учетных работ.

Тем не менее полученные материалы дали возможность рассчитать популяционные показатели охотской сельди по зависимости между площадью локальных нерестилищ и количеством отложенной икры (табл. 1). Ранее было выявлено, что расчеты по плотности и по площади показывают весьма высокую сходимость результатов [Дуленин, Диденко, 2021]. Однако в 2022 г. по указанным выше причинам это соответствие было нарушено (рис. 4).

Рассчитанная нами ППл в 182 трлн икр. близка к уровню 2020 г. (195 трлн икр.) (рис. 4). Сравнительно высокая ППл обусловлена хорошими гидрологическими условиями нереста ряда последних поколений сельди.

Исходя из данных о средней ИАП сельди (51245 икр.) и соотношении полов (доля самок — 47,8 %), ЧНЗ в 2022 г. определена в 6,515 млрд рыб. Текущая ЧНЗ находится на уровне последних лет (2015, 2017–2019 гг. — от 6,141 до 6,513 млрд рыб). Кроме того, она хорошо соотносится с данными предыдущей икорной съемки 2020 г., когда ЧНЗ была оценена в 9 млрд рыб (рис. 5). При средней индивидуальной массе нерестовой сельди (III–V стадия зрелости) в 2022 г., равной 281 г, биомасса нерестового запаса составила 1810 тыс. т (в 2020 г. — 2270 тыс. т).

Итоги расчета по стандартной методике через ПЛО в 2022 г. иные (табл. 2). В результате икорной съемки наличие обикрения было отмечено на 229 станциях. Средняя ПЛО на станциях по первичным данным икорной съемки до внесения поправок на потери икры составила 1,075 млн икр./м², что в 5 раз ниже, чем в первичных материалах последней съемки 2020 г. (5,566 млн икр./м²), и значительно ниже

Таблица 1

Популяционные показатели охотской сельди при расчете количества отложенной икры по зависимости от площади локальных нерестилищ [по: Дуленин, Диденко, 2021]

Table 1

Population indices of Okhotsk herring calculated using the relationship between the amount of deposited roe and total area of spawning grounds [from: Dulenin, Didenko, 2021]

Нерестилище	Площадь, км ²	Икринки, трлн	Рыбы, млрд	Масса рыб, тыс. т
Ейринейская губа	4,066	20,534	0,733	203,761
Р. Амачанка	0,033	0,569	0,020	5,650
Бухта Лошадиная	0,520	2,270	0,081	22,523
Мыс Марекан	2,416	10,753	0,384	106,702
Бухта Круглая	1,207	5,004	0,179	49,657
Бухта Тунгусская	0,785	3,278	0,117	32,528
Мыс Нонгдан	1,349	5,619	0,201	55,759
Р. Отында	1,187	4,919	0,176	48,813
Мыс Плоский	4,687	24,793	0,885	246,026
Р. Кулюкли	1,989	8,586	0,306	85,200
Р. Унчэ	3,455	16,652	0,594	165,239
Мыс Ханянгда	1,027	4,251	0,152	42,180
Мыс Энкан	1,926	8,278	0,295	82,142
Р. Мунгая	3,433	16,516	0,590	163,884
Мыс Оджан	4,235	21,660	0,773	214,932
Р. Тукчи	0,677	2,863	0,102	28,408
Мыс Угол	0,562	2,426	0,087	24,071
Мыс Мирмалан	0,339	1,614	0,058	16,015
Зал. Феодота	0,810	3,377	0,121	33,509
Зал. Алдома	2,476	11,069	0,395	109,839
Мыс Грендя	0,074	0,704	0,025	6,986
Мыс Наклонный	0,205	1,147	0,041	11,381
Р. Сахалинка	0,340	1,620	0,058	16,074
Р. Няча	0,466	2,073	0,074	20,573
Бухта Аянская	0,418	1,897	0,068	18,828
Всего	38,682	182,472	6,515	1809,852

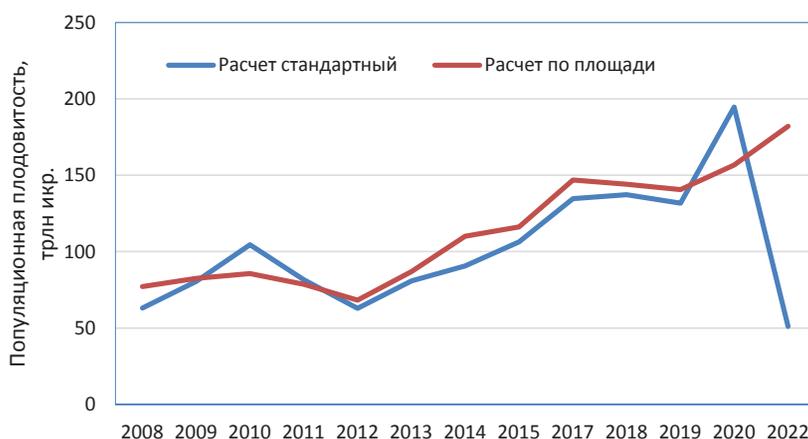


Рис. 4. Результаты расчета ППл охотской сельди разными способами за ряд лет
 Fig. 4. The Okhotsk herring population fertility evaluated by different methods, by years

среднемноголетнего значения (4,17 млн икр./м²). Это объясняется уничтожением в текущем году нерестовых субстратов штормом и низкой массой проб. Поэтому расчет ППл по ПЛО в районе дал весьма малую ее величину — 51 трлн икр. (табл. 2). Такая

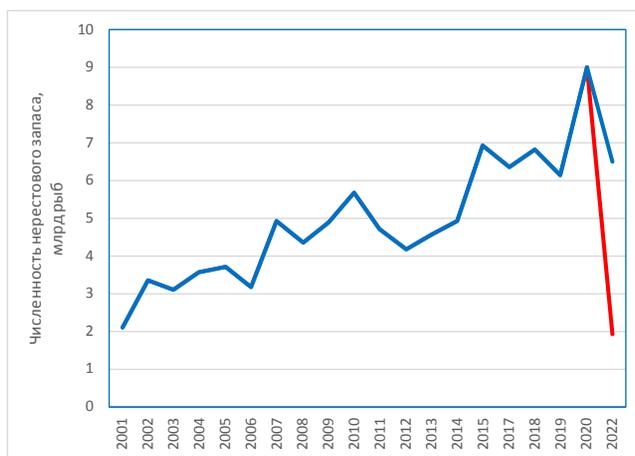


Рис. 5. Динамика численности нерестового запаса охотской сельди за период с 2001 по 2022 г. Красной линией обозначено «падение» запаса в 2022 г. при расчете стандартным методом

Fig. 5. Dynamics of the spawning stock for Okhotsk herring in 2001–2022. Red line indicates the false fall of the stock in 2022 resulted in calculation with the standard method

Таблица 2

Популяционные показатели охотской сельди на основе стандартной методики расчета количества отложенной икры [по: Фархутдинов, 2005]

Table 2

Population indices of Okhotsk herring assessed using the standard method for evaluation of the deposited roe amount [from: Farkhutdinov, 2005]

Нерестилище	Площадь, км ²	Плотность, икр./м ²	Плотность с поправкой + 20 %	Кол-во отложенной икры, трлн	ЧНЗ, млрд рыб	Биомасса нерестового запаса, тыс. т
Ейринойская губа	4,066	1415640	1698768	6,907	0,261	72,573
Р. Амачанка	0,033	19917	23900	0,001	0,000	0,008
Бухта Лошадиная	0,520	683479	820175	0,426	0,016	4,478
Мыс Марекан	2,416	617431	740917	1,790	0,068	18,807
Бухта Круглая	1,207	483993	580792	0,701	0,026	7,365
Бухта Тунгусская	0,785	129807	155768	0,122	0,005	1,284
Мыс Нонгдан	1,349	1021270	1225524	1,654	0,063	17,375
Р. Отында	1,187	1021270	1225524	1,455	0,055	15,284
Мыс Плоский	4,687	1021270	1225524	5,744	0,217	60,351
Р. Кулюкли	1,989	1021270	1225524	2,438	0,092	25,611
Р. Унчэ	3,455	1021270	1225524	4,234	0,160	44,488
Мыс Ханянгда	1,027	675214	810257	0,832	0,031	8,743
Мыс Энкан	1,926	737102	884522	1,703	0,064	17,897
Р. Мунгая	3,433	339919	407903	1,400	0,053	14,711
Мыс Оджан	4,235	663274	795929	3,371	0,127	35,413
Р. Тукчи	0,677	892337	1070804	0,725	0,027	7,620
Мыс Угол	0,562	575127	690152	0,388	0,015	4,072
Мыс Мирмалан	0,339	779678	935614	0,317	0,012	3,328
Зал. Феодота	0,810	1734770	2081724	1,686	0,064	17,712
Зал. Алдома	2,476	4282610	5139132	12,724	0,481	133,684
Мыс Грендя	0,074	1021270	1225524	0,091	0,003	0,953
Мыс Наклонный	0,205	1021270	1225524	0,251	0,009	2,637
Р. Сахалинка	0,340	683479	820175	0,279	0,011	2,932
Р. Няча	0,466	2385873	2863048	1,334	0,050	14,021
Бухта Аянская	0,418	1283225	1539870	0,643	0,024	6,758
Всего	38,682			51,216	1,934	538,105

ППл соответствует ЧНЗ в 1,934 млрд рыб, что означало бы столь же депрессивное состояние популяции, какое наблюдалось с 1976 по 1978 г. [Панфилов, Смирнов, 2022]. А величина ЧНЗ близка к ее минимальному значению в текущем столетии, отмеченному в 2001 г., — 2,119 млрд рыб (рис. 5). Однако средние биологические показатели сельди в 2001 г. были существенно ниже, чем в 2022 г.: длина АС 28,1 см (на 1,6 см), индивидуальная масса 232,6 г (на 45,4 г), возраст 7,5 года (на 1,2 года), ИАП 42,10 тыс. икр. (на 10,15 тыс. икр.). Очевидно, что рассчитанные по плотности ППл и ЧНЗ занижены и не соответствуют ни высокой численности нерестового запаса последних лет, ни текущим биологическим показателям сельди.

Указанное занижение оценок при расчете стандартным методом обусловлено ограниченными техническими возможностями обследования нерестилищ во время икорных съемок с борта тихоходных среднетоннажных судов и водолазных ботов. Даже при самой интенсивной работе времени от окончания массового нереста до начала массового выклева (до 3 нед) хватает только на обследование «стандартных» нерестилищ, где нерест происходит из года в год. Однако в случае внезапного расширения нерестовых площадей и освоения сельдью новых нерестилищ на участках, где ранее нереста не наблюдалось, полностью обследовать нерестилища будет технически невозможно, что и показала съемка 2022 г. Поэтому 2–3 десятка обследуемых ежегодно нерестилищ (см. табл. 1, 2) фактически играют роль индикаторных, по площади и плотности обыкновения которых можно судить о состоянии популяции в целом. При этом в случае явно нестандартного сценария нереста показатель ПЛО перестает быть адекватным индикатором состояния запаса, в то время как «индикаторные» площади нерестилищ хорошо отражают его состояние. Вообще, учет количества икры по плотности вряд ли даст адекватные результаты в ближайшие 2–3 года, до полного восстановления водорослевого покрова.

Теоретически для объяснения результатов расчета по ПЛО можно было бы допустить возможность катастрофического падения ЧНЗ сельди за 3 года, с рекордного в 9 млрд рыб в 2020 г. до минимального в 1,936 млрд рыб в 2022 г., как это было в период депрессии 1976–1978 гг. Однако прошлое обрушение запаса было обусловлено переломом в сочетании с неблагоприятными условиями воспроизводства сельди [Панфилов, Смирнов, 2022], в частности высокой ледовитостью [Зуенко и др., 2019] в течение ряда лет. В последние же годы переломы не фиксируются: вылов стабилен (219,6–254,6 тыс. т в 2017–2021 гг.), что составляет 85,0–96,1 % от ОДУ, а условия воспроизводства благоприятные, благодаря чему и наблюдался статистически значимый рост ЧНЗ в предыдущее десятилетие [Дуленин, Диденко, 2021]. Иными словами, почти все признаки: биологические показатели популяции, состояние промысла, условия воспроизводства, площадь нерестилищ и межгодовая динамика запаса — свидетельствуют о высокой ЧНЗ. Этой картине противоречит лишь один показатель — низкая ПЛО на нерестилищах. Возникает вопрос, сможет ли нерест в 2022 г., проходивший по I типу, обеспечить формирование многочисленного поколения [Тюрнин, 1973] при столь низкой ПЛО? Однако благодаря низкой ПЛО и отсутствию льдов не было и заморозов икры на нерестилищах, а общий уровень элиминации икры в 2022 г. был крайне низким — 0,89 %. При этом средний уровень элиминации икры по данным предыдущей съемки 2020 г. составил 21 %, а по данным С.Д. Пономарева [2012] средний уровень элиминации икры на разных типах нерестилищ составляет от 3 до 40 %. Поэтому в целом благоприятные условия инкубации в сочетании с большой площадью нерестилищ дают возможность предполагать появление поколения 2022 года рождения с высокой численностью.

Помимо адекватности получаемых результатов, сравниваемые методы имеют и существенные технические различия. Так, проблему представляет весьма низкая точность оценки ПЛО в силу особенностей применяемого метода и специфики района исследований [Дуленин, 2017]. Принято считать, что ПЛО оценивается инструментальным методом. Однако на деле это не так.

Во-первых, данные, которые водолаз получает непосредственно на станции, — это его визуальные субъективные оценки ПП нерестовых субстратов, определение которого может быть сопряжено с существенными ошибками [Шмаков, Шулипенко, 1981; Бузук, Созинов, 2014]. Действительно, из-за большого количества икринной взвеси в воде ее прозрачность снижена или отсутствует, а возможности оценки ПП ограничены или невозможны. Ради экономии времени съемки оценка ПП делается только в точке погружения, на площади от нескольких до нескольких десятков квадратных метров. Это на 1–2 порядка меньше площади выявления фитоценоза [Быков, 1978]. Естественно, что в таких условиях соотношения ПП доминирующих видов растительности не могут быть установлены верно. Независимых перекрестных оценок ПП вторым наблюдателем [Дуленин, 2020] не проводится, поскольку это означало бы одновременную работу двух водолазов, что технически невозможно.

Во-вторых, согласно стандартной методике, полученные оценки ПП умножаются на массу проб (см. раздел «Материалы и методы»). Однако пробы отбираются не со случайно расположенных рамок, а с тех участков, которые водолаз сочтет типичными. Это связано с тем, что площади стандартной рамки в $0,25 \text{ м}^2$ недостаточно для отбора крупных бурых водорослей, тогда как большие учетные площади требуют слишком много времени для отбора и обработки проб. На практике рамки неудобны, поэтому водолаз отбирает пробу с «квадратного локтя» на глаз [Дуленин, 2017]. При частом отсутствии видимости, на волнении и течении такие пробы не являются количественными: в подобных условиях водолаз обычно комментирует сбор буквально так: «что смог сорвать». Таким образом «инструментальный» отбор проб обыкновения в реальных условиях Охотского моря на деле сопряжен с весьма высокой долей субъективизма.

В-третьих, мини-проба из пробы обыкновения отбирается также на глаз: в качестве типичных участков обыкновения принимаются те, которые сочтет таковыми обработчик. В классической методике, очевидно, нельзя говорить о ее верифицируемости. Далее пробу погружают в формалин для обработки в камеральных условиях. Дальнейшая обработка основывается на допущении, что соотношение масс сырых и формалиновых проб нерестовых субстратов и икры остается неизменным. Однако это не так. По данным съемки 2022 г. средняя масса формалиновой мини-пробы без разделения на икру и отдельные растительные субстраты была на $18,5 \pm 1,0 \%$ меньше массы сырой мини-пробы. Обоснование коэффициентов пересчета массы формалиновых проб икры и каждого из основных нерестовых субстратов в сырые — предмет отдельного исследования.

В-четвертых, весьма нетривиальную задачу представляет оценка потерь икры. Объем потерь, оцениваемый экспертно, не может быть определен точно. В настоящее время попытки экспертных оценок потерь с точностью до процентов и их десятых долей, применяемые при прогнозировании общего допустимого улова охотской сельди без какого-либо обоснования применяемых методик и статистической оценки результатов, не могут быть признаны удовлетворительными. Максимально возможная точность экспертных оценок суммарных потерь вряд ли может быть меньше десятков процентов. Мы провели опрос водолазов и сотрудников, участвовавших в сборе и обработке проб. Они оценивали суммарное количество потерь (выбросы икры на берег; оседание икры на дно; икра, отложенная на грунт в море и в лагунах; икринная взвесь в воде; выедание икры животными; осыпание икры при отборе проб водолазом и разборе пробы) в 20%. Эта цифра была принята нами в качестве поправочного повышающего коэффициента при расчете итогового значения плотности отложенной икры.

Кроме того, перечисленные в разделе «Материалы и методы» способы обработки данных, полученных в сложных условиях (отсутствие видимости, несовпадение словесного описания станции, данного водолазом, и содержимого поднятой им пробы, начинающийся выклев и т.п.) не были описаны и формализованы в предыдущих работах [Фархутдинов, 2005, 2007; Пономарев, 2012].

Таким образом, сбор и обработка водолазных проб обыкрения по стандартной методике икорных водолазных съемок имеет несколько этапов, целиком или частично основанных на субъективных оценках и допущениях. Последующее точное взвешивание проб и статистическая обработка материала создают иллюзию точности отбора данных. Однако необходимо помнить, что ошибки точности, типичности и внимания, допущенные при сборе материала, неустранимы при дальнейшей математической обработке, что было отмечено еще Н.А. Плохинским [1970]. Именно такими ошибками, очевидно, объясняются показанные ранее артефакты: плохо выраженная зависимость между ПЛО и ЧНЗ и отсутствие статистически значимых различий ПЛО год от года и между большей частью локальных нерестилищ [Дуленин, Диденко, 2021]. Избежать большей части элементов субъективности можно используя корректные методы отбора проб [Блинова и др., 2005] и верификации субъективных данных [Рупосов, 2015; Дуленин, 2020]. Однако это будет означать многократное увеличение затрат труда и времени на выполнение каждой станции икорной съемки, что недопустимо, учитывая сжатые сроки инкубации икры.

В то же время нужно отметить, что расчет ППл по площади локальных нерестилищ имеет ряд методических преимуществ. Он существенно более прост, менее трудозатратен, избавлен от артефактов учета ПЛО водолажным способом, не требует введения экспертных поправок, а также поддается полному документированию средствами подводной и беспилотной фотосъемки и ГИС. В связи с указанными обстоятельствами мы рекомендуем переход на алгоритм расчета ППл по площади нерестилищ с внесением соответствующих изменений в методику икорных съемок.

Выводы

Условия нереста охотской сельди вдоль основной части ее нерестового ареала от зал. Аян до Ейринейской губы в 2022 г. были крайне нетипичными. Перед началом массового нереста в этом районе прошел сильный шторм, которым была уничтожена большая часть нерестовых субстратов, а нерестовые косяки сельди в прибрежной зоне были перераспределены. Вследствие этого средняя плотность обыкрения на станциях была очень низкой — 1075318 икр./м² — при среднемноголетней величине 4170320 икр./м², однако в то же время сельдь отнерестилась на участках, где ранее нерест не наблюдался.

Популяционные показатели, рассчитанные по площади (ППл — 182 трлн икр., ЧНЗ — 6,513 млрд рыб массой 1,823 млн т), соответствуют состоянию запаса в последние годы. Расчет ППл по площади нерестилищ методически прост, а при использовании бюджетных ТНПА и БПЛА потребительского класса и ГИС обеспечивает полное документирование материалов съемки с возможностью их проверяемости сторонними экспертами.

Популяционные показатели, рассчитанные через плотность обыкрения (ППл — 51 млрд икр., ЧНЗ — 1,936 млрд рыб массой 0,542 млн т), с поправками из-за уничтожения нерестовых субстратов на стандартных нерестилищах, не дают адекватного представления о состоянии популяции сельди и не могут быть использованы в ближайшие 2–3 года до восстановления водорослевого пояса. Стандартный метод проведения икорных водолазных съемок и обработки их данных основан на ряде субъективных оценок и допущений и не может обеспечить проверяемость результатов съемок без значительного увеличения трудозатрат на их проведение.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят водолазов БИФ ВНИРО и коллег из ТИНРО, ХабаровскНИРО, МагаданНИРО, участвовавших в выполнении съемки и обработке ее материалов.

The authors are thankful to divers of research vessels and colleagues from TINRO, KhabarovskNIRO, and MagadanNIRO who participated in the survey and processing of its materials.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

All acceptable national, institutional and international ethical principles are observed. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHORS CONTRIBUTIONS)

Авторы приняли равное участие в работе над статьей.

The authors took an equal participation in the work on the article.

Список литературы

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

Бузук Г.Н., Созинов О.В. Методы учета проективного покрытия растений: сравнительная оценка с использованием фотоплощадок // Изв. СамарНЦ РАН. — 2014. — Т. 16, № 5. — С. 1644–1649.

Булгакова Т.И., Смирнов А.А. Сравнительный анализ методов оценки и прогнозирования состояния запасов сельди Охотского моря // Тр. ВНИРО. — 2016. — Т. 163. — С. 66–79.

Быков Б.А. Геоботаника : моногр. — Алма-Ата : Наука, КазССР, 1978. — 288 с.

Галкина Л.А. Размножение и развитие охотской сельди // Изв. ТИНРО. — 1960. — Т. 46. — С. 3–40.

Дуленин А.А. Некоторые методические проблемы водолазных гидробиологических учетных съемок и пути их разрешения // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 190. — С. 231–244. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-231-244.

Дуленин А.А. Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 107–127. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-180-107-127.

Дуленин А.А. Результаты параллельных независимых визуальных оценок проективного покрытия дна при проведении учетной водорослевой съемки // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 747–766. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-747-766.

Дуленин А.А., Диденко Д.С. Количественные закономерности распределения обыврения на естественных нерестилищах охотской сельди // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 186. — 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 // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 185. — С. 134–151. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151.

Дуленин А.А., Свиридов В.В. Отработка инструментальных методов учета площади нерестилищ сельди в Охотском море // Вопр. рыб-ва. — 2022. — Т. 23, № 2. — С. 216–231. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-2-216-231.

Дуленин А.А., Свиридов В.В., Харитонов А.В. Методические особенности фото- и видеосъемки с помощью подводных роботов в прибрежных исследованиях у морских побережий большой протяженности // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : докл. 2-й Всерос. науч. конф., посвящ. 90-летию КамчатНИРО. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2022. — С. 54–61.

Зуенко Ю.И., Асеева Н.Л., Глебова С.Ю. и др. Современные изменения в экосистеме Охотского моря (2008–2018 гг.) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 35–61. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-35-61.

Качина Т.Ф. Методика расчета численности рыб в промысловом запасе корфо-карагинского стада сельди // Методы оценки запасов и прогнозирования уловов рыб : Тр. ВНИРО. — 1967. — Т. 62. — С. 122–128.

Панфилов А.М., Смирнов А.А. Промысел, динамика запаса и основные биологические показатели нерестовой охотской сельди на современном этапе // Вопр. рыб-ва. — 2022. — Т. 23, № 2. — С. 108–121. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-2-108-121.

- Плохинский Н.А.** Биометрия : моногр. — М. : МГУ, 1970. — 368 с.
- Пономарев С.Д.** Развитие и выживаемость охотской сельди в период эмбриогенеза // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 85–96.
- Рупосов В.Л.** Методы определения количества экспертов // Вестн. ИрГТУ. — 2015. — № 3(98). — С. 286–292.
- Суховеева М.В.** Видовой состав и распределение макрофитов в районах размножения сельди у северо-западного побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1976. — Т. 100. — С. 144–149.
- Тюрнин Б.В.** К методике оценки запасов охотской сельди // Тр. ВНИРО. — 1967. — Т. 62. — С. 129–139.
- Тюрнин Б.В.** Нерестовый ареал охотской сельди // Изв. ТИНРО. — 1973. — Т. 86. — С. 12–21.
- Фархутдинов Р.К.** Динамика ледовитости и сроки нереста охотской сельди // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 150. — С. 180–188.
- Фархутдинов Р.К.** Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Хабаровск, 2005. — 22 с.
- Шмаков В.М., Шулипенко Т.Ф.** Определение величины проективного покрытия в зарослях воздушно-водных растений // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2. — С. 103–105.
- Шунтов В.П.** Биология дальневосточных морей России. Т. 2 : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — 604 с.
- Biggs E.D., Funk F.** Pacific herring spawning ground surveys for Prince William Sound, 1988 with historic overview : Regional information report № 2C88-07. — Anchorage : Alaska Department of Fish and Game, 1988. — 27 p.
- McGowan D.W., Branch T.A., Haught S., Scheuerell M.D.** Multi-decadal shifts in the distribution and timing of Pacific herring (*Clupea pallasii*) spawning in Prince William Sound, Alaska // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2021. — Vol. 78. — P. 1611–1627. DOI: 10.1139/cjfas-2021-0047.
- Šaškov A., Šiaulyš A., Bučas M., Daunys D.** Baltic herring (*Clupea harengus membras*) spawning grounds on the Lithuanian coast: current status and shaping factors // Oceanologia. — 2014. — Vol. 56, Iss. 4. — P. 789–804. DOI: 10.5697/oc.56-4.789.

References

- Blinova, E.I., Vilkova, O.Yu., Milyutin, D.M., Pronina, O.A., and Shtrik, V.A.,** *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu zapasov promyslovykh gidrobiontov v pribrezhnoi zone* (Methodological Recommendations for the Inventory of Stocks of Commercial Aquatic Species in the Coastal Zone), Moscow: VNIRO, 2005.
- Buzuk, G.N. and Sozinov, O.V.,** Accounting methods of plants projective cover: comparative evaluation using photo sites, *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2014, vol. 16, no. 5, pp. 1644–1649.
- Bulgakova, T.I. and Smirnov, A.A.,** Comparative analysis of methods for assessing and forecasting the state of herring stocks in the Sea of Okhotsk, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 163, pp. 66–79.
- Bykov, B.A.,** Geobotany, Alma-Ata: Nauka, KazSSR, 1978.
- Galkina, L.A.,** Reproduction and development of the Okhotsk herring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1960, vol. 46, pp. 3–40.
- Dulenin, A.A.,** Some methodical problems of SCUBA hydrobiological accounting surveys and the ways of their resolution, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 231–244. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-231-244
- Dulenin, A.A.,** Distribution of sublittoral vegetation at the continental coast of the Okhotsk Sea (within the limits of Khabarovsk Region), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 107–127. doi 10.26428/1606-9919-2015-180-107-127
- Dulenin, A.A.,** Results of the parallel independent visual estimates of SAV projective cover during stock assessment survey, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 747–766. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-747-766
- Dulenin, A.A. and Didenko, D.S.,** Quantitative regularities of roe distribution on natural spawning grounds of Okhotsk herring within the macrophyte belt, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 186, pp. 5–20. doi 10.36038/2307-3497-2021-186-5-20
- Dulenin, A.A., Dulenina, P.A., Kotsyuk, D.V., and Sviridov, V.V.,** Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 185, pp. 134–151. doi 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151

Dulenin, A.A. and Sviridov, V.V., Development of instrumental methods for accounting the spawning grounds area of herring in the Sea of Okhotsk, *Problems of Fisheries*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 216–231. doi 10.36038/0234-2774-2022-23-2-216-231

Dulenin, A.A., Sviridov, V.V., and Kharitonov, A.V., Methodological features of photo and video filming using underwater robots engaged in research in long-distance coastal areas, in *Dokl. 2-y Vseross. nauch. konf., posvyashch. 90-letiyu KamchatNIRO "Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie"* (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf., Commem. 90th anniversary of KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatNIRO, 2022, pp. 54–61.

Zuenko, Yu.I., Aseeva, N.L., Glebova, S.Yu., Gostrenko, L.M., Dubinina, A.Yu., Dulepova, E.P., Zolotov, A.O., Loboda, S.V., Lysenko, A.V., Matveev, V.I., Muktepavel, L.S., Ovsyannikov, E.E., Figurkin, A.L., and Shatilina, T.A., Recent changes in the Okhotsk Sea ecosystem (2008–2018), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 197, pp. 35–61. doi 10.26428/1606-9919-2019-197-35-61

Kachina, T.F., Method of calculation of the abundance of the fishing stock of herring in the Korff Bay and off Karaginsky Island, *Metody otsenki zapasov i prognozirovaniya ulovov ryb* (Methods for assessing stocks and predicting fish catches), *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 62, pp. 122–128.

Panfilov, A.M. and Smirnov, A.A., Fishing, stock dynamics and basic biological indicators of spawning Okhotsk herring at the present stage, *Problems of Fisheries*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 108–121. doi 10.36038/0234-2774-2022-23-2-108-121

Plokhinsky, N.A., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1970.

Ponomarev, S.D., Development and survival rate of pacific herring at the stage of embryogenesis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 171, pp. 85–96.

Ruposov, V., Methods to determine a number of experts, *Vestn. Irkutsk. Gos. Tekh. Univ.*, 2015, no. 3(98), pp. 286–292.

Sukhoveeva, M.V., Species composition and distribution of large seaweeds in herring spawning grounds along North-West coast of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1976, vol. 100, pp. 144–149.

Tyurnin, B.V., On the methodology for assessing the stocks of the Okhotsk herring, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 62, pp. 129–139.

Turnin, B.V., The spawning range of the Okhotsk herring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1973, vol. 86, pp. 12–21.

Farkhutdinov, R.K., Ice cover dynamics and timing of the Okhotsk herring spawning, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 150, pp. 180–188.

Farkhutdinov, R.K., Ecology of reproduction, dynamics of abundance and state of stocks of the Okhotsk herring, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Khabarovsk, 2005.

Shmakov, V.M. and Shulipenko, T.F., Determination of the size of the projective cover in thickets of air-aquatic plants, *Gidrobiol. Zh.*, 1981, vol. 17, no. 2, pp. 103–105.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.

Biggs, E.D. and Funk, F., Pacific herring spawning ground surveys for Prince William Sound, 1988 with historic overview, *Regional information report № 2C88-07*, Anchorage: Alaska Department of Fish and Game, 1988.

McGowan, D.W., Branch, T.A., Haught S., and Scheuerell M.D., Multi-decadal shifts in the distribution and timing of Pacific herring (*Clupea pallasii*) spawning in Prince William Sound, Alaska, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2021, vol. 78, pp. 1611–1627. doi 10.1139/cjfas-2021-0047

Saškov, A., Siaulyš, A., Bučas, M., and Daunys, D., Baltic herring (*Clupea harengus membras*) spawning grounds on the Lithuanian coast: current status and shaping factors, *Oceanologia*, 2014, vol. 56, no. 4, pp. 789–804. doi 10.5697/oc.56-4.789

Поступила в редакцию 20.12.2022 г.

После доработки 3.03.2023 г.

Принята к публикации 3.03.2023 г.

The article was submitted 20.12.2022; approved after reviewing 3.03.2023;
accepted for publication 3.03.2023